

Artículo de investigación E22A06. ❖ Proyecto Evaluación de las medidas de mejoramiento de la calidad del aire para prevención de contingencias atmosféricas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2061080380. ❖ Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Recibido: 24.11.2022 ❖ Aprobado versión final: 11.04.2023. JEL: Q53, Q52. pp. 57-76 ❖ doi: 10.33571/teuken.v14n22a3

Planes de calidad del aire en lugares con episodios críticos de contaminación atmosférica: un comparativo

Dora Luz Yepes Palacio - Gabriel Antonio Trejos Rendón

COLOMBIA

Resumen: los planes de gestión de calidad del aire son instrumentos que utilizan los gobiernos para abordar el problema de contaminación atmosférica; el caso del Valle de Aburrá (Colombia) no es la excepción, allí confluyen factores que han conllevado a la declaratoria periódica de episodios atmosféricos y, pese a los esfuerzos, estos eventos continúan presentándose. Este panorama motivó a comparar los planes de calidad del aire de esta región con los de otras regiones del mundo. Se revisaron 374 medidas en los planes de gestión de 15 ciudades, para ser comparadas con las 58 medidas del plan de este valle. Se validaron 14 grupos de tipologías de acciones y se las encontró consistentes estadísticamente; además, un análisis discriminante arrojó conjuntos de medidas similares y no coincidentes. Se evidenció un nivel importante de similitud entre los planes.

Palabras clave: calidad del aire; episodios críticos; planes de calidad del aire; contaminación atmosférica.

Air quality plans in places with critical episodes of air pollution. A comparison

Abstract: Air quality management plans are instruments used by governments to address the problem of air pollution. In the Valle de Aburrá, Colombia, there is no exception. Some factors have led to the declaration of atmospheric episodes. Unfortunately, despite all efforts, these events continue to occur. This reality demanded comparisons of the air quality plans of this region with those of other regions of the world. Three hundred seventy-four actions in the management plans of 15 cities were reviewed and compared with 58 policy measures of the corresponding plan of this valley. During the analysis, fourteen types of action



POLITÉCNICO COLOMBIANO
JAIME ISAZA CADAVID

Ingeniera Sanitaria y Especialista en Gestión Ambiental de la Universidad de Antioquia. Magister en Medio Ambiente y Desarrollo de la Universidad Nacional de Colombia y Doctora en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente de la Universidad de Manizales. Colombia.

Contacto: dlyepes@elpoli.edu

ORCID 0000-0003-3967-5884

Ingeniero en Seguridad y salud en el Trabajo y Tecnólogo en Telecomunicaciones del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Consultor en temas ambientales del Grupo de Higiene y Gestión Ambiental GHYAM del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y del sector privado en gestión de la seguridad y salud en el trabajo.

Contacto: gabriel_trejos11142@elpoli.edu.co. ORCID: 0000-0001-6142-4980



groups were statistically validated and found consistent with some included in the reviewed plans. Moreover, a discriminant analysis yielded similar and non-matching sets of measures. In general terms, the study found a significant level of similarity among action plans.

Keywords: air quality; critical episodes; air quality plans; air pollution.

Planos de qualidade do ar em locais com episódios críticos de poluição do ar. Uma comparação

Resumo: Os planos de gestão da qualidade do ar são instrumentos utilizados pelos governos para enfrentar o problema da poluição do ar, no Valle de Aburrá a Colômbia não é exceção, ali convergem fatores que levaram à declaração periódica de episódios atmosféricos, apesar dos esforços, esses eventos continuam ocorrendo. Este panorama motivou a comparação dos planos de qualidade do ar desta região, com os de outras regiões do mundo. Foram revisadas 374 medidas dos planos de manejo de 15 municípios, para serem comparadas com as 58 medidas do plano deste vale. 14 grupos de tipologias de ação foram estatisticamente válidos e consistentes, e uma análise discriminante retornou conjuntos de medidas semelhantes e não correspondentes. Evidenciou-se um importante nível de similaridade entre os planos.

Palavras-chave: qualidade do ar, episódios críticos; planos de qualidade do ar; poluição do ar.

Introducción

Muchos problemas ambientales en entornos urbanos tienen en común las emisiones atmosféricas y sus consecuentes efectos negativos en la población receptora. Existen evidentes síntomas de los efectos causados por la contaminación del aire, tales como problemas de salud, disminución de la escolaridad, suspensión y sobrecostos de procesos industriales, entre otros.

Diversos organismos preocupados por la situación han publicado cifras sobre los impactos en salud. El informe del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (United Nations Environment Programme, 2021) indica que 7 millones de muertes prematuras en el mundo pueden atribuirse a la contaminación atmosférica, más de la mitad se vinculan con espacios abiertos y en 2019 cerca de 4 millones de personas fallecieron por exposición a partículas finas. En este mismo año los estudios de carga mundial de morbilidad manifiestan que 4'506.193 de personas presentaron muerte prematura, como resultado de la contaminación del aire exterior (Ritchie & Roser, 2019).

En Colombia la situación también ha sido preocupante; las muertes anuales prematuras que se vinculaban a este problema en 2015 representaban unos costos por morbilidad y mortalidad de \$15,4 billones de pesos, lo que equivalía al 1,4% del producto interno bruto (PIB) de este año (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). Coherentemente, el estudio de carga de enfermedad en Colombia realizado por el Instituto Nacional de Salud (2018) determinó que la calidad del aire ocasiona el 13,9% de las muertes por enfermedad isquémica del corazón y el 17,6% de las muertes por enfermedad pulmonar obstructiva crónica, además de otras enfermedades como, accidentes cerebro-vasculares, afecciones pulmonares obstructivas (EPOC), infecciones –respiratorias agudas y cataratas.

En el Valle de Aburrá este problema es crítico, dado que intervienen varios factores interrelacionados, tales como la movilidad urbana, la magnitud de las emisiones provenientes en un 80% de fuentes móviles y la topografía en condición de valle que favorece condiciones de estabilidad atmosférica. Esta situación ha sido evidenciada en un aumento de las concentraciones de PM2.5 (material particulado fino de menos de 2,5 micras de diámetro), en una situación en la que se inhibe la dispersión vertical de contaminantes (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2018). A esto se suma una menor eficiencia energética de vehículos de carga, que contribuye a aumentar las emisiones y se convierte en otro factor limitante que influye en la aparición de episodios críticos de contaminación del aire (ECA).

En consecuencia, el acuerdo metropolitano 04 de 2018 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2018) o plan operacional para enfrentar ECA define el PM2.5 como un contaminante crítico, y el que más deteriora la calidad del aire por ser el principal responsable de generar un índice de Calidad del Aire (ICA) dañino para grupos sensibles y algunas veces dañina para la salud. Esta situación conllevó a que el Plan Integral de Gestión de Calidad del Aire (PIGECA), establecido por acuerdo 16 de 2017, clasificara la cuenca atmosférica del Valle de Aburrá (VA) como área fuente de contaminación por PM2.5 y llamara a implementar medidas y programas de reducción de la contaminación con énfasis en la emisión primaria de este contaminante.

Declarar un ECA trae grandes impactos; uno de estos recae sobre la producción industrial, debido a que las medidas de restricción industrial generan afectaciones sobre la economía (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2017). Se le suman los conflictos sobre la movilidad de las personas a causa de las limitaciones sobre el uso de diferentes medios motorizados, los efectos significativos sobre el comercio, la disconformidad de las asociaciones de transportadores de carga y de la comunidad en general, debido a las percepciones de alto riesgo durante la realización de prácticas del ejercicio al aire libre.



En consecuencia, la Autoridad Ambiental urbana (AMVA) se ha enfocado en la implementación de medidas incluidas en el PIGECA. Pese a esto, los episodios continúan presentándose. Conocer esta situación crítica en el Valle de Aburrá suscitó la inquietud de los investigadores por conocer qué otras ciudades en el mundo presentan ECA y cuáles medidas o acciones se trabajan desde los gobiernos para prevenir dichos eventos. En este contexto se abordó una investigación aplicada con enfoque cualitativo- cuantitativo de nivel descriptivo, en la que se planteó el objetivo de comparar las medidas contempladas en los Planes de calidad del aire del Valle de Aburrá con las de otras regiones del mundo.

Los avances logrados muestran una variada información cualitativa que permitió generar comparaciones con la realidad de la región estudiada. Un análisis comparativo como el que se presenta en este artículo es de utilidad para los tomadores de decisiones, para el enriquecimiento de propuestas de gestión enfocadas en la prevención de ECA, en la región estudiada.

Contexto teórico

El contexto teórico de la investigación se enfocó en los aspectos conceptuales de la calidad del aire y los ECA; así mismo, en los instrumentos de gestión para abordar soluciones al problema, tales como las políticas de calidad del aire, los planes de prevención y de gestión y elementos normativos. Algunos elementos se relacionan a continuación.

La Política pública para el mejoramiento de la calidad del aire CONPES 3943 de Departamento Nacional de Planeación pone de manifiesto la importancia de potencializar las medidas y acciones de los PCA, a fin de lograr la reducción de la contaminación, lo que es un determinante para lograr el cumplimiento de los diferentes objetivos propuestos a nivel mundial en esta materia (Departamento Nacional de Planeación, 2018). Igualmente, reconoce un bajo nivel de desarrollo de investigaciones en la temática de calidad del aire por parte de institutos de educación superior y un minúsculo interés en generar nuevo conocimiento sobre métodos de prevención, reducción y control.

Alineado con este argumento, el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) N.º 13 revela que en el mundo casi 3 millones de personas murieron por la contaminación del aire causada por el tráfico vehicular y la industria (ONU, 2015), debido a las afecciones provocadas por las emisiones de partículas. El PIGECA incorpora un conjunto de ejes temáticos, acciones y medidas concretas para la reducción de las emisiones al 2030; no obstante, estas medidas resisten un riguroso análisis y seguimiento sistemático en asocio con sus respectivos indicadores, que se orienten a la prevención de ECA.



Los episodios críticos de contaminación del aire

La contaminación del aire es la presencia de sustancias en la atmósfera en altas concentraciones, en un tiempo determinado, como resultado de actividades humanas o procesos naturales, que pueden ocasionar daños a la salud o al ambiente (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). En este fenómeno, las emisiones gaseosas de azufre, principalmente SO₂, representan el mayor y más común problema de contaminación del aire en todo el mundo y son responsables de varios ECA letales y de los efectos de deposición ácida asociados con el transporte y deposición de emisiones azufradas relacionadas con el uso de combustibles fósiles, entre los que el carbón, el diésel y la gasolina son los de mayor consumo.

El uso mundial del petróleo y carbón como materiales de combustión, especialmente para la producción de energía eléctrica, es la principal fuente antropogénica de estos contaminantes (Zannetti, 2013). Además de los compuestos gaseosos, las partículas también contribuyen significativamente a la polución, estas provienen de las emisiones de sal marina, erupciones volcánicas, incendios forestales, maleza y emisiones antropogénicas producto del uso del transporte y las actividades industriales (Zannetti, 2013).

Con el propósito de controlar las emisiones, la norma colombiana de calidad del aire (Resolución 2254, 2017) establece los niveles máximos permisibles de concentración de contaminantes y los tiempos de exposición, que deben ser criterio para las autoridades ambientales colombianas en el momento de tomar decisiones sobre las medidas preventivas y de control; estas sustancias se denominan Contaminantes criterio. Los niveles máximos de los contaminantes y el tiempo de exposición se establecen para partículas respirables de menos de 10 y 2.5 micrómetros de diámetro (PM₁₀ y PM_{2.5} respectivamente), Dióxido de azufre (SO₂), Dióxido de nitrógeno (NO₂), Ozono (O₃) y Monóxido de carbono (CO) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

La contaminación atmosférica puede llegar a niveles de episodio o evento crítico, entendido como la ocurrencia de un estado tal de contaminación que, dados sus valores y tiempo de permanencia o exposición, conlleva a la declaratoria de alguno de los niveles de contaminación distintos al normal, por parte de la Autoridad ambiental competente (AMVA, 2018). Según Yepes (2021), los más críticos ECA del siglo XX han ocurrido en lugares del mundo donde se han presentado consecuencias nefastas para la vida; en materia de calidad del aire, estos se han identificado en Londres (Etze & French, 2000), Cubatao en Brasil (Nardocci *et al.*, 2013), el Valle de Meuse – Bélgica (Lipfert, 1994 ; Nemery *et al.*, 2001; Wagner, 2019) y en Donora Pensilvania – Estados Unidos (García, 2018; Salvador y Artíñano, 2000).

En este contexto, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017) considera que, para proteger la población, durante los periodos de Gestión



de estos ECA las autoridades locales deben alistarse, reforzar el control y la vigilancia de las principales fuentes de emisión y lograr el apoyo de entidades públicas y privadas con medidas de reducción de emisiones. Cabe resaltar que la declaratoria de los períodos de gestión se establece con base en el cálculo de las concentraciones para alguno de sus niveles, y se realiza con base en los registros de la operación del Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire y/o modelos de pronóstico.

El acuerdo metropolitano (AMVA, 2018) define el 'período de gestión de ECA' como aquel que establece la autoridad ambiental en dos momentos del año (febrero- abril y octubre-noviembre) o en cualquier época, en consideración del comportamiento de las concentraciones de PM10 y PM2.5. Además, estipula el procedimiento para realizar una gestión de ECA por PM10, PM2.5, O₃, SO₂, CO y NO₂ para los cuales se determinan los niveles de alerta más estrictos que los del nivel nacional. En la Tabla 1 se ilustran estos niveles establecidos.

El nivel de prevención de estos períodos de gestión de ECA se presenta cuando las concentraciones de los contaminantes en el aire, junto con el tiempo de exposición, causan efectos leves en la salud o el ambiente, mientras que el de alerta ocurre cuando dichas concentraciones pueden causar alteraciones en el ambiente y, en especial, de funciones fisiológicas vitales, enfermedades crónicas y reducción de la expectativa de vida en la población expuesta. Finalmente, la emergencia se presenta cuando puede causar enfermedades agudas o graves (AMVA, 2018).

Tabla 1. Niveles de prevención, alerta y emergencia para el Valle de Aburrá

Contaminante	Tiempo exposición	Concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para los niveles Normal, Prevención, Alerta y Emergencia				
		Nivel I		Nivel II		Nivel IV
		Buena	Aceptable	Prevención		Emergencia
PM10	24 horas	0-54	55-154	155-254	255-354	≥ 355
PM2.5	24 horas	0-12	13-37	38-55	56-150	≥ 151
O ₃	8 horas	0-106	107-138	139-167	168-207	≥ 208
SO ₂	1 hora	0-93	94-197	198-486	487-797	≥ 798
NO ₂	1 hora	0-100	101-189	190-677	678-1221	≥ 1222
CO	8 horas	0-5094	5095-10819	10820-14254	14255-17688	≥ 17688

Fuente: Acuerdo 04 (AMVA, 2018)

Dichos períodos GECA también están asociados a los cambios estacionales, temporadas climáticas o épocas de transición, y son inducidos por factores externos como el transporte transfronterizo, actividades antrópicas o factores topográficos y meteorológicos. Yepes (2021) describe como causas principales en el mundo las condiciones meteorológicas y topográficas, las emisiones de fuentes móviles, fijas, marítimas, portuarias y de área, las



quemas agrícolas y de biomasa, las fuentes naturales y transfronterizas, las condiciones de cuencas atmosféricas y geográficas.

Instrumentos de planeación vinculados con la contaminación del aire

Para afrontar los ECA, gran parte de las regiones en el mundo cuentan con instrumentos de planeación como planes de corto plazo que son independientes de los planes de prevención o gestión de calidad del aire (llamados en este artículo PCA). En el VA, según lo plantea el POECA, los factores que más conllevan a la acumulación de contaminantes atmosféricos y de la declaración de ECA son: los topográficos, que definen la influencia de un valle estrecho y semi-cerrado; los meteorológicos, que propician la estabilidad atmosférica y baja ventilación, y las emisiones antropogénicas. Por esta razón el POECA contempla un conjunto de medidas para reducir los niveles de contaminación en el corto plazo con el objetivo principal de proteger la población de la exposición de altos niveles de contaminación atmosférica.

Además de las políticas públicas en calidad del aire, los planes de gestión o prevención adquieren relevancia para mejorar el recurso y proteger la salud de la población. Para el caso colombiano, según la política pública de calidad del aire (DNP, 2018), resulta fundamental desarrollar inventarios de fuentes de emisión, monitorear y medir sus concentraciones en el aire y vincular los datos a los sistemas de vigilancia, como elementos clave para determinar metas de reducción y medir la efectividad de las acciones contempladas en los planes de prevención y reducción.

En otros contextos, también se promueven medidas como la planificación urbana que debe considerar la calidad del aire en el ordenamiento del territorio, el uso de tecnologías más eficientes en los procesos productivos y en los vehículos, el desarrollo de planes de movilidad urbana orientados a la reducción de contaminantes (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2022). Los planes de Gestión o prevención del recurso son instrumentos de planeación para mejorar la calidad del aire y de paso, fortalecer la salud de la población. Estos planes proyectados a mediano y largo plazo fueron objeto de estudio para las ciudades o regiones del mundo donde se han presentado ECA, con el fin de identificar acciones comunes y diferenciadoras con el VA, como base para fortalecer la toma de decisiones.

Materiales y métodos

Se partió de la búsqueda y análisis de las medidas de MCA contenidas en el documento PIGECA y la plataforma del observatorio metropolitano de información donde se alojan datos del seguimiento y comportamiento de los indicadores de cada uno de los 10 ejes temáticos y las 58 medidas del Plan (AMVA *et al.*, 2017; Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019). El siguiente



paso fue la búsqueda y revisión documental de casos de ciudades o regiones que presentan ECA en el mundo, lo que se realizó en motores de búsqueda, páginas web gubernamentales y de control ambiental e instituciones de apoyo a la gestión de la calidad del aire, entidades de planeación urbana, de transporte, salud, entre otras.

En total se identificaron 374 medidas contenidas en 16 planes de calidad del aire, para ser comparadas con 58 medidas del PIGECA. Se evidenciaron medidas comunes al PIGECA, no comunes y también acciones o programas considerados como exitosos en algunas ciudades. Se clasificaron las medidas del PIGECA a criterio de los investigadores en 14 tipologías para posteriormente aplicar esta clasificación a la estructura de los demás planes. El juicio se basó en agrupar las acciones que tuvieran el mismo fin u objetivo bajo una misma tipología (la definición de los grupos se describe en la tabla 2).

Este procedimiento de agrupación fue respaldado por una prueba estadística que garantizara su validez y fiabilidad o consistencia interna, mediante un análisis multivariante exploratorio y discriminante confirmatorio, para lo cual se trabajó con los datos experimentales. El análisis permitió determinar que la clasificación realizada tenía rigor científico y no presentaba objeciones analíticas. Para completar el análisis de los diversos PCA, fue necesario clasificar también en tipologías aquellas identificadas como 'medidas no comunes' o que no presentaban ninguna coincidencia con el PIGECA.

Tabla 2. Tipologías de medidas de mejoramiento de calidad del aire

Tipología de medida	Descripción
Instrumentos de gestión ambiental (IG)	Son herramientas de política pública que —mediante regulaciones, incentivos o mecanismos— motivan acciones o conductas de agentes, permiten contribuir a la protección del ambiente y a prevenir, atenuar o mejorar problemas ambientales (Ministerio del Medio Ambiente, 2020). Estos instrumentos permiten la toma de decisiones asertivas a las autoridades competentes del control, seguimiento y evaluación.
Instrumentos pedagógicos, de participación, difusión, investigación y comunicación (IP)	Agrupar elementos asociados con el conjunto de mecanismos enfocados en fortalecer la investigación científica, promover acciones para regular el uso de vehículos, el acceso público a la información, la cocreación local y nacional con el fin de mejorar la calidad del aire, además, considera la participación ciudadana y comunitaria a través de la promoción y educación en favor de la sostenibilidad.
Acciones de Gobierno (AG)	Medidas dirigidas a crear políticas de ciudad inteligente, sustentable y amigable con el ambiente. En términos mucho más amplios, se refiere a la creación de una política integral de desarrollo industrial, comercial y de servicios de bajas emisiones que aporta a la disminución de las emisiones, las políticas de ciudad o metrópolis inteligente y la de gestión de la demanda de viajes.



Tipología de medida	Descripción
Zonificación para reducción de emisiones (Z)	En esta clasificación se tienen en cuenta medidas que establezcan lineamientos de zonificación con criterios de calidad del aire, creaciones de zonas de baja emisión y zonas de circulación restringida, como también la creación de zonas protegidas para reducir la exposición a la contaminación atmosférica.
Restricción y mejora del uso de los combustibles (C)	Esta tipología contempla las medidas dirigidas a mejorar la calidad del diésel y la gasolina, al incluir restricciones en su uso.
Control de emisiones de fuentes móviles (FM)	Tiene en cuenta los programas de inspección de emisiones y mantenimiento vehicular, con el fin de conocer los requerimientos de instalación de filtros de partículas (FDP) y otras tecnologías certificadas que permitan disminuir las emisiones y realizar postratamientos; se involucran acciones para incrementar la capacidad de control de fuentes móviles y el diseño de programas de detección remota de emisiones vehiculares en vía.
Infraestructura para la movilidad sostenible (IS)	En esta categoría están las medidas que implican el desarrollo de obras de infraestructura y servicios con alto y positivo impacto ambiental hacia la mejora de la movilidad y el equipamiento de las ciudades para promover la movilidad activa; se incluyen la ampliación, conectividad e interacción de las redes de infraestructura para la bicicleta, la promoción del uso de la bicicleta y medios no motorizados y los sistemas de bicicletas públicas articulados al transporte público.
Planeación y ordenamiento para una movilidad sostenible (PS)	Incluye medidas relacionadas con las planeaciones estratégicas e integrales del uso del suelo, el transporte y la movilidad, los planes dirigidos a favorecer la movilidad activa, la articulación de los Planes de Ordenamiento Territorial, y los planes empresariales de movilidad sostenible.
Infraestructura verde urbana (IV)	Conjuntos de acciones en favor de construcciones más sostenibles y ecoeficientes, y de la protección y ampliación del arbolado urbano, al permitir espacios públicos verdes como corredores y cinturones en la infraestructura urbana, que son benéficos para mitigar impactos por emisiones.
Infraestructura y logística de transporte de carga (LT)	Se incluyen aquí medidas para mejorar el movimiento de la carga en todos sus modos, contempla acciones como la construcción de infraestructura para la incorporación de estrategias de mejora logística en la planeación territorial, contribuyendo a la disminución de emisiones generadas por el transporte de carga que en general utiliza el diésel como combustible.
Estándares de emisión fuentes fijas y móviles (EE)	Son las medidas dirigidas a crear y ajustar normativas y requerimientos que exijan el cumplimiento de estándares de emisión más estrictos para vehículos motorizados, y también las restricciones reglamentadas por medio de estándares de emisión para fuentes fijas.

Tipología de medida	Descripción
Mejora de procesos de combustión industrial y comercial (CI)	Medidas enfocadas en el mejoramiento de los equipos de combustión a nivel industrial y comercial y de los sistemas de alimentación de combustibles para facilitar el control, el seguimiento y la identificación de oportunidades de mejora.
Movilidad y transporte sostenible (TS)	Contempla medidas que permitan expandir, fortalecer, fomentar y modernizar el transporte público, así como las enfocadas en el diseño y la implementación de programas de renovación de la flota de automóviles y motocicletas en circulación, y las que buscan la introducción acelerada de vehículos de bajas emisiones y emisiones cero.
Monitoreo y control de fuentes fijas (FF)	Se incluyeron las medidas relacionadas con la optimización del sistema de control de emisiones, el control de emisiones en procesos de no combustión, los requerimientos de instalación de sistemas de monitoreo continuo de emisiones en fuentes fijas y el fortalecimiento de acciones de prevención y control de emisiones generadas por fuentes fijas.

Fuente: elaboración propia

El análisis exploratorio consideró que para probar la validez estadística se debió verificar que los factores o tipologías estaban correctamente elegidos al tener una correlación con el mismo signo en la variable suma (Hair *et al.*, 1999). Una vez superada esta prueba, los factores debieron verificar su consistencia interna o correlación existente entre ellos, es decir, su validez lógica al concursar juntos, cuya prueba de fiabilidad se probó por medio del uso del coeficiente Alfa de Cronbach, al seguir las recomendaciones de Oviedo y Campo-Arias (2005), que consiste en la cuantificación de la correlación existente entre los ítems que la componen. Esta función fluctúa en el intervalo [0;1], en el que valores de Alfa de Cronbach entre 0,70 y 0,90 indican una buena consistencia interna para aceptarse la muestra como admitida desde el punto de vista de la fiabilidad, es decir, de su consistencia interna. El análisis estadístico fue realizado con una herramienta para el tratamiento de datos Statistical Product and Service Solutions (SPSS) que opera bajo el sistema operativo de Windows.

Del mismo modo, el análisis discriminante confirmatorio fue realizado teniendo todas las medidas clasificadas en sus tipologías y con el fin analizar la coincidencia o grado de correlación entre las medidas del PIGECA, con las demás ciudades. La información se organizó en SPSS en un arreglo matricial que permitió discriminar los grupos en niveles de coincidencia; para ello se aplicó la técnica de análisis multivariado. Para discriminar, se usó la distancia de Mahalanobis (D2) calculada a través del SPSS, procedimiento que creó tres (3) grupos a partir de variables proporcionadas (tipologías), y cada uno se identificó con un color y un nivel de coincidencia así: grupo 1 (color azul), conformado por los elementos altamente coincidentes con el VA, tanto para



ciudades como para tipologías; grupo 2 (color verde), dado por los elementos de coincidencia intermedia, y el grupo 3 (amarillo) con coincidencia baja.

Resultados y Discusión

Los 16 planes de calidad del aire para las ciudades/regiones que presentan ECA se relacionan en la tabla 3.

Tabla 3. Planes de calidad del aire para las ciudades / regiones que presentan ECA

Ciudad/Región	Tipo de Plan	Referencias
Santiago – Chile	Santiago respira (plan para la prevención y descontaminación atmosférica 1997-2017)	(Decreto 31, 2017)
Quito – Ecuador	Plan de Manejo de la Calidad del Aire 2015 y 2020	(Secretaría de Ambiente del Municipio de Quito, 2018)
Guadalajara – Méjico	ProAire 2014-2020	(Gobierno del Estado de Jalisco, 2018)
Monterrey – Méjico	ProAire Monterrey 2018-2015	
Méjico	Programa para mejorar la calidad del aire en la ZMVM 2011-2020	(Gobierno del Estado de Méjico, 2013)
Bogotá – Colombia	Plan decenal de descontaminación del aire para Bogotá 2010-2020	(Alcaldía de Bogotá, 2019)
Los Ángeles – Estados Unidos	Nuevo Acuerdo Ecológico (Plan de ciudad sostenible 2019-2030)	(Garcetti, 2019)
Nueva York – Estados Unidos	PlaNYC 2011-2030	(New York City Mayor's Office, 2011)
Quebec – Canadá	Plan de Acción 2013-2020.	(Gouvernement du Québec, 2012)
Madrid – España	Plan de calidad del Aire y Cambio Climático de la Ciudad de Madrid (PLAN A 2017-2020)	(Ayuntamiento de Madrid, 2017)
Isla de Francia (Paris) – Francia	Plan de Protección de la Atmósfera 2018- 2025	(Préfet de la région D'ile-de-France & Prefecture de Police, 2018)
Ámsterdam – Países Bajos	Plan de acción de aire limpio 2009-2019 actualización 2019-2030	(Gemeente Amsterdam, 2019)
El Cairo – Egipto	Políticas de calidad del aire y planificación urbana. El Cairo CBD 2014	(Aziz, 2016)
Pekín – China	Prevención y control de la contaminación del aire 2013-2017	(The State Council, 2013)

Ciudad/Región	Tipo de Plan	Referencias
Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Colombia	Plan Integral de Gestión de la calidad de aire en el Valle de Aburrá 2017-2030	(Área Metropolitana del Valle de Aburrá et al., 2017)
Berlín - Alemania	Plan de aire limpio segunda actualización (2017-2020)	(Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, 2019)

Fuente: elaboración propia

La validez estadística de la clasificación en tipologías

El principio del análisis estadístico considera que para probar la validez estadística debe superarse una primera prueba, la cual consiste en verificar que los factores o tipologías estén correctamente elegidos, de este modo, todos deben tener una correlación con el mismo signo en la variable suma. El mejor caso ocurre cuando las correlaciones presentan el mismo signo para la mayoría factores, dado que significa que los factores no tienen objeciones analíticas (Hair *et al.*, 1999).

Tabla 4. Medidas de mejoramiento de la calidad del aire por tipología

Tipología Ciudades	PS	IP	IV	EE	FF	IG	CI	FM	C	LT	Z	AG	TS	IS
VA	4	7	6	3	5	9	2	4	1	2	3	4	4	4
Santiago	0	0	0	2	1	4	1	1	0	1	0	0	2	0
Quito	0	3	1	1	3	5	0	6	1	0	0	0	0	0
Guadalajara	2	4	1	1	7	9	3	2	2	0	0	0	1	0
Monterrey	1	3	0	0	4	5	1	2	0	0	0	0	0	0
Bogotá	0	2	0	0	3	3	3	5	2	0	0	0	2	0
Nueva York	0	0	1	0	0	3	0	3	0	0	0	0	4	1
Los Ángeles	0	0	0	0	3	2	0	0	0	0	1	2	10	4
Quebec	0	1	1	0	0	0	0	0	1	2	0	2	1	1
Madrid	1	1	3	0	1	1	0	0	0	3	4	0	6	7
Paris	2	2	0	0	4	2	0	0	0	1	1	0	2	1
Ámsterdam	0	0	0	0	0	4	0	0	1	0	3	2	0	5
El Cairo	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	3	1	2	4
Pekín	0	2	0	0	2	3	2	1	0	0	0	0	0	0
Ciudad de Méjico	10	8	10	3	11	10	5	8	1	1	1	0	3	0
Berlín	1	2	2	1	0	2	0	2	1	1	1	0	6	4
Correlación	0,91	0,89	0,87	0,81	0,80	0,78	0,69	0,65	0,35	0,31	0,28	0,26	0,23	0,07

Fuente: elaboración propia.



El resultado de la prueba estadística para garantizar la validez y consistencia interna mediante el análisis exploratorio mostró que efectivamente se superaron ambas pruebas, lo que permite constatar que los factores o tipologías estaban correctamente elegidos y consecuentes con la variable suma. En segundo lugar, el alfa de Cronbach calculado en el SPSS para 14 elementos arrojó una buena consistencia interna y fiabilidad, dado que los datos de salida arrojados por el software SPSS versión 21 mostraron un Alfa de 0,838. Superadas estas pruebas quedó confirmada la validez estadística del análisis efectuado, lo cual permitió afirmar que la muestra de 14 tipologías fue fiable para ser usada en un contexto científico.

Coincidencia entre planes de calidad del aire PCA

Debe resaltarse que mediante el análisis discriminante de los planes identificados a partir de la clasificación de medidas en 14 tipologías, el Software SSPS arrojó tres (3) grupos con características similares, cada uno de estos con diversos grados de correlación con el VA. En general, se obtuvieron correlaciones directas o positivas, con excepción de Madrid con un valor igual a cero, lo que refleja que no hay ningún tipo de asociación entre las medidas de este plan y las del VA; por otro lado, la ciudad de Quebec donde se presentó una afinidad negativa, evidencia que las medidas contempladas en este plan de prevención están correlacionadas inversamente con las del PIGECA. Los grupos resultantes de la discriminación se describen a continuación:

Grupo 1: altamente coincidentes con el Valle de Aburrá, tanto para ciudades como tipologías; en primer lugar, Monterrey y Ciudad de Méjico (con coeficiente de correlación de 0.7) y, luego, Guadalajara y Pekín (coeficiente 0.6). En este mismo grupo, las tipologías más coincidentes son las que obtuvieron un coeficiente de 0.9; figuran aquí las medidas de planeación y ordenamiento para una movilidad sostenible (PS), instrumentos pedagógicos, de participación, difusión, investigación y comunicación (IP), infraestructura verde urbana (IV) y, por último, con un coeficiente de correlación de 0.8, se encuentran las tipologías de estándares de emisión para fuentes fijas y móviles (EE), monitoreo y control de fuentes fijas (FF) y la tipología de instrumentos de gestión (IG). Este resultado indica que son estos los grupos de medidas más coincidentes con PIGECA.

Grupo 2: con coincidencia en un grado intermedio, en este grupo están Quito, Paris, Nueva York y Santiago; coinciden en este nivel las medidas de control de emisiones de fuentes móviles (FM) y la de mejora de procesos de combustión industrial y comercial (CI), lo que significa que en un nivel intermedio presentan similitud con el PIGECA.

Grupo 3: entre los elementos con más baja coincidencia figuran Ámsterdam (0.3), Berlín y Bogotá (0.2), Los Ángeles y El Cairo (0.1) y Madrid y Quebec (sin asociación y con asociación inversa respectivamente). Ver Tabla 4.

Este resultado permitió evidenciar que las tipologías de medidas que más coinciden con las del PIGECA son las de ciudades latinoamericanas como Monterrey, Ciudad de Méjico y Guadalajara, y la ciudad asiática Pekín. En el costado opuesto, las menores coincidencias se presentan distribuidas en el continente americano, Europa y Asia, e incluso en Bogotá.

Tabla 5. Clasificación en grupos por grados de correlación.

Tipología Ciudades	G1			G2			G3									Co. Ciudad
	PS	IP	IV	EE	FF	IG	CI	FM	C	LT	Z	AG	TS	IS		
VA	4	7	6	3	5	9	2	4	1	2	3	4	4	4	1	
Monterrey	1	3	0	0	4	5	1	2	0	0	0	0	0	0	0,7	
Ciudad de Méjico	10	8	10	3	11	10	5	8	1	1	1	0	3	0	0,7	
Guadalajara	2	4	1	1	7	9	3	2	2	0	0	0	1	0	0,6	
Pekín	0	2	0	0	2	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0,6	
Quito	0	3	1	1	3	5	0	6	1	0	0	0	0	0	0,6	
Paris	2	2	0	0	4	2	0	0	0	1	1	0	2	1	0,4	
Nueva York	0	0	1	0	0	3	0	3	0	0	0	0	4	1	0,4	
Santiago	0	0	0	2	1	4	1	1	0	1	0	0	2	0	0,4	
Ámsterdam	0	0	0	0	0	4	0	0	1	0	3	2	0	5	0,3	
Berlín	1	2	2	1	0	2	0	2	1	1	1	0	6	4	0,2	
Bogotá	0	2	0	0	3	3	3	5	2	0	0	0	2	0	0,2	
Los Ángeles	0	0	0	0	3	2	0	0	0	0	1	2	10	4	0,1	
El Cairo	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	3	1	2	4	0,1	
Madrid	1	1	3	0	1	1	0	0	0	3	4	0	6	7	0,0	
Quebec	0	1	1	0	0	0	0	0	1	2	0	2	1	1	-0,2	
Co. Tipología	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,04		

Fuente: elaboración propia.

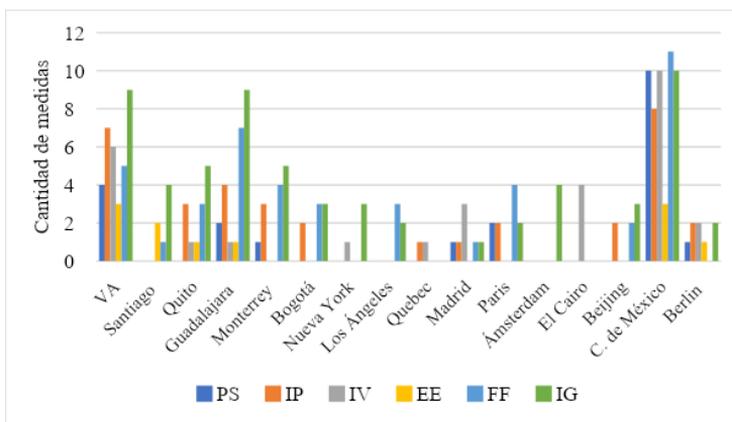
En la figura 1 se ilustra el comportamiento de las tipologías con mayor coeficiente de correlación, es decir las que presentan mayor coincidencia con el VA, teniendo en cuenta la cantidad de medidas presentadas en los PCA de cada ciudad agrupadas en cada tipología. Con esto se muestra que la ciudad con mayor número de medidas agrupadas en la tipología de planeación y ordenamiento para una movilidad sostenible (PS) sería Ciudad de Méjico, con una cantidad de 10 medidas, superior al

PIGECA que sólo presentaría cuatro (4) medidas en esta tipología. De otro lado, las que presentan menor número de medidas son las ciudades que no

proyectan ninguna medida agrupada en esta tipología, tales como Santiago, Quito, Bogotá, Nueva York, Los Ángeles, Quebec, Ámsterdam, El Cairo y Pekín.

La ciudad de Méjico presenta medidas agrupadas en las seis (6) tipologías altamente coincidentes con las del PIGECA. Hay ciudades, como El Cairo, que presentan una tipología del grupo 1 (altamente coincidente): la de infraestructura urbana verde, mientras que Ámsterdam y Berlín, con estas mismas condiciones, pero con la tipología que reúne las medidas relacionadas con los instrumentos de gestión ambiental (IG).

Figura 1. Tipologías de medidas con mayor coincidencia



Fuente: elaboración propia.

Las seis (6) tipologías más coincidentes en los PCA, se relacionan en la tabla 5.

Tabla 6. Tipologías más coincidentes en los PCA.

Tipología	PCA coincidentes
Planeación para la movilidad Sostenible	Ciudad de Méjico, VA, Guadalajara, París, Monterrey, Madrid y Berlín.
Instrumentos de gestión	Ciudad de Méjico, VA, Guadalajara, Quito, Monterrey, Santiago, Ámsterdam, Bogotá, Nueva York, Pekín, Los Ángeles, París, Berlín y Madrid.
Estándares de emisión fuentes fijas y móviles	VA, Ciudad de Méjico, Santiago, Quito, Guadalajara y Berlín.
Infraestructura verde urbana	Ciudad de Méjico, VA, El Cairo, Madrid, Berlín, Quito, Guadalajara, Nueva York y Quebec.
Instrumentos pedagógicos, de participación, difusión, investigación y comunicación	Ciudad de Méjico, VA, Guadalajara, Quito, Monterrey, Bogotá, París, Pekín, Berlín, Quebec y Madrid,
Monitoreo y control de fuentes fijas	Ciudad de Méjico, Guadalajara, VA, Monterrey, París, Quito, Bogotá, Los Ángeles, Pekín, Santiago y Madrid.

Fuente: elaboración propia.

Medidas de mejoramiento de calidad del aire no coincidentes

Las medidas no comunes con el VA o aquellas que no estuvieron proyectadas en el PIGECA y no coincidían con ninguna de las tipologías se identificaron en Quito, Santiago, Guadalajara, Monterrey, Bogotá, Nueva York, Los Ángeles, Quebec, Madrid, París, Ámsterdam, El Cairo, Pekín, Ciudad de Méjico y Berlín. Una nueva clasificación de estas medidas se resume en la figura 2, en la que se ilustra el porcentaje de ciudades que las incluyen en sus PCA.

Figura 2. Medidas no coincidentes con el PIGECA



Fuente: elaboración propia.

Vale la pena resaltar un mayor número de estas enfocadas en el control y el seguimiento del uso y la quema de la biomasa, así como en la gestión portuaria y aeroportuaria sostenible (con 10 medidas no comunes respectivamente); en segundo lugar, las agrupadas bajo la tipología control de emisiones de fuentes de área y difusas (8 medidas) y, en tercer lugar, las asociadas con el uso eficiente de energías renovables en edificios (6 medidas). Cabe destacar acciones poco comunes como el incremento del uso de energía solar para calentamiento de agua y el reemplazo de lámparas de alumbrado público por sistemas ahorradores de energía; las buenas prácticas asociadas al uso de úrea sólida para limitar las emisiones de NH₃ y el cubrimiento con Dióxido de Titanio (TiO₂) de edificios expuestos a altos niveles de contaminación evidenciadas en los PCA de la ZMVM, Isla de Francia y El Cairo respectivamente.

Si se considera que el transporte atmosférico interregional o de contaminantes de otras latitudes provenientes de incendios, exagera la aparición de episodios contribuyendo a aumentar el PM_{2.5} en el Valle de Aburrá, resultaría

importante tener presente en los planes de calidad del aire futuros las medidas como el control y seguimiento al uso y quema de biomasa, mediante el establecimiento de un mecanismo regional de coordinación y gobernanza ambiental, como se ha dado en Pekín. Del mismo modo, incluir acciones enfocadas en el uso de energías renovables y combustibles alternativos resulta fundamental a la luz de las actuales políticas de transición energética.

En síntesis, al considerar el conjunto de los PCA de las 16 ciudades revisadas que presentan eventos críticos, se identifican elementos coincidentes con el VA, como causas, períodos y PCA altamente coincidentes como Monterrey, Ciudad de Méjico, Guadalajara y Pekín. También medidas no comunes y acciones o programas considerados como exitosos en algunas de las ciudades. Dichos elementos son insumos fundamentales para los tomadores de decisiones en la gestión de la calidad del aire.

Conclusiones

El desarrollo de los elementos teóricos y la estrategia metodológica abordada a través de la búsqueda y el análisis comparativo de grupos de medidas de calidad del aire permitieron identificar un nivel importante de coincidencia entre los tipos de medidas implementadas en el Valle de Aburrá con las de otras regiones del mundo donde se presentan ECA. Así mismo, el tratamiento de la información recopilada conllevó a obtener conocimiento valioso para la toma de decisiones, teniendo en cuenta las causas comunes de ECA.

A partir de la identificación de ciudades con presencia de ECA, se obtuvo nuevo conocimiento a partir de datos propios y nativos de la región correlacionados con medidas en otras regiones del mundo y el seguimiento y análisis comparativo de las tipologías de medidas proyectadas en los PCA.

Existe un nivel de coincidencia entre las medidas de calidad del aire de otras regiones del mundo con las del Valle de Aburrá, reflejado en las correlaciones directas o positivas de la mayoría de las regiones. A partir de la clasificación de medidas en 14 tipologías, las que más coinciden con las del PIGECA son las contenidas en los planes de las ciudades latinoamericanas de Monterrey, Ciudad de Méjico y Guadalajara, y la ciudad asiática Pekín.

En algunas ciudades del mundo se identificaron medidas no comunes o no proyectadas en el PIGECA, que resultan relevantes para el Valle de Aburrá al considerar los factores que exacerban los ECA; estas se enfocan en el control y seguimiento al uso y quema de biomasa y control de emisiones de fuentes de área y difusas. Otras medidas no comunes incluyen el mejoramiento tecnológico de maquinaria pesada y herramientas, la promoción de energías renovables y combustibles alternos, el uso eficiente de energías renovables en edificios, la gestión portuaria y aeroportuaria sostenible y las buenas prácticas agrícolas.



Resulta importante ampliar el espectro del análisis de los planes de calidad del aire por tipologías, con datos más robustos, en relación con el conocimiento generado sobre las causas que propician los episodios e incorporar los resultados de las investigaciones sobre calidad del aire en las futuras políticas públicas.

Referencias bibliográficas

1. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2022, 12 de diciembre). *Implementación de las leyes y normas sobre el aire*. <https://espanol.epa.gov/espanol/implementacion-de-las-leyes-y-normas-sobre-el-aire>
2. Alcaldía de Bogotá. (2019, 3 de abril). Las discusiones del Concejo sobre la calidad del aire. *Bogotá como Vamos*. <https://bogotacomovamos.org/blog-las-discusiones-del-concejo-sobre-la-calidad-del-aire/>
3. Área Metropolitana del Valle de Aburrá [AMVA]. (2017). *Convenio de asociación N°. C.A 335 POECA, Registro de actuación de los grupos Gecattech y Geca y medidas implementadas en el periodo febrero-marzo de 2017 para la gestión de episodios críticos de contaminación atmosférica. Informe final marzo de 2017*. Área Metropolitana del Valle de Aburrá – Universidad Pontificia Bolivariana. https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Biblioteca-aire/Informes-Periodo-Gestion-de-Episodios/Informe_Contingencia_Marzo_2017.pdf
4. Área Metropolitana del Valle de Aburrá [AMVA]. (2018). *Acuerdo Metropolitano N° 04. Protocolo del Plan Operacional para Enfrentar Episodios de Contingencias Atmosféricas en la Jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá*. <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Documents/POECA/Acuerdo-Metropolitano-04-de-2018-POECA.pdf>
5. Área Metropolitana del Valle de Aburrá [AMVA]. (2019). *PIGECA: indicadores de seguimiento*. Observatorio Metropolitano de Información. <https://www.metropol.gov.co/observatorio/Paginas/indicadores-pigea.aspx?idtablero=12>
6. Área Metropolitana del Valle de Aburrá [AMVA] – Clean Air Institute – Universidad Pontificia Bolivariana. (2017). *Plan integral de gestión de calidad del aire del Valle de Aburrá 2017-2030*. <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Documents/PIGECA/PIGECA-Aprobado-Dic-2017.pdf>
7. Ayuntamiento de Madrid. (2017). *Plan de Calidad de aire de la ciudad de Madrid y Cambio Climático (PLAN A)*. <https://acortar.link/KGze8F>
8. Aziz, N. (2016). Air Quality and Urban Planning Policies The Case of Cairo City CBD. Decreto 31. (2017). Ministerio del Medio Ambiente. Gobierno de Chile. <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1111283>
9. Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2018, febrero). *Calidad del aire. Una prioridad de política pública en Colombia*. [https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Presentación Calidad del Aire 15_02_2018.pdf](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Presentación%20Calidad%20del%20Aire%2015_02_2018.pdf)
10. Etze, R. & French, J. (2000). Contaminación del aire. En E. Noji (Ed.). *Impacto de los desastres naturales en la salud pública* (págs. 337-353). Organización Panamericana de la Salud. <http://cidbimena.desastres.hn/pdf/spa/doc12849/doc12849.pdf>
11. Garcetti, E. (2019). *Nuevo acuerdo ecológico de L.A: Plan ciudad sostenible*. http://plan.lamayor.org/sites/default/files/pLAn_2019_Esp.pdf

12. García, M. (2018, 16 de septiembre). *El blog insostenible*. <http://www.miguelgarciavega.com/en-donora-se-hizo-de-noche/>
13. Gemeente Amsterdam. (2019). *Actieplan Schone Lucht*. Amsterdam. <https://www.amsterdam.nl/bestuur-organisatie/volg-beleid/duurzaamheid/schone-lucht/>
14. Gobierno del Estado de Jalisco. (2018). *Revisión del Programa para mejorar la calidad del aire (PROAIRE) Jalisco 2014-2020 y recomendaciones para lograr impactos en la calidad del aire de la zona metropolitana de Guadalajara*. https://semadet.jalisco.gob.mx/sites/semadet.jalisco.gob.mx/files/revision_y_recomendaciones_del_programa_para_mejorar_la_calidad_del_aire_2014-2020.pdf
15. Gobierno del Estado de Méjico. (2013). *Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2011-2020*. https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/proaire/11_ProAire%20ZMVM.pdf
16. Gouvernement du Québec. (2012). *Plan d'action 2013-2020 sur leschangements climatiques*. Gouvernement du Québec. http://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/plan_action/pacc2020.pdf
17. Hair, J., Anderson, R., Tatham, R. & Black, W. (1999). *Análisis multivariante* (5ª ed.). Prentice Hall Iberia.
18. Instituto Nacional de Salud. (2018). *Carga de Enfermedad Ambiental en Colombia. Informe técnico especial 10*. Observatorio Nacional de Salud. <https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/Informes/10%20Carga%20de%20enfermedad%20ambiental%20en%20Colombia.pdf>
19. Lipfert, F. (1994). *Air pollution and community health. A critical review and data sourcebook*. Van Nostrand Reinhold.
20. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad el aire*. Gobierno de Colombia. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Protocolo_Calidad_del_Aire_-_Manual_Diseno.pdf
21. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Inventarios de emisiones de fuentes móviles de uso fuera de carretera en Colombia. Enfoque sobre maquinaria de construcción, minera, industrial y agrícola*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Gobierno de Colombia. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/03/INVENTARIO-DE-EMISIONES-DE-FMFC.pdf>
22. Ministerio del Medio Ambiente. (2020). *Sistema Nacional de Informacion Ambiental*. Gobierno de Chile. <https://sinia.mma.gob.cl/temas-ambientales/instrumentos-para-la-gestion-ambiental/>
23. Nardocci, A. C., Freitas, C. U. de, Ponce de Leon, A. C. M., Junger, W. M., & Gouveia, A.C. (2013). Poluição do ar e doenças respiratórias e cardiovasculares: estudo de séries temporais em Cubatão, São Paulo, Brasil. *Cadernos de saude publica*, 29(9), 1867-1876. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-311X00150012>
24. Nemery, B., Hoet, P. H., & Nemmar, A. (2001). The Meuse Valley fog of 1930: an air pollution disaster. *The Lancet*, 357, 704-708. doi: 10.1016/S0140-6736(00)04135-0
25. New York City Mayor's Office. (2011). *Plan NYC update 2011: A greener, Greater NY*. http://www.nyc.gov/html/planyc/downloads/pdf/publications/planyc_2011_planyc_full_report.pdf

26. Organización de Naciones Unidas [ONU]. (2015). *Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>
27. Oviedo, H. y Campo-Arias, A. (2005). Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach.
28. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 34(4), 572-580. <https://www.redalyc.org/pdf/806/80634409.pdf>
29. Préfet de la région D'île-de-France & Prefecture de Police. (2018, 09 de février). *Plan de Protection de l'Atmosphère d'île-de-France 2018-2015*. <https://www.maqualitedelair-idf.fr/w2020/wp-content/uploads/2018/02/PPAjanvier18-sans-fiche.pdf>
30. Resolución 2254 de 2017. (2017, 1 de noviembre). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Gobierno de Colombia. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Resolucion-2254-de-2017.pdf>
31. Ritchie, H. & Roser, M. (2019). Outdoor air pollution is one of the world's largest health and environmental problems. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/outdoor-air-pollution#outdoor-air-pollution-is-one-of-the-leading-risk-factors-for-premature-death>
32. Salvador, P. y Artiñano, B. (2000, febrero). *Evaluación de la contaminación atmosférica producida por partículas en suspensión en las redes del aire de la comunidad de Madrid*. Departamento de Impacto Ambiental de la Energía. CIEMAT. Informes Técnicos Ciemat: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/38/106/38106963.pdf?r=1∓r=1
33. Secretaría de Ambiente del Municipio de Quito. (2018). *Calidad del aire en Quito. Informe anual 2017*. <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/informes#norma-ecuatoriana-de-la-calidad-del-aire>
34. Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz. (2019). *Luftreinhalteplan für Berlin 2. Fortschreibung*. https://www.berlin.de/senvvk/umwelt/luft/luftreinhaltung/luftreinhalteplan_2025/download/Luftreinhalteplan.pdf
35. The State Council. (2013). *Air pollution prevention and control action plan*. Pekín. http://www.gov.cn/zwqk/2013-09/12/content_2486773.htm
36. United Nations Environment Programme. (2021, 7 de septiembre). *Pollution Action Note – Data you need to know*. https://www.unep.org/interactive/air-pollution-note/?gclid=Cj0KCQjwj_ajBhCqARIsAA37s0w43towtHiMZekpo2zKOeXYNgUgn7mbk1Wk0hVUKiMWMsfGAB80VW4aAuF_EALw_wcB
37. Wagner, J. (2019, 2 de diciembre). *The Meuse Valley Fog of 1930*. <http://www.soe.uoguelph.ca/webfiles/gej/AQ2017/Wagner/index.html>
38. Yepes, D. (2021). *Medidas de mejoramiento de la calidad del aire determinantes para la prevención de episodios críticos en el área metropolitana del Valle de Aburrá, Colombia* [Tesis Doctoral, Universidad de Manizales].
39. Zannetti, P. (2013). The Problem — Air Pollution. En *Air Pollution Modeling Theories, Computational Methods and Available Software* (págs. 1-25). Springer Nature. <https://www.springer.com/gp/book/9781475744675>

Para citar este artículo:

Yepes, D. y Trejos, O. (2023). Planes de calidad del aire en lugares con episodios críticos de contaminación atmosférica: un comparativo. *Teuken Bidikay*, 14(22), 57-76. doi: 10.33571/teuken.v14n22a3

GE: YAM