



Calidad del aire en el Valle de Aburrá, ¿Qué podríamos esperar de la ciudad inteligente?

 Nora Cadavid-Giraldo¹,  Ana Zuelima Orrego Guarín² y  Humberto Barrera Jimenez³

Recepción: 27-11-2020 | Aceptación: 22-04-2021 | En línea: 12-05-2021

PACS: 92.60.Sz

doi:10.17230/ingciencia.17.33.8

Resumen

El fenómeno global de crecimiento urbano, unido a la rápida penetración de la telefonía móvil, internet de las cosas, sensórica, automatización, intercambio de datos en tiempo real, etc, confluyen en un tema que genera grandes expectativas: la ciudad inteligente. Entre sus múltiples implicaciones, en este texto se destacan hechos relevantes para la gestión de la calidad del aire en el Valle de Aburrá. El punto de partida es Plan de Gestión de la Calidad del Aire para el Valle de Aburrá, con vigencia 2017-2030. Se presenta una correlación entre las oportunidades de gestión que la ciudad inteligente ofrece a la calidad del aire y las líneas estratégicas de dicho plan. Se identifican importantes soluciones desde el enfoque *bottom-up*, centradas en el uso masivo de la información y la apropiación de herramientas digitales para favorecer la autogestión de las emisiones en todos los ámbitos – fuentes fijas y móviles, públicas y particulares.

¹ Universidad EAFIT y Corporación Ruta N, ncadavi1@eafit.edu.co, Medellín, Colombia.

² Área Metropolitana del Valle de Aburrá, ana.orrego@metropol.gov.co, Medellín, Colombia.

³ Secretaría de Movilidad de Medellín, humberto.barrera@medellin.gov.co, Medellín, Colombia.

Palabras clave: Calidad del aire urbana; ciudad inteligente; cuarta revolución industrial.

Air Quality in Aburrá Valley: What Can We Expect from the Smart City

Abstract

The global phenomenon of urban growth, together with the rapid penetration of mobile telephony, internet of things, sensors, automation, real-time data exchange, etc., converge on a topic that generates great expectations: the smart city. Among its multiple implications, this text highlights relevant facts for air quality management in the Aburrá Valley. The starting point is the Air Quality Management Plan for the Aburrá Valley, valid for 2017-2030. A correlation between the management opportunities that the smart city offers to air quality, and the strategic lines of the plan is presented. Important solutions are identified from the bottom-up approach, focused on the massive use of information and the appropriation of digital tools to promote self-management of emissions in all areas - fixed and mobile, public and private sources.

Keywords: Urban air quality; smart city; fourth industrial revolution.

1 Introducción

La revisión cronológica del fenómeno de ciudad inteligente, es útil para la comprensión de su dinámica, significado, implicaciones y expectativas. El caso de la ciudad de Los Ángeles aparece como primer referente a principios de la década de 1970, por el uso de bases de datos y fotografías aéreas para describir calidad de las viviendas, estilos de vida o diferentes tendencias demográficas; una metodología altamente innovadora para aquella época, que agregó valor en los ámbitos de la gestión urbanística y la ejecución de planes de reducción de la pobreza [1],[2].

El siguiente elemento de referencia es el proyecto de tecno-ciudades o tecnópolis, desarrollado en el Japón en la década de los 80's y a través del cuál se destacaron 26 centros urbanos donde se procuraría el desarrollo industrial con alta intensidad de conocimiento pero también la permeabilidad de la tecnología sobre otros sectores como la cultura, la gestión de los recursos, la generación de conocimiento y la calidad de vida [3]. En 1987, Australia se unió a Japón, gestionando un proyecto bi-nacional, la Polis

multi-funcional (Multi Function Polis), que pretendía la construcción de un nuevo entorno urbano con las mismas características de la tecnópolis japonesa, en los suburbios de la ciudad de Adelaida. La ciudad, desde su concepción, requeriría optimizar el consumo de agua y energía, minimizar el uso del transporte y ofrecer una completa red de comunicaciones que pudiese sustentar una diversa gama de servicios para sus habitantes [4],[5]. En 1997, el proyecto de Polis multi funcional fue declinado [6] pero sin duda alguna, tuvo alta incidencia sobre el desarrollo de la ciudad de Adelaida, incluso, la primera alusión encontrada al termino específico “Smart city” procede de allí, pues Adelaida, encontró en este proyecto, inspiración para crear de una zona piloto de servicios, donde la cadena de suministro opera haciendo las tecnologías y servicios de información, en conexión permanente con entidades gubernamentales [4].

Singapur también debe ser enumerado entre los primeros antecedentes del término. En 1993, Heng [7] describe el ya avanzado proceso de transformación de la ciudad y recurre a la expresión “intelligent city” documentando cómo, su rápido desarrollo económico ha sido acompañado por la formación de capital humano, la transformación tecnológica y las telecomunicaciones. En este caso en particular, se hace muy visible la participación activa del sector privado, particularmente de la compañía IT&T.

En 1994, Amsterdam lanzó su propuesta “De Digitale Stad” (Global Data Tematic REsearch, 2020) para promover el uso de internet entre sus ciudadanos. En la concepción del proyecto se consideraba la migración de la ciudad a la red, como nuevo referente de la comunidad, o en otras palabras, la trasmutación -en palabras textuales- de “citizens” a “netizens” [8].

A partir de 1995, la alusión al término “Smart city” o ciudad inteligente, en documentos de los sectores público, privado y académico, disponibles en internet, se hace simplemente innumerable; sin embargo, aún es posible identificar elementos sobresalientes, como el caso de la intervención de la compañía IBM en el año 2008, quien propuso el término “Smart planet” y dibujó a la ciudad inteligente “Smart city” como su célula de desarrollo [9]. Bajo estos conceptos, IBM ofreció hardware, software y servicios digitales a los gobiernos urbanos. Cisco también iba a la vanguardia de plataformas digitales y proponía un nuevo término análogo al de ciudad inteligente, la ciudad ubicua [10]. Intel dió protagonismo al tema ambiental, apoyando a la ciudad de San Jose - California-, en su proyecto de visión verde, al ofrecer

una red de sensores “sustainability lens”, para medir la concentración de partículas en el aire, el ruido, los flujos de movilidad y producir datos disponibles para los ciudadanos y el gobierno [11].

Como un último hito en la evolución de la ciudad inteligente, mencionamos el proyecto Sidewalk Lab en el puerto de Toronto, una estrategia de renovación urbana liderada por Alphabet Inc., filial de Google. De acuerdo con la información oficial del proyecto¹ además de infraestructura de comunicaciones de las más altas cualidades, la propuesta incluía metodologías de diseño urbano basadas en aprendizaje de máquina, sistemas para el mapeo y análisis del comportamiento de los ciudadanos en el espacio público, estrategias de alfabetización digital, mecanismos para estimular una activa participación ciudadana en la gestión pública, innovación digital en los servicios de transporte y salud pública y finalmente, una propuesta de vivienda social de bajo costo para asegurar la inclusión social. El proyecto fracasó a principios del 2020, bajo la sombra de incertidumbre financiera a partir de la pandemia generada por el SARS-CoV-2. Sobre el caso, Carr y Hess [12] formulan preguntas alrededor de temas como el dominio de los datos capturados por la ciudad y la regulación en los fines con los que serían usados, de la visión de los servicios públicos como bienes transables (comodities), de los riesgos informáticos, de las consecuencias de la “estandarización extrema” o de la ciudad inteligente como un gran nicho para el mercado de productos digitales, donde los intereses comerciales estarían por encima de las estrategias de gobernanza.

Como elemento final de la revisión, se resalta la relación entre la ciudad inteligente y la ciudad eficiente, segura y sostenible. Un estudio liderado por la firma MacKinsey, monitorea la dinámica de indicadores urbanos en 50 ciudades categorizadas como ciudades inteligentes por la visibilidad y el valor de su gestión -entre las que se incluye a Medellín-. Sus hallazgos demuestran una reducción de muertes entre el 8–10 % (homicidios, muertes por incidentes de tránsito o incendios), aumento en la velocidad de respuesta frente a las emergencias del 20–35 %, reducción en los tiempos de viaje entre el 15–20 %, mejor salud pública 8–15 % y reducción en las emisiones de gases con efecto invernadero entre el 10–15 %, entre otros [9]. El estudio reafirma el valor de la información para tomar mejores decisio-

¹Disponible en <https://www.sidewalklabs.com/>

nes y la posibilidad de usar la alta conectividad e interacción ciudadana e institucional, para “hacer más con menos” [9]. Las clásicas percepciones del desarrollo sostenible se hacen visibles en la ciudad inteligente a través de la eficiencia en el uso de la energía y del agua o el monitoreo de la calidad del aire, pero en la dimensión social encontramos temas igualmente relevantes, como la equidad en el acceso a la información y a las oportunidades y a los nuevos frentes de participación ciudadana. El mismo estudio concluye resaltando una oportunidad que resulta particularmente interesante para el caso de análisis: en el ámbito de lo financiero, encontramos que la gestión tipo *Bottom-up* que surge en la ciudad inteligente, gracias a la fácil integración de los ciudadanos con los sistemas de gestión, permite alcanzar mayor eficiencia a menor costo [9]. En síntesis, la ciudad inteligente recibe la rentabilidad de la inteligencia colectiva y creatividad de sus ciudadanos. En este sentido, se resalta que, de acuerdo con el estudio, Medellín es en Latinoamérica, la ciudad con mayor reconocimiento, uso y satisfacción, frente a las aplicaciones digitales relacionadas con los servicios urbanos.

Es así como 40 años de historia y referentes de aplicación a lo largo del planeta, nos llevan a identificar seis elementos fundamentales en la construcción de una ciudad inteligente:

- i. Tecnología y dispositivos habilitantes: infraestructura de telecomunicaciones, internet de las cosas, sensórica, telefonía inteligente
- ii. Software, aplicaciones y plataformas digitales para el procesamiento de la información capturada
- iii. Interoperabilidad: sistemas de gobierno y gestión interconectados, capaces de hacer uso de la información y las señales generadas para tomar decisiones relacionadas con la gestión de los recursos, la eficiencia, la movilidad, la seguridad, etc.
- iv. Capital humano capacitado para poner en marcha el sistema de gestión basado en las TIC.
- v. Ciudadanía alfabetizada, que hace uso de las aplicaciones y tiene confianza para entregar la información que asegura el éxito del sistema.

- vi. Participación del sector privado, quien se involucra a través de la oferta de la infraestructura física y el software pero también puede llegar a ser protagonista como promotor e inversionista de grandes proyectos de desarrollo.

A partir de este recorrido introductorio por la ciudad inteligente, su origen, evolución, retos, oportunidades y cuestionamientos, el siguiente artículo de revisión, presenta una compilación de las estrategias de gestión que ésta ofrece a favor de la calidad del aire. Se parte de una visión particular desde el área metropolitana del Valle de Aburrá, específicamente desde su trayectoria hacia la consolidación como territorio inteligente y de su Plan de Gestión de la Calidad del aire -PIGECA-, aprobado para el período 2017-2030. La sección 2 presenta una revisión cronológica de los avances locales en términos de gestión de la calidad del aire y consolidación de un proyecto de ciudad inteligente. Sobre la base de los elementos técnicos y operativos que caracterizan a estas ciudades, la sección 3 enuncia los principales instrumentos de operación de la ciudad inteligente y para cada uno de ellos, enumera cuáles son las estrategias PIGECA que se fortalecen con su aplicación; esta es la sección central del artículo y demuestra la incuestionable utilidad de las nuevas tecnologías a favor de la gestión ambiental urbana. En la sección 4 se proponen elementos necesarios para que el Valle de Aburrá avance con mayor velocidad en el uso de las herramientas de la ciudad inteligente a favor el mejoramiento de la calidad del aire.

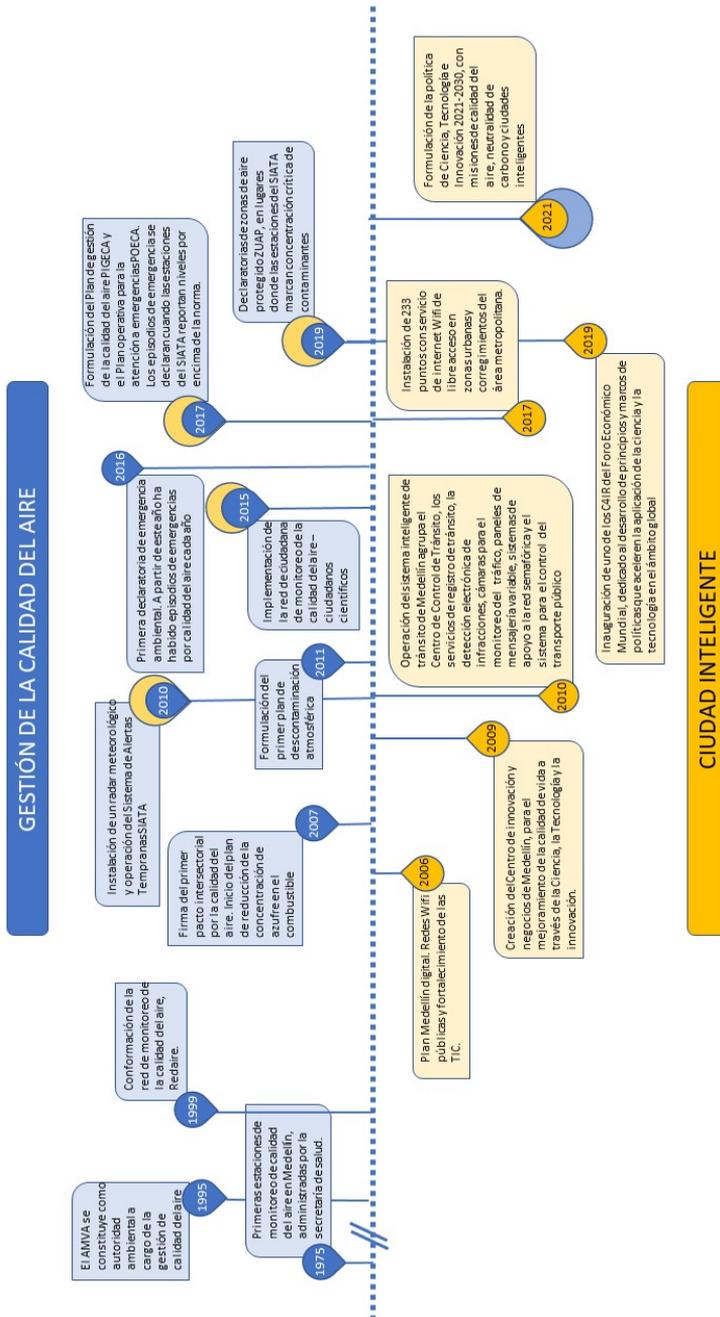
El documento presentado es una guía para vincular de manera explícita dos temas cuya interacción es fuente de oportunidades: la ciudad inteligente y la calidad del aire. Se espera que este texto permita avanzar en la articulación de las instituciones involucradas en la gestión de la calidad del aire, con las autoridades de movilidad y transporte y todos aquellos actores que participan en la generación, apropiación y uso de las tecnologías asociadas al concepto de ciudad inteligente. Se trata de un documento construido a la luz de los planes de gestión del Valle de de Aburrá, pero aplicable para cualquier ciudad que haya reconocido el vínculo entre ambos temas.

2 Trayectoria de gestión en el Valle de Aburrá, calidad del aire y ciudad inteligente

Reconocidos los antecedentes del concepto de la ciudad inteligente, traemos nuestra mirada al área metropolitana del Valle de Aburrá, una urbe que a pesar de su desequilibrio en el acceso a los servicios básicos - entre ellos la conectividad digital- y sus evidentes problemas de calidad del aire, es también referente latinoamericano por los esfuerzos de gestión en ambas áreas. Mientras Medellín es reconocida internacionalmente por sus políticas públicas alineadas con el concepto de ciudad inteligente, sólo el 64 % de los hogares tiene acceso a internet y para los niveles socio-económicos de más bajos recursos (estratos 1 a 3), los costos de acceso al servicio representan entre el 3.2 y el 8.9 % de los ingresos totales del hogar [13]. En paralelo, a pesar de sus grandes fortalezas en capacidad de monitoreo y de ser referente nacional en la gestión de episodios de alta contaminación atmosférica, los indicadores de calidad del aire y los datos epidemiológicos [14] demuestran la gravedad de la problemática. En su política pública de gestión de calidad del aire, el Departamento Nacional de Planeación de Colombia demuestra que entre las grandes ciudades de Colombia, Medellín es la más contaminada [15]. Con el fin de evaluar el impacto de este hecho sobre la salud pública, la Universidad de Antioquia y el AMVA desarrollaron un estudio para determinar la asociación de los cambios en las concentraciones de los principales contaminantes con eventos de morbilidad y mortalidad por eventos centinela de tipo respiratorio y circulatorio en unidades de tiempo diaria, y para cada uno de los municipios del AMVA, entre los años 2008 y 2016 [16]. Como un ejemplo, para el episodio crítico de contaminación del primer semestre del año 2015, se determinó un incremento del 39.4 % de las urgencias por neumonía en menores de 5 años. Durante el mismo episodio, el aumento en el riesgo de defunción por causas respiratorias fue de 5.7 % para la población general, desde el primer día de exposición, y del 6.9 % después de 7 días de exposición [17]. Para el mismo año y a partir del modelo BENMAP, el AMVA presenta un estimativo de 1790 muertes atribuibles a la mala calidad del aire [18].

La conexión entre la ciudad inteligente y la calidad del aire, encuentra un elemento de apoyo fundamental en el actual plan de gestión del AMVA, autoridad ambiental, territorial y de transporte público colectivo de la región metropolitana, titulado "Metropoli Inteligente", que incluye propuestas importantes de mejoramiento de infraestructura para la conectividad, plataformas públicas de información, inter-operabilidad de los sistemas de información, plataformas logísticas y gobierno digital, así mismo, se articula con la nueva política de ciencia, tecnología e innovación de la ciudad. La recién formulada Política de Ciencia, Tecnología Innovación y Reindustrialización (2021-2030), define dos grandes misiones: (i) "A 2030, Medellín logrará disminuir sus emisiones contaminantes, garantizando niveles saludables de calidad del aire, con una concentración de material particulado no superior a 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{2.5} en promedio anual, a la vez que avanza en su objetivo de ser una ciudad carbono neutra, logrando una reducción total de un 20 % de las emisiones de GEI con respecto a la línea base 2015 (tonCO₂eq)", y (ii) "En 2030 Medellín logrará cerrar la brecha digital contando con un índice de digitalización de 83 y estará entre las primeras 50 ciudades inteligentes del mundo, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos a través del uso productivo y ético de datos, que les permita tomar mejores decisiones y crear mejores negocios."

La Figura 1 corresponde a una descripción cronológica de antecedentes locales, que demuestran que la ciudad ha puesto su capacidad de gestión a favor de la innovación y que el propósito mejorar la calidad del aire utilizando las nuevas herramientas de la cuarta revolución industrial no solo es factible y necesario, sino que se ha avanzado en ello en los últimos años. El Plan de Gestión Integral de la Calidad del Aire, PIGECA, formulado en el año 2017, es el eje estructurante del presente texto. Los hitos marcados con la paleta de doble color, azul y naranja, se consideran aportes de la ciudad inteligente a la gestión de la calidad del aire. Así mismo, la política de Ciencia, Tecnología, Innovación y Reindustrialización pone al ecosistema de ciencia, tecnología e innovación (CTi) de la ciudad, a favor de la misión de mejoramiento de la calidad del aire.



3 La gestión de la calidad del aire en la ciudad inteligente - Caso Valle de Aburrá

A partir de estos antecedentes y en línea con la estrategia de gestión ya aprobada por la autoridad ambiental para enfrentar la problemática de calidad del aire, es posible ubicar las mayores oportunidades de incremento en la efectividad del Plan integral de Gestión de la Calidad del Aire - PIGECA-, incorporando herramientas propias de la ciudad inteligente.

Los referentes de gestión de la calidad del aire en ciudades inteligentes describen generalmente sistemas de monitoreo directo o de acceso a la información, de manera que los ciudadanos puedan conocer la concentración de contaminantes en un sitio específico y en tiempo real y tomar decisiones a favor de su salud. Otras opciones comunes son los modelos de predicción -más allá del monitoreo- [19], algunos de los cuales empiezan a usar estrategias de aprendizaje de máquina para proyectar el comportamiento del sistema, con base en el procesamiento detallado de los datos pasados [20], o en los datos de tráfico capturados en tiempo real [21]. Sin embargo, aún más interesante que monitorear o pronosticar el problema de contaminación atmosférica, es mitigarlo -o prevenirlo-. En un análisis para una ciudad Polaca, Zawieska and Pieriegud [22], estiman que los sistemas inteligentes de tráfico, la optimización de la gestión logística para la reducción en el número de viajes y las buenas prácticas de conducción, podrían reducir las emisiones de contaminantes de una ciudad en un 55 %. Pekin, redujo en un 20 %, y en menos de un año, la concentración de contaminantes atmosféricos, tomando medidas operativas inmediatas sobre el tráfico y las actividades de construcción, en respuesta con con datos de calidad del aire en tiempo real [9].

En esta sección se presenta una revisión de estrategias que se encuentran en la literatura relacionada con el uso de datos, la movilidad inteligente, el internet de las cosas o la logística 4.0, estableciéndose un puente entre ellas y la gestión guiada a través del PIGECA. Las grandes líneas del plan están agrupadas en diez temas, enunciados a continuación, con la letra que los identifica dentro del documento oficial. Estas mismas letras se utilizan en el resto de la sección para facilitar el reconocimiento de la temática a la que pertenecen.

Tabla 1: Líneas de gestión del PIGECA, la nomenclatura de cada línea es similar a la del documento original y se conserva a lo largo del texto.

A. Generación, aprovechamiento y fortalecimiento del conocimiento científico y la tecnología.
B. Planeación y Ordenamiento Territorial con Criterios de Sostenibilidad
C. Reducción del impacto sobre la calidad del aire de los modos motorizados y promover un modelo de movilidad sostenible y de bajas emisiones
D. Transformación del modelo de movilidad hacia la promoción y priorización de modos de transporte activo y de bajas emisiones
E. Industria y servicios competitiva y de bajas emisiones
F. Incremento de Espacios Verdes y Arbolado Urbano y Protección de Ecosistemas Regionales
G. Efectividad y cobertura en el control y sanciones a agentes contaminantes
H. Atención oportuna y eficaz a episodios de contaminación del aire
I. Protección y transformación de zonas sensibles a la contaminación
J. Sistema de cargas y beneficios a agentes en función de su aporte positivo o negativo a la calidad del aire

Al incorporar la ciudad inteligente como una línea de gestión de la estrategia A del PIGECA, el plan reconoce: (i) la diversidad de instituciones involucradas en el tema - incluyendo al sector público, privado, la sociedad civil y la academia-, (ii) la oportunidad de formulación de casos de negocios considerando la creación de valor económico, social y ambiental, y (iii) el valor de los datos abiertos para fomentar innovación para generar soluciones compartidas. Por encima de todo ello, se resalta el reconocimiento que el plan hace sobre la importancia del diseño de soluciones desde abajo hacia arriba, rompiendo grandes problemas en sus componentes más pequeños y actuando desde cada uno ellos. En medio de esta claridad, se reconoce igualmente que todas las demás estrategias encuentran apoyo en las tecnologías de la ciudad inteligente.

Se describen a continuación las principales oportunidades que la ciudad inteligente ofrece al mejoramiento de la calidad del aire, los avances del

Valle de Aburrá -en caso de haberlos- y las líneas del PIGECA que se verían fortalecidas a través de estas oportunidades enunciadas.

3.1 Gestión de la información

Al reconocer las relaciones entre los temas de calidad del aire, salud pública, planeación urbana, movilidad y ordenamiento territorial, se encuentra que la capacidad de intercambio entre los diferentes sistemas de información es un factor de gestión fundamental. Únicamente en el marco de tal inter-operabilidad, se aseguran decisiones informadas, acordes con la realidad urbana, coherentes y alineadas en la generación de los estímulos e incentivos adecuados. La información es indispensable en todos los frentes de trabajo, desde la salud pública, la capacidad de control y monitoreo, el control urbanístico, el mejoramiento del sistema vial e incluso, la administración del espacio público verde. Esta línea refuerza el reconocimiento del ordenamiento territorial como la base para la gestión de la calidad del aire, y de la gestión de la demanda de tránsito en lugar de la administración de la oferta.

Además de la existencia de plataformas para que las instituciones públicas hagan uso compartido de la información, también es necesario convertir a los ciudadanos en proveedores constantes de información y al mismo tiempo, garantizar su acceso a los datos que les permitan habitar de manera sostenible la ciudad.

Avances en el Valle de Aburrá La observación de la gestión de la información en el Valle de Aburrá, nos dirige inmediatamente al SIATA (ver sección 2), proyecto del AMVA que captura y publica la información sobre la calidad del aire y las condiciones meteorológicas e hidrológicas, detectadas 45 estaciones de monitoreo con más de 60 analizadores de alto nivel técnico, que además incorpora datos capturados por casi 400 sensores de menor valor y precisión administrados por una red de ciudadanos científicos [23].

Otros avances en temas de planificación y lectura del territorio, se evidencian a través de la publicación en la web, de la totalidad de los planes de ordenamiento territorial y demás documentos de planeación urbana y

gestión ambiental de los municipios del Valle de Aburrá y del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) como entidad administrativa. En esta línea, se destaca la existencia de la plataforma Medata donde se publican datos de las diferentes dependencias del municipio de Medellín y el portal de datos abiertos del AMVA que a su vez se conecta con el portal de datos abiertos nacional, direccionado por el Ministerio de las TIC.

Para terminar, se menciona que la ejecución misma del PIGECA pueden ser monitoreada por cualquier ciudadano a través del portal denominado “Observatorio metropolitano” en la página web de la entidad².

Este conjunto de acciones no solo tiene incidencia sobre la eficiencia de la gestión pública sino que significan, para un ciudadano, la posibilidad de acceso a la información que le permita tomar mejores decisiones sobre como moverse, donde ubicar su vivienda o su actividad económica, de manera armónica con las estrategias de sostenibilidad ambiental, la protección de la calidad del aire y de su salud.

La Tabla 2, enumera las diferentes estrategias del PIGECA cuyo desarrollo podría potenciarse mediante el perfeccionamiento en la operación coordinada de diferentes sistemas de información en el Valle de Aburrá.

²<https://www.metropol.gov.co/observatorio/Paginas/tableros.aspx?idtablero=12>

Tabla 2: Estrategias del PIGECA que fortalecen a través de la inter-operabilidad entre los diferentes sistemas de gestión de la información. PMOT (Plan metropolitano de ordenamiento territorial); POECA (Plan operativo para enfrentar de episodios de contingencia ambiental)

A1. Diseño e implementación de un Sistema de Vigilancia Epidemiológica.
A2. Fortalecimiento agenda de investigación científica y escenarios de intercambio de experiencias
A3. Mejora continua de la red de monitoreo, pronóstico y alertas de la calidad del aire
A4. Mejora del Inventarios de Emisiones
A5. Política de Ciudad-Metrópoli Inteligente
A6. Fortalecimiento del acceso público e información
A7. Fomento a iniciativas y procesos de co-creación local y/o Nacional
B2. Incorporación en el PEMOT de lineamientos para una planeación integral del uso del suelo y el transporte dirigida a favorecer una movilidad sostenible en el Valle de Aburrá
B3. Articulación de los Planes de Ordenamiento Territorial
B4. Planificación para una movilidad activa
B6. Incorporación de una estrategia integral de mejora logística en la planeación territorial
E6. Restricción a la instalación nuevas fuentes fijas en zonas sensibles
F1. Protección y ampliación del arbolado urbano
G1. Incremento en la capacidad de control de fuentes móviles
G3. Fortalecimiento de acciones de prevención y control de emisiones generadas por fuentes fijas
H1. Fortalecimiento de los mecanismos de actuación del POECA
II. Creación de zonas de baja emisión y zonas de circulación restringida en áreas estratégicas del Valle de Aburrá

3.2 Movilidad inteligente

La movilidad urbana impacta de manera directa la calidad ambiental y la economía, y es también una de las variables más visiblemente conectadas con el concepto de ciudad inteligente. El entorno de ciudad inteligente es

requerido para la caracterización y posterior intervención sobre todas las variables de movilidad, con objetivos de optimización, de cumplimiento de estándares, de prospectiva y planificación.

Desde las operaciones, se abren posibilidades como uso flexible y dinámico de las vías, control de semáforos, gestión en tiempo real de los problemas de circulación, restricciones diferenciales según el tipo de vehículo, implementación de sistemas de peajes, manejo de las infracciones, etc.

En el caso de la planeación, la información completa sobre el comportamiento del tránsito, con aforos basados en el procesamiento de imágenes o sensores, que eliminen los errores y limitaciones de aforos manuales, permitirá tener una base de información más completa para tomar mejores decisiones de construcción y adecuación de infraestructura de movilidad. La información es también fundamental para implementar sistemas con control como cupos de emisión o cobros por congestión.

Desde el punto de vista del usuario, el acceso a la información de tránsito en tiempo real, es un mecanismo natural de descongestión, pues permite tomar decisiones de viaje que contrarresten la sobre-ocupación de las vías. La ciudad inteligente debe propiciar cambios en el comportamiento ciudadano [24], entregándole los estímulos adecuados según su comportamiento.

Para abordar con mayor profundidad el tema de los sistemas de movilidad inteligente, se presenta una corta recopilación de las oportunidades operativas que las tecnologías 4.0 ofrecen a la gestión de la movilidad urbana y una descripción del sistema de movilidad inteligente que opera hoy en la ciudad de Medellín, destacando sus retos inmediatos.

Capacidad de control y dinámica de la operación de las vías

Tanto la congestión como el exceso de velocidad han sido reconocidos con factores que pueden incrementar el nivel de emisiones del tráfico automotor. La relación entre la velocidad promedio y las emisiones del vehículo ha sido descrita como una curva en forma de U [25], sin embargo, los ritmos de aceleración, desaceleración modifican ampliamente este comportamiento, de manera que la dinámica del tráfico se reconoce como un factor relacionado con el incremento en el consumo de combustible y la generación de emisiones, en todo tipo de vehículos de combustión [26],[27],[28]. Los autores en [29], presentan una caracterización de las emisiones en lo que el estudio denomina "hot spots" de congestión, encontrando que en sitios crí-

ticos, las emisiones de un solo vehículo pueden incrementarse hasta un 75 % [29]. Estudios realizados en el Valle de Aburrá muestran como los ciclos de conducción en el centro de la ciudad de Medellín aumentan la emisión de contaminantes hasta un 400 % por causa de la congestión [30].

Semáforos inteligentes

Los sensores y el internet de las cosas se complementan con la generación de algoritmos que permiten leer las señales capturadas y gestionar los cambios de luces de acuerdo con lo que ocurre en cada cruce [31]; algoritmos de inteligencia artificial son usados comúnmente para guiar este proceso [32], [33]. Cuando los cambios de luces no obedecen patrones regulares sino que responden en tiempo real a las condiciones de tránsito, no solo es posible dar paso prioritario a los vehículos de emergencia, sino mejorar el flujo vehicular y con ello, la eficiencia, los tiempos de viaje y consecuentemente, la calidad del aire. Si los sensores que alimentan el sistema de semaforización, no solo capturan las señales visibles en la vía, sino que pueden conectarse con unidades de comunicación en cada vehículo - on-board unit (OBU)- el intercambio de información es más eficiente. A este sistema se le denomina V2X -vehicle-to-everything (V2X)- [31] y hace parte del conjunto de herramientas básicas para la denominada movilidad inteligente.

El caso de la instalación de semáforos inteligentes en 253 cruces de la ciudad de Mumbai, India (con 18 millones de habitantes) se reporta como un ejemplo exitoso de optimización en la operación de semáforos [34]. La compañía Schneider Electric implementó un sistema de control en la operación que permite supervisión y reacción ante eventos anómalos y dificultades. Los resultados demuestran una reducción del 12 % en los tiempos de viaje [34].

Rieles inteligentes para el control de la congestión

En un nivel aún más disruptivo que los semáforos inteligentes, los rieles inteligentes ofrecen flexibilidad en la gestión del tráfico, permitiendo una gestión dinámica de la capacidad de flujo de las vías. De nuevo, es el internet de las cosas el que permite monitorear los flujos y asignar capacidades de acuerdo con su dinámica temporal [35].

Cargo por congestión a través de contribución vial electrónica

El cobro por circular en zonas de alta congestión ha sido una estrategia exitosa de reducción del tráfico, aplicada por primera vez en Singapur, en

1973, y a partir de allí, replicada por Londres, Estocolmo, Dubai, Milán, San Diego, etc. [36]. El impacto de la medida sobre el tráfico de automóviles es contundente: En Singapur, la aplicación del cargo por congestión generó una reducción del 73 % de los viajes en vehículo particular [36]. En el mundo occidental, Londres fue pionera en la implementación del sistema, dentro una zona de 22 Km^2 , el impacto de la medida, adoptada en 2003, se estima en una reducción del tránsito en un 12 % [37]. Los efectos ambientales de la medida, han sido estudiados detalladamente por [38], quien anota que a pesar de las reducciones sustanciales en el material particulado, el mayor flujo de autobuses diesel ha generado un incremento de óxidos de nitrógeno, en relación con datos de otras urbes de referencia [38]. A la propuesta de peajes urbanos puede agregarse una variante, precios dinámicos, que también desestimen la circulación o uso de servicios en horas de mayor demanda- este sistema no solo aplica a estas tasa, sino a otras como el costo de parqueaderos o uso del transporte público [39]. El uso de sensores para el reconocimiento de los vehículos según sus particularidades de operación y emisión, así como el uso sistemas de cobro automatizados, son piezas fundamentales para la implementación exitosa de estos sistemas.

Avances en el Valle de Aburrá El Área Metropolitana del Valle de Aburrá, ha dado dos importantes pasos en materia de movilidad inteligente, el primero es la integración operativa de un número significativo de componentes del transporte colectivo y el segundo, para la ciudad de Medellín, es el desarrollo de herramientas de movilidad inteligente -que aún no logran su necesaria interoperabilidad-, como se describe a continuación.

El sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá - SITVA está constituido por el metro, los cables, el tranvía, los buses que circulan por carriles preferenciales y exclusivos, así como sus servicios alimentadores, otras rutas de buses con un radio de acción municipal y metropolitano y finalmente, el sistema de bicicletas públicas del Valle de Aburrá - Encicla. Esta visión integrada del sistema de transporte ha sido es un elemento en desarrollo que busca migrar a un modelo verdaderamente intermodal con integración tarifaria y operativa.

En cuanto a tecnología de control y monitoreo, el municipio de Medellín es el que cuenta con avances más significativos, al haber desarrollado desde el año 2011, el denominado Sistema Inteligente de Movilidad de Medellín

(SIMM). El SIMM está conformado por: i) el Centro de Control de Tránsito (CCT) que procesa las novedades de incidentes en vía reportados por la Policía Nacional, cuenta con 80 cámaras para el análisis de información de tránsito y apoyo a la red semafórica en 22 intersecciones de la ciudad; también monitorea visualmente el Circuito Cerrado de Televisión de la Secretaría de Movilidad de Medellín, ii) el Sistema de Fotodetección que a través de tecnologías de reconocimiento de placas impone infracciones por incumplimiento de las normas de tránsito. Fuera del SIMM, la Alcaldía de Medellín también tiene una operación espejo del Sistema de Gestión y Control de Flota -GTPC- del AMVA y el Centro de Ingeniería y Operación Semafórica a cargo de ese sistema en la ciudad. La información generada por el SIMM se transmite al público a través de 22 paneles de información, de la página web y de las redes sociales.

Con el objetivo de articular las herramientas descritas y usar la información generada, con fines operativos pero también predictivos y de planeación, se encuentra en desarrollo el denominado Centro Integrado de Tráfico y Transporte -CITRA-. CITRA, además de ampliar la cobertura espacio-temporal sobre el monitoreo del sistema de movilidad con tecnologías propias (60 nuevas cámaras VDS -Vehicle Detection System- por analítica de video, 15 VMS -Variable Message Sign- y un CCTV adicional), integra información de otros sistemas tecnológicos que capturan información de movilidad como oferta, demanda, operación, estado, novedades y alertas, e incluirá además otro tipo de variables como la meteorología, eventos masivos, condiciones de seguridad, etc.

Finalmente, la declaratoria de Zona de Aire protegido en el centro de la ciudad, cuya operabilidad requerirá la implementación de algún tipo control sobre el ingreso de vehículos contaminantes, será un gran hito en implementación de sistemas de gestión inteligente del tránsito, pues su aplicación demanda que la ciudad de un paso acelerado hacia la implementación de sistemas de control que permitan condiciones diferenciales de tránsito dentro de la zona, de acuerdo con los niveles de emisión de los vehículos.

La Tabla 3 enumera aquellas estrategias del PIGECA que se fortalecen mediante las tecnologías y operaciones asociadas a la ciudad inteligente, en este caso particular, en lo que se refiere al reconocimiento y control a los vehículos y la descripción inmediata y acumulada, de los flujos de tránsito.

Tabla 3: Estrategias del PIGECA que fortalecen a través del fortalecimiento de sistemas inteligentes de tránsito

B4. Planificación para una movilidad activa.
B6. Incorporación de una estrategia integral de mejora logística en la planeación
C3/C4. Expansión, fortalecimiento, fomento y modernización del transporte público
C7. Acciones pedagógicas para generar conciencia y corresponsabilidad sobre la acerca reducción de emisiones de fuentes móviles
C8. Diseño e implementación de un programa de incentivos para la modernización de la flota de automóviles y motocicletas en circulación
C9. Programa Integral de inspección de emisiones y mantenimiento vehicular
C11. Introducción acelerada de vehículos de ultra bajas emisiones y emisiones cero
C12. Requerimiento de instalación de filtros de partículas (FDP) y/o otras tecnologías certificadas de post-tratamiento
C13. Obras de infraestructura con alto y positivo impacto ambiental y en la movilidad
C14. Fomento a la renovación el parque vehicular mediante el Pico y Placa Ambiental y el POECA
C15. Política de gestión de la demanda
C16. Gestión Integral de la Logística del Transporte de Carga y volquetas en el Valle de Aburrá
D1. Políticas y programas orientados a mejorar las condiciones de caminabilidad del Valle
D2. Ampliación, conectividad e interacción de la red de infraestructura para la bicicleta
D4. Promoción del uso de la bicicleta mediante la disponibilidad un sistema de bicicletas públicas integrado al SITVA
D6. Desestimulo al uso de vehículo particular
E9. Implementación de Planes Empresariales de Movilidad Sostenible
G1. Incremento en la capacidad de control de fuentes móviles
G2. Implementación de un programa de detección remota de emisiones (DRE) vehiculares en vía
H1. Fortalecimiento de los mecanismos de actuación del POECA
I1. Creación de zonas de baja emisión y zonas de circulación restringida en áreas estratégicas del Valle de Aburrá
I2. Creación de zonas protegidas para reducir la exposición a la contaminación atmosférica
J1. Establecimiento de beneficios y cargas

3.3 Logística urbana

El transporte de carga es universalmente reconocido como uno de los mayores generadores de contaminación atmosférica urbana. Esta actividad representa también un gran reto técnico por las frecuentes restricciones de circulación, la alta dispersión de la demanda, la congestión y los altos costos del transporte urbano [40]. Las estrategias para enfrentar este problema están comúnmente relacionadas con la reducción y control de las emisiones de cada vehículo, pero hay también una oportunidad asociada a la eficiencia logística. Propuestas como la logística colaborativa, que incluye la creación de clusters de clientes, proveedores y prestadores de servicios [40], la implementación de plataformas para una inter-operabilidad eficiente entre los diversos componentes de la cadena de suministro, la gestión de la información [41],[42] y la localización estratégica de instalaciones y centros logísticos [43], son elementos fundamentales en la reducción de las emisiones. La automatización y el uso de herramientas digitales acompañan de manera necesaria la eficiencia en las operaciones logísticas; así mismo, lo son el desarrollo de software y aplicaciones para actividades optimización de operaciones de almacenamiento, paqueteo, ruteo, etc.

Los sistemas de ruteo de vehículos merecen una mención aparte pues materializan el concepto de eficiencia aplicado a la logística. Estos sistemas son comúnmente utilizados en casos de distribución de bienes y productos en centros urbanos. Las variables tradicionalmente involucradas en el problema de ruteo están asociadas a las distancias de viaje y el tiempo empleado en atender a todos los clientes [44], pero en los últimos años - y de la mano del área de la logística verde- ha surgido una extensión al problema, que se ocupa además de reducir las emisiones asociadas (green routing problem) [45]. Otra extensión del problema, responde a oportunidades tecnológicas como los sistemas de geo-posicionamiento geográfico en los teléfonos móviles y el monitoreo en tiempo real de los vehículos y del tráfico urbano; en este caso, el diseño de la rutas es dinámico y responde a los datos que describen el flujo vehicular urbano en tiempo real. Datos reportados por [46], demuestran reducciones del 3 y al 25 %, en los costos de operación de las rutas diseñadas con sistemas de optimización dinámicos, respecto a los sistemas de ruteo basados en datos estáticos.

En el Valle de Aburrá, la importancia de este tema está dada por la alta participación del transporte de carga en las emisiones de material particulado. De acuerdo con el inventario de emisiones más reciente [47], el 64 % del material particulado presente en la atmósfera del valle procede de los camiones y volquetas. En este sentido, los avances pertenecen al sector privado; empresas de distribución de carga y paquetería cuentan con sus propios sistemas de planeación de rutas pero también padecen el efecto de la congestión, que implica mayor consumo de combustible y mayores emisiones por ciclos de conducción con frecuentes arranques y velocidad muy variable. Por el momento, las entidades gubernamentales no ofrecen una infraestructura pública ni física ni digital, con alto impacto sobre la eficiencia logística. El PIGECA reconoce el valor de la eficiencia logística en la reducción de las emisiones de contaminantes y por ello contempla las medidas que se enumeran en la Tabla 8.

Tabla 4: Estrategias del PIGECA para fortalecer la eficiencia logística en el Valle de Aburrá

B6. Incorporación de una estrategia integral de mejora logística en la planeación territorial mejora logística en la planeación territorial
C16. Gestión Integral de la Logística del Transporte de Carga y volquetas en el Valle de Aburrá

3.4 Internet de las cosas al servicio de la generación constante de información, la operación eficiente y el monitoreo de fuentes de emisión

La instrumentación de vehículos, chimeneas industriales y de fuentes de área, es una estrategia de gestión indispensable para mejorar las prácticas de los emisores, muy valiosa para que la autoridad ambiental aumente su capacidad de control y vigilancia y fundamental para que los ciudadanos generen información. Si los datos generados por sensores pueden ser transmitidos en tiempo real, su valor de magnifica por la posibilidad de tomar reacciones inmediatas. A esta dupla entre la instrumentación - o sensórica- y la transmisión de datos en tiempo real, se le ha denominado internet de las cosas.

Algunos puntos asociados al IoT merecen una mención particular:

Instrumentos de medición de calidad del aire Los sistemas de monitoreo continuo de emisiones, analizan la concentración de contaminantes directamente en la chimenea, sin interrupciones. Cuentan con dispositivos de detección, analizadores de contaminantes, convertidores de unidades, graficadores y software que permite comparar con los límites de emisión permitidos. Esta actividad es un hecho común para el caso de fuentes fijas y una opción que empieza a considerarse -e incluso a definirse como norma- para las fuentes móviles [48], [49]. En el segundo caso, los dispositivos de auto-diagnóstico a bordo (OBD), permitirían controlar en cada momento de la conducción, si el automotor está sobrepasando los límites de emisiones de gases y partículas al aire.

La utilidad de este tipo de herramientas es tan evidente, que su instalación empieza a convertirse en un requisito legal. La ley 1972 de 2019 obliga que todos los vehículos diésel tengan un dispositivo que garantice el Sistema de Autodiagnóstico a Bordo (OBD) que permita controlar si el automotor está sobrepasando los límites permitidos de emisiones de gases y partículas al aire. A su vez, la resolución metropolitana 912 de 2017, establece una obligación análoga a las fuentes fijas, que deberán implementar sistemas de monitoreo continuo e implementar la automatización en temas clave de la operación con el suministro de combustible sólido. Se destaca también la oportunidad de monitoreo de fuentes de área, es decir, aquellas asociadas al almacenamiento o uso de sustancias volátiles, que pueden llegar a ser importantes amenazas a la salubridad en zonas delimitadas o espacios confinados y cuya gestión empieza a demandar cada vez más atención, por el alto impacto de de los COV sobre la salud pública y su papel en la formación de contaminantes secundarios.

El valor de esta instrumentación de fuentes fijas, móviles y de área, no solo es fundamental para asegurar las buenas prácticas de operación sino para alcanzar mayores niveles de precisión del inventario de emisiones, instrumento fundamental en la gestión de la calidad del aire.

Eco-conducción La ciudad inteligente no solo requiere dispositivos y redes de comunicación, sino ciudadanos que sepan usarlos para mejorar su comportamiento. Este es el caso de las prácticas de conducción, pues es

reconocido que los diferentes ritmos de aceleración y frenado, así como la velocidad de conducción, tienen una incidencia en el consumo de combustible y en las emisiones [31]. Autores como [50],[51] proponen simuladores como "juegos serios" para entrenar a los conductores en mejores prácticas que propicien un aprovechamiento eficiente del combustible. El internet de las cosas también es clave para que desde el motor se generen señales que permitan capturar información sobre las revoluciones por minuto, velocidad o comportamiento del sistema de inyección de combustible y entregar al conductor, las señales adecuadas para una conducción eficiente [50],[52].

Identidad digital La identidad digital permite la representación y reconocimiento de una entidad cualquiera en el entorno digital [53] - pueda aplicar a una persona, pero también a un vehículo-; en el último caso, el reconocimiento se logra generalmente mediante la instalación de las llamadas tecnologías de proximidad (Near Field Communication -NFC-), como tags de radiofrecuencia, bluetooth, wibree, etc. Este tipo de dispositivos permiten al conductor interactuar con el vehículo y abren también el canal de conexión con la ciudad inteligente -Tal como se describió en un numeral anterior frente al caso de la operación de semáforos inteligentes y los dispositivos V2X.

La instalación de *tags* de radiofrecuencia o dispositivos similares, es la vía más certera para reconocer a cada vehículo y categorizarlo de acuerdo con el tipo de servicio que presta, sus niveles de emisión y actividad, todos ellos datos fundamentales para el control de cumplimiento de las normas de tránsito y el establecimiento de restricciones diferenciales que estimulen las formas de movilidad limpia [54]. Se trata de un paso adelante en la solución de los problemas de reconocimiento óptico de las placas vehiculares mediante los sistemas de fotodetección.

La identidad digital puede extenderse también al reconocimiento de los usuarios de los sistemas de movilidad limpia, como las ciclorutas, la red caminera o el transporte colectivo, pues permitiría no solo monitorear sus viajes sino diseñar mecanismos de estímulo para premiar su contribución a la mejor calidad del aire.

Finalmente se destaca la posibilidad de asignar una identidad digital a los árboles urbanos dada la cada vez más amplia aplicación de estrategias de monitoreo digital para la determinación del estado sanitario de los árboles

urbanos [55],[56],[57] y el reconocimiento universal de su papel en la calidad de vida urbana.

En síntesis, se trata de reconocer el valor de aumentar la capacidad de la ciudad para generar datos y hacer uso de ellos en tiempo real, con utilidad significativa en múltiples frentes de gestión: control y monitoreo, estímulos a las buenas prácticas, sanciones efectivas frente a incumplimiento de la normatividad, generación de información para mejores procesos de planeación. La Tabla 5 incluye el listado de estrategias del PIGECA que se potencian a través del potencial del internet de las cosas.

Avances en el Valle de Aburrá El Área Metropolitana del Valle de Aburrá, en su calidad de autoridad de transporte público colectivo metropolitano y masivo de pasajeros, ha iniciado la implementación de un sistema de gestión de datos del transporte público colectivo (GTPC) que monitorea temas como el exceso de velocidad, la conducción con puertas abiertas, cambios en las rutas, ascenso y descenso de pasajeros en sitios no autorizados, sobrecupo y monitoreo de servicio. Esta sistema nos lleva a la idea de la transformación digital del sistema de transporte público maximizando la confortabilidad y seguridad en su uso y con ello, su protagonismo creciente.

La red de monitoreo de calidad del aire cuenta con 20 estaciones fijas y móviles administradas por la autoridad ambiental metropolitana pero integra también sensores administrados por ciudadanos científicos, ubicados en viviendas e instituciones educativas; en 2021 la red se ha fortalecido con 100 sensores instalados bicicletas, monitoreando la calidad del aire, temperatura y humedad mientras realizan sus desplazamientos por el territorio [23].

La misma lógica puede aplicarse a los sistemas de ciclorutas y red caminera, estableciendo sistemas fijos de monitoreo de calidad del aire, y cámaras de seguridad para proteger al máximo a sus usuarios. La sensórica es también útil para cuantificar el uso del sistema a través de mecanismos de aforo automáticos.

Finalmente, y en la línea de la identidad digital, se resalta el programa de eco-etiquetado de camiones y volquetas, diseñado para reconocer vehículos que, después de someterse a una prueba de conteo de partículas en sus emisiones, quedan eximidos de las medidas de pico y placa ambiental

durante los episodios de prevención y emergencia por calidad del aire [58].

Tabla 5: Estrategias del PIGECA que fortalecen a través del IoT

C2. Estándares de emisiones más estrictos
C3/C4. Expansión, fortalecimiento, fomento y modernización del transporte público
C5. Ajuste de requerimientos de emisiones para las motocicletas que se comercializan en el Valle de Aburrá y el resto del país
C7. Acciones pedagógicas para generar conciencia y corresponsabilidad sobre la acerca reducción de emisiones de fuentes móviles
C8. Diseño e implementación de un programa de incentivos para la modernización de la flota de automóviles y motocicletas en circulación
C9. Programa Integral de inspección de emisiones y mantenimiento vehicular
C10. Diseño e implementación de un programa masivo de capacitación en conducción eficiente.
C11. Introducción acelerada de vehículos de ultra bajas emisiones y emisiones cero.
C12. Requerimiento de instalación de filtros de partículas (FDP) y/o otras tecnologías certificadas de post-tratamiento de emisioens
C13. Obras de infraestructura con alto y positivo impacto ambiental y en la movilidad
C14. Fomento a la renovación el parque vehicular mediante el Pico y Placa Ambiental y el POECA
C15. Política de gestión de la demanda
C16. Gestión Integral de la Logística del Transporte de Carga y volquetas en el Valle de Aburrá
D1. Políticas y programas orientados a mejorar las condiciones de caminabilidad del Valle
D2. Ampliación, conectividad e interacción de la red de infraestructura para la bicicleta
D3. Mejoras en equipamiento de la ciudad para la movilidad activa.
D4. Promoción del uso de la bicicleta mediante la disponibilidad un sistema de bicicletas públicas integrado al SITVA.
D5. Promoción, educación y cultura e la movilidad activa
D6. Desestimulo al uso de vehículo particular
E4. Mejoramiento del desempeño ambiental y energético de la industria.
E5a. Control de emisiones en procesos de no combustión.
E5b. Instalación de sistemas de recuperación de vapores de gasolina a lo largo del proceso de almacenamiento, transporte y suministro.
E7. Mejorar proceso de Legalización y control de extracción manejo y disposición de materiales de construcción
E8. Requerimiento de Instalación de sistemas de monitoreo continuo de emisiones en fuentes fijas
F1. Protección y ampliación del arbolado urbano
G2. Implementación de un programa de detección remota de emisiones (DRE) vehiculares en vía

3.5 Telemedicina, educación virtual, comercio electrónico, gobierno digital

Una robusta infraestructura de comunicaciones y acceso masivo a la web, así como la transformación digital de los sectores clave -academia, gobierno, empresas- y la alfabetización tecnológica de los ciudadanos, permitirán que prácticas como el teletrabajo, la tele-educación, las compras por canales virtuales y demás trámites vía web, acelerados por la situación de confinamiento derivada de la pandemia generada por el covid-19, se conviertan en prácticas comunes.

El impacto de estas prácticas sobre la reducción de viajes ha sido abordado en la literatura académica. Para el caso específico de California, [59] y en una encuesta aplicada a 513 participantes, quienes implementaron el teletrabajo, reportan una reducción total en la longitud de los viajes cercana al 79% pero un aumento en el número de viajes diarios por persona, de 3.97 a 4.45. A pesar de que algunos de estos nuevos viajes se realizan a pie o en bicicleta, cuando se mantiene el uso del vehículo motorizado, los autores llaman la atención sobre las mayores emisiones derivadas de encender el vehículo con el motor frío, variable que debe considerarse al hacer el balance final del fenómeno. La conclusión global de los autores describe la necesidad de estudiar detalladamente el comportamiento de los agentes, antes de concluir sobre una reducción generalizada de las emisiones en función del teletrabajo. En el mismo sentido, y basados en la revisión de 900 trabajos académicos que describen la relación entre el teletrabajo, el consumo de energía y la respectiva emisión de contaminantes [60]; los autores incluyen en el análisis, la evidente reducción de viajes junto a otros aspectos como el consumo de energía doméstico (probablemente menos eficiente), el consumo de energía de los equipos requeridos en las telecomunicaciones, incluyendo el almacenamiento de información en la nube y el *video streaming*. Además anotan que las prácticas de teletrabajo inducen a que las personas vivan a grandes distancias de sus sitios de trabajo y ello implica que, eventualmente, realicen viajes muy largos, incluso, viajes en avión. Mas allá de estas consecuencias inmediatas, traen a la discusión importantes cambios en la configuración socio-espacial de la ocupación del territorio [60].

La Tabla 6 enumera las estrategias del PIGECA que se fortalecen a través de la telemedicina, teletrabajo, gobierno digital y demás estrategias análogas.

Tabla 6: Estrategias del PIGECA que fortalecen a través de la implementación de estrategias de tele-medicina, tele-educación, tele-trabajo, comercio electrónico y demás trámites digitales

A5. Política de Ciudad-Metrópolis Inteligente
A6. Fortalecimiento del acceso público a información
C15. Política de gestión de la demanda
D6. Desestimulo al uso de vehículo particular
J1. Establecimiento de beneficios y cargas

3.6 Aplicaciones móviles

La comunicación entre los sistemas urbanos y los ciudadanos pasa necesariamente por el teléfono móvil y por lo tanto, el desarrollo de aplicaciones móviles es un elemento clave de éxito. Los usuarios de estos dispositivos desean estar siempre conectados y ello implica que no solo están en interacción continua como personas, sino que actúan como sensores, generando y aportando información [61]. La experiencia de uso de estas aplicaciones demuestra que su desagregación temática puede generar confusión, dispersión de la información y otras consecuencias negativas; atendiendo a este hecho, los autores en [61], reportan el desarrollo de una única aplicación móvil que centraliza todos los servicios que un ciudadano demanda en una única plataforma, a la que sus creadores denominan “SmartCitizen app”, donde el ciudadano tiene acceso a la totalidad de las temáticas de interés en una ciudad y además, puede incrementar de forma natural el alcance de tales interacciones.

La centralización de la experiencia de interacción entre el usuario y la ciudad es entonces el gran reto en este tema. Múltiples actores con intereses fragmentados, y en muchos casos, de carácter comercial, representan una clara dificultad a esta necesidad de centralización; de nuevo, se requiere una sólida gobernanza capaz de articular al sector público y privado con la ciudadanía. La Tabla 7 evidencia el potencial de las aplicaciones móviles a favor del cumplimiento del PIGECA.

El AMVA tiene disponible para los ciudadanos la aplicación *Área 24/7* que integra la información del SIATA y cuenta con otras funcionalidades

relacionadas con el cálculo de emisiones de viajes, medición de consumo de agua, ubicación de sitios de interés, etc. La evaluación de los usuarios demuestra que algunas de sus funcionalidades tienen oportunidades de mejora. Aplicaciones para el uso del transporte público han sido esfuerzos aislados de escasa continuidad en el tiempo (ej. TPmed)

Tabla 7: Estrategias del PIGECA que fortalecen a través del desarrollo de aplicaciones móviles

A1. Diseño e Implementación de un Sistema Integrado de Vigilancia Epidemiológica
A3. Mejora continua de la red de monitoreo, pronóstico y alertas de la calidad del aire
A4. Mejora continua del Inventario de emisiones
A5. Política de Ciudad-Metrópoli Inteligente
A6. Fortalecimiento del acceso público a información
A7. Fomento a iniciativas y procesos de co-creación local y/o Nacional
C3/C4. Expansión, fortalecimiento, fomento y modernización del transporte público
C7. Acciones pedagógicas para generar conciencia y corresponsabilidad sobre la reducción de emisiones de fuentes móviles.
C10. Diseño e implementación de un programa masivo de capacitación en conducción ecoeficiente
C15. Política de gestión de la demanda
C16. Gestión Integral de la Logística del Transporte de Carga y Volquetas en el Valle de Aburrá
D1. Políticas y programas orientados mejorar las condiciones de caminabilidad del Valle de Aburrá
D2. Ampliación, conectividad e integración de la red de infraestructura para la bicicleta
D4. Promoción del uso de la bicicleta mediante la disponibilidad de un sistema de bicicletas públicas integrado al SITVA
D5. Promoción, educación y cultura de la movilidad activa
D6. Desestimulo al uso de vehículo particular
E7. Mejorar proceso de legalización y control de actividades de extracción, manejo y disposición de materiales de construcción
E8. Requerimiento de Instalación de sistemas de monitoreo continuo de emisiones en fuentes fijas
E9. Implementación de planes empresariales de movilidad sostenible – Planes MES
F1. Protección y ampliación del arbolado urbano
F5. BanCO2 Metropolitano
H1. Fortalecimiento de los mecanismos de actuación del POECA

3.7 Sistemas de intercambio de cupos de emisión de contaminantes

Como alternativa a los mecanismos igualatorios y normas de emisión, se han propuesto instrumentos económicos que bajo el principio de la economía ambiental, "el que contamina paga", pretenden reducir la emisión de contaminantes a través de incentivos económicos. Además de los impuestos directos a las emisiones, los mecanismos de mercado basados en la asignación de cupos de emisión, tienen un uso creciente. Los agentes que emiten menos del cupo asignado, pueden vender el equivalente a las emisiones no generadas, a aquellos que por tener costos de abatimiento mayores, tienen menores posibilidades de cumplir con sus toques máximos. De esta forma, y atendiendo a la lógica del intercambio, se logra la meta global de emisiones al menor costo posible para los agentes. La ciudad inteligente es el necesario mecanismo habilitador de este sistema, que no solo requiere un robusto apoyo tecnológico que permita monitorear o verificar la información entregada por los usuarios, sino de una plataforma segura y efectiva para la ejecución de las transacciones.

El PIGECA reconoce el valor de estos sistemas y dentro de las estrategias de gestión definidas, se encuentra declarada la intención de estudiar, y en caso favorable, desarrollar e implementar de un programa de derechos negociables o bonos de emisión "a través del cual la autoridad ambiental fije la carga máxima de contaminantes que puede recibir la cuenca del Valle de Aburrá".

Tabla 8: Estrategia del PIGECA para general instrumentos locales de cargas y beneficios a agentes en función de su aporte positivo o negativo a la calidad del aire.

J1. Establecimiento de beneficios y cargas

4 Discusión

La administración de la cuenca atmosférica del Valle de Aburrá se ha sustentado en las normas generadas desde el gobierno nacional, donde se definen concentraciones máximas de emisión de contaminantes para fuentes

fijas y se obliga a las fuentes móviles a una revisión tecnico-mecánica anual que incluye pruebas de emisión de algunos gases contaminantes.

Las directrices nacionales expresan también que cuando la concentración de contaminantes en la cuenca atmosférica urbana superan las normas, es necesario hacer una declaratoria de área fuente de contaminación. En este caso, la autoridad ambiental se obliga a tomar medidas más allá de las establecidas desde el gobierno nacional. Así, el AMVA ha establecido una serie de medidas de control a las fuentes fijas, obligación a las empresas para el establecimiento de planes empresariales de movilidad sostenible y manejo de episodios críticos de contaminación. También hay más de 15 años de aplicación de restricciones diarias de circulación a los vehículos, según el número de su placa. Finalmente, se formuló el PIGECA con sus diferentes frentes de actuación, desde la investigación, la vigilancia epidemiológica, la planeación urbana y el fortalecimiento de instrumentos de monitoreo, comando y control y la innovación con estrategias de asignación de cargas y beneficios.

El gran aporte que la ciudad inteligente introduce a la estrategia de gestión vigente, se deriva de (i) la posibilidad de monitorear y publicar en tiempo real información sobre la calidad ambiental; (ii) capturar información asociada al comportamiento de los agentes de emisión y (iii) A partir de los dos items anteriores, tomar decisiones de corto, mediano y largo plazo y poder medir su impacto. En el primer caso, el valle de aburrá tiene avances importantes, materializados a través del SIATA; la captura de información generada por los agentes de emisión es un punto fundamental que apenas empieza a reconocerse. A través de la información generada, y de una mejor conexión entre los diferentes sistemas de gestión de la salud, la movilidad y la autoridad ambiental, la asertividad de las decisiones a favor de una mejor calidad del aire será potenciada.

En el escenario de gestión descrito, el conjunto de actores involucrado directamente en la solución del problema de calidad del aire, se hace mucho más amplio. La responsabilidad de los ciudadanos y el sector privado se hace visible a través de las oportunidades de autogestión de sus emisiones, pero también hay nuevos protagonistas en el sector de la tecnología y las comunicaciones, pues son ellos los primeros habilitadores del sistema urbano inteligente.

¿Cuáles serían los siguientes pasos prioritarios para que la región metropolitana del Valle de Aburrá se integre a esta dinámica? Como lo describimos en la sección 2, hay avances fundamentales en términos de monitoreo de la calidad del aire, estímulos a la innovación y apropiación tecnológica, e implementación de nuevas tecnologías al sistema de gestión del tránsito; las políticas públicas están perfectamente alineadas con las estrategias de gestión descritas, es necesario poner en funcionamiento nuevos esquemas de operación, y ello implica una serie de acciones habilitantes que se enumeran a continuación:

- Mejorar la infraestructura de conectividad digital y la velocidad de transmisión de la información en todo el territorio metropolitano.
- Lograr accesibilidad universal a la red, reduciendo los costos de uso del servicio.
- Estimular la creación coordinada y eficiente de instrumentos como software y aplicaciones móviles, que permitan subir y descargar información en la nube, y utilizarla para tomar decisiones cotidianas.
- Mejorar las capacidades técnicas locales para la apropiación de tecnologías de la cuarta revolución industrial y desarrollo de herramientas asociadas.
- Educar y estimular la cultura de uso de las herramientas tecnológicas por parte de los ciudadanos, tema en el que el que Medellín tiene fortalezas ya identificadas [9].
- Articular los esfuerzos institucionales para lograr una efectiva interoperabilidad, esto involucra de manera protagónica a las secretarías de movilidad y a la autoridad ambiental.
- Actualizar el marco normativo atendiendo a las necesidades de los nuevos esquemas de control y vigilancia así como al papel ampliado de los emisores, en temas como el compromiso a entregar información a la autoridad ambiental y la auto-gestión de sus propios límites de emisión. Este marco normativo también es un elemento decisivo al momento de estimular la atracción de capital de inversión privado en el proceso de dinamización de la ciudad inteligente.

Este texto es un llamado al reconocimiento del valor de las nuevas tecnologías en la transformación positiva del sistema urbano - en sus componentes operativo, logístico, estratégico y también cultural. La compilación de los aportes que la ciudad inteligente hace a la gestión de la calidad del aire, es un llamado a la inversión de recursos destinados a la calidad ambiental, en el desarrollo y apropiación de herramientas tecnológicas.

La confluencia de este reconocimiento a través de la nueva política CTi de la ciudad de Medellín y de los diversos planes de gestión de la autoridad ambientales y municipales, representa todo el soporte institucional a las propuestas de gestión que aquí se ilustran. Las situaciones paradójicas del área metropolitana del Valle de Aburrá, con su desequilibrio entre alta capacidad de gestión y deficientes indicadores en el territorio, son una alerta urgente que viene acompañada de una palabra clave: gobernanza. Las instituciones del área metropolitana demuestran una gestión de muy alto nivel técnico pero su impacto sobre la calidad del aire no es el esperado. La ciudad inteligente, con todos las herramientas de acercamiento a entre la ciudadanía, el sector privado y el estado, puede ser una vía de solución cercana y efectiva.

Tal como lo afirma la definición de sostenibilidad propuesta en el informe Brundtland, nuestros límites son flexibles en función de la tecnologías y el comportamiento social, ahí es exactamente donde la ciudad inteligente demuestra todo su valor, manteniendo activa la dinámica urbana al tiempo que fortalece acciones a favor de una mejor calidad del aire, a través de la eficiencia operativa.

Agradecimientos

Nora Cadavid Giraldo agradece al Ministerio de Ciencia y Tecnología de Colombia por su financiación de la estancia de investigación postdoctoral a través de la convocatoria 848 de 2019. Adicionalmente agradece a la Corporación Ruta n por su acogida como pasante de investigación, en el marco de su esfuerzo por estimular al ecosistema de CTi de la ciudad de Medellín, a favor del mejoramiento de la calidad del aire en el Valle de Aburrá.

Referencias

- [1] F. Cugurullo, *The origin of the smart city imaginary*. Routledge, 2018. 186
- [2] M. Vallianatos, “Uncovering the early history of ‘big data’ and ‘smart city’ in los angeles,” *Boom California*, pp. 18–39, 2015. 186
- [3] S. Yazawa, “The technopolis program in japan,” *Hitotsubashi journal of social studies*, vol. 22, no. 1, pp. 7–18, 1990. <http://www.jstor.org/stable/43294310> 186
- [4] A. Tokmakoff and J. Billington, “Consumer services in smart city adelaide,” in *Paper published at HOIT 94. Proceedings of an International Cross-disciplinary Conference on Home-Oriented Informatics, Telematics & Automation, University of Copenhagen*, 1994. 187
- [5] S. Hamnett, “The multi-function polis 1987–1997,” *Australian Planner*, vol. 34, no. 4, pp. 227–232, 1997. <https://doi.org/10.1080/07293682.1997.9657793> 187
- [6] P. Parker *et al.*, “The multi-function polis 1987-97: an international failure or innovative local project?” 1998. 187
- [7] T. M. Heng and L. Low, “The intelligent city: Singapore achieving the next lap: Practitioners forum,” *Technology Analysis & Strategic Management*, vol. 5, no. 2, pp. 187–202, 1993. <https://doi.org/10.1080/09537329308524129> 187
- [8] G. Alberts, M. Went, and R. Jansma, “Archaeology of the amsterdam digital city; why digital data are dynamic and should be treated accordingly,” *Internet Histories*, vol. 1, no. 1-2, pp. 146–159, 2017. <https://doi.org/10.1080/24701475.2017.1309852> 187
- [9] J. Woetzel, J. Remes, B. Boland, K. Lv, S. Sinha, G. Strube, J. Means, J. Law, A. Cadena, and V. Von der Tann, “Smart cities: Digital solutions for a more livable future,” *McKinsey Global Institute: New York, NY, USA*, pp. 1–152, 2018. 187, 188, 189, 194, 215
- [10] S. T. Shwayri, “A model korean ubiquitous eco-city? the politics of making songdo,” *Journal of Urban Technology*, vol. 20, no. 1, pp. 39–55, 2013. <https://doi.org/10.1080/10630732.2012.735409> 187
- [11] J. Lyons, “Intel smart city tech furthers city’s green goals,” 2014. 188
- [12] C. Carr and M. Hesse, “When alphabet inc. plans toronto’s waterfront: New post-political modes of urban governance,” *Urban Planning*, vol. 5, no. 1, pp. 69–83, 2020. <http://dx.doi.org/10.17645/up.v5i1.2519> 188

- [13] C. R. n Fundación ECSIM, “Análisis de prefactibilidad internet banda ancha para acceso de hogares y empresas en medellin y su area metropólitana,” in *Proyecto: INFRAESTRUCTURA TIC PARA LA EQUIDAD*, 2018. 191
- [14] U. d. A. Área Metropolitana del Valle de Aburrá, “Contaminación atmosférica y sus efectos sobre la salud de los habitantes del valle de aburrá; 2008-2017. análisis de la exposición de corto y largo plazo,” 2019. https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Biblioteca-aire/Estudios-calidad-del-aire/contaminacion_atmosferica_efectos_salud.pdf 191
- [15] D. N. de Planeación, “Documento conpes 3943, política para el mejoramiento de la calidad del aire,” 2019. 191
- [16] G. R. Hugo de Jesús, N. L. Emmanuel Salvador, M. H. Nora Adriana, V. G. Fernán Alonso, A. C. Ruth Marina, and C. L. Heisling Alexander, “Contaminación atmosférica y efectos sobre la salud de la población de medellín y su área metropolitana, 2008-2015,” *Facultad de Salud Pública, Universidad de Antioquia - Área Metropolitana del Valle de Aburrá*, 2019. 191
- [17] E. Martínez, C. Quiroz, F. Daniels, and A. Montoya, “Contaminación atmosférica y efectos sobre la salud de la población de medellín y su área metropolitana,” *Facultad de Salud Pública, Universidad de Antioquia*, 2007. 191
- [18] Área Metropolitana del Valle de Aburrá, “Plan integral de gestión de la calidad del aire del valle de aburrá,” 2017. <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Paginas/Gestion-integral/PIGECA.asp> 191
- [19] Y. Zheng, F. Liu, and H.-P. Hsieh, “U-air: When urban air quality inference meets big data,” in *Proceedings of the 19th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, 2013, pp. 1436–1444. 194
- [20] İ. Kök, M. U. Şimşek, and S. Özdemir, “A deep learning model for air quality prediction in smart cities,” in *2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*. IEEE, 2017, pp. 1983–1990. <https://doi.org/10.1109/BigData.2017.8258144> 194
- [21] Y. Wen, S. Zhang, J. Zhang, S. Bao, X. Wu, D. Yang, and Y. Wu, “Mapping dynamic road emissions for a megacity by using open-access traffic congestion index data,” *Applied Energy*, vol. 260, p. 114357, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114357> 194
- [22] J. Zawieska and J. Pieriegud, “Smart city as a tool for sustainable mobility and transport decarbonisation,” *Transport Policy*, vol. 63, pp. 39–50, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.11.004> 194

- [23] A. M. Roldán, “Siata, referente en gestión de riesgo de desastres,” *Revista Universidad EAFIT*, vol. 50, no. 166, p. 83, 2015. 196, 208
- [24] C. Benevolo, R. P. Dameri, and B. D’auria, “Smart mobility in smart city,” in *Empowering Organizations*. Springer, 2016, pp. 13–28. 199
- [25] G. Bel and J. Rosell, “Effects of the 80km/h and variable speed limits on air pollution in the metropolitan area of barcelona,” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 23, pp. 90–97, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.04.005> 199
- [26] I. K. Folgerø, T. Harding, and B. S. Westby, “Going fast or going green? evidence from environmental speed limits in norway,” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 82, p. 102261, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102261> 199
- [27] M. Makridis, G. Fontaras, B. Ciuffo, and K. Mattas, “Mfc free-flow model: Introducing vehicle dynamics in microsimulation,” *Transportation Research Record*, vol. 2673, no. 4, pp. 762–777, 2019. 199
- [28] H. S. Chong, S. Kwon, Y. Lim, and J. Lee, “Real-world fuel consumption, gaseous pollutants, and co2 emission of light-duty diesel vehicles,” *Sustainable Cities and Society*, vol. 53, p. 101925, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101925> 199
- [29] C. K. Gately, L. R. Hutyra, S. Peterson, and I. S. Wing, “Urban emissions hotspots: Quantifying vehicle congestion and air pollution using mobile phone gps data,” *Environmental pollution*, vol. 229, pp. 496–504, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.05.091> 199, 200
- [30] A. S. John Ramiro, A. S. Andrés Felipe, M. S. Ricardo, C. L. Fernando, L. G. Andrés Felipe, and H. G. Óscar David, “Factores de emisión reales de fuentes móviles en el valle de aburrá.” Universidad de Antioquia - Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019, p. 78. 200
- [31] W.-H. Lee and C.-Y. Chiu, “Design and implementation of a smart traffic signal control system for smart city applications,” *Sensors*, vol. 20, no. 2, p. 508, 2020. 200, 207
- [32] M. S. Al-Ani and K. Alheeti, “Intelligent traffic light control system based image intensity measurment,” *Al-Anbar University-College Of Computer Science-Iraq*, 2010. 200
- [33] S. Soomro, M. H. Miraz, A. Prasanth, and M. Abdullah, “Artificial intelligence enabled iot: traffic congestion reduction in smart cities,” 2018. 200

- [34] C. Aoun, “The smart city cornerstone: Urban efficiency,” *Published by Schneider electric*, 2013. 200
- [35] M. R. Jabbarpour, A. Nabaei, and H. Zarrabi, “Intelligent guardrails: an iot application for vehicle traffic congestion reduction in smart city,” in *2016 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData)*. IEEE, 2016, pp. 7–13. <https://doi.org/10.1109/iThings-GreenCom-CPSCom-SmartData.2016.29200>
- [36] P. Carvalho, “Pricing out congestion, experiences from abroad,” *Research note, The New Zealand Initiative*, vol. 150, pp. 603–625, 2020. 201
- [37] G. R. Timilsina and H. B. Dulal, *Fiscal policy instruments for reducing congestion and atmospheric emissions in the transport sector: A review*. The World Bank, 2008. 201
- [38] C. P. Green, J. S. Heywood, and M. Navarro Paniagua, “Did the london congestion charge reduce pollution?” *Regional Science and Urban Economics*, vol. 84, p. 103573, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2020.103573>
- [39] S. Saharan, S. Bawa, and N. Kumar, “Dynamic pricing techniques for intelligent transportation system in smart cities: A systematic review,” *Computer Communications*, vol. 150. 201
- [40] R. de Souza, M. Goh, H.-C. Lau, W.-S. Ng, and P.-S. Tan, “Collaborative urban logistics – synchronizing the last mile a singapore research perspective,” *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 125, pp. 422–431, 2014, eighth International Conference on City Logistics 17-19 June 2013, Bali, Indonesia. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.1485>
- [41] N. Malhene, A. Trentini, G. Marques, and P. Burlat, “Freight consolidation centers for urban logistics solutions: The key role of interoperability,” in *2012 6th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (DEST)*. IEEE, 2012, pp. 1–6. 204
- [42] D. Boudoin, C. Morel, and M. Gardat, “Supply chains and urban logistics platforms,” in *Sustainable urban logistics: Concepts, methods and information systems*. Springer, 2014, pp. 1–20. 204
- [43] Y. LI and Q. ZHANG, “Evaluation methods of logistics center location planning schemes,” *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, vol. 27, no. 2, pp. 143–146, 2010. 204

- [44] T.-Y. Liao, “On-line vehicle routing problems for carbon emissions reduction,” *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 32, no. 12, pp. 1047–1063, 2017. <https://doi.org/10.1111/mice.12308> 204
- [45] E. Jabir, V. V. Panicker, and R. Sridharan, “Multi-objective optimization model for a green vehicle routing problem,” *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 189, pp. 33–39, 2015, operations Management in Digital Economy. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.03.189> 204
- [46] D. Cattaruzza, N. Absi, D. Feillet, and J. González-Feliu, “Vehicle routing problems for city logistics,” *EURO Journal on Transportation and Logistics*, vol. 6, no. 1, pp. 51–79, 2017. <https://doi.org/10.1007/s13676-014-0074-0> 204
- [47] Área Metropolitana del Valle de Aburrá, “Plan operacional para enfrentar episodios de contaminación atmosférica en el Área metropolitana del vallé de aburrá,” 2018. <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Paginas/Gestion-integral/POECA.aspx> 205
- [48] D. Shin, C. G. Woo, K.-J. Hong, H.-J. Kim, Y.-J. Kim, B. Han, J. Hwang, G.-Y. Lee, and S.-N. Chun, “Continuous measurement of pm10 and pm2.5 concentration in coal-fired power plant stacks using a newly developed diluter and optical particle counter,” *Fuel*, vol. 269, p. 117445, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117445> 206
- [49] Servotech, “Data-logger for vehicle data acquisition,” 2014. 206
- [50] R. Massoud, F. Bellotti, R. Berta, A. De Gloria, and S. Poslad, “Eco-driving profiling and behavioral shifts using iot vehicular sensors combined with serious games,” in *2019 IEEE Conference on Games (CoG)*. IEEE, 2019, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1109/CIG.2019.8847992> 207
- [51] H. Rakha and R. K. Kamalanathsharma, “Eco-driving at signalized intersections using v2i communication,” in *2011 14th international IEEE conference on intelligent transportation systems (ITSC)*. IEEE, 2011, pp. 341–346. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2011.6083084> 207
- [52] H.-H. Song and J.-k. Choi, “Implementation of eco driving assistance system based on iot,” *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, vol. 20, no. 2, pp. 157–163, 2020. <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2020.20.2.157> 207
- [53] I. T. Union, “Digital identity road map guide,” in *Creative Commons Attribution 3.0 IGO*, 2020. <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo>. 207

- [54] A. Stevenson, “New mobility and digital identity: The vehicle for success,” in *IoT Agenda*, 2020, pp. <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/blog/IoT-Agenda/New-mobility-and-digital-identity-The-vehicle-for-success>. 207
- [55] V. Matasov, L. Belelli Marchesini, A. Yaroslavtsev, G. Sala, O. Fareeva, I. Seregin, S. Castaldi, V. Vasenev, and R. Valentini, “Iot monitoring of urban tree ecosystem services: Possibilities and challenges,” *Forests*, vol. 11, no. 7, p. 775, 2020. 208
- [56] D. J. Nowak and E. J. Greenfield, “The increase of impervious cover and decrease of tree cover within urban areas globally (2012–2017),” *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 49, p. 126638, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126638> 208
- [57] E. Banzhaf and H. Kollai, “Monitoring the urban tree cover for urban ecosystem services—the case of leipzig, germany.” *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 2015. 208
- [58] U. N. d. C. Área Metropolitana del Valle de Aburrá, “Caracterización periódica de los combustibles usados en el Área metropolitana del valle de aburrá y analizar su calidad en plantas mayoristas y sitios de distribución,” 2017. <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Biblioteca-aire/Combustibles/07-caracterizacion-combustibles-usados-2017.pdf> 209
- [59] W. Riggs, “Telework and sustainable travel during the covid-19 era,” *Available at SSRN 3638885*, 2020. 210
- [60] A. Hook, B. Sovacool, S. Sorrell *et al.*, “A systematic review of the energy and climate impacts of teleworking,” *Environmental Research Letters*, 2020. 210
- [61] L. Pelonero, A. Fornaia, and E. Tramontana, “From smart city to smart citizen: rewarding waste recycle by designing a data-centric iot based garbage collection service,” in *2020 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)*. IEEE, 2020, pp. 380–385. 211