

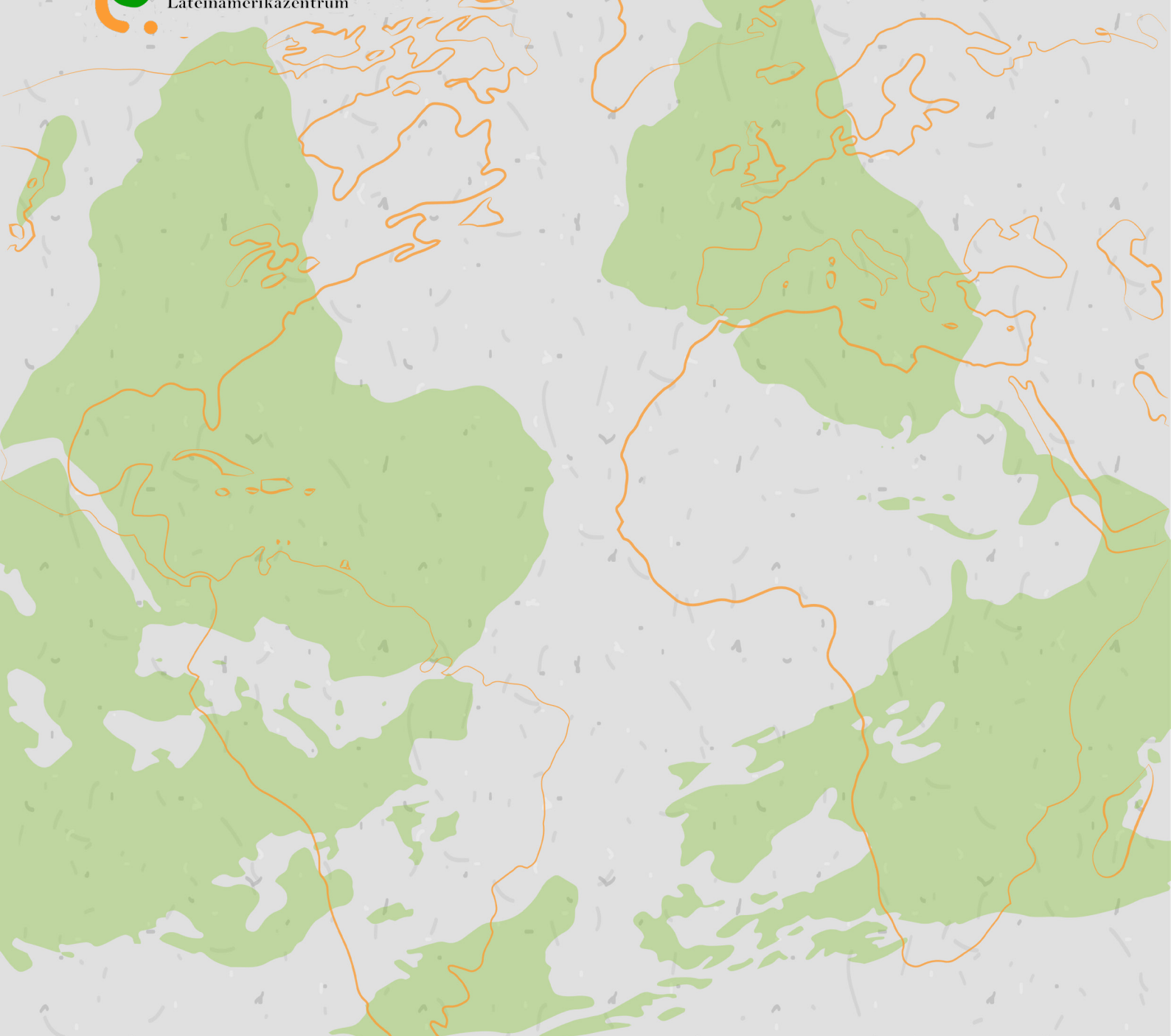


Centro
Interdisciplinario de
Estudios
Latinoamericanos

Interdisziplinäres
Lateinamerikazentrum



UNIVERSITÄT BONN



Calidad de aire y sostenibilidad: revisión de la contaminación atmosférica por $PM_{2.5}$ en ciudades de América Latina y Europa

Eliana Maldonado García y Pablo Aguirre Rincón

Working Paper Series-Puentes Interdisciplinarios 2024/06

Serie 2: Repensar la sostenibilidad desde la experiencia latinoamericana

Working Paper Series *Puentes Interdisciplinarios* es realizado por El Centro Interdisciplinario de Estudios Latinoamericanos/Interdisziplinäres Lateinamerikazentrum (ILZ) de la Universidad de Bonn, Genscherallee 3, 53113 Bonn, Alemania.

Equipo Editor:

Juanita Arango (M.A.), Universidad de Bonn
Carolina Ilaya García (B.A.), Universidad de Bonn
Dra. Antje Gunsenheimer, Universidad de Bonn
Fiorella López (B.A.), Universidad de Bonn
Pablo Núñez (M.A.), Universidad de Bonn
Dra. Monika Wehrheim, Universidad de Bonn

Este Working Paper Series consiste en los aportes de los y las estudiantes y docentes de América Latina y Alemania, participantes de la Escuela de Verano 2022 *Repensar la sostenibilidad desde la experiencia latinoamericana* del Centro Interdisciplinario de Estudios Latinoamericanos de la Universidad de Bonn, con el auspicio de Santander Universities en cooperación con la Universidad de Bonn.

Todos los documentos están disponibles gratuitamente en el sitio web del ILZ:
<https://www.ilz.uni-bonn.de/es/publicaciones/wps-series-puentes-interdisciplinarios>

Cómo citar:

Maldonado García y Aguirre Rincón (2024): "Calidad de aire y sostenibilidad: revisión de la contaminación atmosférica por PM_{2.5} en ciudades de Américas Latina y Europa". En: *Working Paper Series Puentes Interdisciplinarios*, serie 2, 06. Bonn: Centro Interdisciplinario de Estudios Latinoamericanos/ Interdisziplinäres Lateinamerikazentrum (ILZ), Universidad de Bonn.

Derechos de autor de este artículo

© Eliana Maldonado García, Pablo Aguirre Rincón

Esta publicación se ofrece bajo la licencia de Atribución/Reconocimiento-NoComercial-SinDerivados 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). El texto de la licencia está disponible en <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>.

El Centro Interdisciplinario de Estudios Latinoamericanos (ILZ) no se responsabiliza de los errores ni de las consecuencias derivadas del uso de la información contenida en este documento; los puntos de vista y las opiniones expresadas son exclusivamente de los/as autores/as y no reflejan necesariamente los del ILZ, sus proyectos de investigación o sus patrocinadores.

La inclusión de un artículo en el Working Paper Series *Puentes Interdisciplinarios* del ILZ no debe limitar la publicación de éste (con permiso del titular o los titulares de los derechos) en cualquier otro lugar.

Diseño de portada

© Eduardo Muro Ampuero

Diagramación

Pablo Núñez Arancibia

Calidad de aire y sostenibilidad: revisión de la contaminación atmosférica por PM_{2.5} en ciudades de América Latina y Europa

Eliana Maldonado García¹
Pablo Aguirre Rincón²

Resumen:

La calidad del aire representa un eje estratégico de la sostenibilidad de las ciudades y debe entenderse como la concepción del derecho a respirar un aire limpio, la responsabilidad colectiva de una cooperación internacional y regional inmediata de lucha contra la contaminación atmosférica y las acciones de los gobiernos locales necesarias para construir una sociedad saludable, dinámica y activa. Se aborda el concepto de contaminación atmosférica, haciendo un breve relato histórico, relacionando cómo los niveles de polución producen múltiples efectos en diferentes áreas geográficas y describe la formulación de medidas exitosas y la adopción de políticas públicas de calidad del aire en diversos territorios. Así mismo, se establecen comparativas del estado actual de algunos países frente a las nuevas directrices de calidad del aire dadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2021 y se exponen resultados de la media anual de contaminación por material particulado (PM_{2.5}), uno de los contaminantes más perjudiciales para la salud en las principales ciudades de América Latina y Europa. Todo ello con el fin de proporcionar un acercamiento a la importancia de la gestión de la calidad del aire para la construcción de territorios sostenibles y su impacto representativo en la mejora de la calidad de vida de la población.

Palabras claves: Calidad de aire, sostenibilidad, Organización Mundial de la Salud (OMS), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), contaminación atmosférica, salud pública.

Air quality and sustainability: review of PM_{2.5} air pollution in Latin American and European cities

Abstract:

Air quality represents a strategic axis of the sustainability of cities and should be understood as the conception of the right to breathe clean air, the collective responsibility of immediate international and regional cooperation to combat air pollution and the actions of local governments necessary to build a healthy, dynamic, and active society. The article discusses the concept of air pollution, giving a brief historical account, relating how pollution levels produce multiple effects in different geographical areas, and describes the formulation of successful measures and the adoption of public air quality policies in different territories. It also compares the current state of some countries with the new air quality guidelines given by the World Health Organization (WHO) in 2021 and presents the results of the annual average of particulate matter pollution (PM_{2.5}), one of the most harmful pollutants to health in the main cities of Latin America and Europe, all with the aim of providing an approach to the importance of air quality management for the construction of sustainable territories and its representative impact on improving the quality of life of the population.

Keywords: Air quality, sustainability, World Health Organization (WHO), United Nations Environment Programme (UNEP), air pollution, public health.

1 Eliana Maldonado García es ingeniera Ambiental con posgrado en Seguridad y Salud en el Trabajo, Máster en Tecnología Ambiental y estudiante de Doctorado de Medio Ambiente y Sociedad. Colaboradora del Laboratorio Iberoamericano de Innovación Socioecológica, del Observatorio de Desarrollo Sostenible y Cambio Climático para Latinoamérica, con experiencia en dirección de proyectos de calidad de aire. Contacto: elianamaldonado5@outlook.es

2 Pablo Aguirre Rincón es Licenciado en Derecho, máster en Ingeniería y Gestión Medioambiental, con experiencia en legislación medioambiental y gestión de redes de calidad de aire. Contacto: p.aguirre.rincon@gmail.com

Introducción

La contaminación atmosférica es la problemática ambiental actual de mayor riesgo para la salud humana. Más del 90 por ciento de la población mundial vive en áreas que exceden las directrices de la Organización Mundial de la Salud para un aire saludable (WHO 2021). Estas directrices incorporan evidencia científica de múltiples países, lo que las hace fuente de respaldo de políticas públicas para la gestión de la calidad del aire a escala global.

La contaminación del aire es una mezcla compleja de partículas sólidas, líquidas y gases, que pueden ser de origen natural o antropogénico. Estas pueden tener su origen en diversas fuentes, por ejemplo: quema de combustibles, chimeneas industriales, emisiones de vehículos o tráfico rodado, tráfico aéreo o marítimo, generación de energía, quema a cielo abierto de residuos, prácticas agrícolas, polvo del desierto, origen mineral, incendios forestales, erupciones volcánicas, entre otras.

Los contaminantes atmosféricos de mayor interés de medición son el material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀), ozono (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO₂). De estos contaminantes preocupan especialmente las partículas PM_{2.5}, puesto que son consideradas las más peligrosas para la salud, debido a que estas se depositan en los alvéolos, la parte más profunda del sistema respiratorio, quedando atrapadas y generando efectos más severos sobre la salud (WHO 2021).

Según estimaciones de 2016, la contaminación atmosférica en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo provoca cada año 4,2 millones de muertes prematuras; esta mortalidad se debe a la exposición a material particulado PM_{2.5} (partículas finas con un diámetro aerodinámico igual o inferior a 2,5 micrómetros), que puede causar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como cáncer (WHO 2021).

Breve relato histórico de la contaminación atmosférica

A lo largo de la historia se ha documentado la influencia que ejerce la calidad del aire en la salud de las poblaciones. La evidencia de Grecia muestra que los problemas del aire contaminado al aire libre se documentaron hace al menos 2.400 años (Fowler et al. 2020).

Hipócrates, en el año 400 a.C., reconoció la contaminación del aire como una amenaza para la salud. El libro *Aires, aguas y lugares* atribuido al padre de la medicina, sugería diferentes enfermedades relacionadas con la calidad del aire (Fowler et al. 2020). En este tratado se describió la importancia de la buena calidad del aire, así como el agua pura y un entorno saludable en la elección de los asentamientos de la época. Por su parte, los escritores de la Roma Imperial entendieron los probables impactos del humo en la salud con Séneca (ca 63-65 d.C.). Los residentes de la Antigua Roma se referían a la nube de humo como *gravioris Caeli* (cielo pesado) e *infamis aer* (aire infame) (Mosley 2014).

Las emisiones nocivas de fundición y extracción de metales como el plomo y cobre en la Roma Imperial generaron impactos ambientales a nivel regional mucho antes de la revolución industrial. El plomo, que fue fundido por primera vez en Anatolia y Mesopotamia alrededor del año 5000 a. C., cuya producción aumentó considerablemente durante el período grecorromano (alcanzando un máximo de alrededor de 80.000 toneladas por año), presentó efectos adversos a la población de la época como alteración de la fertilidad y daños neurológicos en la población (Mosley 2014).

La extracción y fundición del plomo también supuso un grave peligro para la salud de los trabajadores en las explotaciones mineras romanas de la Península Ibérica, Inglaterra, la Galia y Grecia, además de dejar montículos de escoria negra del tamaño de una colina que transformaban el paisaje. El geógrafo e historiador griego Estrabón (64 a.C.-23 d.C.), describió cómo las emisiones metálicas tóxicas de los hornos de fundición se descargaban en el aire desde las "chimeneas altas" y

las partículas de pequeño tamaño eran transportadas por los vientos dominantes para contaminar grandes regiones del hemisferio norte. Según evidencia científica, el análisis de los estudios del núcleo de hielo del Ártico ha demostrado que la Roma Imperial multiplicó por diez la liberación de plomo al medio ambiente, principalmente debido a la fundición ineficiente en hornos abiertos (Mosley 2014).

Se tienen registros de que el emperador Romano Justiniano (529 d.C.) en las constituciones imperiales promulgó la importancia de respirar aire limpio como un derecho de nacimiento.

Los estudios científicos de muestras de tejidos pulmonares momificados de Egipto, Perú, Gran Bretaña y Asia, han revelado que las sociedades antiguas sufrían de antracosis (pulmones ennegrecidos) debido a la exposición prolongada al humo acre de los incendios domésticos (Mosley 2014).

Se ha demostrado que una momia encontrada en el desierto de Gobi (The Beauty of Loulan, 1800 a.C.) es una de las primeras evidencias de la contaminación atmosférica, los arqueólogos le atribuyen su muerte a causas respiratorias, dadas por la emisión de combustión de madera y de polvo mineral. Por su parte, el filósofo de la civilización china Lao-Tze en el año 500 a.C. describió el impacto en la calidad del aire en las actividades humanas (Querol et al. 2012).

El geógrafo árabe Al-Mas'ūdī, describió referencias de los efectos de la contaminación del aire en el cerebro, generada por el amonio de las cuevas de carbón que se quemaban naturalmente a lo largo de la Ruta de la Seda en Asia Central. Por su parte, un libro de Shen Kuo (1031-1095) escrito durante la dinastía Song (961-1279 d.C.), proporciona más evidencia de la preocupación en China por la contaminación del aire por la quema de carbón (Fowler et al. 2020).

Más adelante, en la primera fase de la revolución industrial, que comenzó en el Reino Unido a finales del siglo XVIII y se extendió por Europa y América del Norte, se dio un rápido crecimiento de la combustión de carbón en las ciudades en desarrollo, que au-

mentó sustancialmente las emisiones de los contaminantes de SO₂, NO₂, NH₃ y humo (Fowler et al. 2004). Las emisiones fueron consecuencias del desarrollo industrial y al rápido aumento de las emisiones de chimeneas. Las fuentes adicionales fueron las emisiones domésticas de la población y el rápido crecimiento de trabajadores de fábricas que en su mayoría quemaban carbón para calentarse y cocinar.

Hasta la década de 1950, la contaminación del aire se aceptaba en gran medida como una consecuencia de la actividad industrial, con una voluntad de tolerar la suciedad, la visibilidad degradada, la erosión y el ennegrecimiento de edificios y los efectos sobre la salud humana, la agricultura y los ecosistemas naturales. Se necesitó un evento importante para cambiar la percepción de la población y la necesidad de medidas de control por parte de los gobiernos. El smog de Londres de 1952 resultó en la muerte prematura de aproximadamente 12.000 personas (Bell 2001).

La reacción de la población y la presión política dieron un hito en la legislación de la calidad de aire, puesto que se elaboró la Ley Británica de Aire Limpio. Así, en 1956 se promulgó el 'British Clean Air Act', y desde entonces se desencadenaron los estudios científicos sobre calidad del aire, así como el desarrollo de tecnologías para minimizar o reducir las emisiones de contaminantes en la industria y en el aire ambiente.

Después de la Ley Británica se han presentado diversas políticas de calidad de aire, según las condiciones y expectativas de los gobiernos de cada país en el hemisferio norte y sur. Así mismo se han establecido tratados y/o convenios internacionales de calidad de aire y de cambio climático, donde se han vinculado una cantidad significativa de países, de los cuales se destacan: Convenio de Ginebra de 1979 sobre contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia, convenio de Viena de 1985 para la protección de la capa de ozono, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1992), el Protocolo de Kioto (1997), el Acuerdo de París (2015), el Convenio de Estocolmo (2001)

sobre contaminantes orgánicos persistentes y el Convenio de Minamata sobre mercurio (2013).

Directrices de la Organización Mundial de la Salud

En 1987, la Organización Mundial de la Salud (OMS) publicó su primer informe sobre las pautas globales de calidad del aire. El informe documentó los hallazgos de una revisión y análisis exhaustivos de la información disponible de estudios científicos que vinculan los niveles de contaminación del aire y los riesgos cuantificados de resultados adversos para la salud. Desde 1987, las pautas se han actualizado periódicamente a medida que se dispone de nuevas investigaciones. En septiembre de 2021 se actualizaron las directrices de calidad de aire.

Las directrices de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud sirven como un objetivo global para que los gobiernos nacionales, regionales y locales trabajen para mejorar la salud de sus ciudadanos mediante la reducción de la contaminación del aire. Es importante mencionar que, aunque las directrices no son ni normas ni criterios jurídicamente vinculantes, están diseñadas para ofrecer orientación para reducir los impactos de la contaminación del aire en la salud sobre la base de la evaluación experta de la evidencia científica actual.

Pese a que la OMS ha publicado una serie de valores orientativos sobre la calidad del aire, no hay una armonización global ni un marco legal común para aplicarlos. Además, la responsabilidad institucional para el cumplimiento de estas normas es escasa en todo el mundo: sólo el 33% de las naciones impone la obligación de cumplir con las reglas legalmente establecidas (WHO 2022). La base de datos fue actualizada en abril de 2022 y recopiló datos sobre la calidad del aire de más de 6.000 ciudades de 117 países.

El informe indica que casi toda la población mundial (99%) respira un aire que supera los límites de calidad recomendados por la OMS y pone en peligro su salud (WHO 2022).

Reconociendo la gravedad del impacto de la contaminación del aire en la salud y el riesgo de efectos adversos presentes en bajas concentraciones de contaminación, el nivel recomendado de la OMS anual de PM_{2.5} se redujo a la mitad, lo que se modificó el nivel anual de 10 µg/m³ hasta 5 µg/m³. En muchas ciudades de América Latina y Europa, con concentraciones de contaminación del aire extremadamente altas, alcanzar este nivel de referencia no es factible de inmediato. Es por ello por lo que se relaciona a continuación el estado actual de niveles de contaminación de algunas ciudades de Europa y Latinoamérica frente a este contaminante que es uno de los de mayor riesgo para la salud.

Unión Europea

La Directiva sobre la calidad del aire ambiente 2008/50/CE es el pilar de la política de aire limpio de la Unión Europea, puesto que establece las normas de calidad atmosférica relativas a la concentración de contaminantes. A partir de la directiva general, cada país miembro de la Unión Europea traspone la directiva a su legislación nacional.

En el marco del Plan de Acción de Contaminación Cero del Pacto Verde Europeo, la Comisión Europea estableció el objetivo para 2030 de reducir el número de muertes prematuras causadas por partículas finas (PM_{2.5}) en al menos un 55 % en comparación con los niveles del año 2005. Con este fin, la Comisión Europea inició una revisión de las Directivas de calidad del aire ambiente, con el objetivo, entre otras cosas, de alinear los estándares de calidad del aire más estrechamente con las recomendaciones de la OMS dadas en el año 2021 (EEA 2021).

Europa cuenta con la red de control de la calidad del aire más completa del mundo, cuenta con el índice europeo de calidad del aire que muestra datos en tiempo real para la población. Así mismo, la Unión Europea cuenta con el visor de la calidad de aire de ciudades europeas que compara los niveles medios de partículas finas (PM_{2.5}) en más de 340 ciudades. En este visor las ciudades se

clasifican desde la ciudad más limpia hasta la más contaminada, teniendo en cuenta los niveles promedio de partículas finas o PM_{2.5}.

Según la Agencia Europea de Medio Ambiente (por sus siglas en inglés EEA) y el último informe del visor de calidad de aire de la EEA actualizado el 25 de abril de 2023, (que recoge datos de 2021 y 2022), las cinco ciudades de Europa con menor contaminación atmosférica de PM_{2.5}, fueron: Faro (Portugal), Umeå (Suecia), Uppsala (Suecia), Funchal (Portugal) y Tallin (Estonia). Por su parte, las cinco más contaminadas son: Slavonski Brod (Croacia), Nowy Sacz (Polonia), Piotrków Trybunalski (Polonia), Cremona (Italia) y Zory (Polonia).

Se destaca que, en Europa central y oriental, la quema de combustibles sólidos para calefacción doméstica y su uso en la industria, da como resultado las concentraciones más altas de partículas y Benzo(a)pireno (un carcinógeno), y las personas del sur de Europa están expuestas a las concentraciones más altas de ozono, cuya formación es impulsada por la luz solar (EEA 2023).

En Alemania tenemos que las ciudades con mayores concentraciones de PM_{2.5} son: Gelsenkirchen, Berlín, Nürnberg, Passau y Speyer. Por su parte, las ciudades con niveles más bajos de contaminación son: Kiel, Göttingen, Lübeck, Freiburg im Breisgau, Hannover y Kempten. La ciudad más contaminada por PM_{2.5} fue Gelsenkirchen con un valor 12,4 µg/m³, seguida por Berlín con 12,2 µg/m³. El nivel registrado, indica que Berlín excede 2 veces lo recomendado por los lineamientos de la OMS, para este contaminante.

Si se detalla la contaminación por partículas finas en España, tenemos que las ciudades con mayores concentraciones de PM_{2.5} son: Castellón de la Plana, Granada, Córdoba, A Coruña y Alicante. En cambio, las ciudades que registraron la menor contaminación de PM_{2.5} son: San Fernando, Santiago de Compostela, Salamanca, Ceuta y Telde. La ciudad más contaminada fue Castellón de la Plana con un valor 15,3 µg/m³, seguida por Granada con 14,1 µg/m³.

El nivel registrado indica que la ciudad más contaminada excede en 3 veces lo recomendado por los lineamientos de la OMS para el PM_{2.5}.

América Latina

Según el Banco Interamericano de Desarrollo, América Latina y el Caribe es la región en desarrollo más urbanizada del planeta. Más del 80% de su población vive en ciudades, las cuales registran cada mes medio millón de nuevos residentes. De seguir esta tendencia de crecimiento exponencial, 100 millones de personas vivirán en tan solo seis megaciudades para el 2025. Así mismo, se estima que más de 100 millones de personas en América Latina y el Caribe están expuestas a una calidad del aire que no cumple con Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire (Aparicio et al. 2019).

Según el Informe Regional para América Latina y El Caribe: Acciones para mejorar la Calidad de Aire del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) de agosto de 2021, se destaca que 7 países tienen reconocido el derecho al aire limpio en su Constitución Nacional, como es el caso de Brasil, Chile, Colombia, México, Surinam, Trinidad & Tobago y Venezuela. Los artículos de la Constitución relacionados expresan en términos generales el derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación para todos los ciudadanos y el deber del Estado para asegurar la protección de este derecho. Los artículos de la Constitución relacionados expresan en términos generales el derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación para todos los ciudadanos y el deber del Estado para asegurar la protección de este derecho (UNEP 2021).

En cuanto al marco normativo, los resultados revelan que al menos 8 países de América Latina y el Caribe cuentan con una estrategia, marco de trabajo o plan de acción, para la gestión de la calidad del aire. Estos países son Belice, Brasil, Chile, Colombia, México, Trinidad & Tobago, Uruguay y Venezuela. Algunos de estos países también reportaron contar con planes de acción de ca-

alidad del aire al nivel de ciudades, tales como Brasil, Chile, Colombia, México, Uruguay y Venezuela.

Los contaminantes regulados son principalmente los contaminantes PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, CO, SO₂, NO₂. Algunos países de la región incluyen también en sus regulaciones otros contaminantes tales como partículas suspendidas totales (PST), compuestos orgánicos volátiles (COV), benceno, cadmio (Cd), mercurio inorgánico (Hg) o plomo (Pb). Por ejemplo, Brasil, Colombia, Ecuador, Perú, Trinidad & Tobago o Venezuela, han establecido estándares de calidad del aire para compuestos tóxicos como por ejemplo los COV tales como el benceno, tolueno, etilbenceno, xileno, formaldehído, entre otros. Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Nicaragua, México, Perú, Trinidad & Tobago, Uruguay o Venezuela, también han incluido estándares de calidad del aire para metales pesados.

En América latina el monitoreo y vigilancia de la calidad del aire se desarrolla en varios países usando métodos de referencia y equivalentes, principalmente desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA).

Para realizar la comparativa de los países de América Latina, se han tenido en cuenta los datos de concentración de PM_{2.5} del año 2022, registrados por el World Air Quality Report publicado en marzo de 2023, por la empresa suiza IQAir. Este informe se basa en datos de calidad del aire de PM_{2.5} de 7.323 ciudades en 131 países. Este documento, nos da una aproximación del estado de las ciudades de América Latina, a falta de un visualizador común oficial que englobe los países de la región.

Perú, Chile, México, Guatemala y Colombia, se encuentran entre los 5 países con el mayor nivel de contaminación por PM_{2.5} de la región de Latinoamérica, seguidos de El Salvador, Guyana, Brasil, Uruguay y Honduras. En cuanto a ciudades regionales, las ciudades con mayores concentraciones son: San Juan de Lurigancho (Perú), Vitarte (Perú), Quilpue (Chile), Santa Anita (Perú) y Coyhaique (Chile). Por su parte las ciudades que presentaron

los niveles más bajos fueron Arecibo (Puerto Rico), Caguas (Puerto Rico) y San José del Cabo (México). Teniendo en cuenta las capitales de Latinoamérica, tenemos a Santiago de Chile (Chile) como la más contaminada, seguida de Lima (Perú), Ciudad de México (México), Ciudad de Guatemala (Guatemala) y Bogotá (Colombia).

Perú es el país con peores niveles de PM_{2.5} en toda la región con un valor anual de 23,5 µg/m³. El nivel registrado indica que el país excede 4 veces lo recomendado por los lineamientos de la OMS. Su capital ha registrado el valor más alto anual con 25,6 µg/m³. Lima cuenta con un parque automovilístico obsoleto y una gran concentración de actividades industriales que, sumado a factores climáticos y legislación muy laxa en calidad de aire, registran los peores niveles de PM_{2.5} del país. A nivel natural, un factor clave son el comportamiento de vientos en el área de Lima Metropolitana. Estos vientos suelen provenir del mar y transportan la contaminación hacia la parte alta de Lima Este, zonas particularmente afectadas por la mala calidad del aire. Además, gran parte de Lima se ubica sobre un terreno desértico. La aridez y la falta de vegetación facilitan que las corrientes de aire levanten partículas contaminantes y al tener bajas precipitaciones, los contaminantes quedan suspendidos en el aire o sobre el suelo, incrementando así la contaminación por PM_{2.5}.

Chile ha obtenido el segundo puesto en el ranking con los peores niveles de PM_{2.5}. Su capital ha registrado el valor más alto anual con 25,8 µg/m³ y el país alberga 8 de las 15 ciudades más contaminadas de América Latina y el Caribe.

Las características geográficas y topográficas de Chile son factores importantes que contribuyen a la mala calidad del aire del país. Muchas ciudades chilenas, se encuentran en valles que pueden atrapar la contaminación del aire, particularmente durante los meses de invierno, cuando la niebla costera fría y densa atrapa el aire cerca de la superficie. En concreto la zona de Valparaíso, cuenta con un mayor riesgo para la salud debido al incremento en el último año de concen-

traciones de contaminantes originadas por empresas mineras, petroleras, cementeras y químicas que llevan a cabo su actividad en esta área.

Colombia presentó una concentración media anual de PM_{2.5} de 15,5 µg/m³, en el ranking de IQAir, lo que indica que el país excede casi tres veces lo recomendado por los lineamientos de la OMS. La media nacional del 2022 se ve influenciada por el significativo incremento de incendios forestales durante la estación seca de la Amazonía Colombiana. El material particulado PM_{2.5} puede desplazarse a largas distancias, por lo que las partículas finas generadas en los incendios de la Amazonía se trasladan a Medellín y Bogotá, reflejándose en los datos de contaminación de estas ciudades.

En enero de 2022, se reportaron casi 30 veces más incendios forestales en Colombia, frente a los ocurridos el mismo mes el año inmediatamente anterior. Bogotá es una de las ciudades con mayor presencia de contaminantes atmosféricos, principalmente de material particulado generado en su mayoría por fuentes móviles y por el sector industrial.

Sin embargo, se destaca que la ciudad está avanzando en la transición eléctrica de su red de autobuses públicos y se ha establecido el objetivo de modernizar la flota de transporte, como parte de un ambicioso plan para reducir en un 10% su contaminación del aire para 2024.

Conclusiones

Los niveles de concentración de PM_{2.5} de los países que se reflejaron en este documento, presentan grandes diferencias debido a sus condiciones geográficas, económicas y políticas; en general, los valores de concentración de este contaminante sobrepasan ampliamente el valor recomendado de 5 µg/m³ por la Organización Mundial de la Salud (OMS)

Existen algunos instrumentos jurídicos multilaterales de alcance regional importantes en materia de calidad del aire, como de la Unión Europea, el cual requiere que los estados miembros elaboren regímenes jurídicos relativamente sólidos en materia de

control de la calidad del aire. Así mismo, gracias a los requisitos legales de libre acceso a la información ambiental, la participación pública en la gobernanza de la calidad del aire y, en algunos países, a los derechos al aire limpio y al conocimiento público sobre la calidad del aire se ha visto incrementando, mejorando la participación de la población.

En diversas ciudades de América Latina y la Unión Europea, se han logrado grandes mejoras en la calidad del aire, en las últimas décadas mediante medidas reglamentarias y cooperación internacional. Sin embargo, se necesita más rigurosidad legislativa y mayores acciones de los gobiernos para reducir los impactos negativos para la salud y el medio ambiente. Se deberían realizar controles de reducción en países de Latinoamérica a gran escala del material particulado PM_{2.5}, puesto que es el contaminante del aire con mayor impacto en la salud en términos de muerte prematura y enfermedad.

Como medidas generales para la disminución de niveles de contaminación, se pueden destacar que diversos países están utilizando incentivos o políticas que promueven la producción más limpia, la eficiencia energética, normas de restricción de emisiones de vehículos, regulación de la quema de desechos sólidos a cielo abierto, adopción de programas de energía limpia para la calefacción y la cocina en el ámbito doméstico, aumento en la disponibilidad de combustibles más limpios, prácticas agrícolas sostenibles, mejora de la eficiencia energética de los edificios, aumento del uso de combustibles de bajas emisiones y fuentes de energía renovable sin combustión (solar, eólica o hidroeléctrica).

A nivel Latinoamérica, es necesario un mayor compromiso por parte de entidades gubernamentales que promuevan políticas más restrictivas, sobre todo en la parte de modernización de flotas de transporte público y de vehículos de carga pesada; así mismo se debe incrementar la inversión pública para una mejora en el asfaltado de las vías y control de emisiones de fuentes móviles.

Las condiciones geográficas de la región Latinoamericana presentan una característica especial, que genera un movimiento trans-

fronterizo del material particulado por incendios forestales. En los últimos años, la región ha experimentado numerosos episodios de incendio en varios países, por lo que las entidades gubernamentales deben establecer alianzas rigurosas contra la sequía y la deforestación en la región para abordar las causas subyacentes de los incendios forestales y prevenir así la contaminación transfronteriza.

Por último, es importante mencionar el reto que tiene la región Latinoamericana en mejorar la cobertura e infraestructura de las redes de medición de calidad de aire y el desarrollo de plataformas de visualización en tiempo real que permita conocer a la población los niveles de contaminación de las ciudades, con el fin de incentivar la participación pública en temas de calidad de aire.

Bibliografía

Aparicio et al. (2019): Brechas de género en el peso al nacer en América Latina: evidencia sobre el papel de la contaminación del aire. En: *Revista de economía, Raza y Política 2*, núm. 4. PP 202–24.

Bell, Davis (2001): Reassessment of the Lethal London Fog of 1952: Novel Indicators of Acute and Chronic Consequences of Acute Exposure to Air Pollution. En *Revista: Environmental Health Perspectives*. Número:109, p.p.: 389–394.

Brimblecombe, Peter (2008): Air pollution history. En: *World Atlas of Atmospheric Pollution*. Anthem Press. pp 7–18.

European Environment Agency (2023): *Air Quality Viewer for European cities*. Véase: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/urban-air-quality/european-city-air-quality-viewer> (consultado por última vez: 18 de octubre de 2023).

Fowler, David, et al. (2020): *A Chronology of Global Air Quality*. The Royal Society.

Fowler, D., O'Donoghue, M., Muller, JBA et al. (2004): A Chronology of Nitrogen Deposition in the UK Between 1900 and 2000. En: *Water Air Soil Pollut.* En: Focus 4, pp. 9–23.

IQAir (2022): *World Air Quality Report 2022*. Region & City PM_{2.5} Ranking. Véase: <https://www.iqair.com/world-air-quality-report> (consultado por última vez: 06

de octubre de 2023).

Mosley, Stephen (2014): *Environmental History of Air Pollution and Protection*. School of Cultural Studies, Leeds Metropolitan University, Leeds, UK.

Querol, Xavier et al. (2012): *Bases científico-técnicas para un plan nacional de mejora de la calidad del aire*. Xavier Querol (ed.). Madrid. Editorial CSIC-Consejo Superior de investigaciones Científicas.

United Nations Environment Programme (2021): *Actions on Air Quality: A Global Summary of Policies and Programmes to Reduce Air Pollution*.

United Nations Environment Programme (2021): *Actions on Air Quality A Global summary of policies and programmes to reduce air pollution*. Véase: <https://www.unep.org/resources/report/actions-air-quality-global-summary-policies-and-programmes-reduce-air-pollution>(consultado por última vez: 08 de septiembre de 2023).

United Nations Environment Programme (2021): *Regulating Air Quality: The first global assessment of air pollution legislation*. United Nations Environment Programme (UNEP). Véase: <https://www.unep.org/resources/report/regulating-air-quality-first-global-assessment-air-pollution-legislation>(consultado por última vez: 16 de agosto de 2023).

World Health Organization (2021): *WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Geneve: World Health Organization; Véase: https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/318526/mod_folder/content/0/Gu%C3%ADas_OMS_2021.pdf (consultado por última vez: 12 de octubre de 2023).