



Universidad Europea

UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO

MÁSTER UNIVERSITARIO EN ANALISIS DE DATOS MASIVOS (BIG DATA)

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**Open Cities: Medellín y Taipéi como modelos de
Ciudades Abiertas - una comparación de su gestión
ambiental, energética y de movilidad.**

Madelyn Ivette Novoa Santander

Dirigido por

Alberto Partida Rodríguez

CURSO 2024 - 2025

TÍTULO: Medellín y Taipéi como Modelos de Ciudades Abiertas – Una comparación de su gestión ambiental, energética y de movilidad.

AUTOR: Madelyn Ivette Novoa Santander

TITULACIÓN: Big Data

DIRECTOR/ES DEL PROYECTO: Alberto Partida Rodríguez.

FECHA: 2024 - 2025

RESUMEN

Este estudio aborda la problemática de la gestión urbana y el desarrollo sostenible mediante el análisis comparativo del impacto del concepto de Ciudades Abiertas (Open Cities i.e. ciudades que trabajan con datos abiertos) en Medellín (Colombia) y Taipéi (Taiwán). La investigación se enfocó en cómo el uso de datos abiertos influye en la toma de decisiones y la implementación de políticas públicas en calidad ambiental, gestión energética y movilidad sostenible. Se identifican desafíos y oportunidades clave en la adopción de estas estrategias.

Como aportación fundamental, el proyecto introduce el análisis de Nueva York (Estados Unidos) como caso de referencia internacional, permitiendo contrastar diversos enfoques y niveles de madurez en los ecosistemas de datos abiertos urbanos. Esto facilitó la reflexión sobre los factores que explican las diferencias de impacto y la proyección de recomendaciones estratégicas. Los principales resultados revelan que el valor real de los datos abiertos no solo reside en su disponibilidad, sino en una gobernanza robusta, capacidades técnicas consolidadas y una activa participación ciudadana.

El trabajo concluye que, si bien los datos abiertos son una herramienta poderosa, su efectividad depende de la integración en un ecosistema estructurado que combine eficiencia técnica con inclusión social. Se destaca la necesidad crítica de estandarización de datos y el fortalecimiento de capacidades analíticas avanzadas (Big Data, modelos predictivos, visualización) para transformar los datos brutos en conocimiento operativo que impulse políticas urbanas más inteligentes, equitativas y sostenibles. Este proyecto no se realizó en colaboración directa con una empresa específica, sino que se basó en el análisis de datos públicos y la literatura académica.

Palabras clave

Ciudades Abiertas, Datos Abiertos, Gobernanza Urbana, Movilidad Sostenible, Big Data, Políticas Públicas.

ABSTRACT

This study addresses the challenges of urban management and sustainable development by comparatively analyzing the impact of the Open Cities (i.e. cities that work with open data) concept in Medellín (Colombia) and Taipei (Taiwan). The research focused on how open data influences decision-making and public policy implementation concerning environmental quality, energy management, and sustainable mobility. Key challenges and opportunities in adopting these strategies are identified.

A fundamental contribution of this project is the analysis of New York City (USA) as an international reference case, allowing for the contrast of diverse approaches and maturity levels within urban open data ecosystems. This facilitated reflection on the factors explaining impact differences and the projection of strategic recommendations. The main findings reveal that the true value of open data lies not merely in its availability, but in robust governance, consolidated technical capacities, and active citizen participation.

The work concludes that, while open data is a powerful tool, its effectiveness depends on integration into a structured ecosystem that combines technical efficiency with social inclusion. It underscores the critical need for data standardization and the strengthening of advanced analytical capabilities (Big Data, predictive models, visualization) to transform raw data into actionable knowledge, thereby driving smarter, more equitable, and sustainable urban policies. This project was not conducted in direct collaboration with a specific company but relied on the analysis of public data and academic literature.

Keywords

Open Cities, Open Data, Urban Governance, Sustainable Mobility, Big Data, Public Policy.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, doy gracias a Dios que me guía y a los seres de luz que me acompañaron en este trayecto. También quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia, cuyo apoyo incondicional ha sido el pilar fundamental en este camino. A mi hermana, en especial, gracias por brindarme tus conocimientos, por tu aliento constante y por estar conmigo durante todo el proceso.

Mi gratitud se extiende también a mis amigos, quienes con su presencia y sus palabras de ánimo hicieron que cada obstáculo pareciera más pequeño. Su compañía y su genuino interés fueron indispensables en los momentos difíciles.

También quiero agradecer especialmente a mis profesores de maestría, quienes, con su conocimiento, dedicación y pasión por la ciencia de datos, guiaron mi formación y sembraron en mí la curiosidad por profundizar en este campo. Asimismo, mi sincero agradecimiento a mi tutor de TFM, Alberto, por su invaluable orientación, paciencia y rigor académico. Su dirección fue clave para la culminación exitosa de este proyecto.

Y finalmente, a mis más fieles compañeros, mis hijos gatunos: Saúl Ignacio, María Belén y Coco. Su ronroneo y su presencia fueron el soporte más leal y la compañía perfecta. En especial, a Saúl Ignacio, por su amor incondicional, su fuerza y sus ganas de vivir, que fueron fundamentales en la última y más exigente etapa de este proceso. Sin la compañía de ellos, este logro no habría sido lo mismo.

"La mente que se abre a una nueva idea nunca vuelve a su tamaño original."

Albert Einstein

TABLA RESUMEN

	DATOS
Nombre y apellidos:	Madelyn Ivette Novoa Santander
Título del proyecto:	Open Cities: Medellín y Taipéi como modelos de Ciudades Abiertas — una comparación de su gestión ambiental, energética y de movilidad.
Directores del proyecto:	Alberto Partida Rodríguez
El proyecto ha consistido en el desarrollo de una investigación o innovación:	SI
Objetivo general del proyecto:	El objetivo principal de este trabajo es analizar y comparar el impacto del concepto de Ciudades Abiertas y el uso de datos abiertos en la toma de decisiones y políticas públicas de calidad ambiental, gestión energética y movilidad sostenible en Medellín y Taipéi, incluyendo una referencia internacional para proyectar recomendaciones estratégicas e identificar desafíos y oportunidades.

Índice

RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	4
TABLA RESUMEN	7
Capítulo 1. RESUMEN DEL PROYECTO	12
1.1 Contexto y justificación.....	12
1.2 Planteamiento del problema	12
1.3 Objetivos del proyecto.....	12
1.4 Resultados obtenidos.....	13
1.5 Estructura de la memoria	13
Capítulo 2. ANTECEDENTES.....	14
2.1 Estado del arte:	15
2.2 Contexto y Justificación	17
2.3 Planteamiento del problema	21
Capítulo 3. OBJETIVOS.....	22
3.1 Objetivo general.....	22
3.2 Objetivos específicos.....	22
3.3 Beneficios del proyecto.....	23
Capítulo 4. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	26
4.1 Planificación del proyecto	26
4.2 Descripción de la solución, metodologías y herramientas empleadas	28
4.3 Recursos requeridos	30
4.4 Presupuesto	33
4.5 Resultados del proyecto.	35
Capítulo 5. DISCUSIÓN.....	54
5.1 Calidad Ambiental	54
5.2 Gestión Energética	55
5.3 Movilidad Sostenible.....	56
5.4 Caso de Referencia: Nueva York.	58
5.5 Estandarización de Datos Abiertos en el contexto de ciudades Abiertas	61
5.6 Retos y Oportunidades en la implementación de estrategias con datos abiertos.....	62
5.7 Sostenibilidad y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	64

Capítulo 6.	CONCLUSIONES.....	66
6.1	Conclusiones del trabajo.....	66
6.2	Conclusiones personales	67
Capítulo 7.	FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO	68
Capítulo 8.	REFERENCIAS	71
8.1	REFERENCIAS DE GITHUB.....	75
Capítulo 9.	ANEXOS.....	77

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa Mental: Estructura y Contenidos del Capítulo 2 (Guía del Lector).....	14
Figura 2. Datos Georreferenciados para la Planificación Urbana en Taipéi.....	19
Figura 3. Datos Georreferenciados para la Planificación Urbana en Medellín.	20
Figura 4. Proceso de Evaluación Propuesto para el Estudio de Open Cities.	31

Índice de Tablas

Tabla 1. Criterios de selección de Medellín y Taipéi como casos de estudio.....	18
Tabla 2. Diccionario de datos propuesto para Medellín.	24
Tabla 3. Diccionario de datos propuesto para Taipéi.....	25
Tabla 4. Fuentes de datos por ciudad - Medellín:	26
Tabla 5. Fuentes de datos clave por ciudad – Taipéi:.....	27
Tabla 6. Presupuesto detallado de la investigación (en Euros).....	34
Tabla 7. Demanda mensual total Metro Medellín, 2024	50
Tabla 8. Comparativa en Calidad Ambiental: Medellín vs Taipéi	54
Tabla 9. Comparativa en Gestión Energética: Medellín vs Taipéi	55
Tabla 10. Comparativa en Movilidad Sostenible: Medellín vs Taipéi.....	57
Tabla 11. Resumen: Hallazgos de datos entre Taipéi y Medellín.	58
Tabla 12. Comparación de resultados entre Taipéi y Medellín en los tres ejes de estudio (enfoque, resultados y oportunidades de mejora).....	60
Tabla 13. Resultados clave y lecciones aprendidas del caso de Nueva York.	61

Capítulo 1. RESUMEN DEL PROYECTO

Este capítulo ofrece una síntesis ejecutiva del proyecto, resumiendo su contexto, la problemática, los objetivos y los resultados clave. El detalle se desarrolla en los capítulos siguientes.

1.1 Contexto y justificación

La rápida urbanización exige soluciones innovadoras en sostenibilidad. Las Ciudades Abiertas (Open Cities) – denominadas así porque operan con la premisa de la **transparencia total** y la **disponibilidad de datos públicos** - y los datos abiertos son clave para optimizar la gestión urbana. Medellín y Taipéi, ciudades comprometidas con la sostenibilidad, integran datos abiertos en áreas como calidad ambiental, energía y movilidad. Este estudio comparativo, ampliado con la referencia internacional de Nueva York, llena un vacío en la literatura al analizar el impacto de los datos abiertos en contextos diversos, ofreciendo lecciones para políticas públicas más equitativas y eficientes, con un claro valor académico y social.

1.2 Planteamiento del problema

Existe una carencia de análisis comparativos sobre el **impacto estratégico** de los datos abiertos en políticas públicas urbanas, especialmente en contextos no occidentales. La problemática central es la escasa documentación de cómo los datos abiertos influyen en la gestión ambiental, energética y de movilidad en ciudades diversas como Medellín y Taipéi, en contraste con la abundante literatura sobre ciudades de Norteamérica y Europa Occidental. Este proyecto busca entender sus avances, enfoques y resultados, contribuyendo al debate académico.

1.3 Objetivos del proyecto

El objetivo principal es analizar y comparar el impacto de ciudades abiertas y datos abiertos en la **toma de decisiones y políticas públicas** de calidad ambiental, gestión energética y movilidad sostenible en Medellín y Taipéi, utilizando Nueva York como referencia, una ciudad con un ecosistema de datos abiertos maduro, lo que permitirá generar recomendaciones estratégicas e identificar desafíos y oportunidades. Los objetivos específicos evalúan su impacto en las áreas mencionadas, comparan datos entre ciudades, analizan el caso de Nueva York, e identifican retos y oportunidades.

1.4 Resultados obtenidos

La investigación confirma que el impacto de los datos abiertos en políticas urbanas varía con el contexto y la madurez de implementación. Se identificaron **tres niveles de madurez**: emergente (Medellín), consolidado (Taipéi) e institucionalizado (Nueva York). El valor del dato no reside únicamente en su disponibilidad; se fundamenta en una **gobernanza robusta, capacidades técnicas y participación ciudadana**. Se concluye que un modelo híbrido, que combine eficiencia técnica e inclusión social, garantizando que la información y los servicios sean accesibles para toda la ciudadanía, especialmente para comunidades con recursos limitados, es la evolución de las 'Open Cities'. La estandarización de datos y el análisis avanzado son cruciales para transformar datos en conocimiento útil, abordando desafíos técnicos, regulatorios y sociales.

1.5 Estructura de la memoria

Esta memoria se organiza en nueve capítulos para presentar de manera integral la investigación. El **Capítulo 1:** Resumen del Proyecto ofrece una visión global concisa de la tesis. El **Capítulo 2:** Antecedentes profundiza en el estado del arte, el contexto detallado y el planteamiento del problema de la investigación. El **Capítulo 3:** Objetivos detalla el propósito general y los objetivos específicos del estudio, junto con los beneficios esperados. El **Capítulo 4:** Desarrollo del Proyecto describe la planificación, la metodología, las herramientas empleadas, los recursos, el presupuesto, la viabilidad y la presentación inicial de los resultados del proyecto. El **Capítulo 5:** Discusión analiza críticamente los principales hallazgos y su interpretación. El **Capítulo 6:** Conclusiones sintetiza los resultados finales del trabajo y ofrece reflexiones personales sobre la experiencia investigativa. El **Capítulo 7:** Futuras Líneas de Trabajo propone avenidas para la continuidad de la investigación. Finalmente, el **Capítulo 8:** Referencias lista las fuentes consultadas y el **Capítulo 9:** Anexos incluye material complementario.

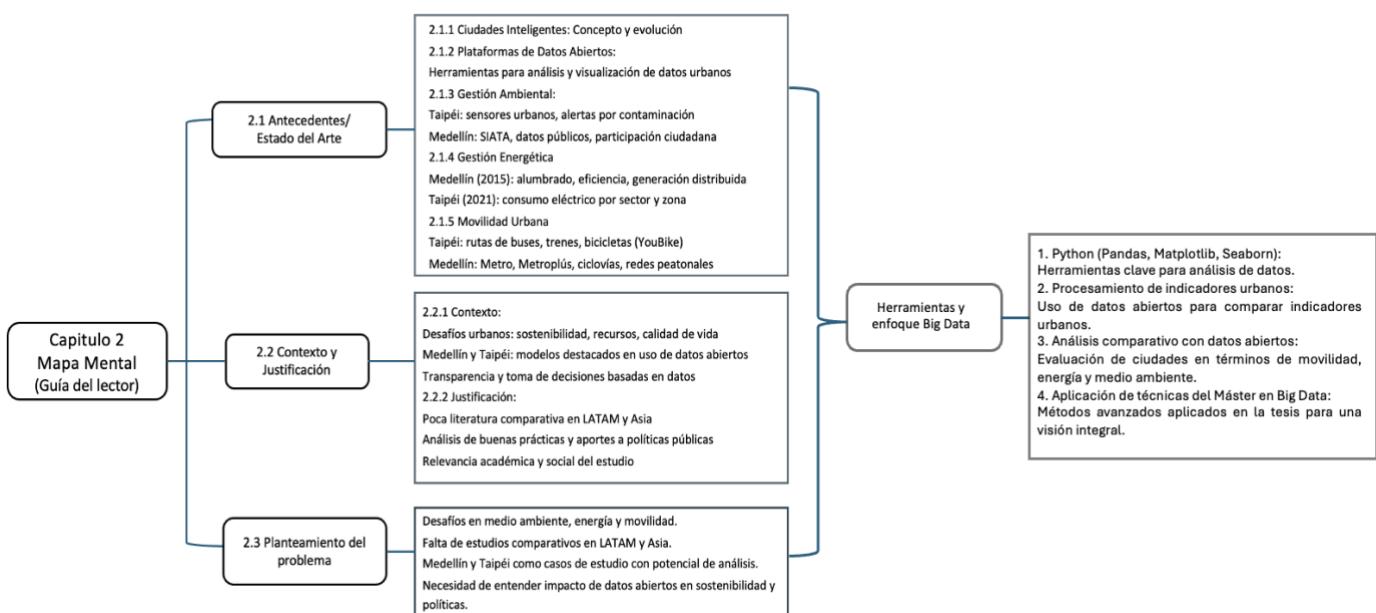
Capítulo 2. ANTECEDENTES

Este apartado desarrolla su contenido en **tres ejes principales**: el estado del arte, donde se exploran los conceptos fundamentales asociados a las ciudades inteligentes, las plataformas de datos abiertos y la aplicación de tres dimensiones estratégicas de gestión urbana, Calidad Ambiental, Gestión Energética y Movilidad Urbana con base en los casos de estudio de Medellín y Taípéi; el contexto y la justificación, que abordan los retos más comunes que enfrentan las ciudades en materia de sostenibilidad, así como la importancia de comparar modelos de gobernanza urbana basados contextos geográficos y socioeconómicos contrastantes como América Latina y Asia; el planteamiento del problema, que destaca la carencia de estudios comparativos orientados a evaluar el impacto real de las plataformas de datos abiertos en políticas públicas urbanas.

Este análisis se desarrolla en el marco del **Máster de Big Data**, con un enfoque interdisciplinario que combina conceptos de análisis urbano, sostenibilidad y ciencia de Datos. El presente TFM propone un enfoque comparativo poco explorado en la literatura académica, al estudiar dos ciudades con trayectorias distintas en el uso de datos abiertos para la gestión urbana. Para ello, se emplearon técnicas de procesamientos y análisis de datos mediante herramientas de **Python** (Pandas, matplotlib, Seaborn), **Jupyter Notebooks** y herramientas ofimáticas, lo que permitió estructurar y comparar indicadores relevantes a partir de diversas fuentes de datos públicos. El valor añadido de esta investigación reside de la construcción de un **marco analítico** que integra una evaluación crítica del rol de datos abiertos en la mejora de la gobernanza urbana, aportando insumos prácticos para el diseño de políticas públicas más sostenibles, basada en la evidencia.

A continuación, se presenta un mapa mental que sirve como guía para el lector:

Figura 1. Mapa Mental: Estructura y Contenidos del Capítulo 2 (Guía del Lector).



2.1 Estado del arte:

2.1.1 Ciudades Inteligentes: Concepto y evolución

El concepto de Open Cities o Ciudades abiertas fue introducido por primera vez en 2008, gracias al Urbanista Ingles Greg Clark [1], quien propuso entender **las ciudades** como **entornos abiertos** a la innovación, al cambio y a la eficiencia, promoviendo la toma de decisiones basada en la recolección y uso de datos y en la inclusión de la participación ciudadana. Esta visión planteó que la apertura, en término de información y gobernabilidad, sería clave para afrontar aquellos retos de globalización, migración y sostenibilidad urbana.

Desde entonces, el uso estratégico de datos se ha consolidado como un elemento central en la transformación de ciudades. Dentro de sus principales aportes se encuentra el fomento de la innovación, la mejora de la eficiencia en el uso de recursos y una gestión más eficaz de la calidad ambiental. Organismos internacionales como la **ONU- Hábitat** y el **Banco Mundial**, destacan que las ciudades abiertas se caracterizan por la apertura de datos, la integración de sistemas urbanos y la participación de actores públicos y privados en la gobernanza de los entornos Urbanos [2]. Esta propuesta ha contribuido a la evolución del concepto de Smart Cities, popularizado en la década de 1990, desde una perspectiva centrada únicamente en la tecnología a una perspectiva más holística que involucra la inclusión social, la sostenibilidad y la trasparencia como ejes fundamentales en el desarrollo urbano.

2.1.2 Plataformas de datos abiertos

El desarrollo de plataformas de datos abiertos ha permitido a muchas ciudades implementar herramientas de análisis y visualización para monitorizar indicadores claves relacionados con la gestión urbana [3]. Portales como **GeoMedellín** [4] y **Taipéi Open Data Platform** [5] son ejemplos destacados que han permitido llevar a cabo este estudio, ya que han contribuido no sólo a la creación de políticas públicas locales, sino también a fortalecer la transparencia en la rendición de cuentas.

La aparición de estas plataformas no responde únicamente a objetivos gubernamentales. También ha permitido el acceso de la información al poner una amplia colección de conjuntos de datos al público. Esto ha contribuido que ciudadanos, investigadores y empresas, tanto locales como globales, puedan aprovechar estos recursos como parte de un ecosistema de innovación cívica, lo que refuerza el rol de los datos abiertos como catalizadores de transformación urbana sostenible [6].

2.1.3 Gestión Ambiental en Ciudades Abiertas

En el marco de las ciudades abiertas, la gestión ambiental apoya sus esfuerzos en la recopilación continua y sistemática de datos relacionados con **aspectos claves** como la calidad del aire, las fuentes de contaminación, el uso del suelo y la monitorización de los efectos de cambios climáticos [7]. Estos datos, disponibles a través de plataformas abiertas, permiten a los gobiernos locales tomar decisiones informadas y diseñar políticas más eficaces en materia ambiental [8].

En la ciudad de Taipéi, el uso de sensores urbanos facilita el análisis predictivo, lo que permite activar sistemas de alerta ante la presencia de episodios por alta contaminación [8]. Por su parte, Medellín ha desarrollado el **SIATA** (Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá), una iniciativa que recopila información en tiempo real sobre la calidad del aire mediante una red de sensores distribuidos en el área metropolitana [9]. Este sistema no sólo contribuye a decisiones gubernamentales, sino que también ofrece acceso a los datos, promoviendo la transparencia y la participación ciudadana en materia de gestión ambiental local [10].

2.1.4 Gestión Energética: Consumo y eficiencia

La gestión energética integra un eje estratégico para promover el **desarrollo sostenible**, mejorar la calidad de vida de la ciudadanía y mitigar los impactos ambientales derivados del consumo energético [11]. En este contexto, las ciudades abiertas están utilizando los datos como herramienta clave de planificación y para optimizar el uso de la energía en el entorno urbano [12]. Medellín en el año 2015, comenzó a integrar datos relacionados con el alumbrado público, la eficiencia energética y la generación distribuida, a través de plataformas como GeoMedellín. Si bien estas plataformas de datos abiertos presentan avances importantes, aún se enfrentan a desafíos en cuanto a su integración de sistemas y de consolidar datos en grandes escalas [13].

Por su parte, Taipéi ha logrado un uso más avanzado y consolidado de los datos abiertos en el **ámbito energético**, con una trayectoria que comienza formalmente en 2021, con la creación de la Taipéi Open Data Platform. La ciudad publica estadísticas detalladas sobre el consumo eléctrico mensual por sector industrial y ubicación geográfica, lo que facilita el análisis de tendencias de consumo y el diseño de políticas públicas orientadas a la eficiencia energética y la sostenibilidad [14].

2.1.5 Movilidad urbana: datos y planificación estratégica

Los datos abiertos han transformado la gestión y la planificación de movilidad urbana, ya que facilitan el acceso a la información en tiempo real y apoyan, a su vez, la toma de decisiones basadas en la evidencia. En Taipéi, la **Taipei Open Data Platform** proporciona datos actualizados, sobre rutas de autobuses, rutas de bicicletas y su disponibilidad (YouBike) y del transporte ferroviario urbano, generando optimizar recorridos, mejorar la eficiencia del transporte público y promover modos de transporte sostenible [15].

En el caso de Medellín, por su parte, el **portal de Movilidad** [16] en Línea proporciona acceso a información detallada sobre el sistema de transporte masivo (Metro de Medellín), rutas de buses integrados (Metroplús) y, más recientemente, datos sobre ciclovías, andenes y redes peatonales. Estas herramientas promueven el fortalecimiento de políticas orientadas a mejorar la accesibilidad, reducir la huella de carbono del transporte urbano y fomentar una movilidad más inclusiva y sostenible.

2.2 Contexto y Justificación

2.2.1 Contexto

El mundo se enfrenta a un rápido proceso de urbanización lo que representa grandes retos en términos de sostenibilidad, gestión de recursos y calidad de vida. En este sentido, las Open Cities han surgido de la necesidad de atender estos **desafíos**, pero con soluciones innovadoras, y con la gran particularidad de utilizar datos abiertos. Desde los años 1990, a los conceptos de Smart Cities y Open Data se les ha atribuido mayor importancia en la medida que son utilizados como herramientas claves para optimizar la gestión urbana en las grandes ciudades. Según la **UNESCO**, el verdadero potencial de estas ciudades se debe a la transparencia de datos con la participación de toda la ciudadanía y la inclusión de actores públicos y privados en la toma de decisiones.

En este sentido, Medellín y Taipéi se han destacado por sus avances en la integración de plataformas de sistemas de datos abiertos, que no sólo facilitan la trazabilidad de lo que ocurre día a día, sino que facilitan la toma de decisiones basada en evidencias, promoviendo políticas públicas enfocadas en **la sostenibilidad, eficiencia energética y movilidad urbana**. Medellín se posiciona como una ciudad innovadora en toda la región de América Latina, gracias a la integración de datos abiertos en ejes importantes como en su gestión urbana, destacándose en áreas como la calidad del aire, movilidad y gestión energética [17]. Por otra parte, Taipéi, como capital de Taiwán, ha sido pionera en la adopción de tecnologías para mejorar la eficiencia de sus servicios públicos, incluyendo el uso de datos abiertos para optimizar su infraestructura de transporte y energía [18].

En la medida en que las ciudades avanzan en el uso de datos abiertos, es crucial comprender cómo estos recursos contribuyen a los objetivos de sostenibilidad, eficiencia y transformación urbana. Comparar Medellín y Taipéi ofrece una oportunidad única para evaluar distintas estrategias en la implementación de **soluciones urbanas inteligentes**, lo cual puede generar lecciones importantes tanto para otras ciudades del mundo como para el fortalecimiento de sus políticas públicas.

Tabla 1. Criterios de selección de Medellín y Taipéi como casos de estudio.

Ciudad	Región	Enfoque de gestión urbana	Uso de datos abiertos	Logros destacados	Relevancia regional
Medellín	América Latina	Innovación social y tecnológica, sostenibilidad urbana	Integración progresiva desde 2015 en plataformas (GeoMedellín)	Monitoreo calidad del aire, eficiencia energética y movilidad sostenible	Modelo latinoamericano transformación urbana inteligente
Taipéi	Asia Oriental	Gobernanza digital, infraestructura eficiente	Plataforma consolidada desde 2021 (Taipei Open Data Platform)	Publicación de datos por sectores, eficiencia energética y movilidad basada en evidencia	Ciudad líder en Asia en políticas urbanas basadas en datos

Medellín y Taipéi fueron seleccionadas como casos de estudio por representar contextos no occidentales y exhibir distintos niveles de madurez en la implementación de sus políticas de datos abiertos.

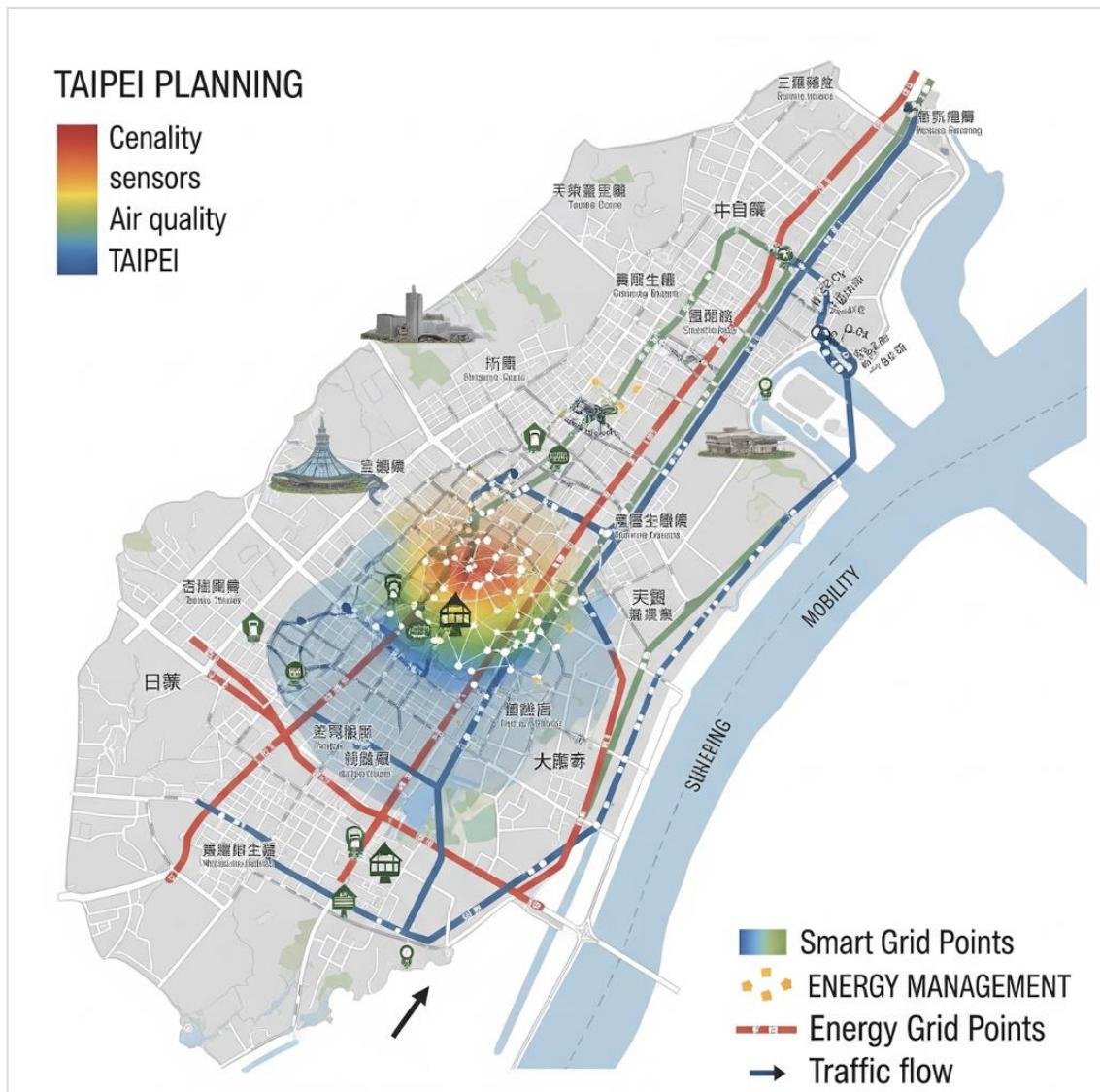
2.2.2 Justificación

La relevancia del presente estudio radica en la necesidad de comprender cómo la adopción de datos abiertos puede llegar a ser un motor clave para la sostenibilidad y la eficiencia en las ciudades del futuro. Aunque hoy en día existe una amplia literatura sobre investigaciones de **Smart Cities** [19], pocos estudios comparan de manera directa el impacto de estas plataformas en diferentes contextos urbanos, particularmente en ciudades del sur de América y Asia. Medellín y Taipéi, a pesar de sus diferencias culturales, geográficas y económicas, comparten el objetivo de utilizar los datos para mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos y afrontar los retos urbanos del siglo XXI.

Esta Investigación contribuirá con una revisión más profunda en este campo de conocimiento, al proporcionar un **análisis comparativo** entre ambas ciudades en cuanto a su gestión ambiental, energética y de movilidad a través de los datos abiertos. Adicional, ayudará a identificar las buenas prácticas y las oportunidades de mejora, que podrían tomar en consideración otras ciudades que buscan adoptar políticas similares. Desde una perspectiva más académica, este estudio enriquecerá la literatura sobre Open Cities, mientras que, desde un punto de vista práctico, podría influir en el diseño de políticas públicas más eficientes y sostenibles.

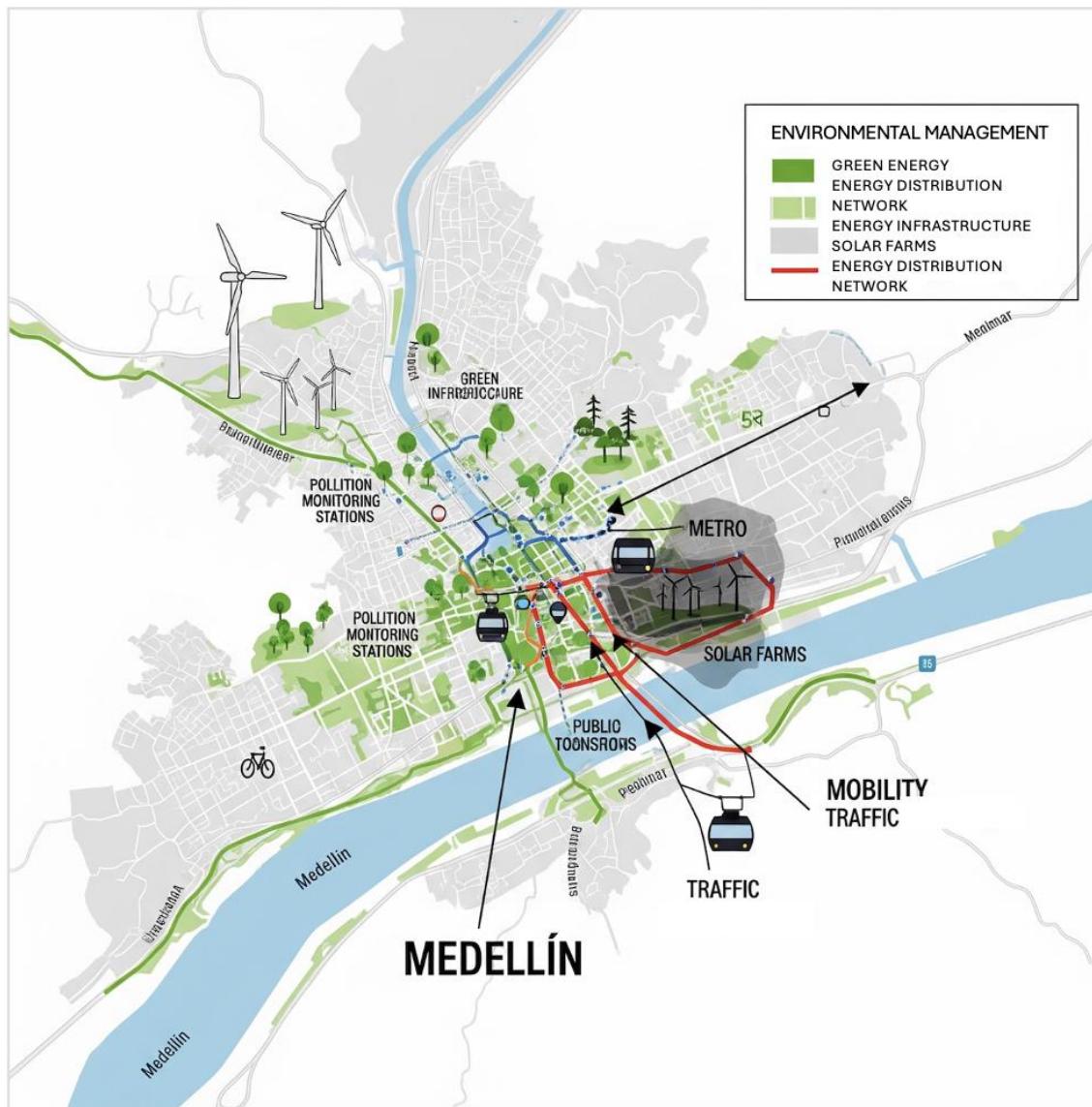
Finalmente, esta investigación se justifica no sólo por su importancia académica, sino por el valor que puede aportar en el impacto social. Debido a la evaluación del uso de los datos abiertos para abordar los **retos urbanos**, este estudio ofrece perspectivas que pueden beneficiar a las administraciones públicas de las ciudades, por ejemplo, al mejorar sus capacidades de planificación con datos georreferenciados, a empresas tecnológicas mediante el **desarrollo de soluciones** basadas en datos abiertos, y especialmente a los ciudadanos, quienes pueden acceder a información relevante sobre su entorno y participar activamente en la construcción de ciudades más sostenibles. Para ilustrar el potencial de estos datos en contextos urbanos diversos y cómo pueden informar la planificación, las siguientes figuras, presentan ejemplos conceptuales aplicados a Taipéi y Medellín, respectivamente.

Figura 2. Datos Georreferenciados para la Planificación Urbana en Taipéi.



Esta representación esquemática ilustra cómo la superposición de **datos georreferenciados** relevantes (como sensores de calidad del aire, puntos de energía inteligente y redes de transporte público) sobre un mapa de Taipéi puede facilitar una comprensión integral del entorno urbano para una planificación más eficiente en áreas como la gestión ambiental, energética y de movilidad.

Figura 3. Datos Georreferenciados para la Planificación Urbana en Medellín.



Este esquema ejemplifica el potencial de los **datos georreferenciados** (como estaciones de monitoreo de contaminación, infraestructura verde, puntos de energía solar y rutas de transporte público) en Medellín para informar y mejorar la toma de decisiones en la planificación urbana sostenible, abordando aspectos clave como la gestión ambiental, energética y de movilidad.

2.3 Planteamiento del problema

En el contexto actual de gestión de urbanización, todas las ciudades del mundo enfrentan diferentes desafíos como la **sostenibilidad ambiental, eficiencia energética y movilidad urbana**. Ante estos desafíos, los conceptos de Ciudad Inteligente y Ciudades Abierta han surgido en respuesta, con el fin de fomentar ciudades más inclusivas, transparentes y basadas en datos [20]. Sin embargo, a pesar del auge del desarrollo de plataformas de datos abiertos en diferentes ciudades del mundo, aún se presenta una falta de análisis comparativo que permita comprender como el uso estratégico de estas herramientas inciden en la formulación de políticas públicas que contribuyen significativamente a la transformación de espacios urbanos.

En el análisis del estado del arte, se evidencia que la mayoría de los estudios existentes sobre Open Cities se concentran en casos de **Europa Occidental y América del Norte**; por ejemplo, en ciudades como Barcelona y Toronto, donde las estrategias de apertura de datos se han implementado como parte de modelos de gobierno abierto, innovación cívica y gestión urbana basada en evidencia. En contraste, el uso de datos abiertos en ciudades de América Latina y Asia ha sido exploradas de forma limitada, lo que representa una excelente oportunidad para identificar buenas prácticas y posibilidades de desarrollo en contextos urbanos diversos y con realidades socioeconómicas distintas [21].

En este sentido, se identifica como problemática principal la escasa documentación y análisis sobre el impacto del uso de datos abiertos en la gestión de aspectos clave como el medio ambiente, la energía y la movilidad. Medellín y Taipéi representan dos modelos de ciudades con trayectorias distintas, pero con un interés compartido en el uso de datos abiertos para **transformar su entorno urbano**. Sin embargo, no existen estudios comparativos que evalúen sus estrategias ni que analicen cómo éstas influyen en su sostenibilidad y eficiencia. Por lo tanto, esta investigación enriquecerá la falta de estudios comparativos que permitan entender el grado de avance, no solo tecnológico sino en políticas públicas, los enfoques y los resultados que cada ciudad ha obtenido a partir de la implementación del uso de datos abiertos, lo que a su vez contribuirá al debate académico.

Capítulo 3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

El objetivo principal del presente trabajo consiste en analizar y comparar el impacto del concepto de Open Cities en Medellín y Taipéi, destacando cómo el uso de datos abiertos influye en la toma de decisiones y en la implementación de políticas públicas orientadas a la calidad ambiental, la gestión energética y la movilidad sostenible.

Asimismo, evaluar de qué manera los datos abiertos han transformado la gestión de recursos públicos, vinculados a estos tres ámbitos, y cómo han contribuido al desarrollo de ciudades sostenibles, inteligentes e inclusivas. Se busca también, a través del análisis de un caso de referencia internacional como Nueva York, proyectar recomendaciones estratégicas y reflexionar sobre los factores que inciden en el valor público de los datos abiertos para el diseño de políticas urbanas sostenibles. Finalmente, identificar los desafíos y oportunidades que enfrentan ambas ciudades en la adopción de estrategias basadas en datos abiertos, resaltando buenas prácticas y posibles mejoras.

3.2 Objetivos específicos

- Evaluar el impacto de los datos abiertos en la calidad ambiental, mediante el análisis de su accesibilidad, uso institucional y utilidad e impacto en la toma de decisiones ambientales, analizando su aplicación en el monitoreo de la contaminación del aire y de otras variables ambientales claves.
- Analizar cómo los datos abiertos han contribuido a mejorar la gestión energética mediante la comparación entre ciudades con distintos niveles de apertura de datos, evaluando indicadores de eficiencia energética, optimización de recursos y avances en la transición hacia energías sostenibles.
- Examinar el papel de los datos abiertos en el desarrollo de una movilidad sostenible, con especial foco en la planificación del transporte público, la gestión del tráfico y el fomento de medios de transporte alternativos.
- Comparar la calidad, el acceso y la aplicabilidad de los datos abiertos en Medellín y Taipéi, relacionados con los tres ejes principales de estudio: la calidad ambiental, la gestión energética y la movilidad sostenible, evaluando elementos como disponibilidad, facilidad de uso y reutilización.

- Analizar el caso de Nueva York como un referente en el uso de datos abiertos para la gestión urbana, con el fin de identificar buenas prácticas, lecciones aprendidas y proponer recomendaciones estratégicas que trasciendan los contextos específicos de Medellín y Taipéi.
- Identificar retos y oportunidades en la implementación de estrategias basadas en datos abiertos, analizando desafíos en aspectos técnicos, regulatorios y posibles líneas de mejora para su aplicación efectiva.

3.3 Beneficios del proyecto

Este proyecto aportará beneficios importantes tanto en el ámbito académico como en el campo de la gestión urbana basada en el uso de datos. En primer lugar, ofrece un **análisis comparativo** entre dos ciudades, Medellín y Taipéi, dos ciudades con contextos diferentes, en zonas geográficas distintas, pero ambas muy comprometidas con la sostenibilidad, lo que permite identificar patrones comunes y enfoques diferentes en la implementación del modelo de Open Cities.

Adicionalmente, se introduce un caso de referencia internacional: **Nueva York, Estados Unidos**. Esta inclusión, más allá de ser un análisis comparativo de resultados, busca contrastar enfoques, madurez e impacto de las políticas de datos abiertos a lo largo del tiempo. El objetivo es reflexionar sobre los factores que explican las diferencias en el impacto del uso de open data en la planificación urbana y proponer caminos para incrementar el valor público de los datos abiertos en el diseño de políticas urbanas sostenibles.

Desde una perspectiva más técnica, este estudio evidencia cómo el uso de datos abiertos ha contribuido significativamente a mejorar aspectos clave como la calidad ambiental, la eficiencia energética y la movilidad urbana en Medellín y Taipéi. Al proporcionar información confiable y accesible, estos datos permiten a los gobiernos y a los responsables de **formular políticas públicas, tomar decisiones más acertadas y fundamentadas**. Además, el proyecto promueve el uso responsable de los datos abiertos como herramientas para la innovación, la eficiencia y la transparencia institucional. Para ello, identifica buenas prácticas y desafíos técnicos que pueden orientar la mejora continua de las plataformas de datos abiertos y facilitar el diseño de estrategias urbanas más efectivas y sostenibles.

Siguiendo este contexto, se construyó un repertorio estructurado o **diccionario de datos**, que agrupa y describe los principales conjuntos de datos utilizados en el análisis, clasificados por ciudad y por eje temático. Esta organización permite no solo identificar mejor sino también facilita la comprensión del tipo de información que prioriza cada ciudad, el nivel de detalle temporal y geográfico de los registros, así como los formatos en los que se encontraron disponibles. Además, cada bloque temático incluye una breve introducción del conjunto de datos urbanos en específico adoptado por Medellín y Taipéi.

Este **catálogo de datos**, no se refiere únicamente a un anexo informativo, sino que se representa como una herramienta de apoyo analítico, útil que respalda la transparencia metodológica, facilita la replicación del estudio y servir como base para el desarrollo de nuevos indicadores urbanos. En este sentido, el proyecto trasciende el plano conceptual, generando también aportes concretos para la práctica en planificación urbana basada en evidencia.

Finalmente, este trabajo busca trascender el análisis comparativo para convertirse en una referencia útil en el diseño de estrategias urbanas futuras. Al visibilizar experiencias exitosas y áreas de oportunidad en Medellín y Taipéi, se abren posibilidades para replicar modelos eficaces en otras ciudades con contextos similares. Además, los hallazgos pueden servir como base para fortalecer redes de **colaboración internacional** y **estimular procesos de innovación urbana** centrados en datos abiertos, promoviendo una toma de decisiones más informada, inclusiva y orientada al desarrollo sostenible. Adicionalmente, se considera la posibilidad de compartir los resultados de esta investigación con los departamentos de estadística e innovación de ambas ciudades, lo que podría fortalecer sus iniciativas actuales y futuras en materia de datos abiertos.

Tabla 2. Diccionario de datos propuesto para Medellín.

Ciudad	Aspecto	Nombre del Dataset	Descripción	Variables Principales	Formato	Enlace	Observaciones
Medellín	Calidad Ambiental	Análisis de riesgo por contaminación del aire	Análisis ambiental y epidemiológico entre 2008-2015	Calidad del aire, efectos en salud	CSV	Link	Enfoque preventivo, datos históricos
		Control de emisiones en fuentes móviles	Mediciones realizadas en operativos en vía pública	Resultados de mediciones, tipo de vehículo, contaminantes	CSV	Link	Datos útiles para políticas de control vehicular
	Gestión Energética	Tarifas para Servicios de Energía - EPM	Información sobre tarifas de energía eléctrica	Estrato, tarifa, cargo fijo, cargo variable, nivel de tensión	CSV	Link	Incluye esquemas de subsidios
	Movilidad Sostenible	Estaciones EnCicla – Área Metropolitana del Valle Aburrá	Ubicación y características de estaciones EnCicla	Nombre estación, latitud, longitud, municipio	XLSX	Link	Datos actualizados
		Afluencia metro Medellín	Registros de afluencia de pasajeros del sistema Metro	Estación, fecha, número de pasajeros	XLSX	Link	Utiliza estructura GTFS
		Accidentalidad Valle de Aburrá	Reportes de accidentes de tránsito entre 2015 y 2018	Fecha, tipo de accidente, ubicación, lesionados	CSV	Link	Cobertura multianual, enfoque Medellín

Tabla 3. Diccionario de datos propuesto para Taipéi.

Ciudad	Aspecto	Nombre del Dataset	Descripción	Variables Principales	Formato	Enlace	Observaciones
Taipéi	Calidad Ambiental	Mediciones de calidad del aire en Taipéi	Registros de contaminantes en zonas urbanas	PM2.5, PM10, SO ₂ , NO ₂ , AQI	CSV	Link	Información útil para análisis espacial
		Índice de calidad del aire (AQI) por estación de monitoreo	Registro horario del AQI por estación	Estación, AQI, hora	CSV	Link	Datos de alta frecuencia
	Gestión Energética	Consumo mensual de electricidad por industria	Consumo eléctrico por sectores industriales	Sector industrial, consumo mensual	CSV	Link	Eficiencia energética industrial
		Energía renovable de Taiwan Power Company	Instalaciones de energía renovable	Nombre, modelo, capacidad, dirección	CSV	Link	Análisis de infraestructura sostenible
	Movilidad Sostenible	Mapa de lugares de accidentes de tráfico	Datos georreferenciados de accidentes en la ciudad	Coordinadas, tipo de accidente, víctimas, fecha y hora	CSV	Link	Estudios de seguridad vial
		Datos de accidentes de tráfico en Nueva Taipéi	Accidentes con información sobre lesionados y fechas	Fecha, tipo de accidente, edad de lesionados	CSV	Link	Complemento para análisis regional
		Entradas y salidas de la estación MRT de Taipéi	Serie temporal de afluencia en estaciones MRT	Fecha, estación, número de entradas/salidas	CSV	Link	Modelar patrones de movilidad urbana

Capítulo 4. DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1 Planificación del proyecto

Se presenta en este apartado el **cronograma de trabajo** y descripción de **actividades propuestas** desde el anteproyecto, para el desarrollo de este estudio, comprendido entre Marzo y Octubre del 2025 (ver en anexos tabla 1). A través de la revisión exhaustiva de la literatura, así como el análisis de datos (**datasets de alta calidad**) provenientes de entidades gubernamentales y organizaciones especializadas en la recolección de información, se realiza un análisis comparativo entre las ciudades de Taipéi y Medellín, en el marco de las Open Cities. Los conjuntos de datos utilizados incluyen fuentes que fueron seleccionadas por su relevancia temática, **formato accesible (CSV & Excel)**, **disponibilidad pública** y **nivel de actualización**. La información obtenida permitió construir una base sólida para el análisis comparativo; aquí una breve descripción de los datasets utilizados, respaldada por el diccionario de datos incluida en el apartado anterior:

Tabla 4. Fuentes de datos por ciudad - Medellín:

Nombre del Recurso	Breve Descripción	Formato
Análisis de riesgo por contaminación del aire	Análisis ambiental y epidemiológico entre 2008-2015	CSV
Control de emisiones en fuentes móviles	Mediciones realizadas en operativos en vía pública	CSV
Tarifas para Servicios de Energía - EPM	Información sobre tarifas de energía eléctrica	CSV
Estaciones EnCicla – Área Metropolitana del Valle Aburrá	Ubicación y características de estaciones EnCicla	XLSX
Afluencia metro Medellín	Registros de afluencia de pasajeros del sistema Metro	XLSX
Accidentalidad Valle de Aburrá	Reportes de accidentes de tránsito entre 2015 y 2018	CSV

Este análisis busca evidenciar cómo el uso estratégico de los datos ha permitido que ambas ciudades avancen significativamente gracias a una toma de decisiones más informada y eficiente. Este enfoque se centra en tres dimensiones clave de impacto: calidad ambiental, gestión energética y movilidad sostenible.

Tabla 5. Fuentes de datos clave por ciudad – Taipéi:

Nombre del Recurso	Breve Descripción	Formato
Mediciones de calidad del aire en Taipéi	Registros de contaminantes en zonas urbanas	CSV
Índice de calidad del aire (AQI) por estación de monitoreo	Registro horario del AQI por estación	CSV
Consumo mensual de electricidad por industria	Consumo eléctrico por sectores industriales	CSV
Energía renovable de Taiwan Power Company	Instalaciones de energía renovable	CSV
Mapa de lugares de accidentes de tráfico	Datos georreferenciados de accidentes en la ciudad	CSV
Datos de accidentes de tráfico en Nueva Taipéi	Accidentes con información sobre lesionados y fechas	CSV
Entradas y salidas de la estación MRT de Taipéi	Series temporales de afluencia en estaciones MRT	CSV

Los datos recolectados para este proyecto han sido tratados y procesados aplicando la metodología aprendida en el Máster de Big Data, lo que garantiza una orientación rigurosa tanto en la redacción de esta memoria como en la obtención de resultados relevantes. El flujo de trabajo se estructuró conforme al ciclo de vida de los datos, abarcando las siguientes etapas:

- 1. Adquisición de datos:** Se implementó un proceso de recolección sistemática a partir de los portales de datos abiertos de Taipéi y Medellín. Se priorizó la trazabilidad, verificando metadatos como fecha de actualización, frecuencia de recolección y nivel de detalle de los datos. Los datasets fueron tomados en formatos interoperables, principalmente en CSV, y almacenados, localmente en un entorno estructurado para el análisis posterior.
- 2. Limpieza y preprocesamiento:** se aplicaron técnicas de data wrangling (transformación y limpieza) utilizando **Python (Pandas y Numpy)**, donde se eliminaron duplicados, se trajeron los valores faltantes y outliers, mediante reglas de validación definidas por el dominio (por ejemplo, rangos válidos de PM2.5 o de consumo energético por sector). Las variables categóricas fueron codificadas (a través del método de **one-hot encoding**), y las unidades fueron estandarizadas para permitir comparaciones entre ambas urbes. Como parte de la transparencia y la reproducibilidad, se incluye en cada visualización un enlace al código fuente en **GitHub**, el cual respalda esta investigación y permite su verificación.

3. **Transformación y enriquecimiento de datos:** se realizaron operaciones de agrupación de datos por periodo, y segmentación temática. Adicionalmente, se integraron fuentes complementarias a través de combinación de datos relacionados, asignando claves y formatos para evitar inconsistencias semánticas. En los casos necesarios, se aplicaron técnicas de normalización y escalado (Min-Max Scaling, Z-score) para homogeneizar los valores.
4. **Visualización y comunicación de resultados:** La información procesada fue visualizada mediante el uso de librerías como matplotlib, seaborn y plotly, con las cuales se generaron gráficos comparativos, de barras, de dispersión y series temporales. Estas visualizaciones permitieron identificar tendencias y contrastes significativos entre Medellín y Taipéi en cada una de las tres dimensiones de análisis. Todas las gráficas presentadas en este trabajo han sido elaboradas por la autora, a partir de datos obtenidos de fuentes oficiales, utilizando herramientas de análisis y visualización propias.
5. **Validación y documentación del proceso:** Se mantuvo una trazabilidad de las transformaciones aplicadas a través de notebooks en Colab, y se documentaron los criterios de selección, limpieza y transformación, en conformidad con las buenas prácticas de gobierno del dato. Esto asegura la transparencia del análisis y la estandarización metodológica.

Este enfoque técnico y metodológico, permitió garantizar la calidad del dato, la robustez del análisis y la validez de las conclusiones obtenidas. Así mismo, la aplicación integral de técnicas de procesamiento de datos ha sido clave para extraer valor a partir de las fuentes abiertas, mencionadas a comienzo de este capítulo, en un contexto de análisis comparativo internacional.

4.2 Descripción de la solución, metodologías y herramientas empleadas

4.2.1 Enfoque del estudio

Este trabajo adopta un enfoque comparativo y descriptivo, centrado en las ciudades Medellín y Taipéi, reconocidas por su experiencia en el uso de datos abiertos. Se emplea una combinación de **métodos cuantitativos** como, **análisis estadístico descriptivo**, comparación de indicadores normalizados, y la visualización de datos a través de gráficos multivariados y series temporales, a partir del análisis de datasets urbanos. Estos se complementan con métodos cualitativos, mediante la revisión documental de políticas públicas relacionada con la sostenibilidad urbana.

4.2.2 Criterios de comparación

El análisis comparativo del uso de datos abiertos en **Medellín y Taipéi** se articula en torno a tres ejes temáticos fundamentales: calidad ambiental, gestión energética y movilidad sostenible. En cada uno de los ejes, se establecen criterios específicos que permiten evaluar no solo la disponibilidad de datos, sino también la aplicación en iniciativas urbanas concretas.

Para el caso de la **calidad ambiental**, se comparan los tipos de contaminantes monitoreados, la frecuencia de medición, el número de estaciones activas y la integración de estos datos en alertas tempranas. Para la **gestión energética**, el análisis considera el nivel de desagregación de los datos de consumo, por sector, distrito o tipo de fuente, su uso en programas de eficiencia energética y el grado de apertura de la información tarifaria. En el eje de **movilidad sostenible**, se estudian los datos sobre tráfico, transporte público, y uso de otros modos alternativos, como bicicletas públicas, que han sido utilizados para rediseñar rutas y dar incentivos.

Esta comparación se centra en el uso de indicadores derivados del **conjunto de datasets** analizados, documentos estratégicos urbanos y evidencia de políticas implementadas. El propósito es demostrar que no solo son accesibles al público, sino que también están siendo altamente utilizados para una toma de decisiones más precisa, optimizar recursos y promover sistemas urbanos más sostenibles. Las experiencias de ambas ciudades ofrecen resultados concretos de cómo la apertura de datos puede ser una herramienta de gestión pública clave, con impacto medible en la planificación urbana

4.2.3 Métodos y herramientas de análisis

Para el análisis de los datos abiertos en Medellín y Taipéi, se utilizan herramientas como **Power BI** y **Python** para el procesar y visualizar los datos obtenidos. Todo el código fuente utilizado para este estudio se encuentra disponible públicamente en un **repositorio de GitHub** [1] garantizando la transparencia y la reproducibilidad de la investigación. Las actividades se desarrollan en tres fases:

- **Exploración de los datos:** se asegura la calidad de los datasets mediante técnicas de depuración y preprocesamiento, incluyendo el tratamiento de valores nulos, la estandarización de unidades de medida (por ejemplo, kWh, $\mu\text{g}/\text{m}^3$, km recorridos), la homogenización de formatos de fechas y la codificación de variables categóricas. Para asegurar la comparabilidad de indicadores, como la concentración de contaminantes, se aplicó la técnica de normalización **Min-Max Scaling**, que transforma los valores a un rango de [0, 1]. Por ejemplo, las mediciones de PM2.5 de Taipéi y Medellín, que pueden tener rangos muy diferentes, fueron escaladas para permitir una comparación directa de la calidad del aire entre ambas ciudades, independientemente de la magnitud de los valores originales.

- **Análisis comparativo de los datos:** Se lleva a cabo una evaluación sistemática de las métricas clave para cada eje temático del estudio (ambiental, energético y de movilidad), utilizando indicadores que permiten comparaciones entre ciudades, a pesar de diferencias estructurales entre los datasets. Se realiza la comparación a través de:
 - **Variables equivalentes:** es el caso de la concentración de contaminantes, consumo energético per cápita y viajes diarios de acuerdo con el modo de transporte.
 - **Agrupación temporal y geográfica:** se aplican técnicas de agregación que permiten ajustar los datos de ambas ciudades por año y unidad territorial comparable, como, por ejemplo, distrito o zona.
 - **Análisis de tendencia y variaciones:** mediante estadística descriptiva y visualizaciones comparativas permiten observar similitudes y diferencias significativas entre ambas ciudades.
- **Síntesis de datos:** Se generan diferentes tipos de gráficos, líneas de tendencia y tablas resumen utilizando Power BI, la librería de matplotlib, y seaborn en Python, lo que facilita la interpretación de los resultados, resalta patrones clave y respalda las conclusiones del estudio.

4.2.4 Método de evaluación

Con fines de obtener una comprensión más clara y concisa del proceso de evaluación propuesto en este estudio, a continuación, se presenta una infografía que ilustra las fases y componentes clave del método, ver figura 4. Esta **presentación visual** detalla el análisis de los ejes de estudio principales que son propuestos en este estudio, las relaciones entre los datos abiertos y las políticas públicas, la identificación de buenas prácticas y la evaluación del impacto ciudadano, como elementos fundamentales para evaluar la implementación de Open Cities en las ciudades estudiadas.

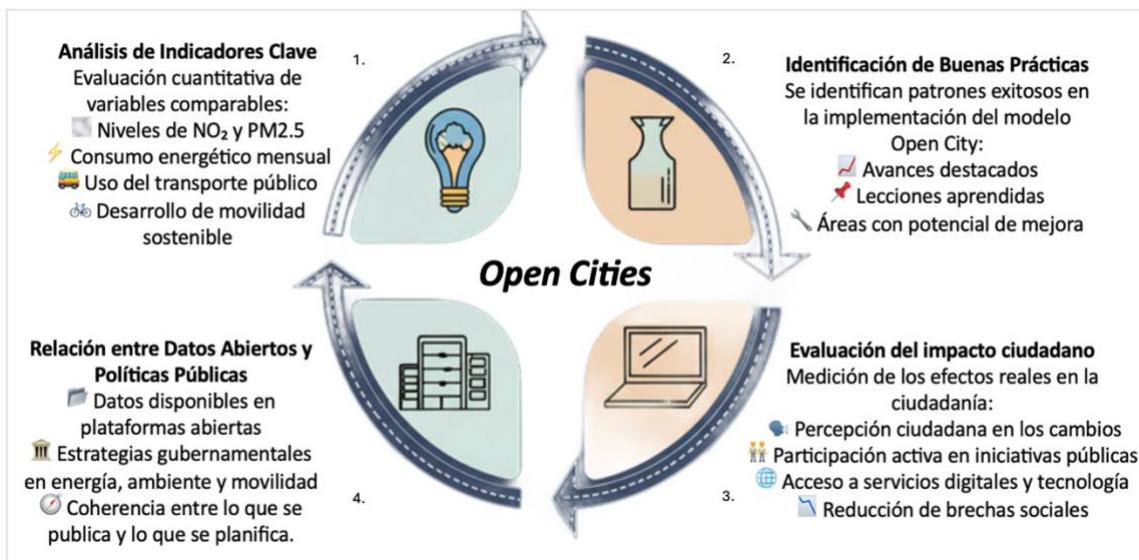
4.3 Recursos requeridos

Para el desarrollo del presente estudio se han requerido fuentes de datos abiertos al público como bibliografía especializada que han permitido abordar el análisis desde enfoques cualitativos y cuantitativos. A continuación, se destacan los recursos utilizados, cuyos enlaces web específicos se encuentran detallados en el Anexo de Referencias de Datos y Fuentes Documentales.

4.3.1 Plataformas de Datos Abiertos (análisis cuantitativo)

Las siguientes fuentes ofrecen una serie de datasets descargables y asequible al público en formatos como CSV y JSON que permiten evaluar indicadores relacionados con calidad ambiental, gestión energética y movilidad sostenible.

Figura 4. Proceso de Evaluación Propuesto para el Estudio de Open Cities.



- **Datos Abiertos Medellín:** Portal de datos abiertos del Departamento de Planeación de Medellín. Contiene información sobre movilidad, calidad del aire servicios públicos y desarrollo urbano.
- **GeoMedellín – Datos Abiertos:** Plataforma de datos geográficos abiertos que permite visualizar y descargar información territorial sobre urbanismo, medio ambiente, transporte, infraestructura, entre otros.
- **Taipei Open Data Platform:** Plataforma oficial de datos abiertos del gobierno de Taipéi, con información sobre transporte, sostenibilidad, gobernanza digital y calidad ambiental.

4.3.2 Fuentes Documentales (análisis cualitativo)

Para el análisis cuantitativo, se han empleado **documentos estratégicos y literatura académica** que permiten contextualizar y enriquecer la interpretación de los datos. Estas fuentes aportan excelentes marcos teóricos, modelos de referencia y casos de estudio que facilitan una comprensión más profunda de las estrategias de ciudad inteligente en Medellín y Taipéi:

- **Medellín Ciudad Inteligente:** Estrategia integral de transformación digital orientada a la eficiencia urbana, la sostenibilidad y la innovación ciudadana. Esta fuente se utiliza para comprender la visión oficial de Medellín sobre su desarrollo como ciudad inteligente, así como para identificar proyectos clave relacionados con movilidad, energía y medio ambiente.
- **Ruta N Medellín:** Centro de innovación y emprendimiento que promueve el desarrollo de una economía basada en el conocimiento. Se emplea como evidencia del ecosistema de innovación local, y para analizar cómo se vinculan las tecnologías con las propuestas de sostenibilidad urbana que propone Medellín.
- **Informe Especial 24/2023 – Ciudades Inteligentes (UE):** Estudio del Tribunal de Cuentas Europeo sobre el uso de tecnologías para alcanzar objetivos urbanos sostenibles y digitales. Esta fuente permite hacer un contraste de las estrategias locales con los desafíos más comunes entre ciudades europeas, ofreciendo un marco comparativo y de evaluación crítica.
- **Urban Sustainability Framework – Banco Mundial:** Documento guía para evaluar e implementar políticas de sostenibilidad urbana. Se utiliza como marco metodológico para identificar dimensiones que sean claves para la sostenibilidad urbana y dar una guía al análisis de políticas públicas en ambas ciudades estudiadas.

4.3.3 Perfil Social y demográfico de Medellín y Taipéi:

Con el fin de dar mayor comprensión a los datos estadísticos y gráficos incluidos en esta investigación, es fundamental ofrecer una visión general de los **principales indicadores sociales y demográficos** de la ciudad de Medellín (Colombia) y Taipéi (Taiwán). Estas características influyen directamente en la creación e impacto de las políticas públicas en calidad ambiental, movilidad sostenible y gestión energética como parte de un crecimiento urbano sostenible.

Medellín (Colombia):

Según el **Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)**, para el año 2023 Medellín contaba con una población estimada de 2,6 millones de habitantes. El área metropolitana del Valle de Aburrá, que incluye municipios como Envigado, Itagüí y Bello, abarca cerca de 380 km² y presenta una densidad poblacional superior a los 6.800 habitantes por kilómetro cuadrado. A pesar de los avances en desarrollo urbano, el DANE reporta que Medellín aún enfrenta desafíos en materia de **pobreza e inequidad**, con un índice de pobreza multidimensional del 12,1 % en 2022.

Por otro lado, según datos de la Alcaldía de Medellín, la estructura etaria de la ciudad está conformada mayoritariamente por población joven y adulta entre los 20 y 44 años. Asimismo, de acuerdo con el **Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC)**, Medellín ha logrado avances significativos en educación técnica y superior, así como en la digitalización de servicios públicos, impulsados por el crecimiento sostenido del acceso a internet, especialmente en las zonas urbanas.

Taipéi (Taiwán):

Por su parte de acuerdo a datos obtenidos para el 2023 del Gobierno de Taipéi, la ciudad tenía una población estimada de 2,5 millones de habitantes, distribuidos en una área urbana de aproximadamente de 272 km² lo que representa una densidad superior a los 9.000 habitantes por kilómetro cuadrado. A diferencia de Medellín, Taipéi atraviesa un proceso de **envejecimiento poblacional** acelerado: más del 20 % de su población tiene 65 años o más, cifras obtenidas del Ministerio del Interior de Taiwán.

Taipéi se distingue por un sistema educativo altamente competitivo, con una fuerte inversión en ciencia, tecnología e innovación. Además, Taipéi se considera una ciudad altamente digitalizada, con infraestructura tecnológica avanzada y acceso generalizado a internet, como lo refleja el **programa Digital Nation and Innovative Economic Development** desarrollado en 2022.

Las diferencias en estructura poblacional, nivel educativo, conectividad y acceso a internet, y su contexto económico condicionan la manera en que cada ciudad adopta e implementa políticas de una ciudad inteligente. Mientras Medellín enfrenta desafíos relacionados con inclusión y equidad social, Taipéi se posiciona como una ciudad altamente tecnológica, pero con nuevos retos derivados del envejecimiento de su población. Estas variables son importantes para interpretar correctamente los indicadores presentados en los apartados posteriores.

4.4 Presupuesto

El presente capítulo detalla la **estimación económica** del proyecto considerando tanto recursos materiales como el tiempo de trabajo invertido (ver tabla 6). Se ha valorado cada componente en euros para reflejar su coste real aproximado si se ejecutara en un contexto profesional, teniendo en cuenta el mercado colombiano, pero trasladado al valor en euros para efectos de estandarización. El mayor coste estimado corresponde al tiempo dedicado, seguido por el uso de equipo técnico. Todos los softwares utilizados son de acceso gratuito, por lo que no generan un gasto adicional. Asimismo, se incluyen costos indirectos como conectividad y electricidad, calculados proporcionalmente al tiempo estimado de dedicación.

Tabla 6. Presupuesto detallado de la investigación (en Euros).

Tipo de coste	Valor estimado (€)	Comentarios
Horas de trabajo en el proyecto	4.000 € (200 h x 20 €/h)	Estimación de 200 horas totales dedicadas por la autora al desarrollo del proyecto, incluyendo investigación, análisis de datos, redacción y visualización.
Equipo técnico utilizado	1.000 €	Portátil personal con características adecuadas para análisis de datos (16 GB RAM, SSD, procesador i7). Se calcula valor aproximado de mercado.
Software utilizado	0 €	Todo el software utilizado es de código abierto o gratuito: Python, Google Colab, Power BI (versión gratuita), LibreOffice, GitHub.
Estudios e informes	0 €	Todos los documentos y fuentes utilizados han sido de libre acceso (repositorios públicos, literatura académica en línea, portales de datos abiertos).
Materiales empleados	0 €	No se han utilizado materiales físicos adicionales.
Conectividad y servicios digitales	120 €	Estimación de costo mensual de internet (20 € aprox. al mes por 6 meses, equivalente al costo promedio en Colombia).
Electricidad y servicios básicos	60 €	Estimación simbólica de consumo energético del equipo durante el tiempo de trabajo (equivalente aproximado a 10 €/mes por 6 meses).
Presupuesto total estimado:	5.180 €	

4.5 Resultados del proyecto.

En este apartado se presentan los **resultados obtenidos** tras un proceso de búsqueda riguroso el cual incluye el procesamiento técnico, el análisis crítico y visualización de los datos recopilados a través de los diversos portales oficiales. Este estudio se ha estructurado en torno a los tres ejes principales de proyecto: Calidad Ambiental, gestión energética y movilidad sostenible. El análisis se desarrolla de forma independiente para las ciudades de Medellín (Colombia) y Taipéi (Taiwán), de acuerdo con los objetivos específicos definidos.

Para cada eje temático, se exponen los hallazgos más relevantes derivados del tratamiento del conjunto de datos seleccionados, así como las observaciones técnicas sobre la calidad, disponibilidad y estructura de la información utilizada en este análisis. Este apartado tiene un carácter descriptivo e informativo, y su propósito es documentar los resultados tal como fueron extraídos y procesados, sin entrar aún en análisis críticos ni comparativos, los cuales se abordarán en el siguiente capítulo.

4.5.1 Calidad Ambiental

Taipéi

El análisis de la calidad ambiental en Taipéi se apoya en dos fuentes principales: el Dataset del **Índice de Calidad del Aire (AQI)** por estación de monitoreo (2025) que mide la calidad del aire que se obtiene en diferentes momentos del día, y el Dataset Taipei City Air Pollution (2020), que permite observar la evolución histórica de los principales contaminantes atmosféricos en relación con variables urbanas, como la seguridad vial o la actividad vehicular.

En primer lugar, es importante señalar que AQI se utiliza como una medida utilizada para estimar los niveles de contaminación del aire y su posible impacto en la salud pública, y sigue los estándares internacionales de la **Organización Mundial de la Salud (OMS)** y agencias ambientales como la Environmental Protection Administration de Taiwán (EPA Taiwán). Las categorías de AQI, por sus siglas en inglés Air Quality Index [22], son estándares internacionales que agrupan los niveles de calidad del aire de acuerdo con los efectos que tienen sobre la salud humana.

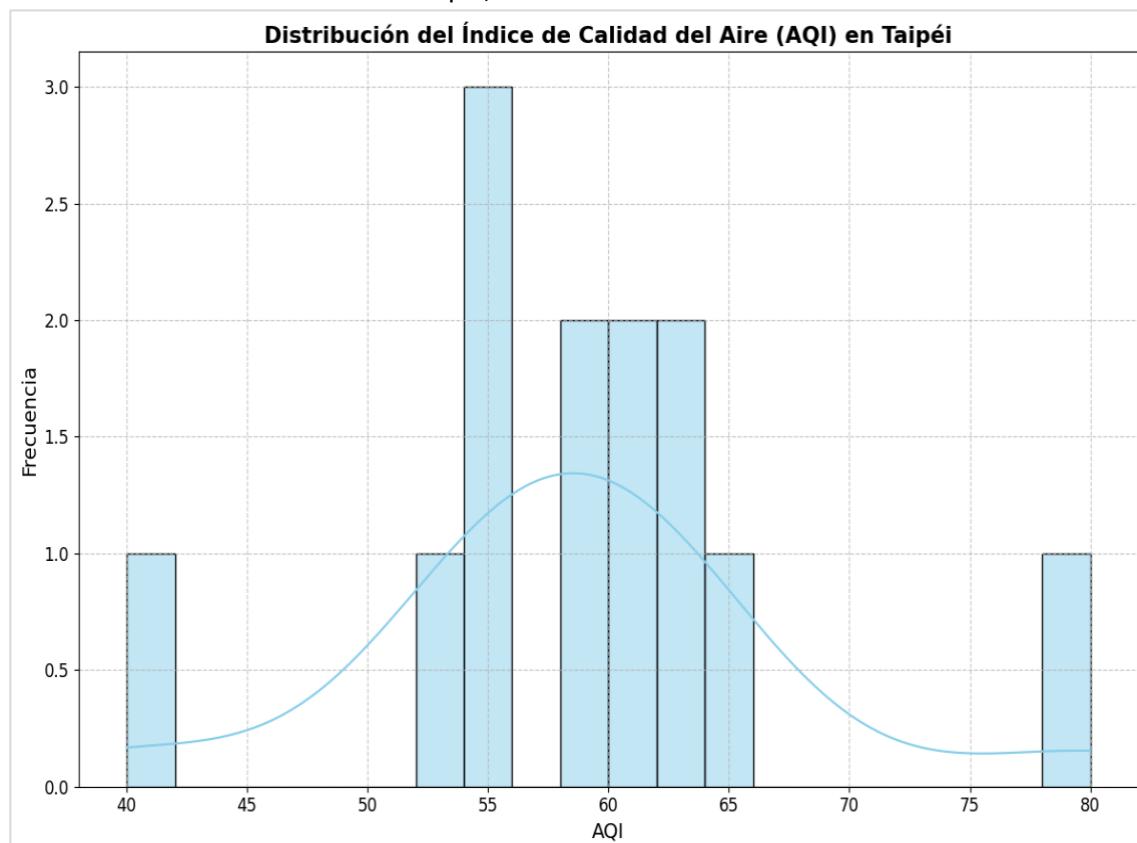
Generalmente, se dividen de la siguiente manera:

- **Buena (0–50):** El aire se considera saludable y seguro para toda la población.
- **Moderada (51–100):** La calidad del aire es aceptable; sin embargo, puede causar efectos leves en personas especialmente sensibles, como niños, ancianos o personas con enfermedades respiratorias.
- **No saludable para grupos sensibles (101–150):** Las personas con afecciones preexistentes pueden experimentar síntomas, aunque el resto de la población probablemente no se vea afectada.
- **No saludable (151–200):** Toda la población puede empezar a experimentar efectos adversos para la salud, siendo más pronunciados en grupos vulnerables.

- **Muy no saludable (201–300):** Condiciones peligrosas para todos, con riesgos serios para la salud, especialmente tras exposiciones prolongadas.
- **Peligroso (más de 300):** Situación crítica que representa una emergencia sanitaria; todos los individuos pueden verse gravemente afectados.

Como se ilustra en el gráfico 1. los datos analizados revelan que la categoría del Índice de Calidad del Aire (AQI) predominante en las mediciones diarias en Taipéi es la **Moderada (51–100)**. En contraste, la categoría Buena (0–50) se registró con baja frecuencia y no se observaron mediciones que correspondieran a la categoría no saludable para grupos sensibles (101–150) o superiores dentro del rango de AQI presentando.

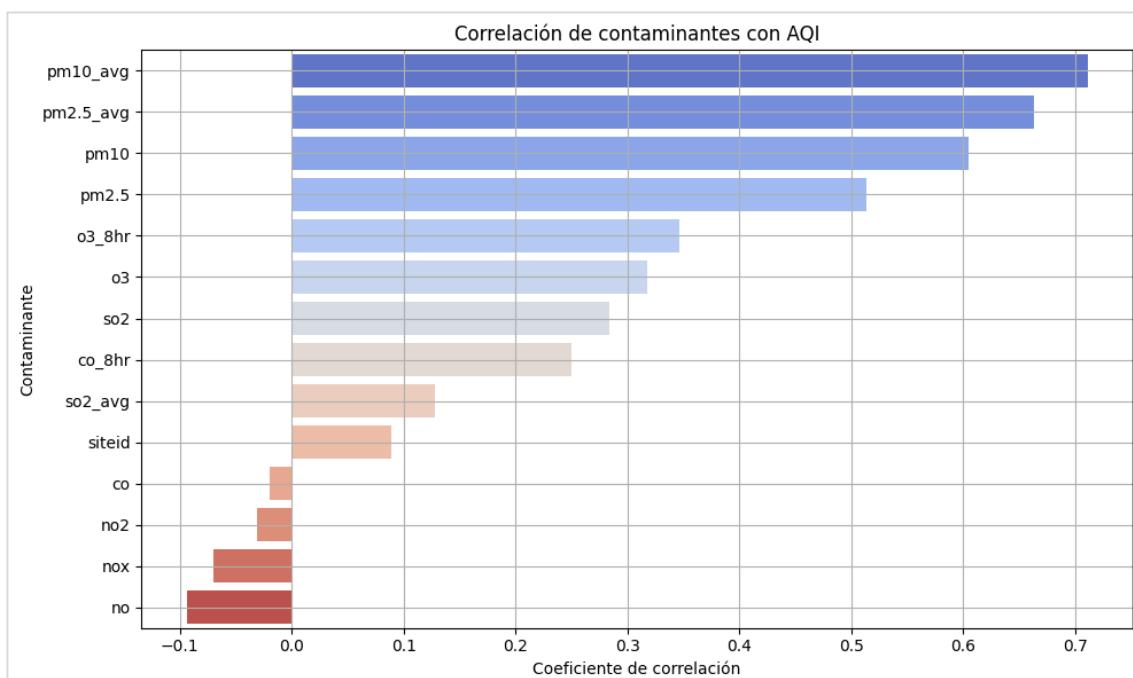
Gráfico 1. Distribución del AQI en Taipéi, 2025.



Frecuencia de valores diarios de AQI. La línea azul representa una función de densidad estimada (KDE). La mayoría de los registros se concentran en la categoría Moderada (51–100), lo que indica condiciones de calidad del aire generalmente aceptables. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Medio Ambiente de Taiwán [2].

Este patrón sugiere que, si bien la **calidad del aire** en general en la ciudad de Taipéi raramente alcanza niveles críticos de contaminación para la población en general, la presencia constante por día de niveles ‘Moderados’ genera preocupación respecto a sus efectos potenciales en la salud de los grupos sociales más vulnerables como niños, ancianos y personas con enfermedades respiratorias preexistentes.

Gráfico 2. Correlación de contaminantes con AQI, 2020.

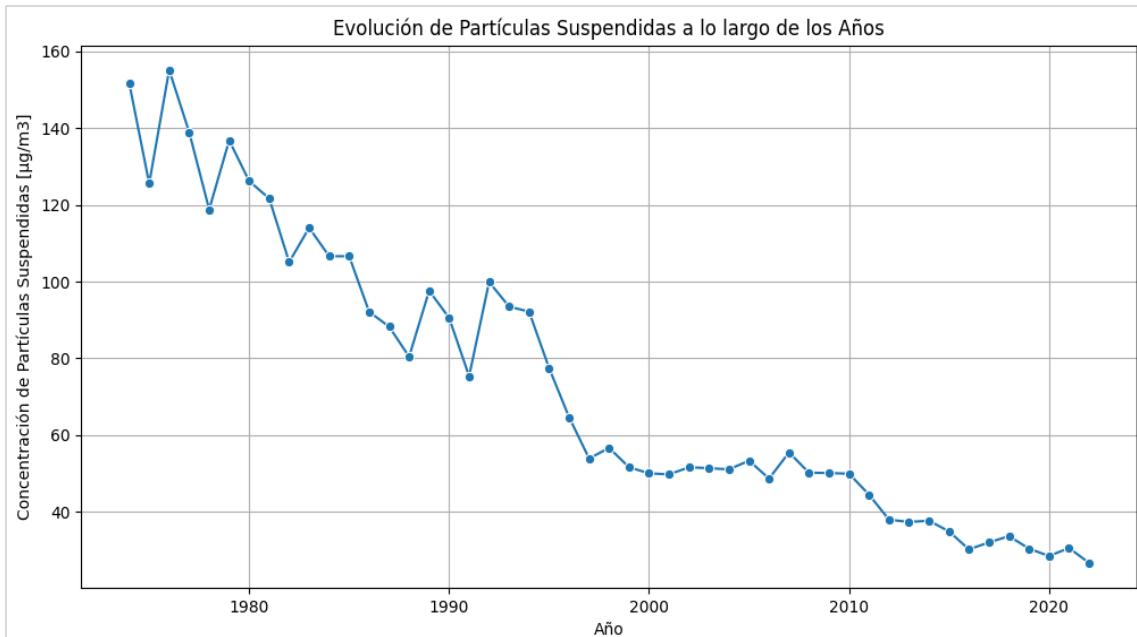


Correlación entre distintos contaminantes atmosféricos y el Índice de Calidad del Aire (AQI). Las partículas PM10 y PM2.5 presentan la correlación positiva más alta con el AQI, lo que indica su mayor impacto en el deterioro de la calidad del aire. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Medio Ambiente de Taiwán [3].

Por otro lado, según datos recolectados en 2020 por el **Departamento de Presupuesto, Contabilidad y Estadística (DBAS)** del Gobierno de la Ciudad de Taipéi, señalan que PM10 (partículas de diámetro menor a 10 micrómetros) y PM2.5 (partículas finas menores a 2.5 micrómetros) son los más influyentes en el valor del AQI. Ver gráfico 2.

Ambos contaminantes están fuertemente correlacionados entre sí (coeficiente de 0.77), lo que indica que suelen originarse de fuentes como el tráfico urbano, actividades industriales y de la quema de los combustibles fósiles. Este hallazgo va paralelo con los estudios de la OMS que identifican a estas partículas como las causantes de enfermedades respiratorias y cardiovasculares [23]. El segundo Dataset, Taipei City Air Pollution, proporcionó una visión más amplia de la trayectoria de contaminantes a través del tiempo, en él se observa una reducción significativa en las concentraciones de **PM2.5, NO2, CO y SO2** en los últimos años. Otros contaminantes como **CO** y **NO2** mostraron una menor influencia directa sobre el AQI, aunque siguen siendo relevantes en ciertas zonas o condiciones específicas (ver gráfico 3).

Gráfico 3. Evolución de Partículas suspendidas a lo largo de los años.



Evolución de la concentración anual promedio de partículas suspendidas en Taipéi (medidas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) desde 1974 hasta 2023, evidenciando una tendencia sostenida de disminución atribuible a políticas públicas de control de emisiones. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Departamento de Presupuesto, Contabilidad y Estadística [4].

Así mismo, se identificó una tendencia creciente en la **concentración de ozono (O_3)**, aunque los niveles siguen en un promedio de 22ppb aún se encuentran por debajo del límite de 50.96ppb, lo recomendado por la OMS. Esta tendencia está asociada a factores climáticos como la radiación solar en días más calurosos, que favorece la formación de ozono a partir de **óxidos de nitrógeno (NO_x)** y otros compuestos orgánicos; también refleja los cambios actividades propias de la ciudad como el tráfico urbano y actividades industriales [24].

Estos datos sugieren que las políticas medioambientales de Taipéi han tenido éxito en la reducción de contaminantes como **PM2.5 y CO**, pero deben seguir siendo fortalecidas frente a contaminantes secundarios como el ozono, cuya evolución merece especial seguimiento. La infraestructura tecnológica, como las redes de monitorización en tiempo real, es un activo clave para la ciudad en sus políticas de sostenibilidad urbana.

Medellín

En análisis de calidad ambiental de Medellín se aborda desde una perspectiva integral, basada en dos fuentes **principales de datos abiertos**: por un lado, el control de emisiones contaminantes en fuentes móviles, y por otro, el riesgo sanitario asociado a la exposición a contaminantes atmosféricos durante el periodo 2008–2015. Ambos análisis, permitieron identificar las principales fuentes del desgaste de la calidad del aire en la ciudad y los efectos en la salud pública.

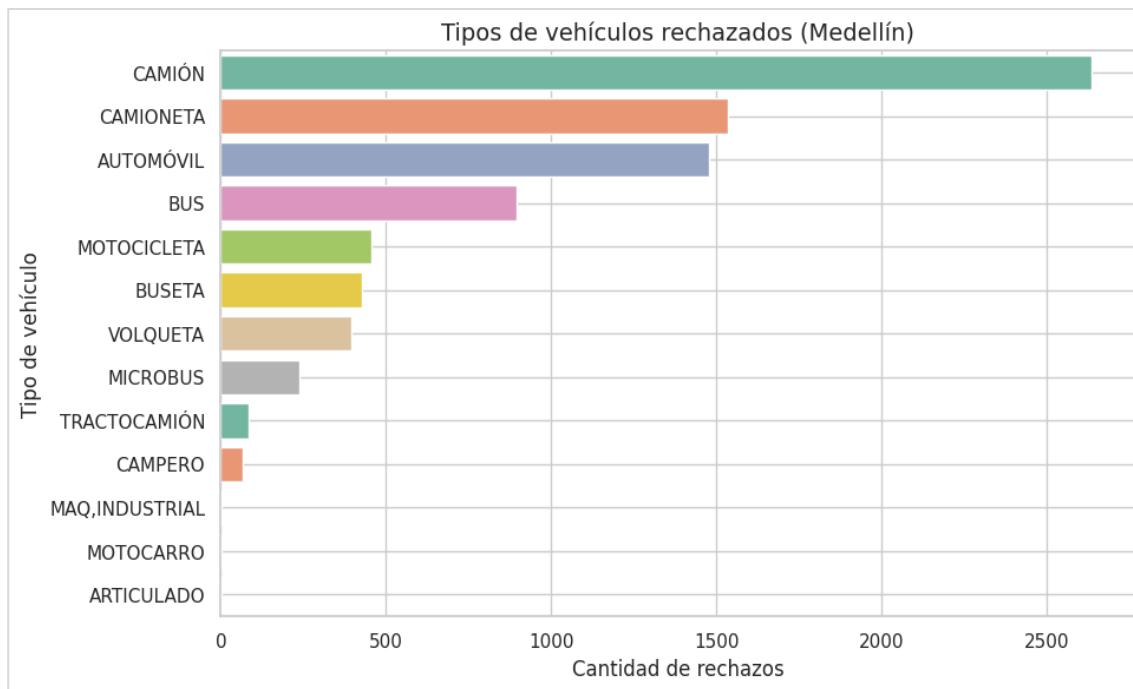
El primer análisis permite analizar los rechazos en las inspecciones técnicas ambientales de vehículos, clasificados por el tipo de combustible y tipo de vehículo y sus resultados concluyeron que los vehículos que presentaron el mayor número de rechazos (5,000 rechazos), fueron los vehículos con **motor diésel**, lo que evidencia una alta responsabilidad en la generación de emisiones contaminantes, ya que estos motores, especialmente los antiguos, presentan una combustión menos eficiente y emiten **partículas finas (PM)** y **óxidos de nitrógeno (NOx)** en concentraciones elevadas.

Así mismo, el análisis reveló que los vehículos con motor a gasolina presentaron alrededor de 2,500 rechazos y aquellos que usan **gas natural** mostraron una proporción mucho menor de rechazos, destacando este tipo de combustible como una alternativa limpia y sostenible para la calidad del aire y el medio ambiente. El gráfico 4. da una perspectiva del tipo de vehículo vs la cantidad de rechazos en las inspecciones técnicas ambientales. Te puede evidenciar que los camiones concentraron más de 2,500 rechazos, siendo estos los más contaminantes, debido a su gran tamaño antigüedad y uso frecuente del diésel.

Por otra parte, el gráfico muestra a su vez, que las camionetas superaron los 1,500 rechazos y los automóviles y motos, presentaron importantes resultados (alrededor de 2,500 rechazos), aunque en una proporción menor que los vehículos pesados. Estos hallazgos permiten confirmar que los vehículos pesados y los más antiguos se consideran una amenaza crítica para la calidad del aire urbano; tal como indica la **organización Panamericana de la Salud (OPS)**, el transporte basado en combustibles fósiles es una de las principales fuentes de material particulado y gases nocivos en las ciudades de América Latina [25].

Para el segundo análisis, se emplearon datos el periodo 2008–2015 para evaluar el impacto de los contaminantes en la salud pública, utilizando códigos diagnósticos del **CIE-10** [26]. Aquí, se estudia el riesgo promedio de enfermedades respiratorias que se asocian a la exposición a contaminantes atmosféricos, especialmente **PM2.5**, **PM10** y **O₃**; entre los resultados más importantes, se encontró que el grupo de la población con mayor riesgo fue las infecciones agudas de las vías respiratorias, con un riesgo promedio al 8%.

Gráfico 4. Tipos de vehículos con rechazos en las inspecciones técnicas ambientales, 2023.

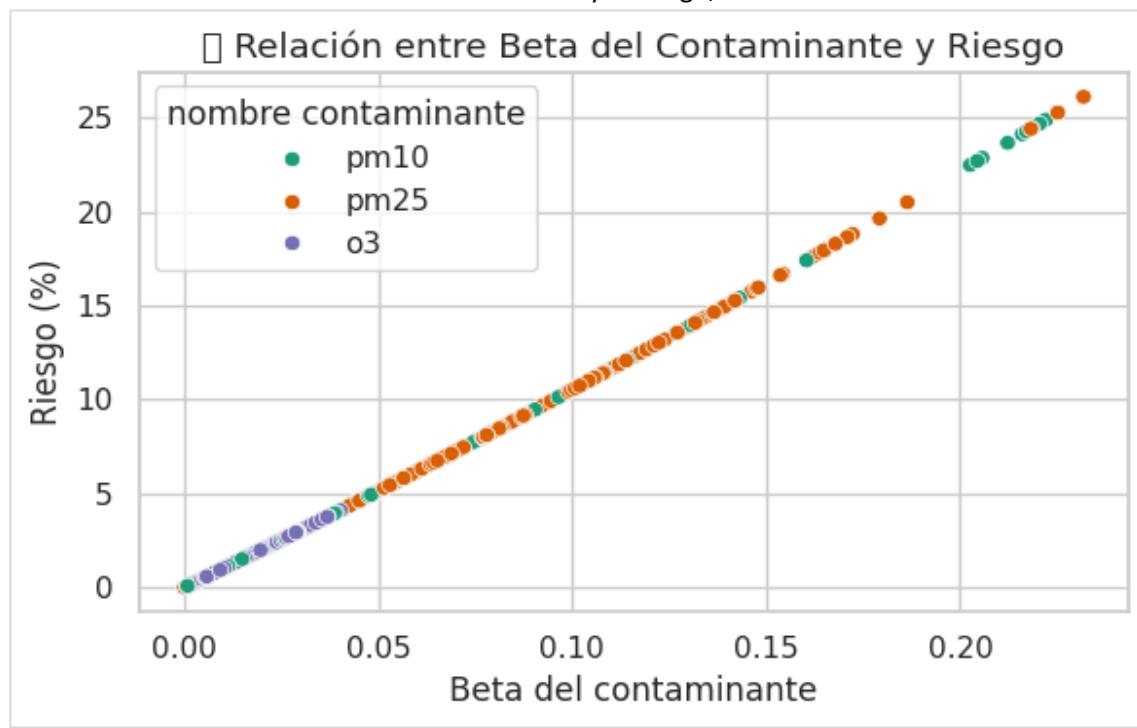


Cantidad de vehículos rechazados por tipo en las inspecciones técnicas ambientales realizadas en Medellín durante el año 2023. La longitud de cada barra indica el número de rechazos para el tipo de vehículo correspondiente. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Subdirección Ambiental de Medellín [5].

Así mismo, otros diagnósticos con alto riesgo incluyen enfermedades respiratorias superiores como la influenza y neumonía, e incluso enfermedades que afectan el oído medio, lo que indica un impacto directo de contaminación en la **salud respiratoria**. Respecto a los contaminantes, se pudo identificar que el PM2.5 fue el más perjudicial, que se asocia con un riesgo promedio superior al 9%; a su vez, el PM10 también mostró una fuerte relación (mayor al 6%) y el Ozono (O_3), aunque con un impacto menor, representa un riesgo casi del 3.5%, especialmente en condiciones de alta radiación solar y tráfico intenso.

El Gráfico 5 ilustra la relación entre **la beta del contaminante (β)** y el incremento porcentual del riesgo, donde el riesgo es un resultado directo de la aplicación de la fórmula $(e^\beta - 1) \times 100$. Esta representación visual confirma que un mayor valor de beta está intrínsecamente relacionado con un mayor porcentaje de riesgo. Este enfoque está alineado con las recomendaciones de la OMS sobre el uso de indicadores de salud pública para la gestión de calidad del aire [27]. A su vez, el hallazgo empírico radica en el valor de beta en sí mismo, el cual es el resultado de un modelo que evalúa el riesgo para la salud asociado con la exposición a contaminantes atmosféricos.

Gráfico 5. Relación entre Beta del contaminante y el riesgo, 2008 -2015.



Relación entre el valor Beta de diferentes contaminantes y el Riesgo asociado (en porcentaje). Cada punto representa una observación, diferenciada por color según el tipo de contaminante (pm10, pm25 y o3). Los datos corresponden al periodo entre 2008 y 2015. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Subdirección Ambiental de Medellín [6].

Esta asociación que ha sido respaldada por la **Organización Mundial de la Salud (OMS)**, reconoce una fuerte evidencia del vínculo que existe entre la exposición prolongada a contaminantes atmosféricos y el aumento de enfermedades respiratorias y afecciones que impactan negativamente las condiciones de salud. Además, los datos recolectados durante el año 2020, en medio de la pandemia por **COVID-19**, reflejan una mejora temporal en los niveles de calidad del aire como resultado de una reducción drástica de la movilidad urbana. Este fenómeno reafirma el papel determinante de las fuentes móviles en la contaminación atmosférica de Medellín, y refuerza la necesidad de estrategias estructurales para su mitigación.

4.5.2 Gestión Energética

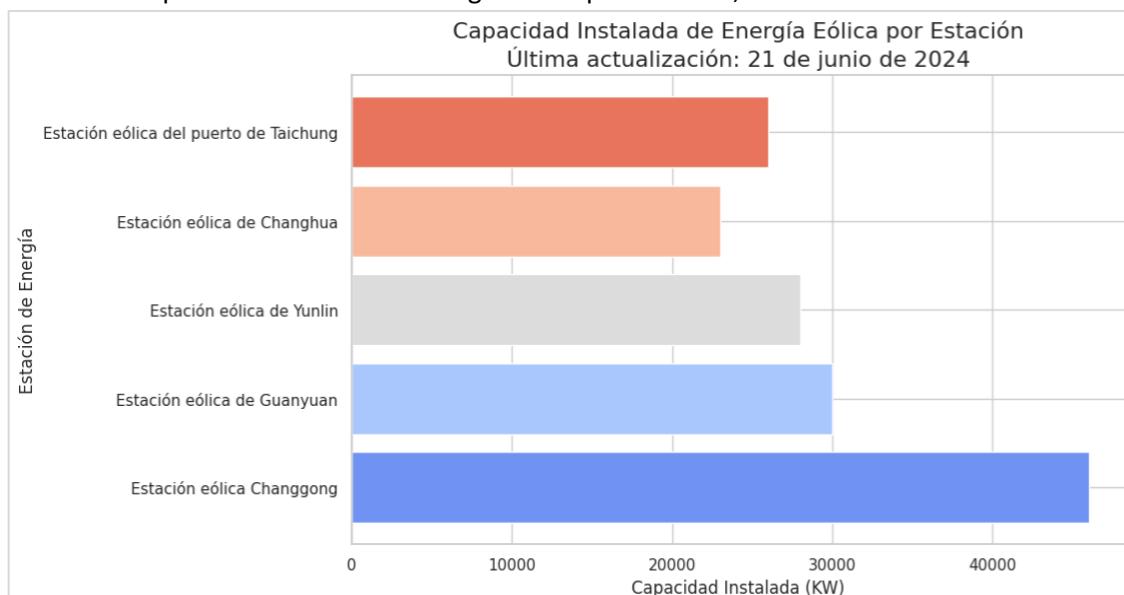
Taipéi

El eje de gestión energética en Taipéi es visto en este apartado desde dos perspectivas: por un lado, la infraestructura de energías renovables, centrada en la energía eólica; y por otro, el patrón de consumo eléctrico por sector económico, utilizando datos abiertos. Ambas fuentes de datos revelan **estrategias claras** de sostenibilidad energética y el uso inteligente de recursos en la ciudad. El primer conjunto de datos analizados corresponde a los sitios de generación de energía renovable, enfocándose principalmente en la energía eólica terrestre y marítima.

Por medio del procesamiento y visualización de estos datos usando Python y herramientas como pandas y matplotlib, se identificó que la mayor capacidad instalada proviene de estaciones eólicas terrestres, como lo es la Estación de energía eólica de Changgong y Guanyuan, que cuentan con capacidades de hasta **109,200 kW** y **46,000 kW**, respectivamente. Ver gráfico 6.

Aunque las estaciones eólicas marítimas presentan menores capacidades (entre 28,000 kW y 46,000 kW), su capacidad es estratégica para el futuro, considerando el acceso al litoral y las condiciones del entorno marino. La **infraestructura eólica terrestre** representa actualmente el eje central del desarrollo energético renovable en Taipéi, pero también el uso de fuentes marítimas más estables está siendo considerada activamente.

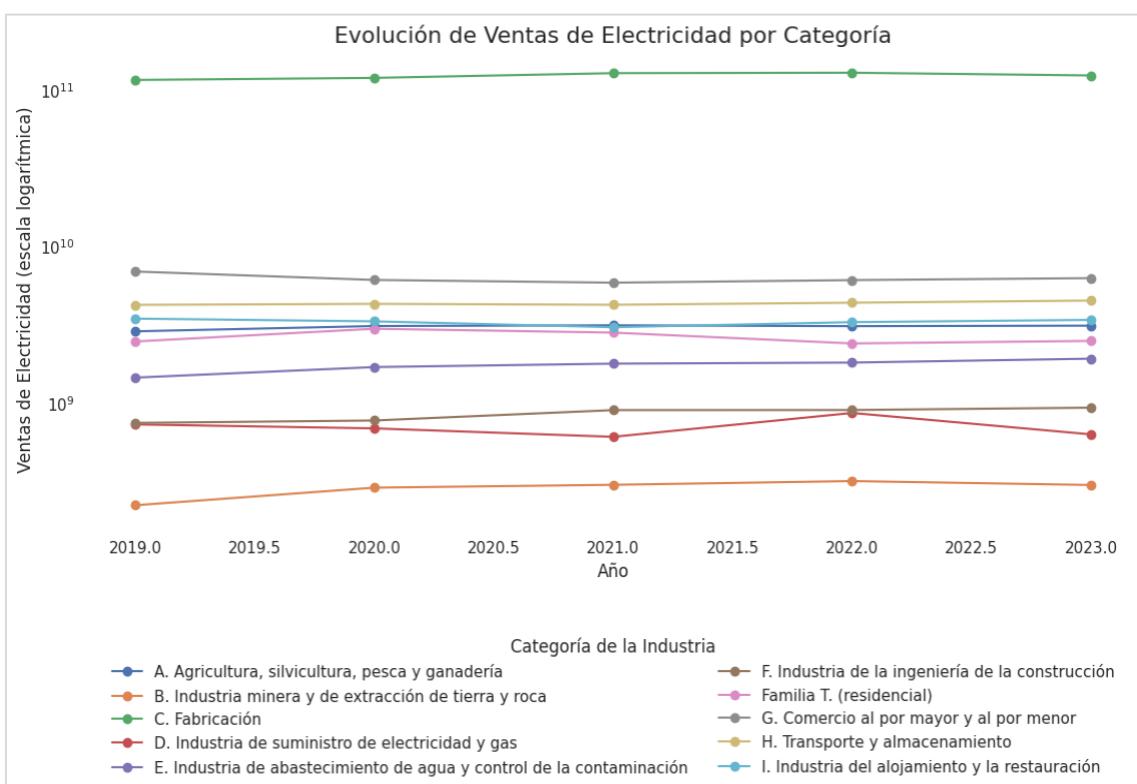
Gráfico 6. Capacidad Instalada de Energía eólica por Estación, 2024.



Capacidad instalada de energía eólica (expresada en Kilowatts, KW) para diferentes estaciones. Cada barra representa una estación eólica específica, y su longitud indica la capacidad instalada para el año 2024, según la última actualización disponible al 21 de junio de 2024. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Taiwan Power Company (Taipower) [7].

Este análisis demuestra cómo la apertura de **datos energéticos** promueve la toma de decisiones informadas tanto para el gobierno de Taiwán como para ciudadanos en Taipéi. Además, permite evaluar cómo está siendo distribuida territorialmente las fuentes de energía, ayudando a identificar zonas con mayor potencial, así como optimizar la generación distribuida y reducir la dependencia de fuentes contaminantes. Conforme a esto, estudios de la Agencia Internacional de Energías Renovables [28], señalan que el desarrollo de **infraestructura eólica** urbana y regional debe ser acompañado de inteligencia de datos y planificación climática urbana para garantizar eficiencia y resiliencia.

Gráfico 7. Evolución Ventas de Electricidad por Categoría, 2023.



Evolución anual de las ventas de electricidad desglosadas por diversas categorías de industria y el sector residencial, abarcando el periodo de 2019 a 2023. El eje vertical utiliza una escala logarítmica para representar las ventas de electricidad, facilitando la visualización de cambios proporcionales en el consumo de cada categoría a lo largo del tiempo. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Taiwan Power Company (Taipower) [8].

El segundo análisis se centró en los datos históricos de **consumo eléctrico** por categoría industrial (ver gráfico 7) revelando patrones importantes en sectores como la fabricación, que mostró consistentemente el consumo más alto, y la construcción, que mantuvo un nivel también significativo pero menor.

La variación mínima observada en el consumo de energía se debe a la naturaleza estructural de los sectores productivos: la industria de la fabricación y la construcción mantienen operaciones continuas y planificadas, lo que reduce la volatilidad del consumo interanual. Además, de acuerdo con los datos de la **Taiwan Power Company** (CEIC Data, 2024), los niveles de consumo en estos sectores han mostrado poca volatilidad en los últimos años, reflejando un comportamiento estable incluso frente a eventos globales como la pandemia por COVID-19.

Esta estabilidad es coherente con patrones energéticos de países con infraestructura consolidada, donde la eficiencia energética y la estabilidad industrial contribuyen a una **demandas eléctrica constante** en el tiempo. Es importante resaltar que, en este análisis, se aplicó una escala logarítmica en la visualización del gráfico 7, con el objetivo de mejorar la compresión de los sectores con bajo consumo, sin perder de vista el impacto a los sectores dominantes; con esta técnica se busca observar las diferencias más sutiles entre sectores pequeños que podrían quedar invisibilizados en una escala lineal tradicional.

Esta lectura de la tendencia energética, basada en datos abiertos, ha sido fundamental para evaluar la eficiencia energética por sector, crear incentivos por parte de las autoridades locales, así como regulaciones según el impacto energético de cada industria y proyectar la demanda energética futura que garantice la sostenibilidad para la ciudad. Esto, alineado con los principios de las ciudades inteligentes y sostenibles, promovidos por organismos internacionales como el **World Economic Forum** [29] y el **Green City Index de Siemens** [30].

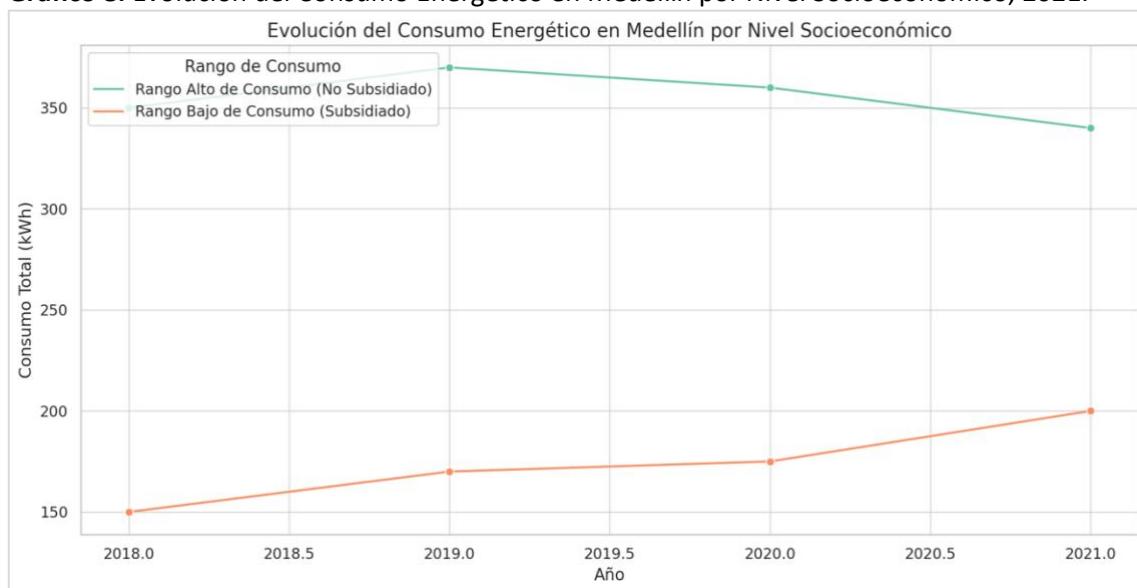
Medellín

La gestión energética de Medellín se analiza a partir de datos abiertos proporcionados por **Empresas Públicas de Medellín (EPM)**, enfocando el estudio en dos dimensiones claves y fundamentales para el análisis: la segmentación del consumo energético según niveles socioeconómicos (subsidiado y no subsidiado), y el comportamiento del consumo en períodos de Punta y Fuera de Punta. Estos dos enfoques, permiten entender como el consumo de electricidad está influenciado por factores económicos y sociales y cómo esta información ha sido utilizada para diseñar políticas energéticas focalizadas.

En primera instancia, al analizar los datos sobre el **consumo energético subsidiado** respecto al no subsidiado en la ciudad, se puede constatar una clara diferenciación en el consumo energético entre los hogares clasificados en rango bajo de consumo (subsidiado) correspondiente a los estratos 1, 2 y parte del 3 y aquellos en el rango alto de consumo (no subsidiado), que corresponde a los estratos 4, 5 y 6. Modelo que responde al sistema de tarifas colombiano regulado por la Ley 142 de 1994 [31], el cual otorga subsidios a los sectores de menores ingresos y cobra tarifas completas o con recargos a los de mayores ingresos.

El gráfico 8. de línea muestra una tendencia relativamente estable en el consumo del rango subsidiado entre 2017 y 2021, con algunas disminuciones en algunos años. En contraste, el consumo en el rango no subsidiado es más alto y variable. Este tipo de segmentación socioeconómica, visible gracias a los datos abiertos, permite al gobierno local evaluar la efectividad de los subsidios y **planificar campañas educativas** o técnicas en eficiencia energética adaptadas por estrato. Tal uso de datos públicos es un ejemplo claro de cómo una ciudad inteligente puede tomar decisiones basadas en evidencia, alineando la equidad social con la sostenibilidad energética [32].

Gráfico 8. Evolución del Consumo Energético en Medellín por Nivel Socioeconómico, 2021.



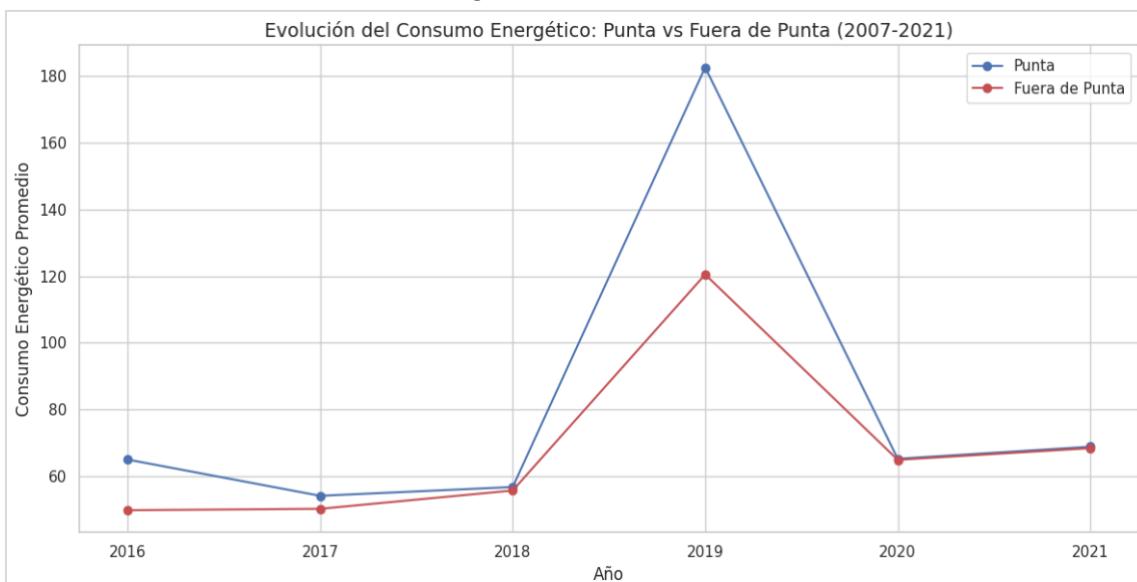
Evolución anual de las ventas de electricidad desglosadas por diversas categorías de industria y el sector residencial, abarcando el periodo de 2019 a 2023. El eje vertical utiliza una escala logarítmica para representar las ventas de electricidad, facilitando la visualización de cambios proporcionales en el consumo de cada categoría a lo largo del tiempo. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Empresas Públicas de Medellín (EPM) [9].

Sin embargo, la evolución del consumo energético en Medellín, particularmente en el segmento de bajo consumo (subsidiado), no puede analizarse de forma aislada a **los cambios sociales**. Si bien informes presentados como el de Proantioquia sobre el Estado de la Educación en Antioquia (2018-2021) o los datos de la fundación Exe (2024) revelan un aumento en la cobertura de la educación en Medellín y esfuerzos por disminuir las brechas, el consumo energético no es lineal. Este avance en términos educativos, que en teoría podría fomentar una mayor conciencia sobre la eficiencia energética, paradójicamente coincide con una tendencia al alza en el consumo del segmento subsidiado según el gráfico 8.

Esto sugiere que otros factores, como un aumento en la **capacidad adquisitiva** como consecuencia de una mejor formación educativa o un mayor acceso a adquirir electrodomésticos y otros dispositivos tecnológicos, podrían estar impulsando la demanda energética, en contraste a cualquier efecto de ahorro por conciencia ambiental. Además del análisis de consumo energéticos, es crucial considerar otros factores como la pobreza y las políticas de eficiencia energética. Durante este periodo analizado, Medellín sufrió cambios significativos en niveles de pobreza monetaria, con un fuerte aumento en 2020, cuando pasó del 24,4 % en 2019 al 32,9 %, según datos de **Medellín Cómo Vamos** (2020); aumento que estuvo relacionado a su vez, con los efectos de la pandemia del COVID-19 y posteriormente los niveles de pobreza empezaron a disminuir gradualmente.

A pesar de que las entidades como EPM, han promovido el uso eficiente de la energía mediante campañas educativas y programas de concientización, el hecho de que el consumo siga siendo alto, especialmente en los hogares que reciben subsidios, surgen dudas sobre la efectividad de estas estrategias. Esto indica que el diseño actual de los subsidios no genera un incentivo suficiente para **el ahorro y el acceso creciente** a bienes de consumo energético superan los mensajes de eficiencia, revelando la complejidad de influir en el comportamiento del consumo en contextos socioeconómicos vulnerables.

Gráfico 9. Evolución del Consumo Energético: Punta vs Fuera de Punta, 2021.



Evolución anual del consumo energético promedio, diferenciando entre los períodos de 'Punta' (horas de mayor demanda) y 'Fuera de Punta' (horas de menor demanda). Los datos corresponden al rango de años visible en el gráfico, de 2016 a 2021. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Empresas Públicas de Medellín (EPM) [10].

Otro componente fundamental de este análisis se centró en los **patrones de consumo** durante los períodos de Punta (alta demanda) y Fuera de Punta (baja demanda). Tradicionalmente, el periodo de Punta abarca entre las 6 p.m. y 10 p.m., mientras que el Fuera de Punta se extiende durante la madrugada o primeras horas del día. Los datos procesados y analizados mostraron un **patrón interesante**: el consumo Fuera de Punta es superior al de Punta en algunos años, comportamiento motivado por tarifas diferenciadas que incentivan el traslado del consumo a horarios con menor carga para la red eléctrica [33]. Este patrón se intensificó durante 2020, año en el cual se observó un comportamiento atípico con un aumento generalizado del consumo tal cual se observa en el gráfico 9.

Este fenómeno se relaciona directamente con las **condiciones de confinamiento** durante la pandemia por COVID-19, donde el teletrabajo, la permanencia en casa y el cierre de oficinas y establecimientos comerciales alteraron en gran medida la distribución del consumo energético urbano. Este hallazgo pone de manifiesto que eventos externos como pandemias, crisis climáticas o sociales pueden alterar la demanda energética, lo que representa tanto un desafío como una oportunidad para la planificación energética en ciudades inteligentes. Además, resalta la importancia de incluir variables contextuales en los modelos predictivos de demanda, algo posible gracias al uso combinado de Big Data y análisis temporal.

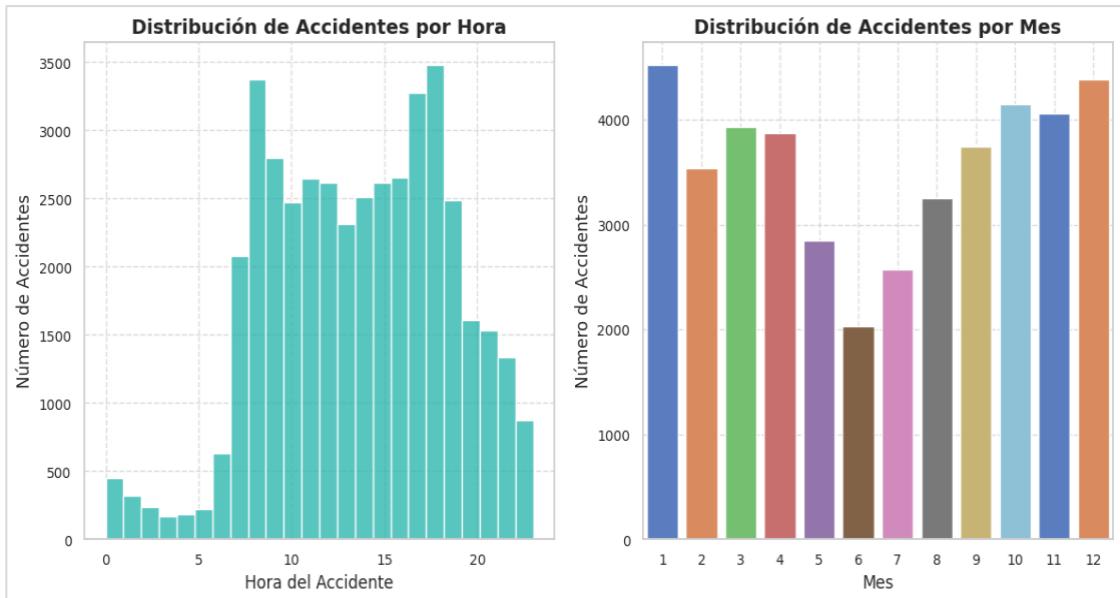
4.5.3 Movilidad Sostenible

Taipéi

El análisis de la movilidad sostenible en Taipéi se enfocó en el estudio de datasets de accidentes de tráfico urbanos en particular del año 2021, proporcionados por el portal oficial Open Data Taipei. Estos datos permiten un acercamiento tanto cuantitativo como geográfico de la accidentalidad en la ciudad, ofreciendo información importante sobre las **dinámicas del tránsito** en la ciudad. Adicionalmente, esta información ofrece una perspectiva interesante sobre la seguridad vial y la planificación urbana basada en datos abiertos. La disponibilidad de estos datos en formatos accesibles refleja el compromiso de Taipéi con una gestión urbana transparente, basada en evidencia y orientada a la sostenibilidad.

En relación con **los accidentes viales y los patrones de movilidad**, el gráfico 10 muestra que los registros de los meses con mayor accidentalidad fueron enero y marzo, coincidiendo con las estaciones del invierno y la primavera. En cuanto al horario, se identificaron dos momentos pico en el día de accidentes: entre 7:00–9:00 a.m. y 5:00–7:00 p.m., que corresponden a las horas pico laborales, lo que evidencia una alta relación entre los accidentes y los flujos de movilidad diaria. Así mismo, se observó una leve disminución de accidentes durante los fines de semana, lo que respalda la teoría de que el **tráfico laboral** es el principal causante de accidentes. Respecto al análisis hecho por rangos de edad, el segmento de jóvenes entre 20 y 24 años fueron los más involucrados en accidentes automovilísticos, esto debido a la menor experiencia frente al volante.

Gráfico 10. Comparativo entre accidentes por hora vs accidentes por mes, 2021.



Comparativo dual de la distribución de accidentes registrados en el año 2021. El panel izquierdo detalla la frecuencia de accidentes según la hora del día, mientras que el panel derecho muestra la cantidad de accidentes por cada mes del año. **Fuente:** Elaboración propia a partir de datos del Departamento de Policía, Gobierno de la Ciudad de Taipéi [11].

Estos resultados han permitido a las autoridades locales de Taipéi no solo centrarse en campañas de educación vial, sino también en diseñar **estrategias de infraestructura**, como la instalación de señalización dinámica, pasos peatonales elevados y semáforos que se adaptan a las zonas con alto riesgo [34]. Además, los datos abiertos de tráfico combinados con otras fuentes como las **condiciones climáticas** y **sensores en tiempo real** ofrecen mejores oportunidades para el desarrollo de sistemas de alerta temprana y planificación de rutas seguras para peatones y ciclistas. Esta perspectiva fortalece el concepto de ciudades inteligentes, donde la sostenibilidad va de la mano con la eficiencia y la seguridad urbana.

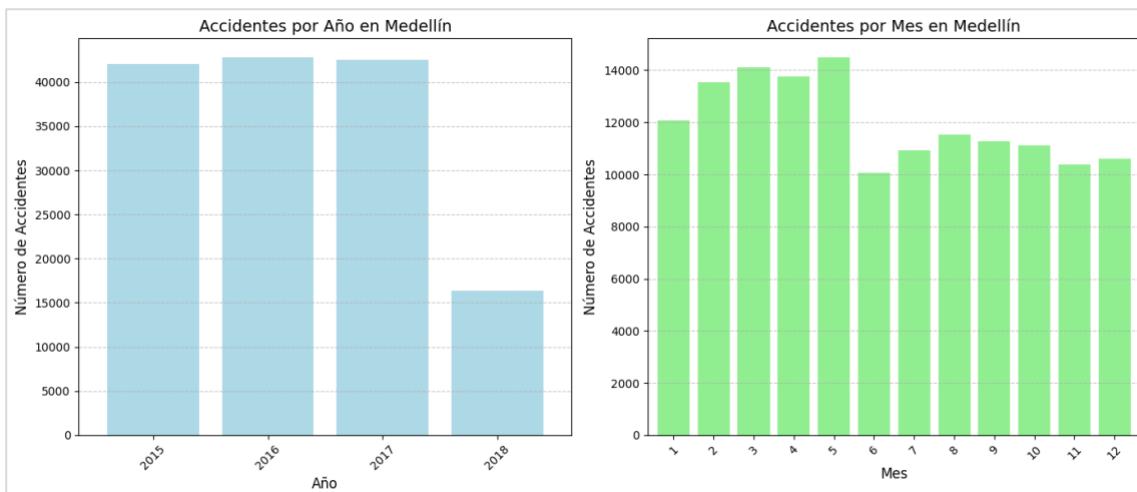
También en su esfuerzo por reducir las **emisiones de gases de efecto invernadero**, Taipéi ha implementado un plan para electrificar su flota de autobuses [35]. Desde 2018, la ciudad ha promovido la adopción de autobuses eléctricos mediante subsidios y políticas que priorizan su uso en rutas más concurridas. El objetivo con esta implementación es lograr una flota de autobuses completamente eléctrica para 2030, mejorando así la calidad del aire y reduciendo la dependencia de combustibles fósiles.

Esta gestión basada en evidencia ha sido un pilar fundamental en la **administración del gobierno** de Taipéi, donde el uso de datos abiertos promueve no solo transparencia y por consiguiente la participación ciudadana, sino que también ha incentivado inversiones como los reductores de velocidad en aquellos tramos importantes, los pasos peatonales en semáforos y el fomento del transporte público y otros medios como caminar, y por supuesto el uso de la bicicleta. Esta estrategia de movilidad sostenible impacta directamente en reducir la huella de carbono, mejorar la calidad de vida de todos sus ciudadanos y optimizar los recursos públicos [36].

Medellín

En el caso de Medellín, el eje de movilidad sostenible se abordó a partir de tres componentes clave: el comportamiento de los accidentes viales urbanos a través de los años, el análisis del sistema Metro de Medellín y su demanda, y el gran impacto de **EnCicla**, el sistema público de bicicletas. El análisis de accidentes vial en Medellín, entre 2015 y 2018 basado en datos abiertos del municipio y el seguimiento de indicadores de la ciudad, revela una reducción significativa de los accidentes de tránsito, ver gráfico 11.

Gráfico 11. Comparativo entre accidentes por año vs accidentes por mes, 2018.



Comparación dual de la distribución de accidentes en Medellín. El panel izquierdo muestra el número total de accidentes por año desde 2015 hasta 2018, mientras que el panel derecho detalla la cantidad de accidentes registrados por mes para el año 2018. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Portal de Datos Abiertos del Área Metropolitana del Valle de Aburrá [12].

Este fenómeno no es consecuencia de un solo factor, sino de la implementación de un conjunto de estrategias de movilidad sostenible, centradas en la educación vial, la inversión en infraestructura y el uso de tecnología inteligente para el control del tráfico.

Según los datos procesados, los años 2015, 2016 y 2017 tuvieron un volumen relativamente constante de accidentes, con algunos picos en meses influenciados por variables como el clima, eventos masivos como el **turismo** y la época de **vacaciones escolar**; sin embargo, en 2018 se registró una reducción importante, gracias a una combinación de políticas públicas encaminadas a ser sostenibles en el tiempo.

Uno de los componentes causantes de esta transformación se respalda en el fortalecimiento de la educación para generar una conciencia ciudadana, respaldadas por campañas como 'Te Queremos Vivo', liderada por la Secretaría de **Movilidad de Medellín** [37]. Estas iniciativas incluyeron también jornadas de sensibilización, pedagogía en colegios, y mensajes a los actores viales más vulnerables como motociclistas y peatones, promoviendo una cultura del autocuidado y el respeto en la vía.

Tabla 7. Demanda mensual total Metro Medellín, 2024

Mes	Pasajeros	% del total anual
Enero	24,062,781	7.20 %
Febrero	27,090,298	8.11 %
Marzo	26,385,337	7.89 %
Abril	28,883,521	8.64 %
Mayo	28,834,005	8.63 %
Junio	25,746,635	7.70 %
Julio	27,616,682	8.26 %
Agosto	29,512,018	8.83 %
Septiembre	28,869,001	8.64 %
Octubre	29,850,858	8.93 %
Noviembre	28,418,127	8.51 %
Diciembre	29,071,347	8.69 %
Total	334,340,610	100%

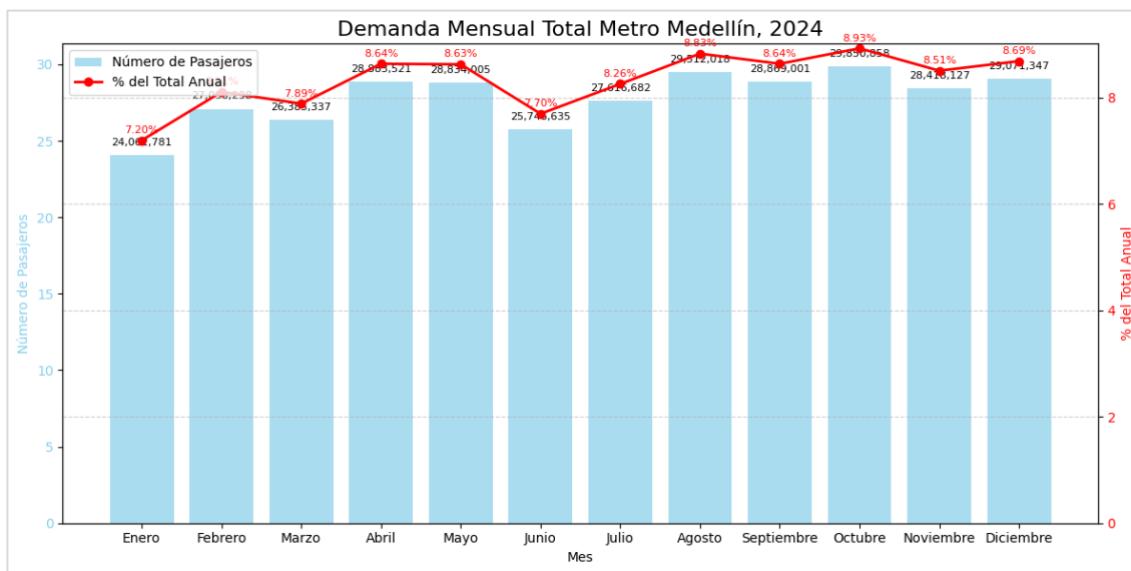
Fuente: Base de datos interna del Metro de Medellín; Procesamiento propio de la información.

Por otro lado, el Metro de Medellín ha sido fundamental en la transformación de movilidad urbana en un modelo más sostenible. El análisis de la **demanda mensual del Metro de Medellín** durante el año 2024, basado en los datos abiertos sobre el uso del sistema, permite evaluar el impacto en la operación de uno de los principales sistemas de transporte sostenible de la ciudad. Este análisis resulta fundamental para la planificación operativa y estratégica, la asignación de recursos y el diseño de estrategias de movilidad.

Los datos de la tabla 7, revelan que los meses con mayor número de pasajeros fueron marzo y agosto, ambos con más de 30 millones. Estas cifras coinciden con las **actividades propias** de Medellín, donde en marzo, se presenta el retorno a clases y a las actividades laborales después del periodo vacacional, lo que incrementa la demanda de transporte público; y en agosto, se celebra la tradicional **Feria de las Flores**, evento que moviliza tanto a los ciudadanos locales como a turistas, generando un aumento considerable en el uso del sistema Metro, especialmente en estaciones cercanas al centro y al sur de la ciudad. Por otro lado, los meses de menor demanda fueron enero y diciembre, ambos meses relacionados a los periodos vacacionales y de receso escolar. En estas fechas, los registros mensuales estuvieron por debajo de los 25 millones, lo que representa una reducción importante respecto a los meses pico.

El grafico 12 permite observar la **variación mensual en la demanda** del Metro de Medellín durante 2024, combinando tanto el número absoluto de pasajeros como su porcentaje respecto al total anual. Los meses con mayor participación fueron octubre (8.93 %), agosto (8.83 %) y abril (8.64 %), que coincide con periodos de alta actividad social, académica y cultural en la ciudad. En particular agosto que, como se indicó anteriormente, se destaca por la celebración de la Feria de las Flores, mientras que octubre refleja un periodo sin interrupciones significativas en el calendario laboral o escolar. Contrario a esto, los meses con menor demanda fueron enero (7.20 %) y junio (7.70 %), asociados a recesos escolares y vacacionales, lo que disminuye la presión en el sistema de transporte público.

Gráfico 12. Demanda Mensual de Pasajeros y su Proporción Anual en el Metro de Medellín, 2024



Las barras celestes (eje izquierdo) representan el número absoluto de pasajeros por mes, mientras que la línea roja y los valores en la parte superior (eje derecho) indican la proporción porcentual de cada mes con respecto a la demanda anual total de pasajeros. La variación mensual en la demanda de pasajeros subraya la importancia de considerar la estacionalidad para una planificación estratégica eficiente del servicio, incluyendo la optimización de frecuencias y la asignación de recursos. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos extraídos de la Base de datos Interna del Metro de Medellín [13].

A pesar de algunas variaciones, la **distribución mensual** se mantiene relativamente estable, con valores que oscilan entre el 7 % y el 9 % del total anual, lo que sugiere una demanda sostenida a lo largo del año. Este patrón revela una estabilidad moderada, con picos que responden a eventos específicos más que a cambios estructurales en el comportamiento de los usuarios. El análisis del porcentaje mensual complementa los datos absolutos, permitiendo identificar meses estratégicos para la planificación operativa y la gestión de recursos del sistema de transporte.

Este comportamiento mensual refleja una buena respuesta del sistema Metro a las variaciones de la demanda [38]. Durante los meses de alta afluencia, se activan refuerzos operativos en **horarios pico y estaciones de alta circulación**, mientras que en los meses de menor uso se aprovecha para realizar mantenimiento preventivo y ajustes técnicos sin afectar significativamente el servicio. En conjunto, el análisis de la demanda mensual del Metro de Medellín en 2024 confirma que la ciudad cuenta con un sistema de transporte público robusto y adaptado ya que su variación estacional en la afluencia de usuarios no genera caídas considerables en la prestación del servicio, ni tampoco presenta congestiones críticas en períodos con alta demanda.

Esto indica que el sistema tiene la capacidad operativa de redistribuir recursos, ajustar las frecuencias y reforzar las rutas según el **comportamiento de los usuarios**. Además, en los meses que reporta menor demanda, el aprovechamiento de estos períodos para realizar mantenimiento preventivo y mejoras técnicas sin afectar la operación es muestra de una planificación anticipada. Este comportamiento también resalta la importancia de la monitorización continuo y el análisis de datos, que son herramientas clave para el diseño de políticas públicas orientadas a la sostenibilidad.

Otro componente clave en la movilidad de la ciudad es EnCicla, que es el sistema público de bicicletas del **Área Metropolitana del Valle de Aburrá**, ya que ha sido primordial en la promoción de la movilidad sostenible en Medellín. Su uso ha experimentado un crecimiento significativo desde que se implementó 2011, crecimiento que se refleja no solo en el aumento del número de usuarios y viajes diarios, sino también en el aumento del número de estaciones [39]. Las estaciones de EnCicla se clasifican principalmente en dos tipos: por un lado, están las estaciones manuales, que son operadas por el personal que apoya en el préstamo y devolución de las bicicletas y, por otro lado, están las estaciones automáticas que funcionan sin intervención directa, sino que utilizan tecnología para su préstamo y devolución.

Según datos disponibles hasta 2019 proporcionados por **Metropol.gov** [40], EnCicla disponía de un total de 60 estaciones, donde 37 estaciones eran automáticas y 23 estaciones eran manuales. Un mayor número de estaciones automáticas (aproximadamente el 62% del total) indica que la ciudad está apostando por la automatización y su eficiencia. Las estaciones automáticas permiten una mayor disponibilidad horaria y reducen la necesidad de personal físico, lo que puede traducirse en una mayor cobertura y accesibilidad para los usuarios. En cuanto a las estaciones manuales, aunque en menor número, desempeñan un papel crucial en lugares donde la asistencia personalizada es necesaria, ya sea por aquellos usuarios que no están familiarizados con el sistema o por la falta de infraestructura.

Los tres estudios anteriores confirman que la movilidad sostenible en Medellín ha tenido avances muy significativos, que se evidencian en la reducción de la accidentalidad vial, la promoción de sistemas de transporte público eficientes como el Metro y EnCicla, y el uso estratégico de los datos abiertos como herramienta clave de planificación urbana. El acceso a esta información pública sobre movilidad, accidentalidad y conductas han permitido a las autoridades locales diseñar políticas basadas en esta evidencia, optimizando la asignación de recursos e implementando directrices más precisas y efectivas.

Este enfoque posiciona a Medellín como una ciudad referente en América Latina en cuanto a movilidad urbana equitativa, sostenible y centrada en el bienestar ciudadano, junto a casos destacados como **Bogotá (Colombia)**, que ha desarrollado una de las redes de ciclorutas más extensas de la región y ha promovido la integración multimodal a través del sistema TransMilenio y el Sistema Integrado de Transporte Público (SITP), ambos operables con una tarjeta única de pago. Así mismo, **Ciudad de México (México)** que ha implementado soluciones complementarias como el Metrobús, el Trolebús y el sistema de bicicletas públicas Ecobici, integrados mediante plataformas digitales y el uso de datos abiertos que permiten una mejor gestión del tránsito, la planificación urbana y la toma de decisiones basadas en evidencia [41].

Capítulo 5. DISCUSIÓN

En el presente capítulo se analiza críticamente los principales hallazgos obtenidos a partir del uso de datos en tres ejes temáticos: la calidad ambiental, la gestión energética y la movilidad sostenible en las ciudades de Taipéi y Medellín. Se introduce además un caso de referencia internacional, **Nueva York**, que permite contrastar enfoques y resultados, y proyectar recomendaciones estratégicas. El objetivo no es reiterar resultados, sino reflexionar sobre factores que explican las diferencias de impacto y proponer caminos para incrementar el valor público de los datos abiertos en el diseño de políticas urbanas sostenible.

5.1 Calidad Ambiental

Taipéi presenta un sistema de monitoreo ambiental robusto que integra datos abiertos con la toma de decisiones públicas urbanas. La mejora sostenida en niveles de PM2.5, pese a desafíos con el ozono, refleja la efectividad de políticas sustentadas en evidencia. La integración de estándares internacionales juntos con su tecnología avanzada ha permitido acciones preventivas y ajustes en tiempo real.

Medellín, aunque cuenta con información relevante sobre contaminantes atmosféricos y salud pública, aún enfrenta dificultades para articular evidencia en políticas más coordinadas. La correlación entre enfermedades respiratorias y niveles de PM2.5, PM10 y O₃ es clara, pero su integración a planes de salud y movilidad es aún en fase de desarrollo.

Tabla 8. Comparativa en Calidad Ambiental: Medellín vs Taipéi

Ciudad	Enfoque principal	Resultados relevantes	Hallazgos no evidentes con datos brutos	Mejoras identificadas a partir de datos abiertos
Taipéi	Sistema de monitoreo ambiental robusto basado en estándares internacionales AQI.	-Mejora sostenida de PM2.5. -Desafíos con niveles de ozono	Estacionalidad del ozono y su comportamiento en zonas con alto tránsito vehicular	-Incorporar modelos predictivos de concentración de ozono. -Adoptar alertas tempranas
Medellín	Control de emisiones (vehículos diésel) y análisis de riesgo sanitario	Alta relación entre contaminantes (PM2.5, PM10, O ₃) y enfermedades respiratorias	Cruce entre datos ambientales y hospitalarios resalta zonas críticas de exposición	-Ampliar red de sensores. -Reforzar políticas en fuentes móviles y zonas con mayor morbilidad

Para ambas ciudades existen, por ende, oportunidades de mejora bastante claras: Medellín puede seguir aprovechando el uso de datos abiertos para fortalecer sus sistemas de medición continua de la calidad del aire en su ciudad y en todo el valle de Aburrá y Taipéi puede hacer un seguimiento más exhaustivo sobre los contaminantes que están deteriorando su medio ambiente como el Ozono. Así mismo, ambas ciudades pueden compartir las diferentes metodologías expuestas en este estudio para enfrentar los diferentes desafíos en materia de fuentes móviles y contaminantes ambientales, factores críticos para la calidad de vida de sus ciudadanos.

5.2 Gestión Energética

En Taipéi el uso de datos abiertos ha permitido identificar correlaciones espaciales entre la generación eólica y su demanda industrial (el sector de la Fabricación y la Construcción liderando), lo que respalda una **planificación territorial inteligente y assertiva**. La ciudad demuestra un enfoque técnico, con una orientación muy marcada a la eficiencia energética y optimización de recursos.

Medellín por su parte, enfoca su análisis desde una perspectiva social y redistributiva. El uso de datos abiertos por estrato socioeconómico y consumo por horarios refleja un compromiso con la equidad, aunque esto aún no se represente en **modelos predictivos integrados**. El caso evidencia como los datos pueden revelar desigualdades estructurales, pero también como su capacidad transformadora depende de la articulación entre dimensiones técnicas y sociales.

Tabla 9. Comparativa en Gestión Energética: Medellín vs Taipéi

Ciudad	Enfoque principal	Resultados relevantes	Hallazgos no evidentes con datos brutos	Mejoras identificadas a partir de datos abiertos
Taipéi	Planificación basada en capacidad instalada de energía renovable (eólica terrestre).	-Zonas con alta generación identificadas. -Sectores industriales con mayor consumo energético	Coincidencia entre zonas de alta generación eólica y alta demanda energética.	-Incluir variables sociales en la planificación. -Promover equidad en el acceso energético.
Medellín	Análisis por estrato socioeconómico y variación tarifaria.	-Consumo más alto en estratos altos. -Patrones afectados por pandemia	Impacto de políticas tarifarias sobre el desplazamiento horario del consumo.	-Optimizar eficiencia sectorial. -Modelar demanda futura integrando variables contextuales.

La reflexión metodológica en el estudio de este eje resalta la fuerte premisa del uso de datos abiertos en ambas ciudades. Este **análisis metodológico** aporta un equilibrio entre lo técnico y lo social en futuras investigaciones para ciudades inteligentes y abiertas. En cuanto a las oportunidades de mejora, Medellín podría utilizar el análisis de datos para optimizar la eficiencia energética en los diferentes sectores de la ciudad e identificar las actividades socioeconómicas que pueden estar consumiendo más energía y paralelamente Taipéi se podría beneficiar en gran medida al integrar variables sociales en su análisis, lo que le permitiría avanzar hacia una mayor equidad en el acceso de energía. Finalmente, ambas ciudades tienen la oportunidad de innovar mediante la implementación de modelos predictivos, aprovechando el potencial del Big Data y así obtener mejores resultados en materia de gestión energética.

5.3 Movilidad Sostenible

Ambas ciudades han avanzado en el uso de datos abiertos para mejorar sus sistemas de movilidad, aunque con **enfoques distintos**. En primer lugar, Taipéi aplica análisis temporal y segmentación de riesgo para focalizar intervenciones con seguridad vial, además de avanzar en la electrificación de su sistema de transporte. Sin embargo, su modelo puede beneficiarse de mayor apertura participativa.

Medellín, por su parte, ha consolidado soluciones de transporte multimodal como el Metro y EnCicla, con resultados positivos en la reducción de accidentes. No obstante, la falta de integración entre **plataformas tecnológicas y sistemas de datos** limita su evolución hacia un modelo adaptativo y predictivo. Esta situación se ve agravada por una infraestructura aún incompleta, el vandalismo recurrente y la insuficiencia de herramientas analíticas avanzadas, lo que frena el avance hacia un sistema de movilidad más robusto e inteligente.

Como parte de una reflexión metodológica, es notable que ambas ciudades, tanto Taipéi como Medellín, aprovechan el valor de los datos en el tiempo en la construcción de este análisis. En el caso de Taipéi, se destaca el cruce innovador de datos viales con variables cruciales como climáticas y horarios, dando mayor valor a la compresión de su **dinámica urbana**. En cambio, Medellín, demostró una fuerte integración de múltiples fuentes de datos para proporcionar una visión valiosa de cómo está constituida su infraestructura. Finalmente, ambas ciudades tienen el potencial de desarrollar y hacer pública su información procesada, como por ejemplo el uso de dashboards interactivos, lo que no solo facilitaría el acceso a la información para la ciudadanía, sino que también impulsaría una mayor transparencia y colaboración.

Tabla 10. Comparativa en Movilidad Sostenible: Medellín vs Taipéi

Ciudad	Enfoque principal	Resultados relevantes	Hallazgos no evidentes con datos brutos	Mejoras identificadas a partir de datos abiertos
Taipéi	Planificación vial, prevención de accidentes y electrificación de flota	-Reducción de accidentes en horas específicas. -Adopción de autobuses eléctricos	Identificación de franjas horarias y grupos etarios con mayor riesgo	Impulsar participación ciudadana basada en datos; fortalecer estrategia de movilidad inclusiva
Medellín	Metro, EnCicla y campañas educativas	Reducción sostenida de accidentes desde 2018. -Incremento en uso del metro y bicicletas	EnCicla contribuye directamente a reducir el tráfico y mejorar la calidad del aire	-Automatización de monitoreo. -Mayor integración multimodal. -Publicación de dashboards abiertos

A partir de los **hallazgos discutidos** en los tres ejes principales de investigación, se construye un cuadro comparativo (Tabla 12) que resume los enfoques, resultados y oportunidades de mejora identificadas en las ciudades de Taipéi y Medellín. Como hallazgo general de esta discusión, los resultados evidencian que los datos abiertos son una **herramienta poderosa** para diseñar y evaluar políticas públicas urbanas, en especial en los tres ejes abordados en este análisis. La comparación entre Medellín y Taipéi ofrecen lecciones muy importantes: mientras que una ciudad se destaca por su sostenibilidad técnica y planificación, la otra se resalta en inclusión social en la creación de sus políticas. Un enfoque más híbrido, es decir que combine ambos modelos, podría representar una evolución del concepto de ‘Open Cities’ hacia un modelo más equitativo, eficiente y participativo.

Tabla 11. Resumen: Hallazgos de datos entre Taipéi y Medellín.

Eje de Análisis	Taipéi	Medellín
Calidad Ambiental	Predominan mediciones de AQI "Moderado" (51-100). Fuerte correlación entre PM10 y PM2.5, causadas por tráfico e industria. Reducción en la concentración de PM2.5, NO2, CO y SO2 en los últimos años.	Camiones, camionetas y autos concentraron la mayor cantidad de rechazos en inspecciones técnicas, lo que confirma que vehículos pesados y antiguos son una amenaza.
Gestión Energética	Se identificó que la mayor capacidad instalada de energía renovable proviene de estaciones eólicas terrestres (Changgong y Guanyuan). Se considera la energía eólica marítima como estratégica a futuro.	El consumo energético en el segmento subsidiado muestra una tendencia al alza a pesar de los avances en la educación sobre eficiencia energética.
Movilidad Sostenible	Los meses de mayor accidentalidad son enero y marzo, coincidiendo con estaciones de invierno y primavera. Horas pico de accidentes: 7:00–9:00 a.m. y 5:00–7:00 p.m.	Los meses con mayor demanda del Metro son octubre, agosto y abril (periodos de alta actividad). Los meses de menor demanda son enero y junio (asociados a vacaciones y recesos).

5.4 Caso de Referencia: Nueva York.

La experiencia de Nueva York (Estado Unidos de América) demuestra cómo los datos abiertos pueden tener impacto directo en las políticas públicas cuando estos hacen parte integral de la gobernanza. A través de **NYC Open Data**, la ciudad ha implementado iniciativas como Vision Zero, que combina múltiples fuentes de datos para rediseñar infraestructuras y reducir accidentes. Esta estrategia ha logrado una disminución sostenida de muertes viales [42]. A diferencia de Medellín y Taipéi, donde el uso de datos es aún aislado, la ciudad de Nueva York ha institucionalizado el análisis de datos como herramienta para la toma de decisiones. Esta incorporación evidencia que no es la apertura de datos en sí lo que genera valor, sino su articulación con la planificación estratégica, la cultura del dato y la participación ciudadana.

Nueva York ofrece valiosas lecciones en materia de gestión urbana basada en datos. Entre ella se desataca en primer lugar, destaca una gobernanza de datos clara y transversal, consolidada a través de la creación del **Mayor's Office of Data Analytics (MODA)** y la Oficina de Tecnología e Innovación, que unifican estándares, herramientas y flujos de información entre las distintas agencias [43]. En segundo lugar, cuenta con capacidad técnica institucionalizada, mediante personal especializado, infraestructuras consolidadas como centros de datos centralizados y mecanismos estables de agilidad institucional.

Esto resalta la necesidad de que Medellín y Taipéi inviertan en la formación de talento especializado y en una infraestructura tecnológica más robusta para procesar grandes volúmenes de datos. Además, existe una retroalimentación sistemática entre datos, políticas públicas y evaluación, donde herramientas como **NYC311** y plataformas de datos abiertos convierten datos brutos en conocimiento operativo y permiten ajustar medidas en función de resultados y participación pública [44].

Finalmente, se fomenta la participación de la ciudadanía y el sector privado, con iniciativas como participatory budgeting, concursos **BigApps** y campañas como **TreesCount!**, que integran a diversos actores en la generación de soluciones urbanas [45] [46]. Este enfoque demuestra a Medellín y Taipéi la importancia de crear canales formales y atractivos para que la ciudadanía pueda no solo acceder a los datos, sino también contribuir a su recolección y análisis para la toma de decisiones.

El enfoque anterior revela entonces que existen **tres niveles de madurez** en el uso de datos abierto: Medellín (social, emergente), Taipéi (tecnocrático, consolidado) y Nueva York (estratégico, institucionalizado). Entonces el paso de la disponibilidad de los datos depende de factores como la Gobernanza, las capacidades técnicas y el grado de participación ciudadana. Lo anterior advierte que para que los datos abiertos generen políticas públicas más efectivas, deben formar parte de un ecosistema estructurado, que integre planificación basada en evidencia, evaluación continua y cocreación ciudadana. Este enfoque no solo potencia la eficiencia y transparencia, sino que promueve un camino hacia una gestión urbana más democrática, inclusiva y sostenible.

Tabla 12. Comparación de resultados entre Taipéi y Medellín en los tres ejes de estudio (enfoque, resultados y oportunidades de mejora).

Eje / Dimensión	Ciudad	Enfoque	Resultados relevantes	Hallazgos no evidentes en los datos brutos	Áreas de mejora identificadas a partir del análisis de datos abiertos
Calidad Ambiental	Taipéi	Sistema AQI, foco en PM2.5 y O ₃	Reducción de PM2.5, problema persistente con O ₃	Estacionalidad del ozono, requiere tratamiento predictivo	Uso de modelos predictivos para alertas tempranas, compartir metodologías
	Medellín	Control de emisiones y análisis de riesgo sanitario	Alta correlación entre PM, O ₃ y enfermedades respiratorias	Asociación clara entre datos de salud y calidad del aire	Ampliar red de medición, integrar enfoque salud-población en modelos
Gestión Energética	Taipéi	Generación renovable y análisis sectorial	Distribución optimizada, sectores clave: fabricación y construcción	Territorios con mayor capacidad eólica coinciden con alta demanda	Incluir análisis distributivo y social en planificación
	Medellín	Consumo por estrato y contexto tarifario	Mayor consumo en estratos altos, cambios post-pandemia	Desplazamiento del consumo por tarifas diferenciadas	Optimizar eficiencia en sectores económicos clave
Movilidad Sostenible	Taipéi	Electrificación y prevención de accidentes con análisis horario	Identificación de grupos vulnerables, reducción de accidentes	Segmentos etarios con mayor riesgo, oportunidad para educación vial focalizada	Publicación de dashboards, mayor integración de datos (transporte, salud, clima)
	Medellín	Metro, EnCicla, campañas de educación	Menor tasa de accidentes desde 2018, alto uso del Metro	EnCicla reduce tráfico y mejora calidad del aire; uso intensivo en fechas clave	Automatizar sensores, mejorar visualización, planificación dinámica

Tabla 13. Resultados clave y lecciones aprendidas del caso de Nueva York.

Enfoque principal	Resultados relevantes	Hallazgos no evidentes con datos brutos	Mejoras identificadas a partir de datos abiertos
Gobernanza de datos Integración de datos en la toma de decisiones y en la gobernanza.	Reducción de accidentes viales El programa Vision Zero, que utiliza datos de múltiples fuentes, logró una disminución sostenida de muertes viales.	La apertura de datos por sí sola no genera valor El valor real surge cuando los datos se integran con la planificación estratégica y la participación ciudadana.	Institucionalización del análisis de datos Se han creado oficinas especializadas (como MODA) que unifican estándares y flujos de información entre agencias.
Capacidad técnica institucionalizada Equipos especializados y herramientas para el análisis de datos.	Toma de decisiones estratégica El análisis de datos es una herramienta oficial para la toma de decisiones en la gestión urbana.	Diferencia de madurez A diferencia de Medellín y Taipéi, Nueva York se encuentra en un nivel de madurez "estratégico e institucionalizado".	Mejora de la infraestructura y el talento Se ha invertido en personal especializado, centros de datos centralizados y mecanismos ágiles de gestión.

5.5 Estandarización de Datos Abiertos en el contexto de ciudades Abiertas

Uno de los principales desafíos identificados al comparar modelos de ciudades abiertas como Taipéi y Medellín es la **falta de estandarización en la publicación de datos**. A pesar de los esfuerzos locales, la diversidad de formatos, estructuras y niveles de detalle complica la comparación entre ambas ciudades y limita la generación de indicadores globales.

La ausencia de estándares comunes no solo impide el análisis transversal, sino que también debilita la capacidad de las ciudades para participar en redes internacionales de innovación urbana. La Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha promovido iniciativas para armonizar la recolección y publicación de datos urbanos. En particular, el **programa United for Smart Sustainable Cities (U4SSC)**, impulsado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), ONU-Hábitat, y la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (UNECE), propone una serie de indicadores Clave de Desempeño para Ciudades Inteligentes sostenibles [47].

Estos indicadores buscan facilitar la evaluación, la monitorización y el progreso de las ciudades respecto a los **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)**, especialmente con los que están relacionados con sostenibilidad urbana, infraestructura digital y gobernanza inclusiva con la ciudadanía [48]. Este vacío revela la necesidad de fortalecer las capacidades institucionales locales para adaptar los sistemas de datos a marcos internacionales, sin perder de vista el contexto y las prioridades de cada ciudad. La estandarización no debe entenderse como una imposición técnica, sino como una herramienta para ampliar el potencial colaborativo y comparativo de las ciudades abiertas [49].

5.6 Retos y Oportunidades en la implementación de estrategias con datos abiertos

El análisis comparativo permite identificar no solo las buenas prácticas, sino también los retos transversales que dificultan la **implementación efectiva** de estrategias basadas en datos abiertos. Estos desafíos pueden agruparse en tres dimensiones: técnicas, institucionales y sociales.

5.6.1 Retos técnicos:

- Integración y estandarización: En ambas ciudades, el conjunto de datos abiertos proviene de distintas fuentes, dificultando su integración. La falta de formatos estandarizados y metadatos consistentes limita el análisis cruzado y la construcción de modelos predictivos robustos.
- Calidad y actualización de datos: Especialmente en Medellín, se identificaron algunos rezagos temporales o limitaciones en la frecuencia de actualizaciones de indicadores como, por ejemplo, calidad del aire en tiempo real, lo que afecta la toma de decisiones oportuna.
- Capacidades analíticas: El sofisticado uso del análisis avanzado, como los modelos predictivos, machine learning, se presentan en mayor frecuencia en Taipéi, lo que indica la necesidad de fortalecer capacidades técnicas locales en Medellín para aprovechar al máximo los datos abiertos.

5.6.2 Desafíos regulatorios y de gobernanza:

- Protección de datos personales: En áreas como movilidad o salud, el uso de datos abierto plantea riesgos asociados a la privacidad de identidad. Se requiere un marco normativo que garantice la anonimidad, pero que no limite el valor analítico de los datos.
- Gobernanza de los datos: Aún se presentan algunos vacíos en cuanto a quién es responsable de la curaduría, mantenimiento y supervisión de los portales de datos abiertos. La sostenibilidad del sistema depende de estructuras claras de gobernanza institucional, especialmente en Medellín.
- Dificultad para entender los datos abiertos: Aunque los datos están disponibles para todo el público, no todos los actores, como la ciudadanía, las pequeñas ONG o las comunidades locales, tienen las herramientas o conocimientos necesarios para interpretarlos correctamente. Esto crea una desigualdad, ya que solo algunos pueden usarlos para tomar decisiones o influir en políticas públicas.

5.6.3 Oportunidades de mejora con enfoque en Big Data:

Calidad ambiental:

- Implementar modelos predictivos basados en aprendizaje automático como de machine learning, para anticipar eventos de alta contaminación, considerando variables climáticas, tráfico y estacionales.
- Cruzar datos de sensores ambientales con datos de salud pública y movilidad, para medir de forma más precisa los impactos de la contaminación en diferentes zonas.
- Usar redes neuronales para simulación de escenarios ante medidas de mitigación, como por ejemplo de restricción vehicular, cambio climático.
- Desarrollar dashboards interactivos con analítica en tiempo real para la toma de decisiones ciudadana y gubernamental.

Gestión energética:

- Aplicar modelos de series temporales y redes neuronales recurrentes (RNN) para prever la demanda energética por sector, hora y zona.
- Usar clustering para segmentar perfiles de consumo energético y diseñar políticas tarifarias inteligentes.
- Incorporar datos de sensores IoT en hogares y empresas para generar modelos de eficiencia energética personalizados.
- Cruzar datos energéticos con variables socioeconómicas y climáticas, creando un modelo integral de planeación energética territorial.

Movilidad sostenible:

- Desarrollar sistemas inteligentes de transporte (ITS) usando análisis de trayectorias en tiempo real y predicción de congestiones mediante datos de GPS, sensores y redes sociales.
- Utilizar algoritmos de detección de anomalías para identificar zonas o horarios con incidentes atípicos de tráfico o accidentes.
- Aplicar visión por computador para analizar flujos vehiculares y peatonales desde cámaras públicas, como parte del uso de la AI.
- Integrar datos de movilidad, clima y salud para diseñar rutas más sostenibles y saludables, con apoyo de sistemas de recomendación personalizados.

5.7 Sostenibilidad y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

En el marco de la discusión sobre el impacto y la relevancia del presente proyecto, resulta fundamental abordar su alineación con **los principios del desarrollo sostenible** y su contribución global. La sostenibilidad, entendida como la capacidad de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades [50], se ha consolidado como un pilar central en la planificación y evaluación de iniciativas urbanas a nivel global. En este sentido, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) estableció en 2015 los 17 **Objetivos de desarrollo sostenible (ODS)** como una hoja de ruta universal para abordar desafíos como la pobreza, la desigualdad, el cambio climático y la degradación ambiental [51].

El presente trabajo, al analizar el impacto de los datos abiertos en políticas públicas de Ciudades Abiertas para la calidad ambiental, la gestión energética y la movilidad sostenible en Medellín, Taipéi y una comparativa con la ciudad de Nueva York, contribuye de manera significativa a varios de estos objetivos interconectados:

- **ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles:** Este objetivo busca hacer las ciudades y los asentamientos humanos inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. La investigación se alinea directamente al examinar cómo los datos abiertos facilitan una gestión urbana optimizada en áreas clave como el ambiente, la energía y la movilidad, fomentando así la planificación integrada y la participación ciudadana para un desarrollo urbano sostenible.
- **ODS 7: Energía Asequible y No Contaminante:** Su propósito es garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos. Dada la relevancia de la gestión energética en el estudio comparativo, el proyecto contribuye a este objetivo al analizar cómo los datos abiertos pueden optimizar el consumo de energía y la eficiencia energética en las ciudades, promoviendo un uso más racional de los recursos.
- **ODS 13: Acción por el Clima:** Este objetivo llama a adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. Al abordar la calidad ambiental y la movilidad sostenible, el TFM apoya este objetivo al demostrar cómo la disponibilidad y el análisis estratégico de datos abiertos pueden informar políticas que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero y mejoren la resiliencia climática urbana.
- **ODS 16: Paz, Justicia e Instituciones Sólidas:** Su meta es promover sociedades justas, pacíficas e inclusivas. El concepto de Ciudades Abiertas y la promoción de datos abiertos son fundamentales para este objetivo, ya que la investigación destaca cómo una gobernanza robusta y la participación ciudadana son cruciales para el valor del dato, fomentando la transparencia y una toma de decisiones más participativa en la gestión pública urbana.

La integración de los principios de sostenibilidad y la alineación con los ODS no solo refuerza la relevancia académica de este TFM al llenar un vacío en la literatura sobre el impacto estratégico de los datos abiertos, sino que también proyecta su valor social, ofreciendo lecciones aplicables y contribuyendo a la visión de ciudades más sostenibles, resilientes y equitativas a nivel global.

Capítulo 6. CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones del trabajo

Este estudio, que tuvo como objetivo principal analizar y comparar el impacto del concepto de Open Cities en Medellín y Taipeí, con la inclusión de Nueva York como caso de referencia internacional, ha permitido alcanzar una serie de hallazgos concluyentes sobre el valor y los desafíos del uso de datos abiertos en la gestión urbana para la calidad ambiental, la gestión energética y la movilidad sostenible.

6.1.1 Validación del impacto diferenciado de los datos abiertos: la investigación confirma que los datos abiertos son una herramienta potente para la política pública urbana, pero su impacto real varía significativamente según el contexto y el nivel de madurez en su implementación. Mientras Taipéi destaca por un enfoque técnico y una institucionalización avanzada que se traduce en mejoras ambientales y eficiencia energética, Medellín progresó desde una perspectiva más social y de integración de servicios.

6.1.2 Identificación de niveles de madurez en el ecosistema de datos abiertos: el análisis comparativo con la ciudad de Nueva York reveló que la efectividad de los datos abiertos depende de un ambiente estructurado que integre gobernanza, capacidades técnicas, articulación con la planificación estratégica y la participación ciudadana. Se identifican tres niveles de madurez: un enfoque social emergente (Medellín), uno técnico académico consolidado (Taipéi) y uno estratégico institucionalizado (Nueva York). Esto subraya que la sola disponibilidad de datos no genera valor si no está integrada en una estrategia de gobernanza de datos robusta.

6.1.3 Potencial de un modelo híbrido para ‘Open Cities’ futuras: los hallazgos sugieren que el futuro del concepto de ‘Open Cities’ reside en la combinación de la eficiencia técnica y la planificación basada en datos (como en Taipéi) con un enfoque en la inclusión social y la equidad (como Medellín). Ahora bien, un modelo híbrido que incorpore la trayectoria y la gobernanza de datos de Nueva York representa la evolución hacia ciudades más equitativas, eficientes, participativas y democráticas.

6.1.4 Relevancia crítica de la estandarización y las capacidades analíticas: Se concluye que la falta de estandarización en la publicación de datos es un desafío transversal que limita la comparabilidad y el potencial colaborativo entre ciudades. Asimismo, la capacidad de las ciudades para aprovechar el potencial del Big Data (modelos predictivos, machine learning) y las herramientas de visualización (dashboards interactivos) es fundamental para transformar datos brutos en conocimiento operativo y políticas públicas más efectivas.

6.1.5 Desafíos y oportunidades clave para el avance: El estudio reitera que los principales retos en la implementación de estrategias de datos abiertos son de índole técnica (integración, calidad, capacidades analíticas), regulatoria (protección de datos, gobernanza) y social (comprensión y acceso ciudadano). Superar estos desafíos, aprovechando las oportunidades del análisis avanzado de datos, es crucial para la innovación urbana y el fortalecimiento de la transparencia y la participación ciudadana en la toma de decisiones.

6.2 Conclusiones personales

El desarrollo de esta tesis ha representado una **experiencia profundamente enriquecedora** y transformadora, tanto a nivel académico como personal. Investigar cómo los datos abiertos están configurando el futuro de nuestras ciudades, en contextos tan diversos como Medellín, Taipéi y Nueva York, me ha permitido comprender la inmensa capacidad que tienen la información y la tecnología para impulsar el desarrollo sostenible y mejorar la calidad de vida urbana.

Personalmente, me ha sorprendido la disparidad en la madurez y los enfoques del uso de datos abiertos, lo que subraya que no existe una solución única, sino la necesidad de adaptar las estrategias a las realidades locales. La inclusión del caso de **Nueva York** fue particularmente reveladora, al demostrar que el verdadero valor de los datos no reside solo en su disponibilidad, sino en cómo se institucionalizan y se integran en los procesos de gobernanza y participación ciudadana.

Este proyecto ha fortalecido mi convicción sobre la **importancia de la ciencia de datos** en la planificación urbana moderna y mi compromiso con la promoción de una gestión pública más transparente, eficiente e inclusiva. La reflexión sobre la interconexión entre la tecnología, la política y la sociedad me ha motivado a explorar nuevas vías para aplicar estos conocimientos en mi futuro profesional, buscando siempre que la innovación tecnológica sirva como un motor de equidad y bienestar colectivo. Ha sido una travesía de aprendizaje continuo, que no solo ha ampliado mi visión sobre las Open Cities, sino que también ha consolidado mi pasión por contribuir a la construcción de **ciudades más inteligentes, justas y sostenibles**. Estoy convencido de que la próxima frontera en la planificación urbana no es solo la recolección de datos, sino su uso para construir un futuro más inclusivo; este es el legado que aspiro a crear en mi camino profesional.

Capítulo 7. FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

El presente estudio ha establecido un **marco comparativo robusto** sobre el impacto de los datos abiertos en la calidad ambiental, la gestión energética y la movilidad sostenible en Medellín y Taipéi. Los hallazgos obtenidos del análisis del conjunto de datos estructurados en el diccionario temático han permitido identificar patrones, buenas prácticas y áreas de oportunidad en la implementación de estrategias basadas en datos abiertos.

La experiencia de ciudades como **Nueva York** revela que la verdadera importancia de los datos abiertos se centra en su institucionalización a través de la gobernanza de datos clara, con técnicas robustas, integrando la planificación estratégica y la participación ciudadana. Una vez, ya se han identificado los niveles de madurez actuales de ambas ciudades, Medellín social y emergente y Taipéi, técnico y democrático, el siguiente paso es proponer un camino hacia un uso de datos abierto más estratégico e institucionalizado.

Esto a su vez, basándose en los retos identificados y las oportunidades de mejora con enfoque Big Data ya destacadas en esta investigación, se proponen las siguientes líneas de estudio y desarrollo futuro:

7.1. Fortalecimiento de la gobernanza y estandarización de datos:

- **Estandarización y armonización de datos:** Abordar la falta de estandarización en la publicación de datos entre ciudades; esto implicaría trabajar en la creación e inclusión de esquemas de datos armonizados, inspirados en iniciativas como los indicadores Clave de Desempeño (KPI) que propone las Naciones Unidas, para facilitar la comparabilidad, el análisis transversal y la participaciones de organizaciones internacionales de innovación urbana, como es el caso de United Cities and Local Government (UCLG), Smart Cities Council y Cities Alliance, entre otros. Con esto se pretende, unificar formatos, estructuras y metadatos, sin perder de vista el contexto y prioridades locales.
- **Gobernanza institucional de datos:** Proponer modelos de gobernanzas de datos claves y transversales para Medellín y Taipéi inspirados en experiencias como la de Nueva York (Mayor's Office of Data Analytics - MODA). Esto quiere decir que se logre definir un marco de reglas, roles de curaduría, mantenimiento y supervisión de los portales de datos abiertos, donde se establezcan mecanismos para una retroalimentación entre datos, políticas públicas y evaluación.

7.2. Expansión y aplicación de capacidades analíticas avanzadas (Big data y ML):

En el ámbito de la Calidad Ambiental, se propone implementar modelos predictivos basados en **aprendizaje automático (Machine Learning)** para anticipar eventos de alta contaminación, integrando variables climáticas, de tráfico y estacionales, así como cruzar datos de sensores ambientales con información de salud pública y movilidad para una medición más precisa de los impactos en diferentes zonas. Adicionalmente, se exploraría el uso de **redes neuronales** para simular escenarios ante medidas de mitigación específicas, como restricciones vehiculares o impactos del cambio climático, y se desarrollarían dashboards interactivos con analítica en tiempo real para la toma de decisiones ciudadana y gubernamental.

Para la Gestión Energética, se plantea aplicar modelos de **series temporales y redes neuronales recurrentes (RNN)** con el fin de prever la demanda energética por sector, hora y zona. Se buscaría también utilizar técnicas de clustering para segmentar perfiles de consumo energético y diseñar políticas tarifarias inteligentes que optimicen la eficiencia en sectores económicos clave. Como complemento, la incorporación de **datos de sensores IoT** en hogares y empresas permitiría generar modelos de eficiencia energética personalizados e integrar datos energéticos con variables socioeconómicas y climáticas para una planificación territorial integral.

Finalmente, en el área de Movilidad Sostenible, las futuras líneas de trabajo se desarrollarían en torno al desarrollo de **sistemas inteligentes de transporte (ITS)** mediante el análisis de trayectorias en tiempo real y la predicción de congestiones, utilizando datos de GPS, sensores y redes sociales. Se aplicarían algoritmos de detección de anomalías para identificar zonas o horarios con incidentes atípicos de tráfico o accidentes, y se exploraría el uso de visión por computador para analizar flujos vehiculares y peatonales desde cámaras públicas, como parte de la aplicación de la IA. La integración de datos de movilidad con información climática y de salud permitiría diseñar rutas más sostenibles y saludables, apoyadas por sistemas de recomendación personalizados.

7.3. Fomento de la participación ciudadana y la capacidad institucional:

- **Alfabetización de datos y participación inclusiva:** Implementar programas de educación donde se capacite y de herramientas que faciliten la interpretación y el uso de datos abiertos por parte de la ciudadanía, incluyendo también a las ONG y comunidades locales. Inspirarse en iniciativas como la de Nueva York como participatory budgeting o concursos de innovación ciudadana para integrar a diversos actores en la generación de soluciones urbanas.
- **Fortalecimiento de capacidades técnicas institucionales:** Continuar fortaleciendo las capacidades técnicas locales en ambas ciudades, especialmente en Medellín, para aprovechar al máximo el análisis avanzado de datos, incluyendo modelos predictivos y Machine Learning. Esto implica invertir en personal especializado e infraestructuras de datos consolidadas.

- **Promoción de la cocreación y transparencia:** Diseñar mecanismos estables para la cocreación de soluciones entre gobiernos, ciudadanos y el sector privado, asegurando que los datos abiertos no solo informen, sino que también promuevan una gestión urbana más democrática, inclusiva y sostenible.

Estas líneas de trabajo buscan transcender el análisis comparativo inicial para convertir este estudio en una referencia útil en el diseño de estrategias urbanas futuras, permitiendo replicar modelos eficaces y fortalecer redes de colaboración internacional centradas en datos abiertos.

Capítulo 8. REFERENCIAS

- [1] **Clark, G.** (2008). Towards OPEN Cities: The Global Migration Challenge. British Council.
- [2] **ONU-Hábitat** (2020). World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization. United Nations Human Settlements Programme.
- [3] **Ubaldi, B., van Ooijen, C., & Welby, B.** (2019). A data-driven public sector: Enabling the strategic use of data for productive, inclusive and trustworthy governance. OECD Working Papers on Public Governance, No. 33.
- [4] **Alcaldía de Medellín.** GeoMedellín. <https://www.medellin.gov.co/geomedellin>
- [5] **Taipei City Government.** Taipei Open Data Platform. <https://data.taipei>
- [6] **United Nations.** (2021). Environmental Data and Indicators. Official Website: <https://unstats.un.org/unsd/environment/>
- [7] **European Environment Agency.** (2022). Digital technologies for better environmental protection. Official Website: <https://www.eea.europa.eu/highlights/digital-technologies-for-better-environmental>
- [8] **Taipei City Government.** (n.d.). Environmental Sensor Data. <https://data.taipei/dataset/detail?id=a3e3db3a-6b74-4b60-8a6d-5278e96b7c64>
- [9] **SIATA.** Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá. <https://siata.gov.co>
- [10] **World Bank** (2020). Data-Driven Cities: 20 Stories of Innovation.
- [11] **Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., & Bazilian, M.** (2019). The Role of Energy in the Sustainable Development Goals. Energy Strategy Reviews, 24, 1-10.
- [12] **Zhao, L., Zhai, Y., & Xie, W.** (2020). Open Data and Smart City Development: A Review. Sustainable Cities and Society, 56, 102095.
- [13] **López, F., Ramírez, L., & Pérez, C.** (2018). Retos y oportunidades de la integración de plataformas de datos abiertos en las ciudades inteligentes. Revista de Investigación en Tecnología y Gestión Urbana, 12(3), 45-58.
- [14] **Chen, Y., Huang, Y., & Wang, J. (2022).** Energy Consumption and Public Policy: A Case Study of Taipei. Energy Policy, 162, 112799.
- [15] **Taipei City Government.** (2020). Taipei Smart City Annual Report. Taipei Smart City Project Management Office.
- [16] **Alcaldía de Medellín.** (2023). Movilidad en Línea – Datos abiertos sobre movilidad urbana.

[17] **Alcaldía de Medellín.** (2023). Estrategia de Datos Abiertos en Medellín: Hacia una ciudad más sostenible. Municipio de Medellín.

[18] **Taipei Smart City.** (2021). The Development of Data-Driven Smart Cities in Taipei. Government of Taipei.

[19] **Zhang, X., Li, F., & Wang, T.** (2020). Smart Cities in Asia: A Comparative Study of Taipei and Other Asian Cities. *Journal of Urban Planning and Development*, 146(2), 1-15.

[20] **Batty, M., Axhausen, K. W., Giannotti, F., Pozdnoukhov, A., Bazzani, A., Wachowicz, M., ... & Portugali, Y.** (2012). Smart cities of the future. *European Physical Journal Special Topics*, 214(1), 481–518.

[21] **Sieber, R. E., & Johnson, P. A.** (2015). Civic open data at a crossroads: Dominant models and current challenges. *Government Information Quarterly*, 32(3), 308–315

[22] **Environmental Protection Agency (EPA).** (2021). Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI). United States Environmental Protection Agency.

[23] **Organización Panamericana de la Salud / OMS.** (2020). Contaminación del aire: un riesgo para la salud respiratoria en América Latina y el Caribe. OPS.

[24] **Taipei Times.** (2024). Air quality ranking places Taipei 45th globally. Recuperado de <https://www.taipeitimes.com>

[25] **Organización Panamericana de la Salud (OPS).** (2020). Contaminación del aire: un riesgo para la salud respiratoria en América Latina y el Caribe.

[26] **Organización Mundial de la Salud (OMS).** (2019). Clasificación Internacional de Enfermedades, 10^a Revisión (CIE-10). OMS.

[27] **World Health Organization (WHO).** (2021). WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: WHO.

[28] **Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA).** (2022). Renewable Energy in Cities: Urban Opportunities for Clean Energy Transitions.

[29] **World Economic Forum.** (2022). Global Smart City Alliance: Principles for thriving cities. Recuperado de <https://www.weforum.org>

[30] **Siemens AG.** (2019). Asian Green City Index: Assessing the environmental performance of Asia's major cities. Economist Intelligence Unit. Recuperado de https://www.siemens.com/entry/cc/features/greencityindex_international/all/en/pdf/asian_gci_report_en.pdf

[31] **Congreso de Colombia.** (1994). Ley 142 de 1994 – Régimen de Servicios Públicos Domiciliarios. Diario Oficial No. 41.433.

[32] **CAF - Banco de Desarrollo de América Latina.** (2020). Ciudades Inteligentes con enfoque de inclusión social: Marco conceptual y guía para su implementación en América Latina.

[33] **Empresa de Energía de Medellín (EPM).** (2021). Informe de gestión energética urbana (datos abiertos). Recuperado de <https://datosabiertos.medellin.gov.co>

[34] **Banco Mundial (World Bank).** (2020). Smart Mobility in Cities: Planning for a Resilient Urban Transport. Washington, DC: World Bank.

[35] **Taipei City Government.** (2022). SDG Goal 11: Sustainable Cities and Communities – Urban Transport and Mobility. Taipei Sustainable Development Goals Platform.

[36] **Taipei City Government – Open Data Platform.** (2021). Open Data Taipei. Recuperado de: <https://data.taipei>

[37] **Alcaldía de Medellín.** (2018). Plan de Movilidad Segura de Medellín 2013–2020. Recuperado de https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldelCiudadano_2/PlandeDesarrollo_0_15/InformacionGeneral/Shared%20Content/Documentos/instrumentos/ps/PLAN%20MOVILIDAD%20SEGURA.pdf

[38] **Metro de Medellín.** (2023). Empresa de Transporte Masivo del Valle de Aburrá - Metro de Medellín S.A.

[39] **El Tiempo.** (2018, diciembre 17). ‘EnCicla es víctima de su propio éxito’: Viviana Tobón. Recuperado de: <https://www.eltiempo.com/colombia/medellin/balance-del-programa-de-bicicletas-publicas-de-medellin-encicla-290778>

[40] **Área Metropolitana del Valle de Aburrá.** (2022). Nueva estación EnCicla Coltejer. Recuperado de <https://www.metropol.gov.co/Paginas/Noticias/nueva-estacion-encicla-coltejer.aspx>

[41] **Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo, ITDP** (2021). Movilidad urbana sostenible en América Latina. Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo.

[42] **New York City Mayor's Office.** (2020). Vision Zero Year Six Report. Recuperado de <https://www.nyc.gov/assets/visionzero/downloads/pdf/vision-zero-year-6-report.pdf>

[43] **Mayor's Office of Data Analytics.** NYC Office of Data Analytics. Ciudad de Nueva York. <https://www.nyc.gov/site/analytics/index.page>

[44] **NYC311.** NYC311 – Official NYC Information. Ciudad de Nueva York. <https://portal.311.nyc.gov/>

[45] **NYC BigApps.** NYC BigApps – A Civic Innovation Challenge. Ciudad de Nueva York.
<https://bigapps.nyc>

[46] **NYC Parks. (2015).** TreesCount! 2015. NYC Department of Parks & Recreation.
<https://tree-map.nycgovparks.org/tree-count>

[47] **International Telecommunication Union (ITU).** (2017). Collection Methodology for Key Performance Indicators for Smart Sustainable Cities. United for Smart Sustainable Cities (U4SSC) initiative.

[48] **United Nations Economic Commission for Europe (UNECE).** (2021). Smart Sustainable Cities Profile Methodology. Recuperado de <https://unece.org/smart-sustainable-cities>

[49] **UN-Habitat.** (2020). World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization. Recuperado de https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/10/wcr_2020_report.pdf

[50] **Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo.** (1987). Nuestro Futuro Común (Informe Brundtland). Oxford University Press.

[51] **Organización de las Naciones Unidas.** (s.f.). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

8.1 REFERENCIAS DE GITHUB

- [1] MadeNovoa16. (2025). Open_Cities_Medellin_y_Taipei [Repositorio de código]. GitHub.
Disponible en: https://github.com/MadeNovoa16/Open_Cities_Medellin_y_Taipei
- [2] **MadeNovoa16. (2025).** Open-Cities_Medellin_y_Taipei: AQI_Procesado.ipynb
[Jupyter Notebook]. GitHub:
https://github.com/MadeNovoa16/Open_Cities_Medellin_y_Taipei/blob/main/AQI_Procesado.ipynb
- [3] **MadeNovoa16. (2025).** Open-Cities_Medellin_y_Taipei: AQI_Procesado.ipynb
[Jupyter Notebook]. GitHub:
https://github.com/MadeNovoa16/Open_Cities_Medellin_y_Taipei/blob/main/AQI_Procesado.ipynb
- [4] **MadeNovoa16. (2025).** Open-Cities_Medellin_y_Taipei: Taipei_City_Air_Pollution
[Jupyter Notebook]. GitHub:
https://github.com/MadeNovoa16/Open_Cities_Medellin_y_Taipei/blob/main/Taipei_City_Air_pollution.ipynb
- [5] **MadeNovoa16. (2025).** Open-Cities_Medellin_y_Taipei:
Contaminación_por_Estaciones_Moviles [Jupyter Notebook]. GitHub:
https://github.com/MadeNovoa16/Open_Cities_Medellin_y_Taipei/blob/main/Contaminacion%CC%81n_por_estaciones_moviles.ipynb
- [6] **MadeNovoa16. (2025).** Open-Cities_Medellin_y_Taipei: Contaminación_Aire_Medellín
[Jupyter Notebook]. GitHub:
https://github.com/MadeNovoa16/Open_Cities_Medellin_y_Taipei/blob/main/Contaminacion%CC%81n_aire_medelli%CC%81n.ipynb
- [7] **MadeNovoa16. (2025).** Open-Cities_Medellin_y_Taipei: Renewable_Energy_Site_Data
[Jupyter Notebook]. GitHub:
https://github.com/MadeNovoa16/Open_Cities_Medellin_y_Taipei/blob/main/Renewable_Energy_Site_Data.ipynb
- [8] **MadeNovoa16. (2025).** Open-Cities_Medellin_y_Taipei:
Taiwan_Power_Company_Renewable_Energy_Site_Data [Jupyter Notebook]. GitHub:
https://github.com/MadeNovoa16/Open_Cities_Medellin_y_Taipei/blob/main/Taiwan_Power_Company_Renewable_Energy_Site_Data.ipynb
- [9] **MadeNovoa16. (2025).** Open-Cities_Medellin_y_Taipei:
Tarifas_para_Servicios_de_Energía_EPM [Jupyter Notebook]. GitHub:
https://github.com/MadeNovoa16/Open_Cities_Medellin_y_Taipei/blob/main/Tarifas_para_Servicios_de_Energia_EPM.ipynb

-
- [10] **MadeNovoa16. (2025).** Open-Cities_Medellin_y_Taipei:
Tarifas_para_Servicios_de_Energía_EPM [Jupyter Notebook]. GitHub:
https://github.com/MadeNovoa16/Open_Cities_Medellin_y_Taipei/blob/main/Tarifas_para_Servicios_de_Energía_EPM.ipynb
- [11] **MadeNovoa16. (2025).** Open-Cities_Medellin_y_Taipei:
Taipei_City_Traffic_Accident_Sp_traducido [Jupyter Notebook]. GitHub:
https://github.com/MadeNovoa16/Open_Cities_Medellin_y_Taipei/blob/main/Taipei_City_Traffic_Accident_Sp_traducido.ipynb
- [12] **MadeNovoa16. (2025).** Open-Cities_Medellin_y_Taipei: Movilidad_Sostenible_Medellín [Jupyter Notebook]. GitHub:
https://github.com/MadeNovoa16/Open_Cities_Medellin_y_Taipei/blob/main/Movilidad_sostenible_Medellín.ipynb
- [13] **MadeNovoa16. (2025).** Open-Cities_Medellin_y_Taipei: Afluencia_Metro_medellín [Jupyter Notebook]. GitHub:
https://github.com/MadeNovoa16/Open_Cities_Medellin_y_Taipei/blob/main/Afluencia_Metro_Medellin.ipynb

Capítulo 9. ANEXOS

Tabla 1. Cronograma de actividades:

Actividad	Descripción	Fecha aproximada	Esfuerzo (horas)
Revisión del estado del arte	Estudio sobre ciudades inteligentes, datos abiertos y políticas públicas urbanas	Mar 2025 - Abr 2025	20 h
Análisis del contexto de Taipéi y Medellín	Investigación sobre las estrategias digitales y plataformas de datos abiertos de ambas ciudades	Abr 2025 - May 2025	20 h
Recolección de datos de Taipéi	Identificación de fuentes oficiales, descarga de Data sets (calidad del aire, movilidad, energía)	Abr 2025 - May 2025	30 h
Recolección de datos de Medellín	Identificación de fuentes oficiales, descarga de Data sets (calidad del aire, movilidad, energía)	May 2025	~
Procesamiento y análisis de datos de Taipéi	Limpieza, transformación, análisis estadístico y visualización	Abr 2025 - Jun 2025	30 h
Procesamiento de datos de Medellín	Limpieza, transformación, análisis estadístico y visualización	May 2025	~
Desarrollo de visualizaciones	Integración de datos, dashboards comparativos y visuales exploratorios	Jun 2025 - Jul 2025	15 h
Redacción de la memoria y discusión de resultados	Documentación de metodología, análisis y hallazgos preliminares	Jul 2025 - Ago. 2025	
Reuniones con tutor y coordinación	Seguimiento del plan de trabajo, ajustes por problemas de disponibilidad de datos	Mar 2025 - Oct 2025	
Ajustes, presentación y entrega final	Correcciones, edición final, preparación de presentación y defensa	Sep. 2025 - Oct 2025	

Para facilitar la reproducibilidad de la investigación y la trazabilidad de los datos, a continuación, se presenta la tabla 2 (en anexos) que sirve como un **índice cruzado**. Este recurso conecta cada uno de los **notebooks de GitHub** utilizados en el análisis con su correspondiente eje temático, los gráficos y las figuras generadas. De esta manera, se puede identificar la fuente de código específica de cada visualización y resultado clave en este estudio.

Tabla 2. Tabla de Referencias Cruzadas de Notebooks de GitHub

Notebook (GitHub)	Eje Temático	Gráfico	Descripción del Análisis
AQI_Procesado.ipynb	Calidad Ambiental	Gráficos 1 y 2	Distribución del Índice de Calidad del Aire (AQI) y correlación de contaminantes en Taipéi.
Taipei_City_Air_Pollution.ipynb	Calidad Ambiental	Gráfico 3	Evolución temporal de contaminantes como PM2.5, NO2, CO y SO2.
Contaminación_por_Estaciones_Moviles.ipynb	Calidad Ambiental	Gráfico 4	Ánalysis de rechazos en inspecciones vehiculares en Taipéi.
Contaminación_aire_medellín.ipynb	Calidad Ambiental	Gráfico 5	Ánalysis de la calidad del aire en Medellín.
Renewable_Energy_Site_Data.ipynb	Gestión Energética	Gráfico 6	Capacidad instalada de energía renovable eólica terrestre y marítima en Taipéi.
Tarifas_para_Servicios_de_Energía_EPM.ipynb	Gestión Energética	Gráficos 7, 8 y 9	Evolución del consumo energético y tarifas de servicios en Medellín.
Taipei_City_Traffic_Accident_Sp_traducido.ipynb	Movilidad Sostenible	Gráfico 10	Ánalysis de accidentalidad por mes, hora y rangos de edad en Taipéi.
Movilidad_sostenible_Medellín.ipynb	Movilidad Sostenible	Gráfico 11	Ánalysis de la movilidad sostenible en Medellín.
Afluencia_Metro_Medellin.ipynb	Movilidad Sostenible	Gráfico 12	Variación de la demanda mensual del Metro de Medellín.

Anexo: Declaración sobre el uso de la Inteligencia Artificial

En la elaboración de este trabajo de tesis, se utilizó como soporte el uso de modelos de lenguaje de inteligencia artificial, como es el caso de **Gemini de Google**, como herramienta de apoyo para optimizar el proceso de investigación y redacción. El uso de esta herramienta se limitó a las siguientes funciones:

- **Orientación y estructuración:** se utilizó la IA para obtener ideas iniciales sobre la organización de capítulos y para estructurar argumentos de manera lógica.
- **Corrección y revisión:** Se le solicitó para revisar borradores de texto, identificar posibles errores gramaticales, de puntuación u ortográficos, y sugerir mejoras de estilo para una redacción más clara.
- **Ánalisis y síntesis:** La IA se empleó para procesar y resumir información compleja de algunas fuentes académicas, facilitando una comprensión más rápida de conceptos clave.

Es importante recalcar que el uso de esta herramienta fue exclusivamente instrumental. La investigación original, el análisis crítico, la interpretación de los datos y las conclusiones presentadas en este trabajo son el resultado del esfuerzo intelectual de la autora. El contenido y las ideas principales no fueron generados por la IA, la cual sirvió únicamente como un asistente para mejorar la calidad y claridad del trabajo final.

Anexo apartado 4.3: Referencias de Datos y Fuentes Documentales

- **Datos Abiertos Medellín:** <https://datosabiertos.medellin.gov.co/>
- **GeoMedellín – Datos Abiertos:**
<https://www.medellin.gov.co/geomedellin/datosAbiertos>
- **Taipei Open Data Platform:** <https://data.taipei/>
- **Medellín Ciudad Inteligente:** <https://www.medellin.gov.co/es/ciudad-inteligente/>
- **Ruta N Medellín:** <https://www.rutanmedellin.org/>
- **Informe Especial 24/2023 – Ciudades Inteligentes (UE):**
<https://www.eca.europa.eu/es/publications/SR-2023-24>
- **Urban Sustainability Framework – Banco Mundial:**
<https://documents1.worldbank.org/curated/en/665841573789617502/pdf/Urban-Sustainability-Framework-1...>

[PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO]