



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA
CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA
PROGRAMA INTERFACULTADES
MAGÍSTER EN GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN
AMBIENTAL

Concentraciones ambientales como aproximación a la
exposición humana a contaminantes atmosféricos: una
revisión sistemática

Tesis para optar al grado de
Magíster en Gestión y Planificación Ambiental

FRANCISCA VIVIANA DEL PILAR CORTÉS MOLINA

Profesor Guía Dr. Manuel Andrés Leiva Guzmán

Santiago, Chile

2023



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA
CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA
PROGRAMA INTERFACULTADES
MAGÍSTER EN GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN
AMBIENTAL

Profesor guía

Dr. Manuel Leiva Guzmán

Nota:

Firma: _____

Profesora consejera

Dra. Margarita Préndez Bolívar

Nota:

Firma: _____

Profesor consejero

Dr. Carlos Manzano Dávila

Nota:

Firma: _____

Financiamiento

El presente trabajo de tesis cuenta con el financiamiento de la Beca de Magister Nacional año 2020 de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT PFCHA/Magíster Nacional/año 2020 - folio 22200594).

... Dedicado a mis sobrinas,
espero que puedan ver un mundo con menos contaminación, en donde por fin
hayamos tomado conciencia de nuestro entorno.

Agradecimientos

A Ignacio por ser mi compañero de vida, por todo tu apoyo, comprensión y amor en este camino.

A mi familia de Rio Bueno, mamá, hermana, hermano, cuñada, sobrinas y mascotas por su cariño incondicional.

A Orfelina y Olga por darme un segundo hogar en Santiago.

A Pablo por ser parte fundamental de mi crecimiento personal.

A CONICYT por su financiamiento que fue muy importante para mí bienestar económico en el primer año de pandemia.

A mis profesores, compañeros y al programa de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental por demostrarme que podía cambiar de área profesional aplicando todo lo aprendido en pregrado y al profesor Manuel Leiva por su tutoría sobre todo en época de pandemia.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	4
Principales contaminantes atmosféricos.....	4
Material particulado (MP _{2.5} y MP ₁₀).....	4
Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)	5
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	7
Ozono troposférico (O ₃ t)	7
Óxidos de Azufre (SO _x)	8
Monóxido de carbono (CO).....	8
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP).....	9
Contaminación atmosférica en Chile y monitoreo de contaminantes	10
Exposición humana a contaminantes atmosféricos	12
Problema de investigación.....	15
Objetivos.....	18
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
Revisión bibliográfica sistémica.....	19
Obtención y procesamiento de la base de datos	19

Análisis preliminar y elegibilidad de la biblioteca obtenida para el objetivo específico 1	22
Análisis final de los artículos incluidos en la revisión bibliográfica del objetivo específico 1	27
Análisis inicial, elegibilidad y análisis final de la biblioteca obtenida para el objetivo específico 2	32
CAPÍTULO III. RESULTADOS	35
Concentraciones ambientales y personales para distintos contaminantes....	35
Concentraciones ambientales y personales para MP ₁₀	35
Concentraciones ambientales y personales para MP _{2.5}	37
Concentraciones ambientales y personales para COVs.....	47
Concentraciones ambientales y personales para NO ₂ y NO.....	52
Concentraciones ambientales y personales para SO ₂	55
Concentraciones ambientales y personales para CO	57
Concentraciones ambientales y personales para HAP	59
Exposición humana a contaminantes atmosféricos: investigaciones realizadas a nivel nacional.....	61
DISCUSIÓN	71
Limitaciones.....	71

Análisis bibliométrico	74
Comparación entre CA y CP	76
Variabilidad en los datos de CA y CP	77
Recomendaciones a las autoridades y la comunidad científica.....	85
CONCLUSIONES	87
BIBLIOGRAFÍA.....	89
ANEXOS	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de flujo PRISMA para la búsqueda bibliográfica del objetivo específico 1. Elaboración propia utilizando como fuente a <i>Liberati et al., 2009</i>	
Figura 2: Diagrama de flujo PRISMA para análisis objetivo específico 2. Fuente: Elaboración propia utilizando como fuente a <i>Liberati et al., 2009</i>	34
Figura 3: Concentraciones ambientales y personales para MP ₁₀ obtenidas de artículos científicos por ciudad de estudio. Ver mas detalle de los datos utilizados en el Anexo 21.....	36
Figura 4: Concentraciones ambientales y personales para MP _{2.5} obtenidas de artículos científicos por ciudad de estudio. Ver más detalle de los datos utilizados en el Anexo 22.....	40
Figura 5: Absorbancia para muestras ambientales y personales obtenidas de artículos científicos por ciudad de estudio. Ver más detalle de los datos utilizados en el Anexo 23.....	43
Figura 6: Concentraciones ambientales y personales para MP _{2.5} SO ₄ ²⁻ obtenidas de artículos científicos por ciudad de estudio. Ver más detalle de los datos utilizados en el Anexo 24.....	44
Figura 7: Concentraciones ambientales y personales para MP _{2.5} carbono negro obtenidas de artículos científicos por ciudad de estudio. Ver más detalle de los datos utilizados en el Anexo 25.	45

Figura 8: Concentraciones ambientales y personales para MP _{2.5} carbono elemental obtenidas de artículos científicos por ciudad de estudio. Ver más detalle de los datos utilizados en el Anexo 26.	46
Figura 9: Concentraciones personales y ambientales para algunos COVs. Todos corresponden a promedios geométricos ponderados, con excepción de benceno (1) que corresponde a un promedio aritmético. Ver más detalle de los datos utilizados en el Anexo 27.	48
Figura 10: Concentraciones ambientales y personales para O ₃ troposférico obtenidas de artículos científicos por ciudad de estudio. Ver más detalle de los datos utilizados en el Anexo 28.	51
Figura 11: Concentraciones ambientales y personales para NO ₂ obtenidas de artículos científicos por ciudad de estudio. Ver más detalle de los datos utilizados en el Anexo 29.	53
Figura 12: Concentraciones ambientales y personales para NO obtenidas de artículos científicos por ciudad de estudio. Ver más detalle de los datos utilizados en el Anexo 30.	55
Figura 13: Concentraciones ambientales y personales para SO ₂ obtenidas de artículos científicos por ciudad de estudio. Ver más detalle de los datos utilizados en el Anexo 31.	56

Figura 14: Concentraciones ambientales y personales para CO obtenidas de artículos científicos por ciudad de estudio. Ver más detalle de los datos utilizados en el Anexo 32.....58

Figura 15: Marco conceptual de la ciencia de la exposición propuesto por la National Research Council (NRC). El esquema presentado busca entender los conceptos importantes de la ciencia de la exposición desde la fuente hasta el efecto que causa. El texto debajo de los cuadros en color naranja muestra la información utilizada para caracterizar los diversos procesos y condiciones representados. Las flechas entre los cuadros representan los modelos utilizados para vincularlos.....79

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Instrumentos de gestión ambiental en Chile.	11
Cuadro 2: Criterios de búsqueda utilizados.	20
Cuadro 3: Número de artículos encontrados por base de datos y totales.	21
Cuadro 4: Criterios de análisis de lectura de título-resumen-objetivo- metodología para la librería bibliográfica del objetivo específico 1.	23
Cuadro 5: Consideraciones y criterios de elegibilidad de artículos científicos para la extracción de datos del análisis final.	24
Cuadro 6: Criterios de análisis de lectura de título y resumen para la librería bibliográfica del objetivo específico 2.	33
Cuadro 7: Valores de coeficiente de correlación obtenidos para MP ₁₀	37
Cuadro 8: Valores de coeficiente de correlación obtenidos para MP _{2.5}	41
Cuadro 9: Valores de coeficiente de correlación obtenidos para NO ₂	54
Cuadro 10: Características de los artículos analizados para el objetivo específico 2.	62
Cuadro 11: Interpretación de los coeficientes de correlación. Fuente:(Chan, 2003).	84

RESUMEN

La contaminación atmosférica es una problemática de salud pública mundial y continúa siendo una prioridad en la gestión ambiental nacional. Los contaminantes atmosféricos se miden en estaciones de monitoreo fijas, pero estas instalaciones podrían no detectar las verdaderas concentraciones de contaminantes a las que las personas se ven expuestas.

En la investigación aquí presentada se realizó dos revisiones sistemáticas de artículos científicos. La primera de ella se centró en investigaciones internacionales en donde se midieron concentraciones ambientales (CA) y personales (CP) de contaminantes, de los cuales se obtuvieron datos numéricos para luego realizar un análisis estadístico. Posteriormente, se realizó una segunda revisión sistemática de artículos nacionales, con la finalidad de examinar el estado de investigación en Chile respecto a la exposición humana a contaminantes atmosféricos.

Para todos los contaminantes analizados en la primera revisión bibliográfica realizada, existieron mediciones con diferencias significativas entre las CP y CA realizadas en una misma ciudad, infiriendo que no es recomendable utilizar las mediciones de CA directamente como medida de exposición personal. En la segunda revisión bibliográfica se encontraron artículos que tuvieron relación con la exposición personal, incluyendo temáticas como medición a nivel personal y

en otros ambientes, modelos de exposición y otros contaminantes, mostrando que estas temáticas se han vuelto relevantes en el país.

Finamente se recomienda a las autoridades tomar en consideración estas diferencias entre CA y CP para hacer estudios dirigidos, además de recomendar a la comunidad científica la normalización de la presentación de datos de CA y CP con el objetivo de favorecer las revisiones sistemáticas.

ABSTRACT

Air pollution is a global public health problem and continues to be a priority in Chilean government environmental management. Air pollutants are measured at fixed monitoring stations, but these facilities may not detect the true concentrations of pollutants to which people are exposed.

In the research presented here, two systematic reviews of scientific articles were carried out. The first one focused on international research where environmental and personal concentrations of pollutants were measured, from which numerical data were obtained, and then statistical analysis was carried out. Subsequently, a second systematic review of national articles was carried out, in order to examine the state of research in Chile regarding human exposure to air pollutants.

For all the pollutants analyzed in the first literature review carried out, there were measurements with significant differences in environmental and personal concentrations carried out in the same city, inferring that it is not advisable to use ambient concentrations measurements directly as a measure of personal exposure. In the second literature review, articles were found that were related to personal exposure, including topics such as measurement at the personal level and in other environments, exposure models, and other pollutants, showing that these topics have become relevant in the country.

Finally, it is recommended that the authorities take into account these differences between environmental and personal concentrations to carry out targeted studies, in addition to recommending to the scientific community the standardization of the presentation of environmental and personal concentrations data in order to favor systematic reviews.

.

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica se define como la presencia en el ambiente o aire exterior o interior (dentro de edificios) de cualquier agente químico, físico o biológico que modifique las características naturales del aire (WHO, 2023). Es un problema mundial que provoca efectos negativos tanto en el medio ambiente como en la población, causando distintos impactos negativos en la salud, contribuyendo al desarrollo de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, afectando principalmente a la población de riesgo como niños, adultos mayores y personas con enfermedades crónicas respiratorias y cardíacas (MMA, 2023a).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS o WHO por sus siglas en inglés), la contaminación atmosférica está asociada con aproximadamente 7 millones de muertes prematuras en todo el mundo por año y que además, el 99% de la población mundial estaría expuesta a niveles de contaminación del aire que exceden sus recomendaciones (WHO, 2023). Según el Banco Mundial, se estima que el costo global de los daños en salud asociados con la exposición a la contaminación del aire es de 8,1 trillones de dólares, equivalentes al 6,1% del producto interno bruto mundial (World Bank, 2022). Es por estas razones que constantemente se monitorea la calidad del aire sobre todo en grandes urbes.

La exposición humana o exposición personal a contaminantes atmosféricos corresponde a las concentraciones de contaminantes que efectivamente llegan a interactuar con las personas y se relacionan con las diferentes actividades que

realizan éstas en su vida cotidiana y con los microambientes a los que están expuestas, además de características propias del individuo como la edad, ocupación, actividad física, entre otras (Chatzidiakou et al., 2019). Los microambientes se definen como lugares bien demarcados como una casa, oficina, o la cocina, los cuales se pueden tratar como homogéneos con respecto a la concentración de un contaminante (EPA, 2023c). Es por esto que el monitoreo de la calidad del aire ambiental cumple un rol clave al representar la concentración ambiental (CA) de un contaminante, es decir la cantidad de contaminante en un volumen de aire exterior y, por consiguiente, la concentración a la que podría verse expuesto un individuo, o concentración personal (CP).

El monitoreo de la calidad de aire se realiza principalmente en contaminantes al aire libre detectados por estaciones de monitoreo fijas, las cuales son instalaciones destinadas a medir y registrar regularmente diversas variables de calidad de aire mediante equipos automáticos (SINCA, 2023a). Determinar si estas medidas son una buena aproximación a la exposición humana a contaminantes atmosféricos es algo que es necesario establecer. La importancia de realizar este análisis es que este tipo de monitoreo indica de forma indirecta la exposición y los riesgos de efectos sobre la salud humana; por lo tanto, podría no entregar información precisa de la exposición a contaminantes conduciendo

a errores en la toma de decisiones en epidemiología y salud pública (Chatzidiakou et al., 2019; Ozkaynak et al., 2013).

Para abordar la problemática antes descrita, en el presente documento se propone responder las siguientes preguntas: ¿existen diferencias entre CA y CP de contaminantes atmosféricos medidos en otras ciudades del mundo?; ¿cuál es el estado de investigación realizado en Chile con respecto a la exposición humana a contaminantes atmosféricos?, para finalmente proponer recomendaciones a la autoridad correspondiente y a investigadores con relación a las conclusiones obtenidas. Para contestar estas preguntas, se realizó una revisión bibliográfica sistemática basada en el artículo publicado por Liberati et al., (2009) con el objetivo de encontrar artículos científicos que midieran en forma paralela en estaciones de monitoreo fijas y con monitores personales portables y una segunda revisión bibliográfica sistemática para indagar en la investigación realizada en Chile con respecto a estas temáticas.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

Principales contaminantes atmosféricos

A continuación se describirán los contaminantes analizados.

Material particulado (MP_{2.5} y MP₁₀)

El material particulado (MP) son partículas líquidas o sólidas que se encuentran suspendidas en la atmósfera y se componen de una mezcla compleja de varios componentes como carbono negro, carbono elemental, nitratos, sulfatos, oligoelementos, compuestos orgánicos, metales y partículas de polvo. Se clasifican comúnmente según su diámetro aerodinámico en MP₁₀ las cuales corresponden a partículas de diámetro menor a 10 µm (también llamado material particulado grueso) y MP_{2.5} que corresponde a partículas de diámetro menor a 2.5 µm (material particulado fino). Estas pueden ser emitidas directamente a la atmósfera (primarias) o son formadas en la atmósfera (secundarias) a través de distintas reacciones. El MP primario y secundario pueden ser transformados química y físicamente en la atmósfera y puede ser transportados o removidos de esta por deposición seca o húmeda (Oyarzún, 2010; R. Zhang et al., 2015).

El MP_{2.5} es producido por procesos industriales, procesos de combustión como quema de combustibles fósiles, biomasa y quemas agrícolas, incendios forestales y erupciones volcánicas; también se generan por reacciones en la atmósfera como oxidaciones de distintos contaminantes que se condensan y

forman agregados que luego de procesos de nucleación, crecen y forman estas partículas. El MP₁₀ proviene de fuentes naturales como por la erosión de los suelos a causa del viento, provocando la suspensión del polvo y la influencia del viento en los océanos que genera la suspensión de partículas de sal marina, y también pueden provenir de fuentes antropogénicas como emisiones industriales, faenas mineras, construcción, actividades agrícolas y del tráfico vehicular (Jorquera, 2020). Sus principales efectos en la salud son el aumento en la tasa de morbilidad y mortalidad, disminución en la función pulmonar, interferencia en mecanismos de defensa pulmonar como la fagocitosis y depuración mucociliar, síndrome bronquial obstructivo y a largo plazo puede producir un menor desarrollo de la estructura y función del sistema respiratorio y un mayor riesgo de cáncer en la edad adulta (Oyarzún, 2010).

A nivel mundial, los países con mayores niveles de contaminación por MP_{2.5} son Bangladesh, Chad y Pakistán, mientras que Chile ocupa el puesto número 40 en el ranking mundial de calidad de aire publicado por la compañía IQAir (2021) situándolo en una posición crítica frente a este problema de salud pública.

Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)

Los COVs son moléculas emitidas a la atmósfera y que poseen un punto de ebullición entre 50°C y 260 °C; los principales son el benceno, tolueno, xilenos, estireno y terpenos como el α -pineno y el limoneno. Al igual que el MP tienen un

origen natural o antropogénico, sus fuentes principales son los productos para el hogar como pinturas, solventes, preservantes para la madera, aerosoles, limpiadores, desinfectantes, repelentes de insectos, combustibles e hidrocarburos, pesticidas, materiales de construcción, equipos de oficina como las fotocopiadoras, pegamentos, entre otros (Sarigiannis et al., 2011).

Estos contaminantes causan distintos efectos directos en la salud, como irritación de mucosas, ojos, nariz y garganta; cefaleas, pérdida de coordinación y mareos; daño hepático, renal y nervioso; algunos compuestos orgánicos pueden causar cáncer en animales y en humanos (EPA, 2023d). Además, algunos COVs al ser liberados en la tropósfera pueden reaccionar en presencia de radiación solar llevando a la formación de ozono troposférico (O_3t) (EPA, 2023b).

Por dichas razones, existe interés por parte del gobierno de Chile de monitorear estos contaminantes. En el año 2020 fue inaugurado un centro de toma de muestras para COVs, ubicado en la localidad de Quintero y Puchuncaví, operado por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) como parte de los compromisos hechos en el actual Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví (DS N° 105/2018, MMA) con el fin de poder actuar rápidamente frente a episodios críticos de contaminación por estos compuestos (SMA, 2020).

Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Los NO_x son un grupo de contaminantes que incluyen al dióxido de nitrógeno (NO₂) y óxido nítrico (NO), entre otros. El NO₂ es un gas muy reactivo que puede irritar el sistema respiratorio, por lo tanto, personas con enfermedades crónicas respiratorias, adultos mayores y niños tienen mayores riesgos frente a este contaminante (Erickson et al., 2020). El NO₂ es emitido principalmente por la quema de combustibles fósiles de fuentes vehiculares, industriales y domésticas (Erickson et al., 2020; Pal, 2021). Contribuye con la formación de contaminantes secundarios como el O_{3t} y MP, generación de lluvia ácida y otros efectos perjudiciales (EPA, 2023a).

Ozono troposférico (O_{3t})

El ozono (O₃) es una molécula formada por 3 átomos de oxígeno que está presente en la estratósfera formando la capa de ozono, en donde absorbe los rayos ultravioletas UV-B perjudiciales para los seres vivos, pero también está presente en la tropósfera (ozono troposférico u O_{3t}) como un contaminante secundario. Los NO_x y COVs liberados a la atmósfera pueden reaccionar en presencia de la radiación solar, lo que lleva a la formación de O₃ en la tropósfera (O_{3t}) (Zhang et al., 2019).

El contacto directo con el O_{3t} a nivel del suelo puede causar daños a las células, órganos y especies vivas, incluidos los seres humanos, los animales y las

plantas. En el ser humano, el O_3 causa distintos efectos negativos en la salud, es un oxidante fuerte que causa daño oxidativo en las mucosas del sistema respiratorio, generando respuestas inmunes inflamatorias en los pulmones, aumentando la incidencia de episodios de asma en pacientes y provocando muertes prematuras (Zhang et al., 2019).

Óxidos de Azufre (SO_x)

Los SO_x son un grupo de contaminantes, entre los cuales se encuentra el dióxido de azufre (SO₂), un gas contaminante primario y el ion sulfato (SO₄²⁻), un contaminante secundario. Se estima que alrededor de un tercio de la emisión de SO₂ proviene de actividades antropogénicas (Pal, 2021) en donde es generado principalmente por quema de combustibles fósiles, industrias metalúrgicas y otros procesos industriales (Thurston, 2017). El SO₄²⁻ es un componente del MP_{2.5} que se utilizó comúnmente como marcador de fuentes de emisión ambientales ya que no se encuentra este ion en fuentes de emisión interiores (Ebelt et al., 2000).

Monóxido de carbono (CO)

El CO es un gas incoloro, inodoro e insípido que se genera como producto de la combustión incompleta de hidrocarburos y biomasa. Sus principales fuentes son los gases de escape de vehículos, procesos industriales, humo de tabaco, emisiones de cocinas a gas, uso de carbón o leña en estufas, entre otros (Levy,

2015). En el cuerpo humano, reacciona rápidamente con la hemoglobina de los eritrocitos para formar carboxihemoglobina, impidiendo el correcto transporte de oxígeno hacia los tejidos, afectando principalmente al cerebro, el sistema cardiovascular, el músculo esquelético y el feto en desarrollo en caso de embarazadas (WHO, 2000).

Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)

Los HAP son un grupo de contaminantes que pueden encontrarse en la atmósfera en fase gaseosa o unidos a MP, dependiendo de su peso molecular y temperatura ambiental. Estos corresponden a compuestos orgánicos formados por dos o más anillos aromáticos los cuales se forman principalmente por combustión de materiales carbonosos a alta temperatura. Una de las preocupaciones principales acerca de estos contaminantes es que diversos estudios han demostrado que algunos de estos compuestos son altamente cancerígenos o mutagénicos (Choi et al., 2010). Dentro de estos contaminantes se encuentran el benzo[a]pireno, benzo[a]antraceno, criseno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, dibenzo[a,h]antraceno, indeno[1,2,3-cd]pireno y benzo[g,h,i]perileno, considerados como posibles cancerígenos (Srogi, 2007).

Contaminación atmosférica en Chile y monitoreo de contaminantes

La calidad del aire es una de las prioridades de la gestión ambiental del Gobierno de Chile (MMA, 2021). Se estima que la contaminación atmosférica por $MP_{2.5}$ fue la causa de 3.640 muertes prematuras en el año 2018 en mayores de 30 años; además, produjo 2.900 admisiones hospitalarias, 88.635 visitas a salas de urgencia en niños y adolescentes de entre 0 y 17 años, 728.434 días de pérdida de trabajo y 3.212.560 días de actividad restringida (MMA, 2019), significando un impacto económico muy importante para la salud pública del país.

En Chile existen tres principales fuentes de contaminación del aire: el transporte, las actividades industriales y la calefacción de viviendas por combustión a leña (MMA, 2021). Existe una variabilidad de fuentes de emisión y tipos de contaminantes más relevantes con respecto a las distintas zonas del país. En ciudades del centro y sur de Chile, el $MP_{2.5}$ proviene de la combustión residencial de leña principalmente, en la zona norte del país proviene del transporte e industria, mientras que en Santiago proviene de una combinación de los sectores mencionados (Huneeus et al., 2020).

Con el objetivo de mejorar la calidad del aire, el Gobierno de Chile ha desarrollado distintos instrumentos de gestión ambiental los cuales son herramientas de política pública que, mediante regulaciones, incentivos o mecanismos que motivan acciones o conductas de agentes, permiten contribuir

a la protección del medio ambiente y, prevenir, atenuar o mejorar problemas ambientales (MMA, 2021). En la actualidad existen distintas normas de calidad de aire para distintos contaminantes, así como también planes de prevención y planes de descontaminación para zonas declaradas como latentes o saturadas por uno o más contaminantes a lo largo del país (MMA, 2023b). En el Cuadro 1 se muestra un resumen de estos instrumentos.

Cuadro 1: Instrumentos de gestión ambiental en Chile.

Instrumentos normativos	Normas de emisión Normas de calidad ambiental Planes de prevención y/o de descontaminación
Instrumentos económicos	Impuestos verdes a las fuentes fijas y móviles
Otros	Sistemas de monitoreo continuo de las concentraciones del aire, como el Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA). Programas e iniciativas de promoción de tecnologías limpias.

Fuente: (MMA, 2020)

En Chile, el monitoreo de la calidad de aire se realiza para contaminantes al aire libre, detectados por estaciones de monitoreo fijas. El SINCA (Sistema de Información de Calidad de Aire) es una red de estaciones de monitoreo de calidad de aire que realizan mediciones en tiempo real de contaminantes criterio como MP₁₀, MP_{2.5}, O_{3t}, SO₂, NO₂ y CO. El Ministerio del Medio Ambiente es el

encargado de operar esta red de estaciones públicas y privadas, estas últimas como parte del cumplimiento de resoluciones de calificación ambiental (SINCA, 2023b).

Para que los datos obtenidos de estas estaciones de monitoreo puedan ser usadas para evaluar normas, se les exige tener el carácter de estación de monitoreo con representatividad poblacional (EMRP) para MP o para gases. Además, el titular de cada estación debe ajustarse a los requerimientos que se detallan en el Decreto Supremo N° 61 del año 2008 del Ministerio de Salud (DS 61, 2008) (MINSAL, 2008) en cuanto a los chequeos, mantenciones y calibración de los equipos utilizados en las mediciones y la validación de los datos obtenidos. Al cumplirse todos estos requisitos, los datos que se obtienen de la estación de monitoreo pueden ser utilizados para verificar el cumplimiento de las normas actuales (SINCA, 2023a).

Exposición humana a contaminantes atmosféricos

La exposición humana a contaminantes atmosféricos corresponde a las concentraciones de contaminantes del aire que efectivamente llegan a interactuar con las personas y se relacionan con las diferentes actividades que realizan las personas en su vida cotidiana y con los microambientes a los que están expuestas, además de características propias del individuo como la edad, ocupación, actividad física, entre otras (Chatzidiakou et al., 2020).

El estudio de la exposición humana busca analizar este contacto entre el receptor, el ser humano, en sus límites como la piel, las fosas nasales y respiratorias y la cavidad oral ante estos agentes que se encuentran en su medioambiente y que pueden provocar efectos adversos en la salud. También busca describir el ambiente, el comportamiento de los agentes, las características y actividades de los receptores humanos y el mecanismo que conduce al contacto humano con el agente. Además, brinda el conocimiento científico, los métodos, los datos y las herramientas para desarrollar evaluaciones de exposición que vinculen la exposición con los resultados de salud y evalúen varias opciones para gestionar las exposiciones de manera efectiva (EPA, 2019; Sheldon & Cohen Hubal, 2009). Todo esto se integra en el proceso de evaluación de exposición (del inglés *exposure assessment*) que es una importante herramienta en salud pública (EPA, 2019).

En el caso de la contaminación atmosférica, el agente corresponde a un contaminante en el aire. Para esta evaluación la magnitud y la ruta de exposición son características críticas para determinar los efectos adversos sobre las personas, los cuales dependen de la fuente del contaminante, su transporte y destino, su persistencia en el medioambiente y las actividades de los individuos receptores que conducen al contacto con el contaminante. Es por esto el creciente interés por aumentar el conocimiento de los mecanismos que resultan en la exposición a contaminantes atmosféricos que producen situaciones

adversas para la salud y así conocer sus causas y poder prevenirlos (EPA, 2019).

Durante la rutina diaria de la población, los momentos en donde ocurre por lo general un máximo de exposición a contaminantes son los desplazamientos (Karanasiou et al., 2014); también se debe tener en consideración que la mayoría del tiempo, los individuos se encuentran en interiores (Chatzidiakou et al., 2019). Además, existen microambientes exteriores que podrían no ser captados por las estaciones de monitoreo, como los cañones urbanos, estructuras que se forman entre las calles y los edificios de altura en donde la dilución de contaminantes provenientes de vehículos en movimiento está limitada por los edificios, aumentando la concentración de contaminantes en estos lugares (Dezzutti, 2016). Al no considerar estas situaciones, ocurren inexactitudes en las estimaciones de exposición a contaminantes utilizando solo las mediciones de exteriores, comprometiendo a los estudios epidemiológicos y las estimaciones en salud (Chatzidiakou et al., 2019).

Distintos tipos de mediciones y modelos se utilizan como aproximación cuantitativa a la exposición humana, entre ellas están las medidas directas, indirectas, la medición de biomarcadores y su elección dependerá de la pregunta que se quiere investigar. Los métodos directos miden el contacto de la persona con las concentraciones de contaminantes en el medio de exposición durante un periodo de tiempo determinado. Las medidas indirectas utilizan los datos sobre

concentraciones de contaminantes en el medio de exposición y otros datos como factores de exposición, duración del contacto, frecuencia de contacto, frecuencia respiratoria, entre otros para modelar la exposición. La medición de biomarcadores mide la cantidad de moléculas o sus metabolitos que se relacionan con exposición a contaminantes en matrices biológicas como sangre, orina o tejidos (EPA, 2019).

Como se describió con anterioridad, en Chile se utiliza una red de estaciones de monitoreo fijas para evaluar las normas de calidad, que es la manera en que tradicionalmente se estima la exposición humana a contaminantes atmosféricos, siendo una medida indirecta. En relación con esto, es importante considerar el aumento en tecnología e innovación con respecto a los métodos de medición. Cada vez se generan nuevas tecnologías y dispositivos más sofisticados, lo que está permitiendo cambiar el tipo de monitoreo y poder acceder a medidas directas de exposición humana a contaminantes atmosféricos (Snyder et al., 2013).

Problema de investigación

Para realizar el monitoreo ambiental se utilizan tradicionalmente estaciones de monitoreo fijas, las cuales son complejas instalaciones que analizan distintos contaminantes de forma automática, y que a su vez permiten la definición de políticas públicas de calidad de aire, aplicación de leyes medioambientales y

estudios de enfermedades, entre otras (Caquilpan et al., 2019). En Chile el Ministerio del Medio Ambiente opera las redes públicas de monitoreo de calidad de aire, las cuales se encargan de informar en tiempo real los niveles de algunos contaminantes y proporcionan la información necesaria para llevar a cabo los instrumentos de gestión ambiental relacionados (SINCA, 2023a). A pesar de estos esfuerzos, la cantidad de estas instalaciones es restringida (Caquilpan et al., 2019); en la Región Metropolitana que posee más de 7 millones de habitantes (INE, 2017) la cantidad de estaciones de monitoreo activa actualmente es de solo 9 (SINCA, 2023b), las cuales podrían no representar la calidad de aire a la cual está expuesta la población.

Lo anteriormente planteado supone una discusión necesaria, si es que las medidas ambientales obtenidas de estaciones de monitoreo fijas son una buena aproximación a la exposición humana a contaminantes atmosféricos. La importancia de realizar este análisis se relaciona con que muchas veces estas estaciones fijas son diseñadas con el objetivo de evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad de aire, en lugar de evaluar la exposición de la población (Silverman et al., 1982); además, indican de forma indirecta la exposición y los riesgos de efectos sobre la salud, por lo tanto, podría no entregar información precisa de la exposición humana a contaminantes conduciendo a errores en la toma de decisiones en epidemiología y salud pública (Chatzidiakou et al., 2019; Ozkaynak et al., 2013; Zeger et al., 2000).

A continuación, se presenta un análisis bibliográfico sistemático que permitirá analizar el uso de CA como aproximación de la exposición personal a la contaminación atmosférica. Además, dará luces del panorama mundial con respecto a la investigación de estas temáticas, la cual se podrá comparar con el estado de investigación realizado en Chile. Luego de la discusión de los resultados obtenidos se propondrán recomendaciones tanto para la autoridad pertinente como para la comunidad científica.

Objetivos

Objetivo General

Analizar el uso de concentraciones ambientales obtenidas de estaciones de monitoreo como aproximación a la exposición humana a contaminantes atmosféricos.

Objetivos Específicos

1. Comparar valores numéricos de concentraciones ambientales y personales medidas en paralelo por monitores personales y estaciones de monitoreo fijas estandarizadas a nivel internacional.
2. Examinar el estado de investigación realizado en Chile con respecto a la exposición humana a contaminantes atmosféricos.
3. Elaborar un listado de recomendaciones para las autoridades nacionales y la comunidad científica sobre el análisis y conclusiones obtenidas.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

Revisión bibliográfica sistémica

Para responder a los objetivos específicos 1 y 2 se utilizó como metodología la revisión bibliográfica sistemática. Una revisión sistemática tiene como objetivo recopilar evidencia científica empírica que se ajuste a los criterios de elegibilidad definidos previamente para responder a una pregunta de investigación específica. Utiliza pasos explícitos lo que permite minimizar el sesgo, proporcionando hallazgos confiables a partir de los cuales se pueden extraer conclusiones y tomar decisiones (Liberati et al., 2009).

Las revisiones bibliográficas realizadas utilizaron como base un diagrama de trabajo basado en la declaración Prisma (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Jan van Eck & Waltman, 2021) con el fin de dar orden y claridad a la revisión bibliográfica. El diagrama original se muestra en el Anexo 1, el cual fue modificado para cada búsqueda realizada. A continuación, se describen los pasos seguidos para cada una de las revisiones bibliográficas realizadas.

Obtención y procesamiento de la base de datos

Para responder a los objetivos específicos 1 y 2 se realizaron revisiones bibliográficas utilizando conjuntos de palabras clave específicas en las bases de datos ISI *Web of Science*, Pubmed y Scielo. Para construir las búsquedas

bibliográficas se definieron conjuntos de palabras clave, los que se muestran en el Anexo 2 y Anexo 3 para el objetivo específico 1 y 2 respectivamente. Se construyó el texto de la búsqueda utilizando operadores booleanos, los cuales son palabras o signos que pueden establecer relaciones entre conceptos o grupos de conceptos permitiendo ampliar o restringir una búsqueda (Unidad de Aprendizaje, 2023). Cada palabra o concepto definido dentro de un conjunto se combinó con el operador booleano OR (usado para ampliar los resultados incluyendo sinónimos de las palabras o conceptos definidos) y la unión de los conjuntos se realizó utilizando el operador booleano AND (utilizado para obtener un resultado que contenga solo elementos de todos los conjuntos de palabras clave definidos). Las búsquedas realizadas para el objetivo específico 1 en cada base de datos se muestran en el Anexo 4, Anexo 5 y Anexo 6 y para el objetivo específico 2 se muestran en el Anexo 7, Anexo 8 y Anexo 9. Los criterios de búsqueda utilizados se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2: Criterios de búsqueda utilizados.

Búsqueda realizada	Objetivo específico 1 = Conjunto #1 AND #2 AND #3 AND #4 (Ver Anexo 2)	Objetivo específico 2 = Conjunto #1 AND #2 AND #5 (Ver Anexo 3)
Bases de datos utilizadas y observaciones	<i>Web of Science</i> (WOS) utilizando la función "TI" y "AB"; PUBMED utilizando la función "Title/Abstract";	<i>Web of Science</i> (WOS) utilizando la función "ALL"; PUBMED utilizando la función "Text Word"; SCIELO

	SCIELO utilizando la función "ti" y "ab".	
Elementos en donde se realizó la búsqueda	Título y Resumen	Todos
Idioma	Inglés	Todos
Rango de fecha	Todo el rango permitido por la base de datos hasta la fecha de búsqueda	Todo el rango permitido por la base de datos hasta la fecha de búsqueda
Fecha de búsqueda	08-10-2020	05-03-2021

Luego de realizadas las búsquedas bibliográficas, se descargó cada una de las bases de datos y se procesó en el *software* Endnote para eliminar los duplicados, obteniendo las cantidades de artículos mostrados en el Cuadro 3. Esto permitió obtener finalmente las bibliotecas de artículos para su análisis.

Cuadro 3: Número de artículos encontrados por base de datos y totales.

	Cantidad de artículos	
	Objetivo específico 1	Objetivo específico 2
<i>Web of Science</i>	128	17
PUBMED	123	7
SCIELO	0	0
Total luego de eliminación de duplicados	155	20
Total luego de búsqueda y descarga de artículo completo	151	19

Análisis preliminar y elegibilidad de la biblioteca obtenida para el objetivo específico 1

Luego se realizó un análisis preliminar de los artículos encontrados en la búsqueda bibliográfica del objetivo específico 1. Para esto se realizó una lectura del título y resumen de los 155 artículos. Gracias a este análisis, se determinaron los criterios de análisis finales, mostrados en el Cuadro 4. Se concluyó que era necesario obtener información contenida en la metodología para incluir artículos en donde efectivamente se realicen mediciones paralelas para CA en estaciones de monitoreo y CP con medidores portables. Para esto se buscó y descargó el artículo completo, de los cuales no se encontraron 4 de estos para su descarga, quedando en total 151 artículos en la biblioteca de investigación (ver Cuadro 3).

Posteriormente se realizó el análisis de los 151 artículos descargados. Se leyó el título, resumen, objetivo del artículo científico y metodología para tomar la decisión de incluirlo o no en el análisis final. Para esto se utilizaron los criterios de elegibilidad mostrados en el Cuadro 4, se construyó una base de datos y un formulario utilizando el *software* Microsoft Access para organizar la información y las anotaciones realizadas a cada artículo, así como la decisión de incluirlo o no en el análisis final. Luego de este análisis quedaron 68 artículos científicos y se excluyeron 83 artículos que no cumplieron con los criterios descritos.

Cuadro 4: Criterios de análisis de lectura de título-resumen-objetivo-metodología para la librería bibliográfica del objetivo específico 1.

Criterio	Incluido	Excluido
Rango de fecha	Artículos publicados antes de la fecha de búsqueda (08-10-2020)	Artículos publicados después de la fecha de búsqueda (08-10-2020)
País	Todos	No aplica
Tipo de artículo	Artículo científico	Revisiones, revisiones sistemáticas y meta-análisis, actas de conferencias, seminarios, etc.
Idioma	Ingles	Otros
Tema	Mediciones de CA y CP	Otro tipo de análisis
Metodología	Realizan mediciones con instrumentos de forma simultanea	Utilizar otra metodología para predecir los valores de contaminación

Luego se realizó un nuevo análisis para los 68 que pasaron la etapa anterior. Se realizó una lectura de los resultados de los artículos científicos, teniendo en consideración los criterios mostrados en el Cuadro 5, luego de lo cual quedaron 62 artículos que pasaron a la próxima etapa de análisis, excluyéndose 6 de ellos.

Cuadro 5: Consideraciones y criterios de elegibilidad de artículos científicos para la extracción de datos del análisis final.

Criterios de elegibilidad final	
Incluido	Excluido
<ul style="list-style-type: none"> • Deben ser datos propios del artículo científico y no citar a artículos anteriores, a menos que sea un análisis que no se haya realizado previamente. • Los artículos científicos deberán presentar datos numéricos de mediciones de CP (medidos con monitores personales) y CA (medidos con estaciones de monitoreo) realizadas al mismo tiempo. • Se extraerá el promedio aritmético, desviación estándar y número de observaciones (n) cuando esté disponible. Si no están disponibles se extraerá el promedio geométrico o mediana y se indicará en cada caso. 	<ul style="list-style-type: none"> • El artículo científico presenta datos ya presentados en otros artículos. • El artículo científico no presenta datos de CP (medidos con monitores personales) y concentraciones ambientales (medidos con estaciones de monitoreo) realizadas al mismo tiempo.

Los 62 artículos que pasaron los pasos previos fueron analizados finalmente. Para esto se elaboró una planilla utilizando el *software* Microsoft Excel, en donde se fue organizando la información como título, autores, año, objetivo de estudio, país y ciudad, escala temporal y espacial, tipo de estación de monitoreo que mide CA, conclusiones obtenidas y los valores de CA y CP. Luego de este análisis se excluyeron 9 artículos con fundamentos y otros 10 por poseer CA

medidas fuera de algún microambiente específico (ver Anexo 10), como fuera de residencia, establecimientos educacionales o lugares de trabajo de los voluntarios, no respondiendo al objetivo planteado. Finalmente, 43 artículos cumplieron con los criterios de este análisis y fueron incluidos en el análisis final. Las razones de exclusión de los artículos científicos se muestran en el Anexo 10. En la Figura 1 se muestra un diagrama de flujo que muestra la cantidad de artículos por etapa de análisis.

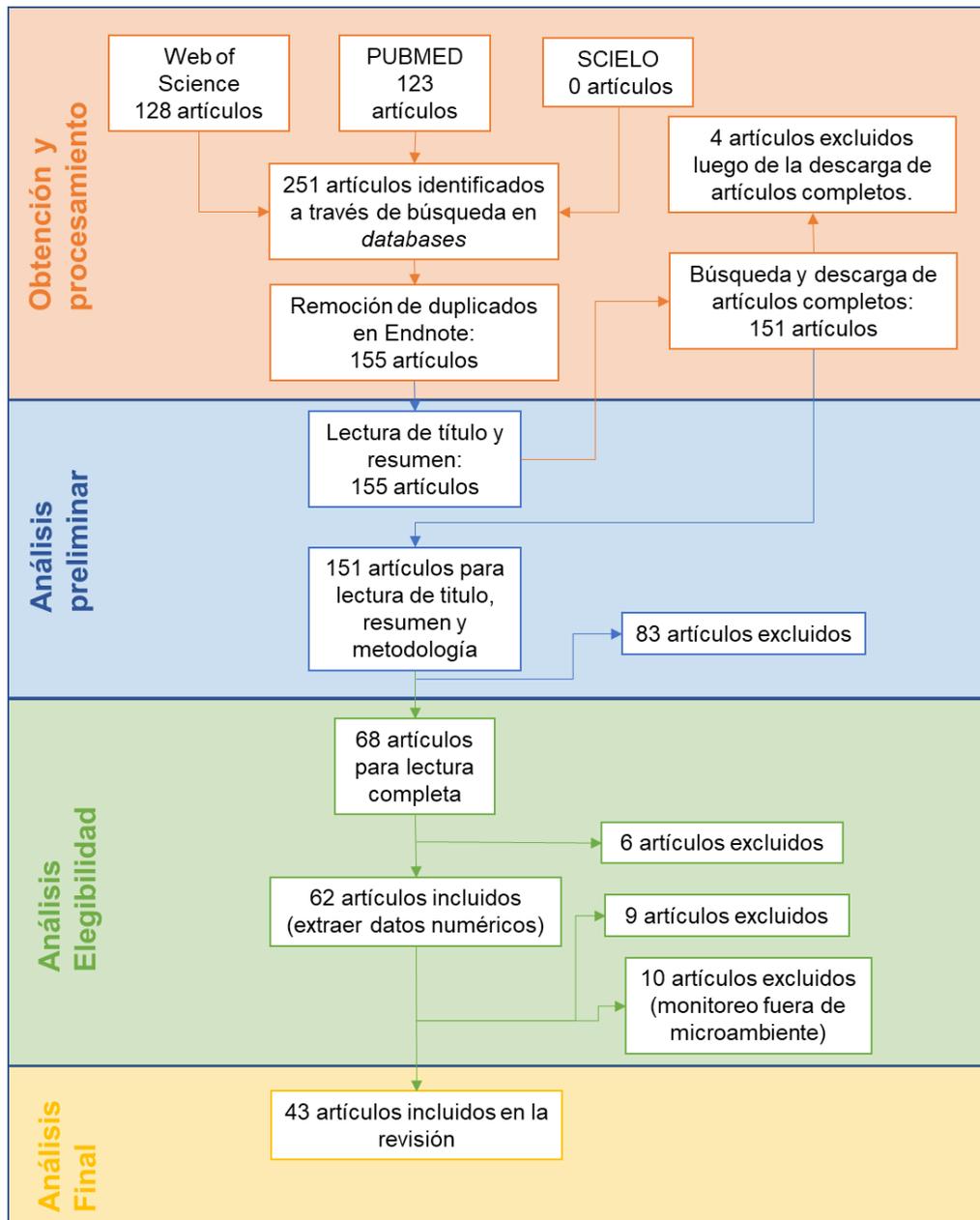


Figura 1: Diagrama de flujo PRISMA para la búsqueda bibliográfica del objetivo específico 1. Elaboración propia utilizando como fuente a *Liberati et al., 2009*

Análisis final de los artículos incluidos en la revisión bibliográfica del objetivo específico 1

De los 43 artículos científicos finales, se obtuvieron los valores de CA y CP. Algunos de estos valores no estuvieron disponibles en algunos artículos, ya que los resultados eran presentados de forma gráfica; en ese caso, se omitió este paso y se describieron sus resultados. Para los que sí estuvieron disponibles, se obtuvo el número de mediciones publicado (n), el promedio aritmético y la desviación estándar por ciudad de estudio; si no estaba disponible el promedio aritmético, se obtuvo la mediana o el promedio geométrico. En el caso de presentar en el mismo artículo, más de un resultado por ciudad se procedió a calcular un promedio ponderado y una desviación estándar combinada para una suma de valores. Para el cálculo del promedio ponderado, se utilizó la Ecuación 1 en donde se realizó una sumatoria de los promedios ponderados por la cantidad de observaciones (n) y se dividió por la sumatoria de la cantidad de observaciones totales. El cálculo de la desviación estándar combinada se describe en la sección posterior. Finalmente se graficaron los resultados obtenidos por tipo de contaminante y ciudad. También se obtuvieron valores de correlación de Pearson o Spearman que estuvieron disponibles en los artículos científicos para cada contaminante. La correlación se define como una relación que existe entre fenómenos o entre variables matemáticas o estadísticas que

tienden a variar, asociarse u ocurrir juntas de una manera no esperada por el azar (Akoglu, 2018).

Ecuación 1: Promedio ponderado (n: número de observaciones; X: promedio)

$$\text{Promedio ponderado: } \frac{\sum(n_1 \times \chi_1) + (n_2 \times \chi_2) + \dots (n \times \chi)}{\sum(n_1 + n_2 + \dots n)}$$

La desviación o incertidumbre estándar combinada se define como una desviación estándar estimada igual a la raíz cuadrada positiva de la varianza total obtenida por combinación de todos los componentes de la incertidumbre, sin importar cómo sea evaluada, utilizando la ley de propagación de la incertidumbre (Eurachem & Citac, 2012). A lo largo del desarrollo del análisis cuantitativo, se realizó el cálculo de desviación estándar combinada utilizando la metodología propuesta por Eurachem y Citac (2012). La incertidumbre estándar combinada (IECs) viene dada por la Ecuación 2.

Ecuación 2: Incertidumbre estándar combinada para modelos que suponen una suma ($y = a + b + \dots$), o diferencia ($y = a - b - \dots$) de cantidades (IECs). (u_a: incertidumbre asociada al valor a, u_b: incertidumbre asociada al valor b).

$$IECs(y(a, b, \dots)) = \sqrt{u_a^2 + u_b^2 + \dots}$$

Fuente: Eurachem, 2012, página 26

En el caso de los artículos analizados, la desviación estándar es la incertidumbre asociada a los valores de concentración promedio, por lo tanto, reemplazando en la Ecuación 2 se obtiene la Ecuación 3.

Ecuación 3: Desviación estándar combinada para modelos que suponen una suma o diferencia de cantidades (DEC_s). (DE_a : desviación estándar asociada al valor a, DE_b : desviación estándar asociada al valor b).

$$DEC_s(y(a, b, \dots)) = \sqrt{DE_a^2 + DE_b^2 + \dots \dots}$$

Para los datos de CP o CA representadas como promedios aritméticos o promedios aritméticos ponderados, que tenían asociada una desviación estándar (DE) (o desviación estándar combinada) y un número de observaciones (n) se procedió a realizar un análisis estadístico el cual se describe a continuación. En algunos casos no se pudo realizar este análisis, porque algún dato como la DE o el n no fue apropiadamente informado en la publicación.

Los datos de promedio CP y CA, con su correspondiente número de mediciones y desviación estándar fue analizado utilizando un intervalo de confianza al 95% de incertidumbre (lo que corresponde a un alfa de 0,05) utilizando la fórmula de

Excel “INTERVALO.CONFIANZA.NORM” (Microsoft, 2022). Luego, se graficó el promedio de concentración con los valores de intervalo de confianza.

Con los datos obtenidos que corresponden a promedios de CP y CA, el número de mediciones (n), más sus desviaciones estándar correspondientes, se procedió a realizar un análisis t-*Student*, asumiendo independencia, igualdad de varianza y normalidad de los valores, siguiendo la metodología propuesta en Medwave, (2011).

Para este análisis se consideró que: CA = promedio concentración ambiental; CP = promedio concentración personal; n_1 = número mediciones de CA; s_1 = desviación estándar de CA; x_1 : CA; n_2 =número mediciones de CP; s_2 = desviación estándar de CP; x_2 = CP.

Para este análisis se probaron las siguientes hipótesis: hipótesis nula: $CA=CP$; hipótesis alternativa: $CA \neq CP$. Se utilizó un intervalo de confianza del 95%.

Utilizando una hoja de cálculo del *software* Microsoft Excel, se calcularon los grados de libertad, utilizando la Ecuación 4. Luego se calculó la varianza estándar combinada (s^2) utilizando la Ecuación 5. Posteriormente se calculó el estadístico de prueba (t) utilizando la Ecuación 6. Finalmente se obtuvo la probabilidad (valor p), utilizando la función de Microsoft Excel “DISTR.T.2C” (Microsoft, 2021) que entrega la probabilidad (valor p) para un valor t calculado, utilizando el valor absoluto del valor t y los grados de libertad. Luego con ese

valor p obtenido se comparó con el alfa elegido ($\alpha = 0,05$), si el valor p calculado es menor al alfa se rechaza la hipótesis nula ($CA=CP$), aceptando la hipótesis alternativa ($CA \neq CP$) existiendo diferencias significativas entre las CP y CA analizadas.

Ecuación 4: Grados de libertad. n_1 = número mediciones de CA; n_2 =número mediciones de CP

$$\text{Grados libertad} = n_1 + n_2 - 2$$

Ecuación 5: Varianza estándar combinada (s^2). n_1 = número mediciones de CA; s_1 = desviación estándar de CA; n_2 =número mediciones de CP; s_2 = desviación estándar de CP

$$s^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{\text{grados libertad}}$$

Ecuación 6: Estadístico de prueba t. n_1 = número mediciones de CA; s_1 = desviación estándar de CA; x_1 : CA; n_2 =número mediciones de CP; s_2 = desviación estándar de CP; x_2 = CP.

$$t = \frac{x_1 - x_2}{\sqrt{s^2 \times \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]}}$$

Análisis inicial, elegibilidad y análisis final de la biblioteca obtenida para el objetivo específico 2

Como análisis se realizó la lectura del título y resumen de los 20 artículos obtenidos en la revisión bibliográfica para el objetivo específico 2, teniendo en consideración los criterios de la Cuadro 6, obteniendo 14 artículos para el análisis. Debido a la menor cantidad de artículos, se realizó la lectura de artículo completo de los 14 (en el Anexo 11 se muestran las razones de exclusión de los demás artículos). En la Figura 2 se muestra un diagrama de flujo de la revisión bibliográfica realizada. Luego se realizó una compilación de las conclusiones obtenidas de éstos que sirvió para complementar el análisis realizado en el objetivo específico 1.

Finalmente, se realizó una propuesta de recomendaciones basadas en las conclusiones obtenidas luego de los análisis para los objetivos específicos 1 y 2, lo que permitirá dar respuesta al objetivo específico 3.

Cuadro 6: Criterios de análisis de lectura de título y resumen para la librería bibliográfica del objetivo específico 2.

Criterio	Incluido	Excluido
Rango de fecha	Todo el disponible hasta la fecha de búsqueda 05-03-2021	Artículos publicados después de la fecha de búsqueda 05-03-2021
País	Chile	otros
Tipo de artículo	Artículo científico	Revisiones, revisiones sistemáticas y meta-análisis, actas de conferencias, seminarios, etc.
Idioma	Cualquiera	No aplica.
Esfera ambiental	Aire	Agua, suelo, otro.
Tema	Exposición humana a contaminantes atmosféricos	Otros

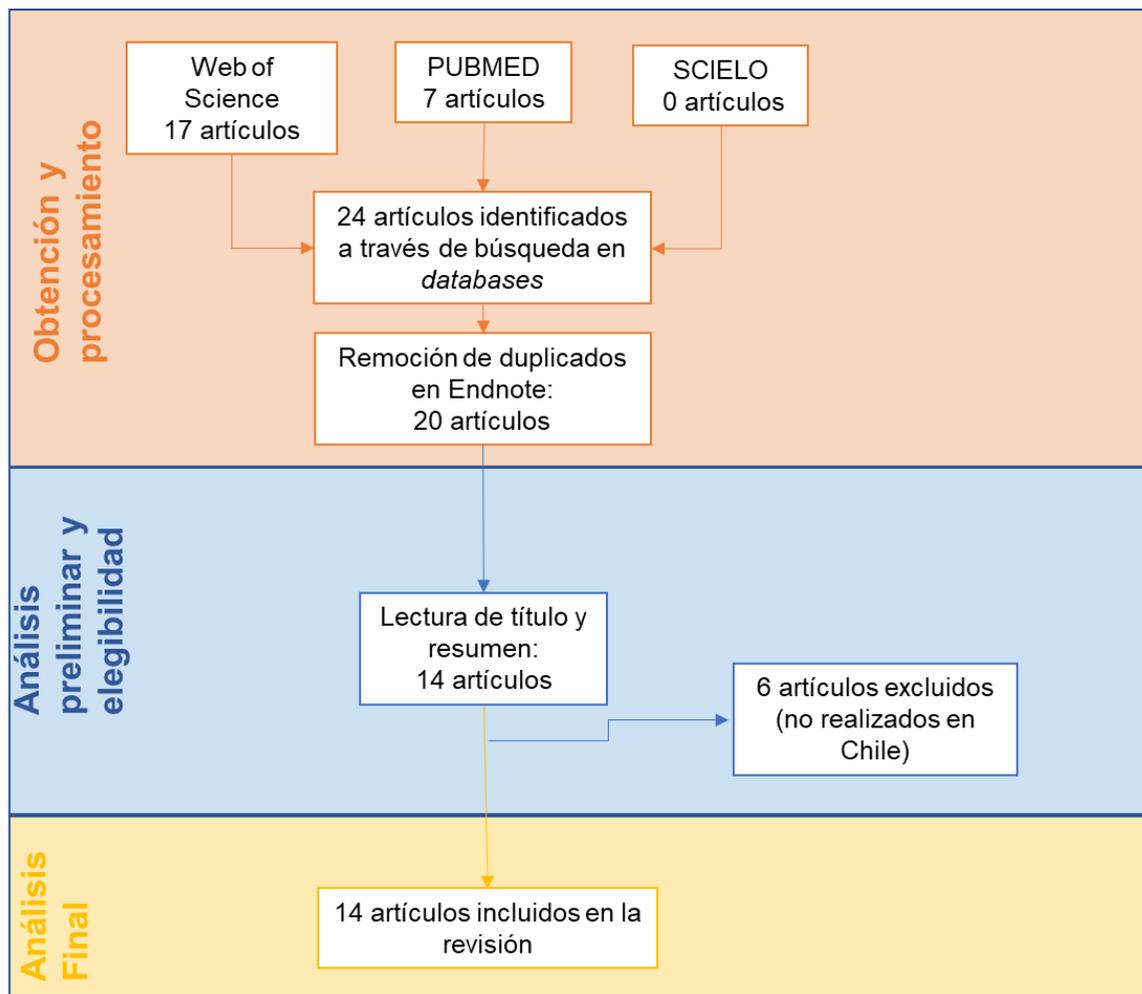


Figura 2: Diagrama de flujo PRISMA para análisis objetivo específico 2. Fuente: Elaboración propia utilizando como fuente a Liberati *et al.*, 2009

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Concentraciones ambientales y personales para distintos contaminantes

Concentraciones ambientales y personales para MP₁₀

De los 43 artículos científicos analizados, 6 de ellos analizaron MP₁₀ (ver Anexo 14) obteniéndose datos numéricos de todos estos artículos. Estos estudios fueron realizados en las ciudades de Ho Chi Minh (Vietnam), Sin-Chung City (Taiwán), Amsterdam (Países Bajos), Paris, Grenoble, Rouen y Strasbourg (Francia), Padova y Bologna (Italia). En la Figura 3 se muestran los valores obtenidos en distintas ciudades del mundo y en el Anexo 21 se muestran los datos utilizados para construir el gráfico y sus características. Como se puede observar, existen diferencias significativas en todas las ciudades donde aplicó el análisis estadístico, con CP mayores a las CA en todos los casos. La mayoría de los estudios fueron realizados en población adulta, en la década del 2000, con un tiempo promedio de medición de 24 o 48 horas (ver Anexo 21), salvo un estudio que realizó mediciones personales continuas por 1 hora con mediciones cada 1 minuto utilizando un medidor de partículas (Tang et al., 2007). También, se pudieron obtener algunos valores disponibles de coeficientes de correlación de *Spearman* o *Pearson*, los cuales se muestran en el Cuadro 7. Estos son, en términos generales, correlaciones positivas que varían entre 0,1 y 0,7 para MP₁₀.

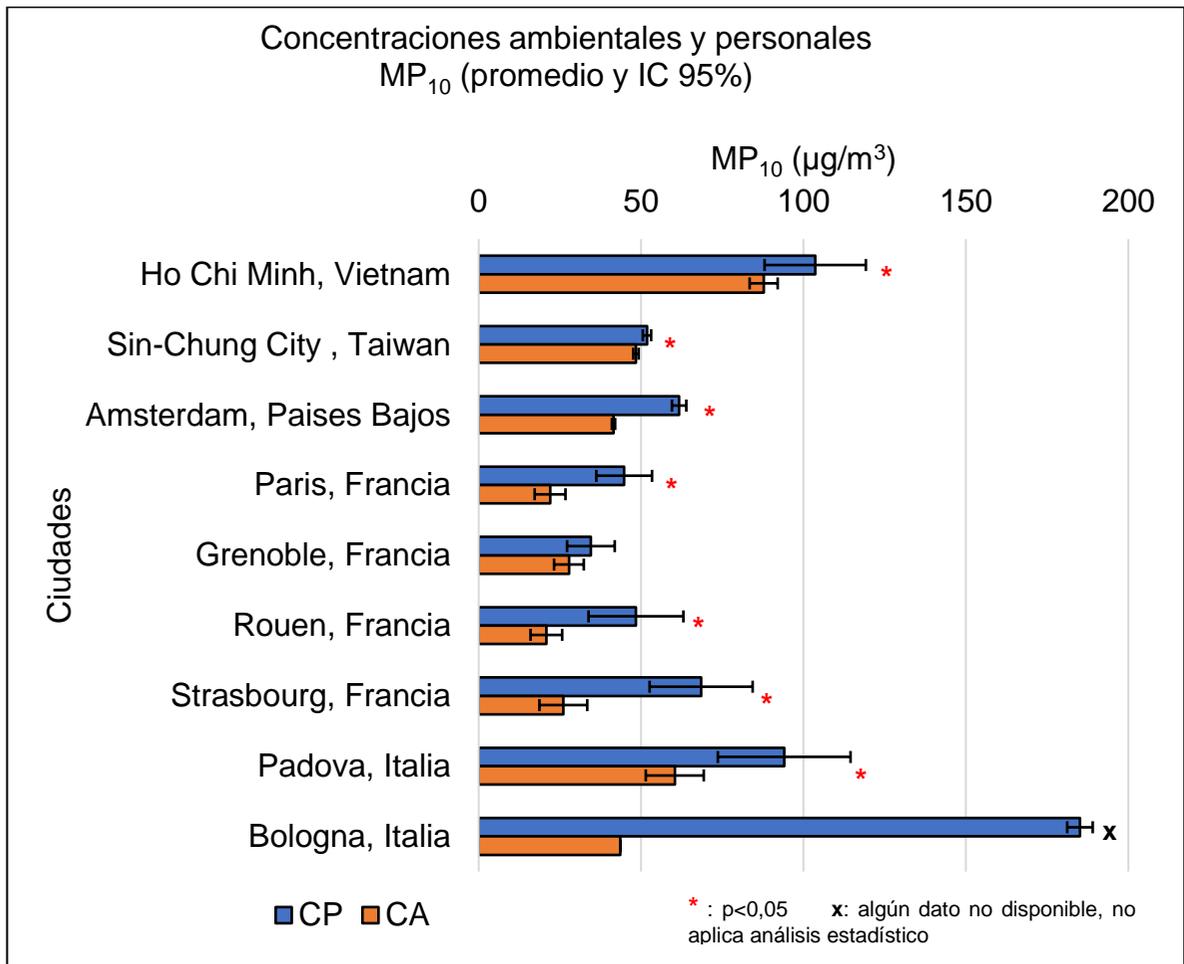


Figura 3: Concentraciones ambientales y personales para MP₁₀ obtenidas de artículos científicos por ciudad de estudio. Ver mas detalle de los datos utilizados en el Anexo 21.

Cuadro 7:Valores de coeficiente de correlación obtenidos para MP₁₀

Ciudad, País	Autor	Tipo Correlación	r
Ho Chi Minh, Vietnam	Mehta, et al. 2014	Spearman	0,5
Ho Chi Minh, Vietnam	Mehta, et al. 2014	Spearman	0,7
Amsterdam, Países Bajos	Janssen, et al. 1998	Pearson	0,5
Padova, Italia	Scapellato, et al. 2009	Spearman	0,1
Padova, Italia	Scapellato, et al. 2009	Spearman	0,16
Padova, Italia	Scapellato, et al. 2009	Spearman	0,05
Padova, Italia	Scapellato, et al. 2009	Spearman	0,4
Padova, Italia	Scapellato, et al. 2009	Spearman	0,54
Padova, Italia	Scapellato, et al. 2009	Spearman	0,35

Concentraciones ambientales y personales para MP_{2.5}

De los 43 artículos científicos finales, 28 de ellos analizaron MP_{2.5} (ver Anexo 14), de estos de se pudieron extraer datos numéricos de 19 de ellos, lo que supuso un total de 22 ciudades estudiadas, cuyos valores de CA y CP se muestran en la Figura 4. De los artículos restantes, se pudieron obtener conclusiones específicas para MP_{2.5} de 5 artículos, ya que estos presentaron sus resultados de manera gráfica. Los 4 artículos restantes estaban centrados en la caracterización química del MP_{2.5} sin especificar valores para MP_{2.5} en particular, los que se discutirán en la sección posterior de constituyentes de MP_{2.5}.

Como se observa en la Figura 4 se obtuvieron datos numéricos para 25 ciudades, de los cuales fue posible realizar el análisis estadístico a 15 de ellas, encontrando diferencias significativas en 10 de ellas, lo que supone un 67% del total de ciudades en donde se realizó este análisis estadístico. De esas ciudades con diferencias significativas entre CA y CP, 2 ciudades tuvieron un valor de CA mayor y en 8 el valor de CP fue mayor. Se puede observar las diferencias significativas entre las CP y CA para algunas ciudades, en donde existieron CP mayores (Ho Chi Minh, Vietnam; Sin-Chung City, Taiwan; London, Inglaterra; Paris, Rouen, Strasbourg, Francia; Vancouver, Canadá; Boston, USA) con excepción de Shanghái y Atlanta donde las CA fueron mayores.

En el Cuadro 8 se muestran algunos valores de correlación obtenidos de los artículos, ya que no todos realizaron estos análisis. En términos generales, los coeficientes de correlación de *Spearman* o *Pearson* son valores positivos que varían entre 0,22 y 0,937 para MP_{2.5}.

Algunos artículos incluidos en el análisis final presentan sus resultados gráficamente. Chatzidiakou et al. (2020) y Ma et al., (2020) realizaron sus estudios para MP_{2.5} en Beijing, en ambos se concluyó que las CA fueron mayores a las CP, y que estas eran sobreestimadas por las ambientales. Por el contrario, en Sarnat et al., (2001) concluyeron que las CA y CP sí estuvieron asociadas, pero basadas en valores de correlación positivas (r_s : 0,65; verano; 0,22 invierno). Por otra parte, Sloan et al., (2016) concluyó que las CP medidas en el área de

respiración son generalmente más altas que las estimaciones de las estaciones de monitoreo. Van Roosbroeck et al., (2008) realizó un estudio en Utrecht, Países Bajos, en donde no se encontraron diferencias significativas entre CP de adultos y la CA.

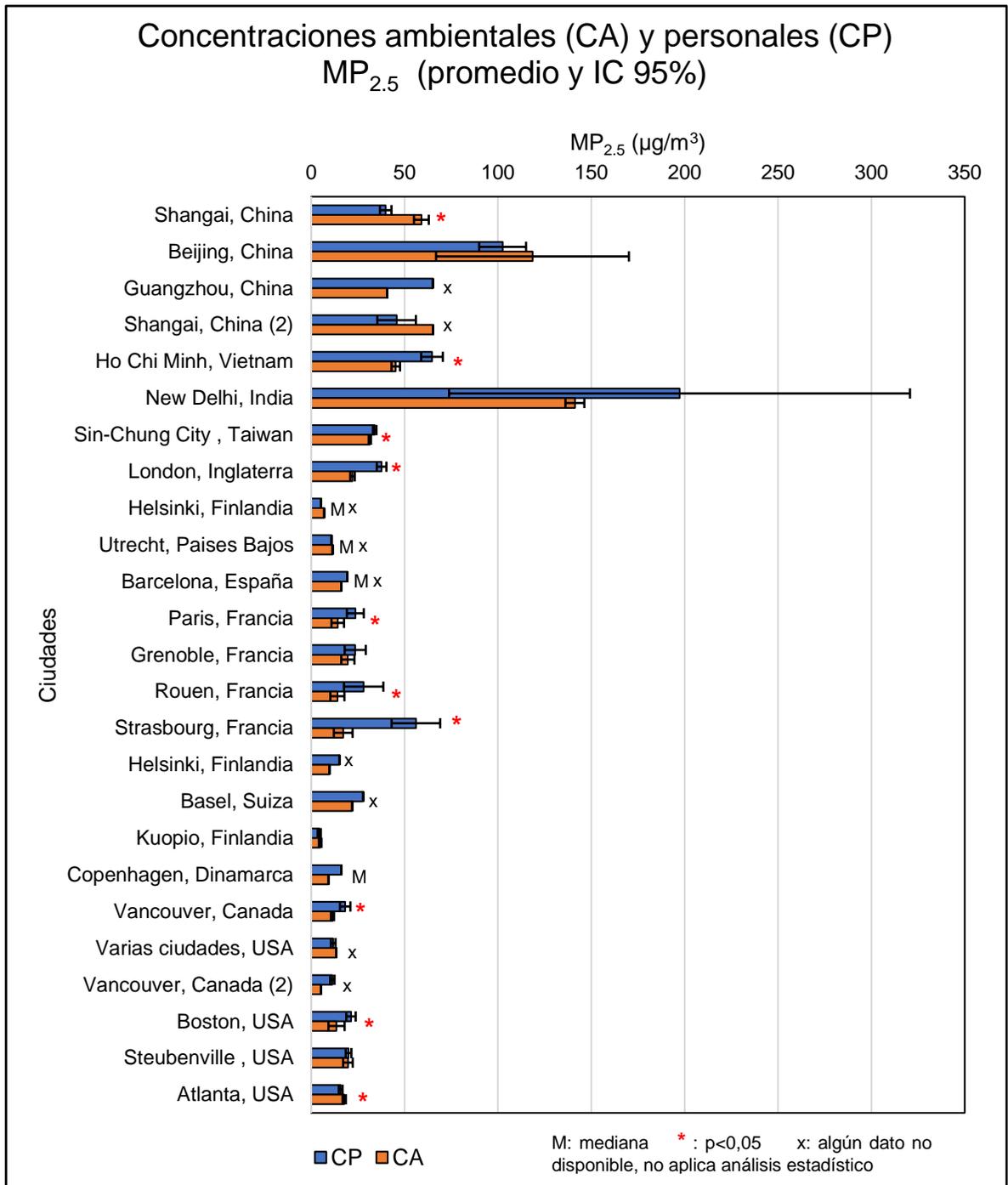


Figura 4: Concentraciones ambientales y personales para MP_{2.5} obtenidas de artículos científicos por ciudad de estudio. Ver más detalle de los datos utilizados en el Anexo 22.

Cuadro 8: Valores de coeficiente de correlación obtenidos para MP_{2.5}

Ciudad, País	Autor	Tipo	r
Shanghái, China	Chen, et al. 2018	Spearman	0,9
Beijing, China	Du, et al. 2010	Spearman	0,81
Vancouver, Canadá	Ebelt, et al. 2000	Pearson	0,15
Londres, Inglaterra	Kaur, et al. 2005	Spearman	0,6
Shanghái, China	Lei, et al. 2020	Pearson	0,77
Ho Chi Minh, Vietnam	Mehta, et al. 2014	Spearman	0,7
Ho Chi Minh, Vietnam	Mehta, et al. 2014	Spearman	0,65
Varias ciudades, USA	Miller, et al. 2019	Pearson	0,43
Helsinki, Finlandia	Montagne, et al. 2014	Pearson	0,7
Utrecht, Países Bajos	Montagne, et al. 2014	Pearson	0,68
Barcelona, España	Montagne, et al. 2014	Pearson	0,37
New Delhi, India	Pant, et al. 2017	Spearman	0,78
New Delhi, India	Pant, et al. 2017	Spearman	0,48
Guangzhou, China (3)	Hu, et al. 2018	Spearman	0,937
Boston, USA	Sarnat, et al. 2005	Spearman	0,56
Boston, USA	Sarnat, et al. 2005	Spearman	0,38
Baltimore, USA	Sarnat, et al. 2001	Spearman	0,65
Baltimore, USA	Sarnat, et al. 2001	Spearman	0,22
Kuopio, Finlandia	Siponen, et al. 2019	Spearman	0,8
Atlanta, USA	Suh, et al. 2010	Spearman	0,63

También, se obtuvieron datos de algunos constituyentes del MP_{2.5}. En la Figura 5 se muestran datos de absorbancia de filtros de MP_{2.5} (MP_{2.5} ABS, medición espectroscópica que se relaciona con la concentración de carbono negro, el detalle de los datos utilizados se muestran en el Anexo 23) en donde no existieron diferencias significativas para los datos obtenidos, por el contrario, si hubieron diferencias significativas para algunas ciudades de estudio para los constituyentes sulfato (Figura 6 y Anexo 24) (Vancouver, Canadá ; Steubenville, USA), carbono negro (Figura 7 y Anexo 25) (Shanghái, China) y carbono elemental (Atlanta, USA) (Figura 8 y Anexo 26). A su vez, Stevens et al., (2014) realizó un análisis en la ciudad de Detroit, USA, destacando entre sus conclusiones la incertidumbre asociada al uso de medidas de estaciones de monitoreo para los componentes de MP_{2.5} (sulfatos SO₄, nitratos NO₃, carbono orgánico, carbono elemental y otros elementos (Fe, Si, Ca, K, Mn, Pb, Zn).

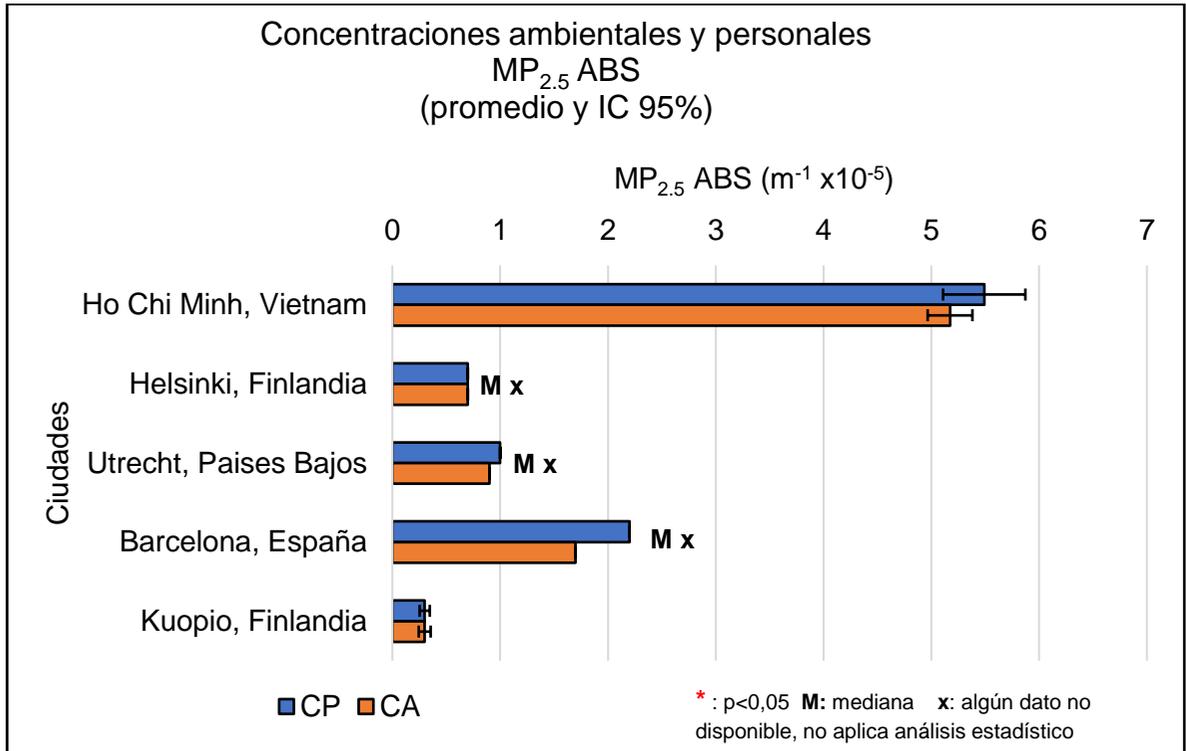


Figura 5: Absorbancia para muestras ambientales y personales obtenidas de artículos científicos por ciudad de estudio. Ver más detalle de los datos utilizados en el Anexo 23.

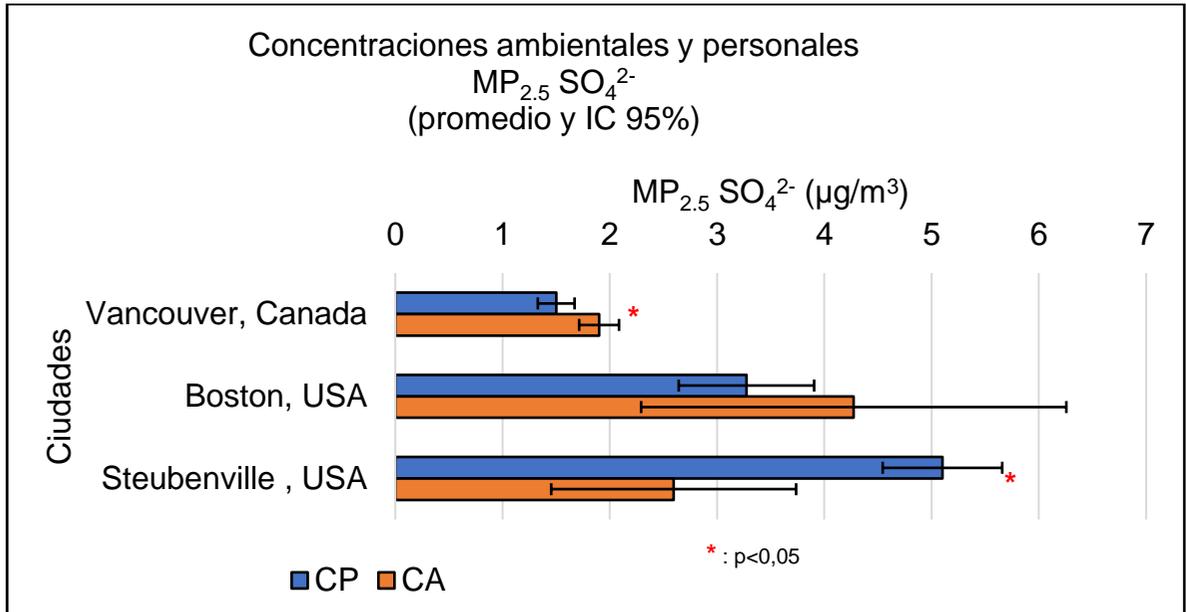


Figura 6: Concentraciones ambientales y personales para $MP_{2.5}$ SO_4^{2-} obtenidas de artículos científicos por ciudad de estudio. Ver más detalle de los datos utilizados en el Anexo 24.

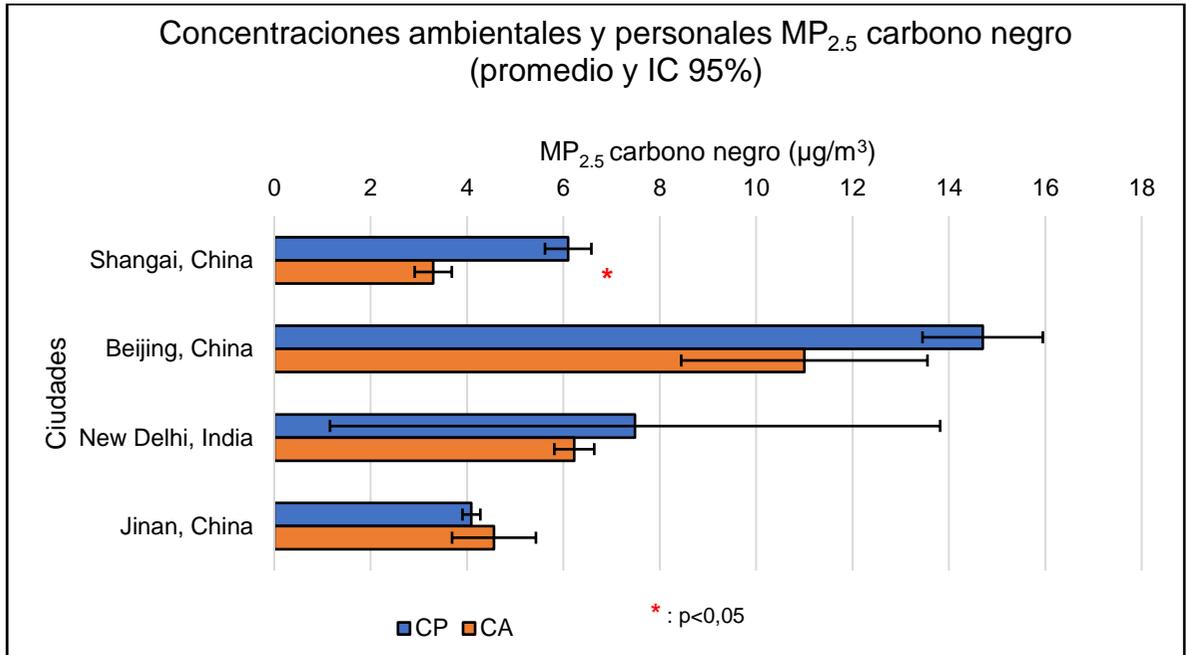


Figura 7: Concentraciones ambientales y personales para MP_{2.5} carbono negro obtenidas de artículos científicos por ciudad de estudio. Ver más detalle de los datos utilizados en el Anexo 25.

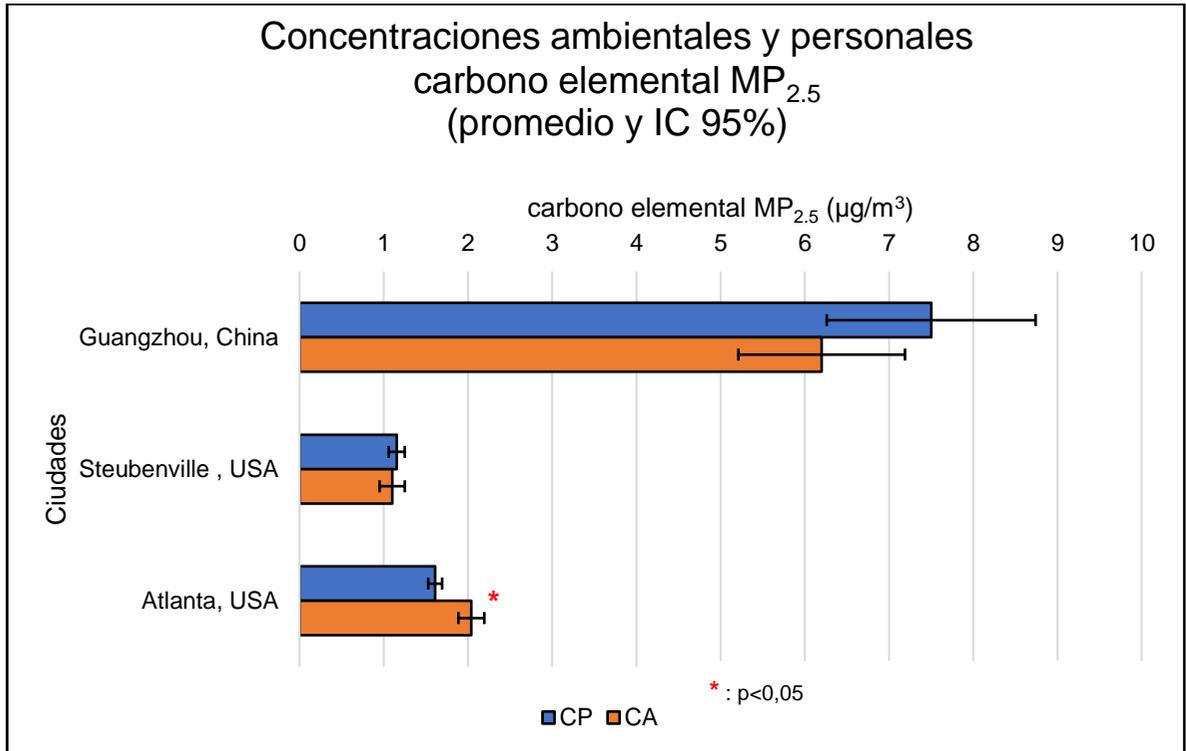


Figura 8: Concentraciones ambientales y personales para MP_{2.5} carbono elemental obtenidas de artículos científicos por ciudad de estudio. Ver más detalle de los datos utilizados en el Anexo 26.

Concentraciones ambientales y personales para COVs

De los artículos analizados, en 2 de ellos realizaron análisis de COVs tanto a nivel personal como ambiental (ver Anexo 14), estos datos se muestran en la Figura 9 (en el Anexo 27 se muestran las características y el detalle de los datos analizados). Se obtuvieron 11 conjuntos de datos de CA y CP para distintos COVs, en donde se pudo realizar análisis estadístico en 10 de ellos, encontrando diferencias significativas en 7. Violante et al., (2006), realizó un análisis en la ciudad de Boloña, Italia, en donde el contaminante benceno, fue medido en estos dos niveles (Figura 9, benceno (1)). Se encontró que la CP, medida en ruta de transporte fue mayor a la medida en estación de monitoreo fija, informando una CP durante el periodo de estudio de $17,27 \pm 6,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (n= 176), versus $4,94 \pm 1,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($p < 0,0001$. n= no informado) con lo cual, los autores concluyen que los niveles de exposición personal a estos contaminantes podrían ser mucho más altos que los valores que entregan las estaciones, y estos últimos no pueden usarse directamente como indicadores de los niveles reales de exposición de peatones en las calles. Wu et al., (2012) realizó un estudio similar en Camden, USA, en donde midió un grupo de COVs, cuyos promedios ponderados se muestran en la Figura 9. Como se puede observar, existieron diferencias significativas para algunos COVs medidos, siendo las CP mayores a las CA en todos los casos.

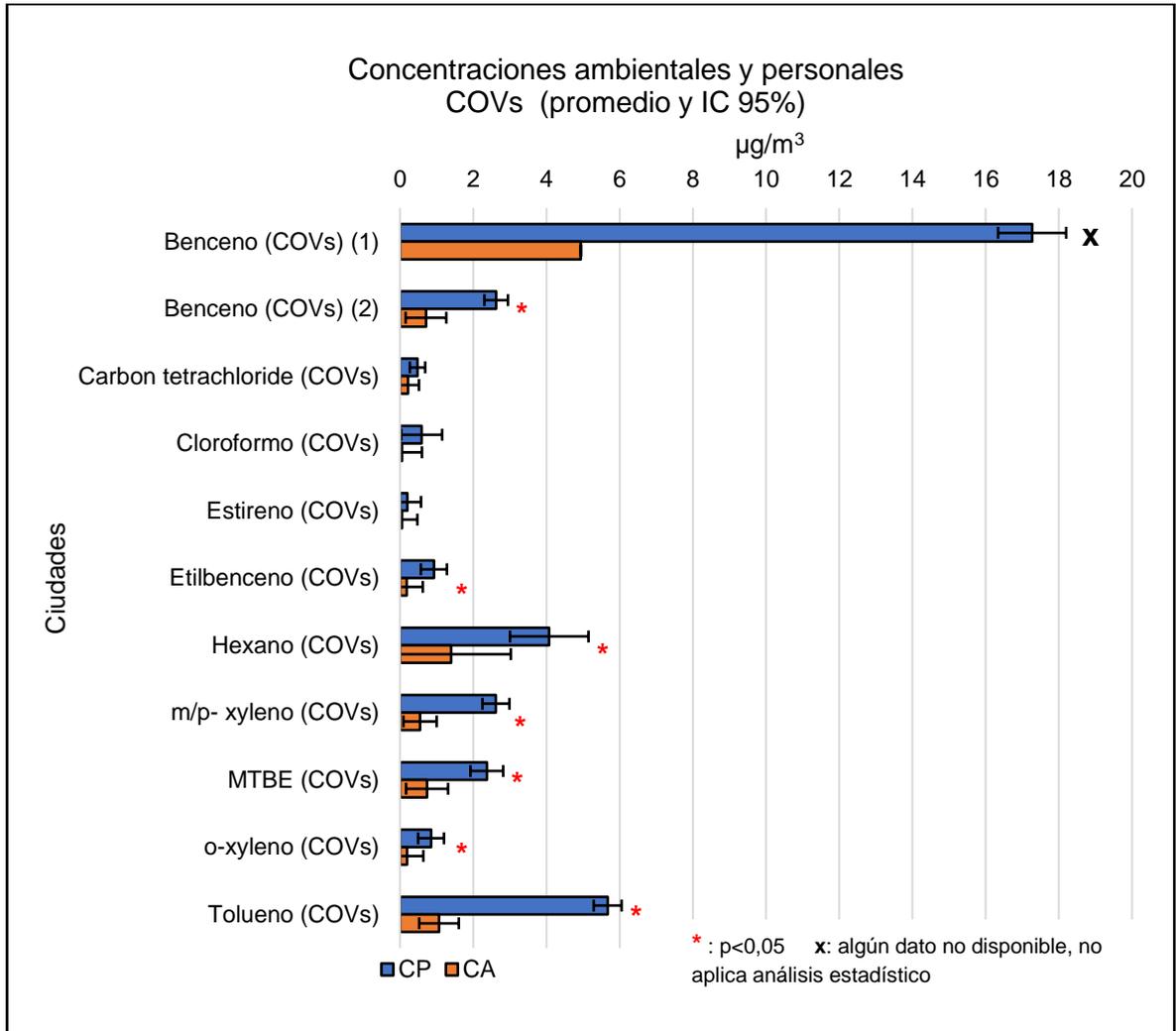


Figura 9: Concentraciones personales y ambientales para algunos COVs. Todos corresponden a promedios geométricos ponderados, con excepción de benceno (1) que corresponde a un promedio aritmético. Ver más detalle de los datos utilizados en el Anexo 27.

Concentraciones ambientales y personales para O_{3t}

De la totalidad de artículos revisados, 9 de ellos analizaron O_{3t} (ver Anexo 14); de éstos se pudieron extraer datos estadísticos solo de 5 de ellos, ya que los 4 restantes poseían información en gráficos sin especificar valores. En la Figura 10 se muestran los valores obtenidos para este contaminante para las ciudades de Atenas y Thessaloniki (Grecia), Ciudad de México (México), Boston, Steubenville y Atlanta (USA). En el Anexo 28 se muestra el detalle de los datos utilizados. Como se puede observar en estos resultados existe un valor mayor para la CA con respecto a la CP, encontrándose diferencias significativas en todos los conjuntos de valores analizados, en todas las ciudades.

Sumado a estos datos, Grivas et al., (2017) realizó un estudio en las ciudades de Atenas y Thessaloniki, Grecia durante los años 2013 y 2014, en donde realizaron mediciones en niños para O_{3t}. Las principales conclusiones que se obtuvieron en este artículo fueron que las concentraciones personales promedio en las dos ciudades (5,0 y 2,8 ppb para Atenas y Thessaloniki, respectivamente) fueron considerablemente más bajas que las concentraciones ambientales (con una relación CP / CA promedio de 0,13 - 0,15). Igualmente, Sarnat et al., (2001) realizó un estudio cuyo objetivo fue ver el rol de contaminantes gaseosos en la exposición a MP_{2.5}, si bien no es el objetivo del análisis de esta tesis, el artículo presentó un gráfico en donde muestra CP y CA para O₃ (Figura 1 publicada en Sarnat et al. (2001)) tanto para verano como invierno, en donde se muestra que

la CA fue mucho mayor que la personal, diferencia que se acentúa en verano. Similarmente, en el artículo publicado con Chatzidiakou et al., (2020) las CA son mayores a la CP, cuya diferencia máxima se ve en la estación de verano (según Figura 2 publicada en Chatzidiakou et al. (2020)). De la misma manera, Geyh et al., (2000) realizó una investigación en Upland y lugares aledaños (USA), si bien no se comparan directamente medidas personales y ambientales, y las CP se presentan como valores numéricos y las CA representadas en un gráfico, si se pueden deducir que existieron diferencias en las mediciones siendo la CP menor que la ambiental, repitiéndose la tendencia vista.

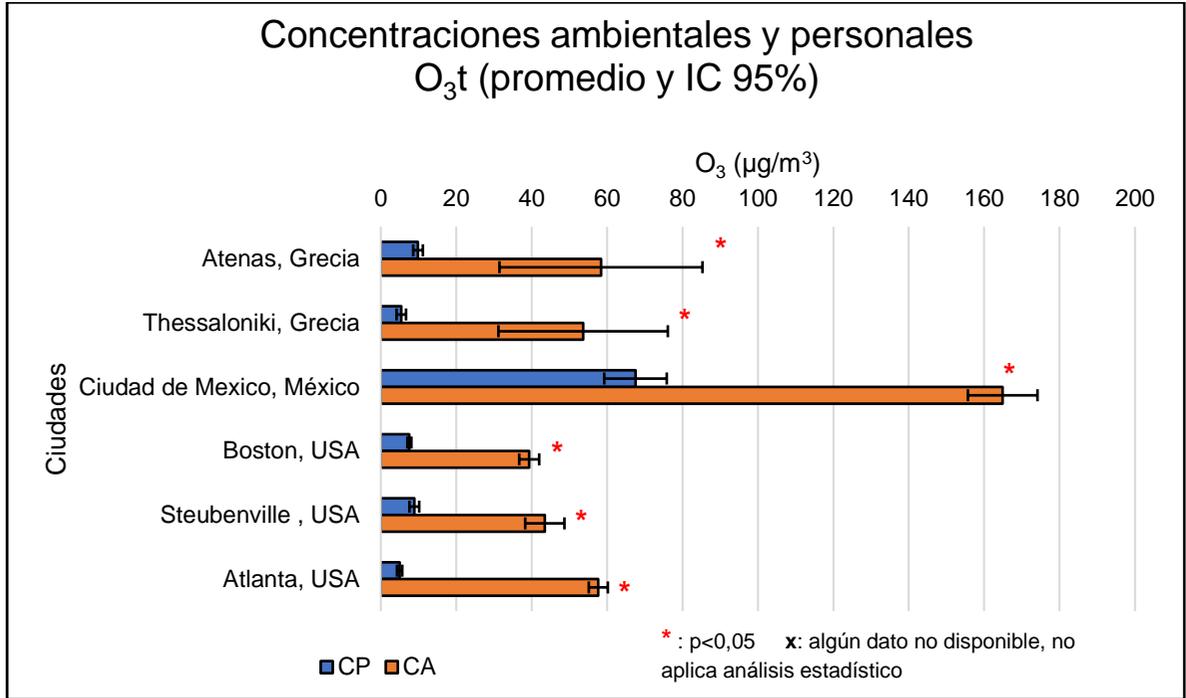


Figura 10: Concentraciones ambientales y personales para O₃ troposférico obtenidas de artículos científicos por ciudad de estudio. Ver más detalle de los datos utilizados en el Anexo 28.

Concentraciones ambientales y personales para NO₂ y NO

Del conjunto de artículos del análisis final, 15 de ellos analizaron NO₂, de los cuales 12 poseían datos numéricos de CA y CP, y en 3 se obtuvieron conclusiones ya que no se presentaron datos numéricos. Los datos obtenidos de concentraciones se muestran en la Figura 11 (los detalles de los datos se muestran en el Anexo 29), los resultados fueron variados para las distintas ciudades donde se analizó este contaminante, con diferencias significativas en datos de las siguientes ciudades, Manchester (Inglaterra), Grenoble (Francia), Strasbourg (Francia), Boston USA, Milán (Italia); Atlanta (USA), con CA mayores a las personales en todas estas ciudades.

Con respecto a los artículos que presentaron sus datos de forma gráfica, Chatzidiakou et al., (2020) realizó un estudio en Beijing, China, encontrando que para este contaminante existía una CA mayor que la CP. De forma similar, en los datos publicados por Sarnat et al., (2001) medidos en la ciudad de Baltimore (USA) para NO₂ las CA fueron mayores que las personales. Van Roosbroeck et al., (2008) realizó un estudio en Utrecht, Países Bajos, en donde las CP de este contaminante fueron en promedio menores a las medidas por una estación de monitoreo fija. En el Cuadro 9 se muestran algunos coeficientes de correlación obtenidos para NO₂, valores positivos que fluctúan entre 0,03 y 0,73.

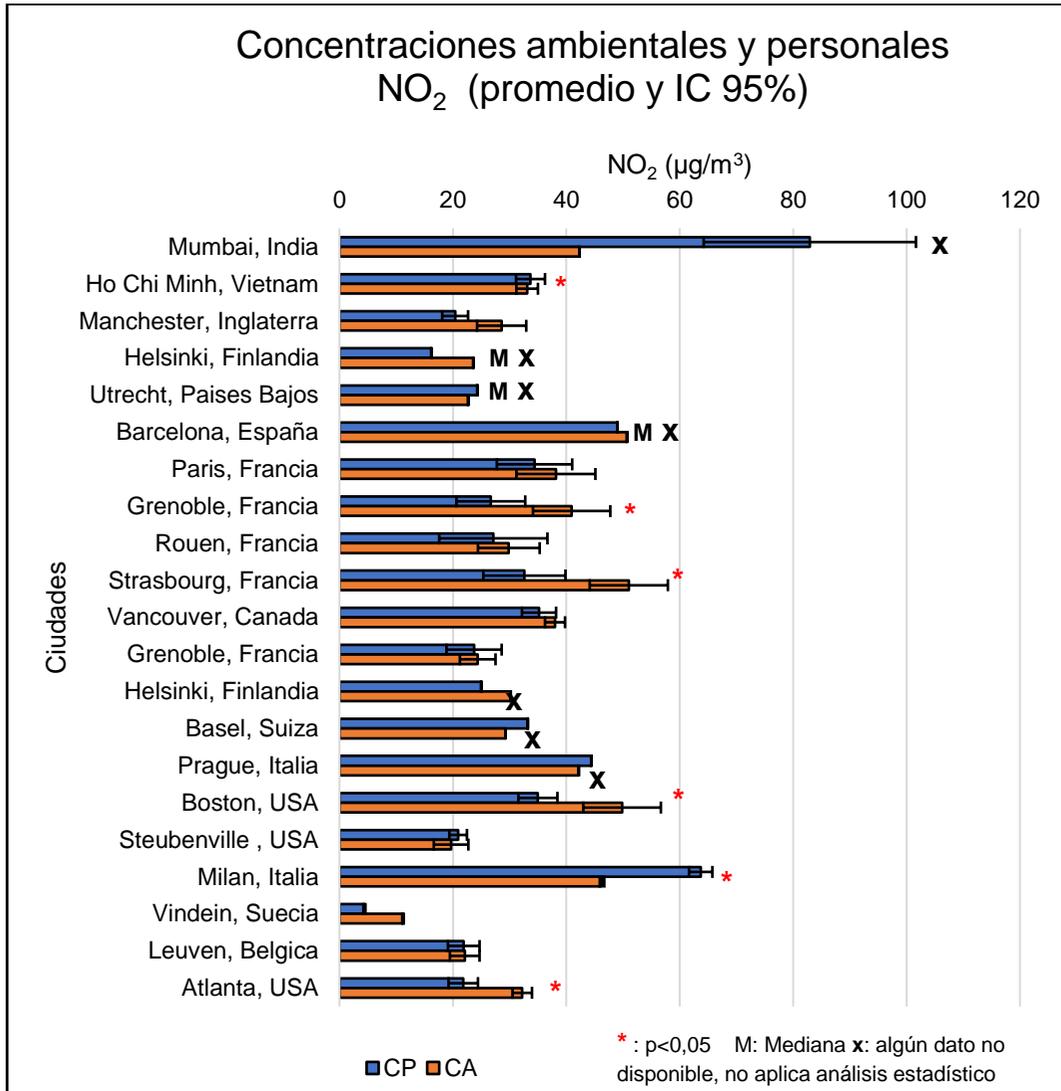


Figura 11: Concentraciones ambientales y personales para NO₂ obtenidas de artículos científicos por ciudad de estudio. Ver más detalle de los datos utilizados en el Anexo 29.

Cuadro 9: Valores de coeficiente de correlación obtenidos para NO₂

Autor	Ciudad, País	Tipo Correlación	r
Mehta, et al. 2014	Ho Chi Minh, Vietnam	Spearman	0,38
Mehta, et al. 2014	Ho Chi Minh, Vietnam	Spearman	0,42
Molter, et al. 2012	Ho Chi Minh, Vietnam	Spearman	0,44
Montagne, et al. 2014	Helsinki, Finlandia	Pearson	0,72
Montagne, et al. 2014	Utrecht, Países Bajos	Pearson	0,73
Montagne, et al. 2014	Barcelona, España	Pearson	0,46
Ouidir, et al. 2015	Grenoble, Francia	Spearman	0,03
Sarnat, et al. 2005	Boston, USA	Spearman	0,25 aprox.
Sarnat, et al. 2005	Boston, USA	Spearman	0,4 aprox.
Sarnat, et al. 2001	Baltimore, USA	Spearman	0,1 aprox.
Sarnat, et al. 2001	Baltimore, USA	Spearman	0,1 aprox.
Suh, et al. 2010	Atlanta, USA	Spearman	0,12

Con respecto al contaminante NO, se encontraron 3 artículos que estudiaron este contaminante. Nethery et al., (2008) realizó mediciones tanto a nivel personal como en estación de monitoreo fija, en la ciudad de Vancouver, Canadá, obteniendo como resultado una CP promedio de 48 horas de $48,5 \pm 50,5$ ppb (n=127) versus $20,9 \pm 24,4$ ppb (n= 127) como CA, existiendo diferencias significativas ($p < 0,05$) (Figura 12), siendo la concentración personal mayor. Chatzidiakou et al., (2020) realizaron un estudio en Beijing, China, (representando sus resultados de forma gráfica, por lo cual fue imposible la obtención del valor numérico), mostrando concentraciones personales mayores a las ambientales. De la misma manera, Van Roosbroeck et al., (2008) realizaron

un estudio en Utrecht, Países Bajos, en donde también las CP fueron mayores a las CA para este contaminante.

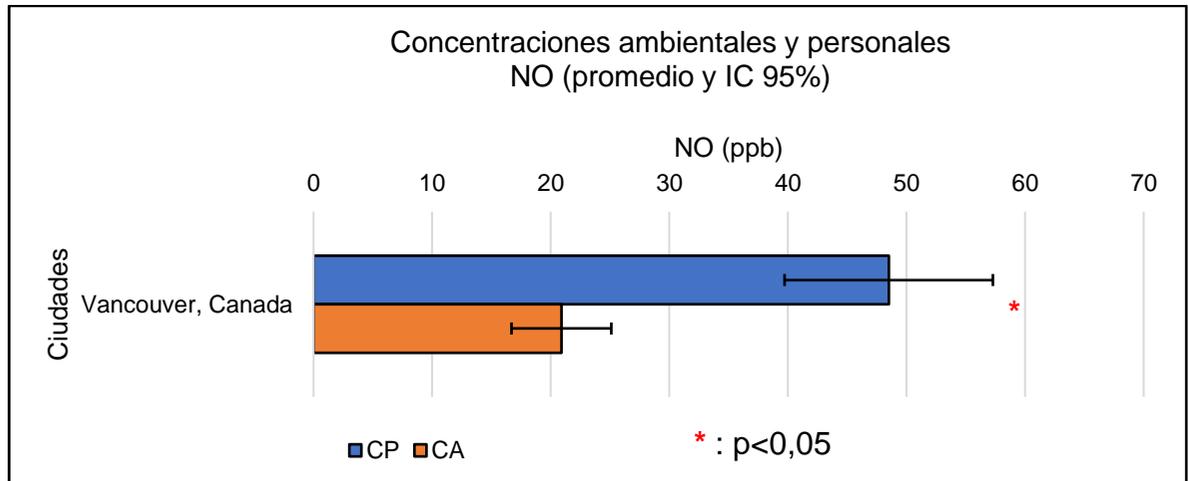


Figura 12: Concentraciones ambientales y personales para NO obtenidas de artículos científicos por ciudad de estudio. Ver más detalle de los datos utilizados en el Anexo 30.

Concentraciones ambientales y personales para SO₂

Del total de artículos analizados, 4 de ellos estudiaron SO₂ (ver Anexo 14), 2 tenían datos numéricos y otros 2 se obtuvieron de conclusiones directamente. En la Figura 13 se muestran las CA y CP para las 2 ciudades de las cuales se pudieron obtener valores numéricos del contaminante SO₂ (en el Anexo 31 se

muestra el detalle de los datos utilizados). Como se puede observar, la CA es mayor para estos dos lugares, mostrando diferencias significativas. Con respecto a los artículos que presentaron sus valores de forma gráfica, el artículo publicado por Sarnat et al., (2001) muestra que para ese estudio realizado la CA de SO₂ fue mayor a la personal. Silverman et al., (1982) publicaron una variabilidad en la concentración para 2 voluntarios analizados, la que fue menor en un caso e igual en otro a la mostrada por la estación de monitoreo.

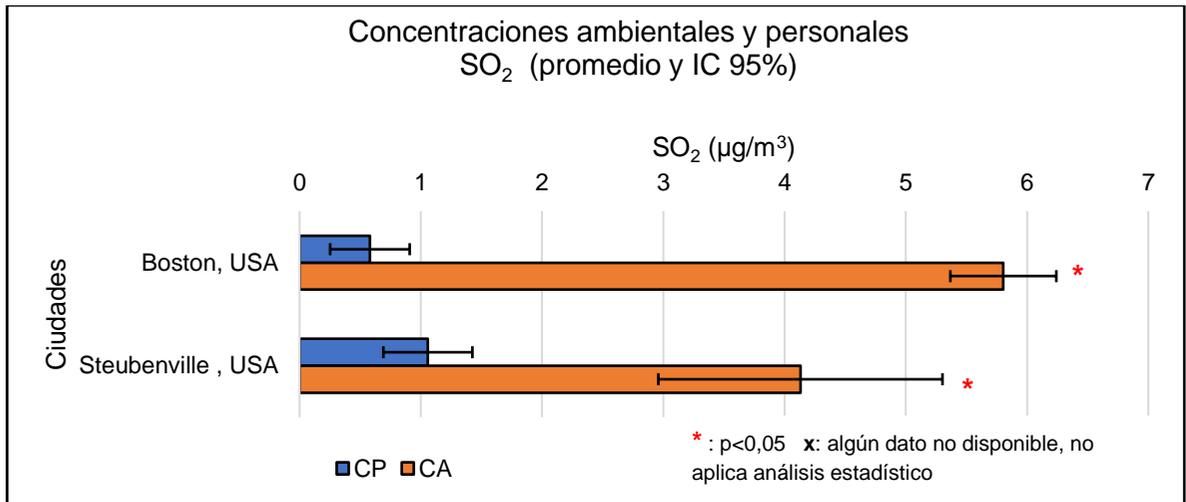


Figura 13: Concentraciones ambientales y personales para SO₂ obtenidas de artículos científicos por ciudad de estudio. Ver más detalle de los datos utilizados en el Anexo 31.

Concentraciones ambientales y personales para CO

En la revisión bibliográfica realizada, sólo dos artículos mostraron datos personales y ambientales para CO (Anexo 14). Kaur et al., (2005)realizó un estudio en Londres, Inglaterra, en donde se evaluó la exposición de peatones a algunos contaminantes incluyendo el CO, sus principales conclusiones fueron que las mediciones realizadas a nivel personal fueron en promedio, más del doble que las obtenidas de estación de monitoreo fija (promedio horario estación de monitoreo $0,2 \pm 0,1$ ppm, $n=173$; CP $1,3 \pm 0,8$ ppm $n=173$) mostrando diferencias significativas con el análisis realizado (Figura 14, $p<0,05$). Similarmente, Chatzidiakou et al., (2020) realizaron un estudio en Beijing, China, en donde la CP promedio fue mayor a la CA medida en estación de monitoreo, con una diferencia mayor en invierno.

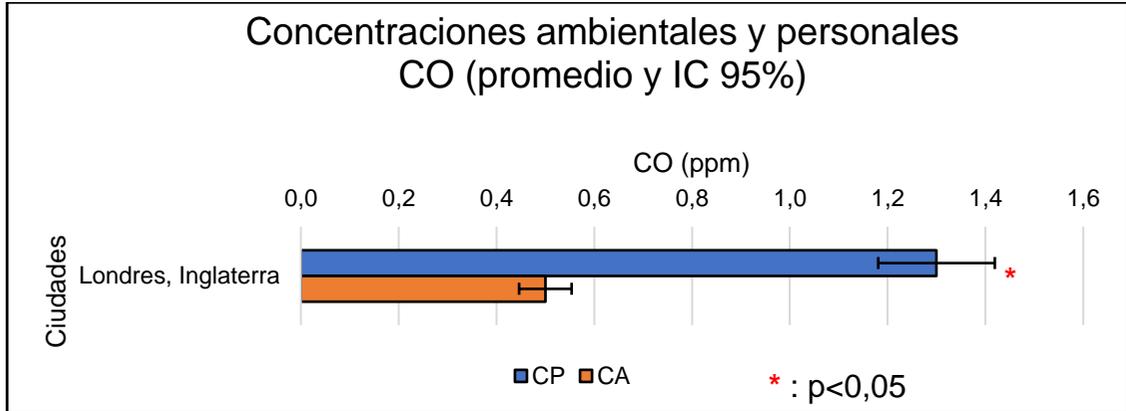


Figura 14: Concentraciones ambientales y personales para CO obtenidas de artículos científicos por ciudad de estudio. Ver más detalle de los datos utilizados en el Anexo 32.

Concentraciones ambientales y personales para HAP

La revisión bibliográfica sistémica realizada, entregó 2 artículos que midieron en forma paralela, CP y CA de HAP. Svecova et al., (2019) realizó un estudio en las ciudades de Ostrava y Praga en República Checa en donde se analizó benzo[a]pireno en muestras de MP_{2.5}, mostrando valores de CP promedio mayores que los ambientales en la ciudad de Praga y menores en la ciudad de Ostrava (Praga CP: $2,8 \pm 1,9$ ng/m³; CA: $2,6 \pm 1,6$ ng/m³; CA: $1,5 \pm 0,6$ ng/m³; Ostrava CP: $17,2 \pm 17$ ng/m³; CA : $24,4 \pm 18,8$ ng/m³; CA $24,8 \pm 10,3$ ng/m³). Svecova et al. concluye finalmente que es necesario realizar mediciones diarias de este contaminante en áreas altamente contaminadas, concentraciones que se relacionan más con las medidas personales, las que son necesarias para evaluar la exposición personal y evitar su subestimación como resultado del monitoreo estacionario.

Zhu et al., (2011) en su estudio realizado en la ciudad de Camden, Nueva Jersey, Estados Unidos, analizaron y compararon distintos HAP en dos áreas de la ciudad. Una de sus principales conclusiones fue que, la contaminación ambiental contribuyó significativamente a la exposición personal, pero que los promedios personales tendieron a ser mayores a los ambientales. Para la sumatoria total de HAP los valores de CP en las áreas analizadas fueron de $99,3 \pm 2,51$ ng/m³ y $130 \pm 3,36$ ng/m³, las CA fueron de $45,6 \pm 1,87$ ng/m³ y $39,6 \pm 1,75$ ng/m³,

respectivamente (promedios y desviación estándar geométricos), observándose un mayor valor a nivel personal.

Exposición humana a contaminantes atmosféricos: investigaciones realizadas a nivel nacional

El estado de investigación en Chile fue mucho menos amplio que a nivel internacional, por lo tanto, la búsqueda utilizada tuvo que ser ajustada para encontrar artículos que incluyeran estas temáticas. En términos generales, estos fueron realizados en distintos lugares del país, principalmente de la zona central. Si bien todos los artículos tienen relación con la exposición personal, al ser una búsqueda más amplia se incluyeron exposiciones no provenientes del aire, sino que también del suelo u otras rutas. Los contaminantes analizados fueron variados, incluyendo elementos traza, $MP_{2.5}$, MP_{10} , COVs, HAP, NO_x y SO_x . En el Cuadro 10 se muestran las características de estos artículos y a continuación se describirán las principales conclusiones obtenidas de ellos.

Cuadro 10: Características de los artículos analizados para el objetivo específico

2.

Autor	Lugar	Contaminante	Muestra	Población
Berasaluce, et al. 2019	Puchuncaví, Región Valparaíso, Chile	Elementos traza: As, Cd, Cu, and Pb	Suelo; polvo interior, uñas de los pies	Adultos, niños
Bravo, et al. 2019	Las Ventanas, La Greda, Valle Alegre, Puchuncaví, Los Maitenes, Maitencillo, Campiche, Zapallar, Quintay; Región Valparaíso, Chile	Mercurio	Pelo; peces marinos	No se menciona
Caquilpan, et al. 2019	Santiago, Chile	MP10, MP2.5	Aire (estación monitoreo; estación de bajo costo)	No aplica
Cortes, et al. 2020	Molina, Región del Maule, Chile	Pesticidas de uso actual (CUPs)	Aire	Adultos, niños
Deelamán, et al. 2020	Valparaíso, Santiago, Punta Arenas; Chile	HAPs	Suelo	No aplica
Finazzi & Paci, 2019	Santiago, Chile	MP ₁₀	Aire (estación monitoreo; modelo de estimación)	No se menciona
Manzano, et al. 2019	Las Condes, Maipú, Puente Alto; Santiago, Chile	COV semivolátiles	Aire (personal: bandas de silicona)	Menores de 18 años
Martínez, et al. 2012	Providencia, Santiago, Chile	CO	Aire (interiores; personal)	Menores de 20 años,

				adultos, adultos mayores
Mena-Carrasco, et al. 2012	Santiago, Chile	MP _{2.5} , CO, NO _x , COV, SO _x	Aire (modelo de estimación)	No aplica
Rojas-Bracho, et al. 2002	Santiago, Chile	NO ₂ , MP ₁₀ , MP _{2.5}	Aire (personal; interiores; exteriores)	Niños
Shupler, et al. 2020	Chile; estudio multinacional	MP _{2.5}	Aire (personal; interior cocina zona rural),	Adultos, adultos mayores
Suarez, et al. 2014	Santiago, Chile	MP _{2.5} ; partículas ultrafinas	Aire (personal en distintos medios de transporte; exterior)	No se menciona
Trehwella, et al. 2019	Santiago, Chile	MP _{2.5}	Aire (modelo de estimación: movilidad y concentración estación monitoreo)	
Varela, et al. 2018	Varias ciudades, Chile	MP _{2.5}	Aire y líquenes	No aplica

Medición de contaminantes a nivel personal y en otros ambientes

De los artículos analizados, 4 midieron concentraciones de aire a nivel personal y además mediciones en ambientes exterior y/o interior (Martinez et al., 2012; Rojas-Bracho et al., 2002; Shupler et al., 2020; Suarez et al., 2014) y un artículo midió solo a nivel personal sin contrastar con otro tipo de medición (Manzano et al., 2019). Además, Caquilpan et al., (2019) publicó una investigación realizada en la Región Metropolitana, en donde se implementaron 22 estaciones de monitoreo para MP_{10} y $MP_{2.5}$ que utilizan sensores de bajo costo instalados en distintos lugares de la ciudad (exterior). A continuación, se describirán los principales hallazgos de estos artículos.

Martinez et al., (2012) realizó un estudio para CO, el cual fue medido en interiores de departamentos de la comuna de Providencia en Santiago de Chile y en los residentes a nivel personal utilizando monitores portátiles. Este estudio mostró que los niveles medios en interiores estaban por debajo del estándar nacional y los predictores más importantes de la exposición al CO fueron el humo del tabaco y el hábito de fumar en los apartamentos. Similarmente, Rojas-Bracho et al., (2002) realizó un estudio en Santiago, en donde se midieron concentraciones personales, interior y exterior para MP_{10} , $MP_{2.5}$ y NO_2 durante periodos de 24 horas en niños. Aquí se encontraron valores similares para las concentraciones personales, interiores y exteriores de $MP_{2.5}$, para MP_{10} las concentraciones interiores y exteriores fueron menores a las concentraciones personales; por el

contrario, para NO_2 las concentraciones interiores y exteriores fueron mayores que la CP.

Se encontraron dos artículos en donde los voluntarios se movilizaron a través de la ciudad. Suarez et al., (2014) realizaron un análisis en donde a distintos voluntarios se le asignaron rutas a realizar en distintos medios de transporte (auto, metro, bus, bicicleta) en la ciudad de Santiago, midiendo la CP de $\text{MP}_{2.5}$ y partículas ultrafinas. Aquí se encontró que las CP de $\text{MP}_{2.5}$ fueron iguales o ligeramente superiores a las mediciones realizadas en una estación de monitoreo instalada por los investigadores (exterior), mientras que las CP de partículas ultrafinas estuvieron por encima de ellas. También se encontró un estudio realizado en 3 comunas de Santiago, en donde se midió COVs semivolátiles utilizando bandas de silicona como medidores pasivos personales, mediciones realizadas por voluntarios que se movilizaban en su mayoría a pie o en bicicleta a su lugar de estudio. Los principales resultados obtenidos demuestran la presencia de estos compuestos, clasificados según productos de consumo, productos de combustión y productos industriales, viendo diferencias según la época del año y diferencias espaciales dependiendo de la comuna donde se realizó el análisis (Manzano et al., 2019).

La revisión bibliográfica también entregó un artículo que muestra un estudio multinacional que incluye a Chile (*Pure Air Study*). Shupler et al., (2020) evaluaron la magnitud de la exposición personal a contaminantes en zonas

rurales y el uso de distintos tipos de combustible en distintos países, midiendo concentración de contaminantes en ambientes interior (cocina de los hogares) y a nivel personal. Se encontró que las mediciones promedio de MP_{2.5} personales y de cocina para todos los tipos de combustibles primarios excedieron la recomendación de la OMS destacando la necesidad de estrategias integrales de mitigación de la contaminación.

Si bien estos artículos no incluyeron datos de la red de monitoreo gubernamental, si se compararon los niveles personales con niveles medidos en otros ambientes (con excepción del estudio de Manzano et al., 2019). Esto da cuenta de un área de estudio en aumento a nivel nacional. Sumado a lo descrito anteriormente, un grupo de especialistas de la Superintendencia de Medio Ambiente de Chile (SMA), publicó una investigación realizada en la Región Metropolitana (Caquilpan et al., 2019) en donde se implementaron 22 estaciones de monitoreo para MP₁₀ y MP_{2.5} que utilizan sensores de bajo costo, centrándose en su control de calidad y calibración. Estas se localizaron en distintos lugares de Santiago, 10 de ellas cerca de estaciones de monitoreo fijas oficiales con el objetivo de compararlas con estas. Los resultados obtenidos en esta investigación mostraron que estos sensores de bajo costo, con la ayuda de distintos algoritmos y *machine learning*, podría proporcionar una detección general suficientemente confiable de MP dentro de una ciudad grande que, si bien aún no pueden cumplir con los criterios de calidad normativos ni utilizar con fines reglamentarios,

pueden aportar en la toma de decisiones de las autoridades, para el análisis de calidad de aire con un enfoque preventivo (Caquilpan et al., 2019).

Modelos de exposición

De los 14 artículos analizados, 3 presentaron modelos de estimación de exposición personal que utilizó datos nacionales (Finazzi & Paci, 2019; Mena-Carrasco et al., 2012; Trehela et al., 2019). Finazzi and Paci (2019) publicaron un artículo en donde se desarrolló una nueva metodología para cuantificar la exposición personal a contaminantes atmosféricos mediante la combinación de datos de calidad de aire y localización por GPS. Para esto se utilizaron los datos de MP_{10} de la red de estaciones de monitoreo fijas SINCA de Santiago más datos de ubicación GPS individuales recopilados de aplicaciones de *smarthphones*, a este tipo de estimación de exposición le denominaron como exposición dinámica. Luego compararon esta con los valores provenientes de estaciones de monitoreo solamente, asumiendo que los individuos pasaron el tiempo en una posición fija, a la que le llamaron como exposición estática. Uno de sus principales resultados fue que, para alrededor del 30% de los usuarios analizados, la exposición dinámica era significativamente diferente de la exposición estática. A pesar de ser solo una simulación, los autores proponen que esta herramienta es flexible y que permite agregar otros datos cuando estén disponibles, lo que ayudaría a evaluar mejor la exposición personal a contaminantes atmosféricos.

Por su parte, Mena-Carrasco et al. (2012) desarrollaron un modelo para estimar los cambios en la exposición a la contaminación por $MP_{2.5}$, los beneficios para la salud y la valoración económica para dos estrategias de reducción de emisiones basadas en el uso de gas natural en Santiago, Chile. Sus resultados mostraron que el modelo desarrollado es útil para incluir variabilidad de estación climática, emisiones diurnas y características de la ciudad, elementos que no son consideradas en los métodos actuales. A su vez, Trehwela et al. (2019) desarrollaron un modelo que estima la exposición de las personas usuarias del sistema de transporte público de Santiago, utilizando datos de movilidad y las concentraciones de estaciones de monitoreo fija gubernamentales para $MP_{2.5}$ como prueba de concepto, obteniendo buenos resultados según los autores.

Otros contaminantes

Un grupo de artículos presentaron estudios con objetivos variados como la mediciones de elementos traza o metales (Berasaluce et al., 2019; Bravo et al., 2019), pesticidas (Cortes et al., 2020), HAP (Deelman et al., 2020) y exposición a $MP_{2.5}$ en muestras de líquenes (Varela et al., 2018). Los principales hallazgos se describen a continuación.

Berasaluce et al., (2019) realizó un estudio de exposición a elementos traza (Cu, Zn, Pb, Cd, and As) tanto en el suelo como en el polvo del interior de hogares, pelo y uñas de voluntarios que viven en el valle de Puchuncaví, región de

Valparaíso, Chile, lugar caracterizado por la alta contaminación atmosférica de larga data dada por el funcionamiento de la fundición de cobre Ventanas y otras industrias. El principal resultado fue que se encontró mayores niveles de elementos traza en suelo y polvo de los hogares con respecto al grupo control, además de un mayor riesgo cancerígeno para niños debido a la exposición a As. Similarmente, Bravo et al., (2019) realizó un estudio en la misma región, en donde se determinó la presencia de mercurio en muestras de pelo de voluntarios, y muestras locales de peces capturados en la zona costera. Esto dio como resultado una concentración mayor de mercurio en el pelo de población expuesta por alto consumo de pescado en las localidades de Quintay y Zapallar en relación con las expuestas solo por emisiones industriales y consumo menor de pescado, por ejemplo, Puchuncaví, Las Ventanas y Quintero.

Cortes et al., (2020) realizó un estudio de pesticidas de uso actual en el aire en la ciudad agrícola de Molina, Región del Maule, Chile. Se detectó la presencia de 9 pesticidas, asociado a emisiones locales de las áreas agrícolas circundantes. A su vez, Deelman et al., (2020) publicó un estudio en donde analizaron la presencia de HAP en muestras de suelo de 3 ciudades chilenas, Valparaíso, Santiago y Punta Arenas, detectando niveles moderados a altos, en mayor cantidad de HAP de alto peso molecular de 4 y 5 anillos aromáticos de origen pirogénico.

Varela et al., (2018) realizó un estudio en donde se analizó la riqueza, abundancia y diversidad de líquenes para así evaluar el impacto de los niveles de contaminación del aire en ciudades y zonas periurbanas chilenas. Como control se utilizaron muestras de parques y reservas naturales. De los parámetros analizados, la abundancia de líquenes fue la mejor métrica la cual se asoció negativamente con el número de días por año que la concentración de $MP_{2.5}$ superó la norma de calidad primaria anual, concluyendo que la diversidad total de líquenes se puede utilizar para rastrear la contaminación por material particulado por encima de los niveles recomendados, proporcionando datos para áreas sin estaciones de monitoreo.

DISCUSIÓN

La contaminación atmosférica es un problema ambiental global y en nuestro país es una de las prioridades de la gestión ambiental. Si bien el Gobierno de Chile ha avanzado en instrumentos de gestión de calidad del aire enfocadas en el control y disminución de emisiones, es importante investigar las concentraciones de contaminantes a las cuales las personas están realmente expuestas. El trabajo de investigación aquí presentado mostró un análisis bibliométrico de los artículos científicos analizados (mostrado en Anexo 12-20), obteniendo un panorama general de las investigaciones realizadas en estas temáticas de calidad de aire. Luego, se presentaron resultados que mostraron las posibles diferencias entre CA y CP para finalmente analizar investigaciones realizadas en nuestro país, lo que se discutirá a continuación.

Limitaciones

En primer lugar, es importante tener en consideración las distintas limitaciones del análisis realizado para el objetivo específico 1. En primer lugar, la muestra de 43 artículos finales es extremadamente pequeña comparada con el gran universo de artículos que existen en temáticas de calidad de aire, en donde se encuentran más de 56.000 artículos en el motor de búsqueda WOS (para la búsqueda específica de “air quality”). A pesar de esto, la metodología realizada permitió dar respuesta al objetivo planteado gracias a los criterios de exclusión

definidos, y por lo tanto, representan a la población de artículos existentes en la temática.

Para entender algunas limitaciones del análisis estadístico realizado es importante conocer el concepto de incertidumbre, el cual hace referencia a información incorrecta o incompleta (EPA, 2011, 2019) la cual puede deberse a errores de medición o muestreo, errores por agregación de datos, por juicio profesional, por el modelo elegido, entre otros, la cual puede ser reducida o eliminada con más o mejores datos (EPA, 2022). Por lo tanto, al realizar un análisis en donde no se tiene en consideración las características metodológicas en detalle de los datos obtenidos, se está incluyendo incertidumbre en los resultados.

Sumado a lo anteriormente descrito, cuando existió en un mismo artículo más de un dato de CA y CP para un mismo contaminante por ciudad, se realizó un promedio ponderado para obtener un solo par de CA y CP por ciudad y por artículo científico, para facilitar el análisis y presentación de los datos, esto aumentaría la incertidumbre al incluir mediciones de temporalidades y metodologías distintas en el mismo valor ponderado. No se analizó en profundidad la metodología, el tipo de muestreo, tipo de instrumentos utilizados y su comparabilidad, calibraciones, control de calidad de los instrumentos ni las condiciones específicas de cada medición, siendo una limitación del análisis realizado, asumiendo reproducibilidad de los resultados, concordancia con la

instrumentación de referencia y por lo tanto comparabilidad entre los datos obtenidos. Igualmente los artículos científicos cuentan con estrictas calibraciones y control de calidad ya que pasan por un comité evaluador antes de su publicación. Por esta razón, se recomienda que los instrumentos utilizados para medición de CP hayan pasado por una estricta calibración, como la realizada en Caquilpan et al., (2019) y Chatzidiakou et al., (2019). Como proyección de este análisis, sería importante realizar una revisión bibliográfica sistemática en donde se busque la utilización de monitores personales que tengan sensores ya calibrados con una co-localización con instrumentos de referencia de estaciones de monitoreo que cumplan con la normativa pertinente.

Una segunda limitación estadística se da por el tipo de test utilizado para comparar los datos de CP y CA. Se realizó test t-Student para comparación de promedios de muestras independientes (Medwave, 2011), para lo cual se tuvo que asumir una distribución normal de los datos. La elección del test estadístico se debió por la información disponible en los artículos científicos. Como se mencionó anteriormente, para cada artículo científico se buscó el promedio aritmético, desviación estándar y número de observaciones (n) de CA y CP, pero no en todos los artículos estuvo disponible esta información, imposibilitando el análisis estadístico en estos casos. Cabe destacar que ningún artículo entregó el conjunto completo de mediciones realizadas en cada investigación suponiendo una limitación a la hora de realizar el análisis estadístico, no

permitiendo análisis más profundos. Si bien toda la información de un artículo científico puede ser solicitado a los investigadores, se vuelve una tarea imposible cuando se realiza una revisión sistemática de una gran cantidad de artículos. Es importante que la comunidad científica acuerde una manera de presentar los resultados de calidad de aire, para potenciar la realización de revisiones sistemáticas y meta-análisis, lo que contribuirá a que en un futuro se hagan más pequeñas las brechas de conocimientos en estas temáticas.

A pesar de las limitaciones encontradas, es importante considerar que en las investigaciones se utilizan instrumentos que pasan por calibración y control de calidad y previo a su utilización, además las CA obtenidas de estaciones de monitoreo se realizan con la instrumentación de estos sitios, la cual debería cumplir con la normativa ambiental específica. La comparación realizada en el presente trabajo solo pretendió determinar si una concentración era mayor o menor a otra en una ciudad específica a través del análisis estadístico realizado, utilizando los datos del mismo artículo.

Análisis bibliométrico

Con respecto al análisis bibliométrico realizado, se observa que existe una mayor investigación en el contaminante MP y menos en contaminantes emergentes como HAP (ver Anexo 14). Si analizamos las fuentes geográficas de estas investigaciones, se destaca a continentes como Europa, Asia, Norteamérica

como las con más investigaciones, seguido por Latinoamérica, siendo nula en África (ver Anexo 15). Cabe destacar que la revisión bibliográfica realizada para el objetivo específico 1 no entregó ningún artículo realizado en Chile, solo investigaciones de otras partes del mundo en estas materias. A pesar de esto, con los resultados obtenidos de otras ciudades del mundo, daría una idea de lo que esté sucediendo a nivel nacional. Estas diferencias entre cantidad de artículos entre continentes se han visto también en otros campos y temas de estudio, como la poca cantidad de investigaciones de MP y su asociación con enfermedades en África (Kalisa et al., 2019), lo que denota un vacío de conocimientos elaborados en regiones menos desarrolladas. Además, el análisis bibliométrico mostró una escasa investigación basada en escalas temporales de menos de 1 hora (ver Anexo 17), haciendo difícil conocer las concentraciones de contaminantes en exposiciones agudas de pocos minutos, donde podría existir también un vacío de conocimiento.

Para la revisión bibliográfica realizada para el objetivo específico 2, se destaca que ya existen investigaciones a nivel nacional que pretenden detectar niveles de contaminación en distintos tipos de ambientes, midiendo en escalas espaciales más cercanas a las que están expuestas las personas (Caquilpan et al., 2019). A pesar de esto, la poca cantidad de artículos encontrados a nivel nacional comparado con el nivel internacional refleja que existe una brecha de conocimiento en nuestro país con respecto a mediciones de CP y CA.

Comparación entre CA y CP

Con respecto a las comparaciones realizadas entre las CA y CP, si analizamos los resultados obtenidos para los contaminantes encontrados, se pueden ver 3 tendencias generales:

- Contaminantes cuyas relaciones entre CA y CP fueron variadas, el cual es el caso de $MP_{2.5}$ en donde la CP fue mayor a CA en 8 ciudades mientras que la CA fue mayor en 2 ciudades, y en 5 no existieron diferencias significativas (de un total de 15 donde se realizó el análisis estadístico), y también con el contaminante NO_2 en donde se obtuvieron datos de 21 ciudades, se realizó un análisis estadístico en 14 de ellas, encontrando diferencias significativas en 6 ciudades y en 7 no se encontraron estas diferencias.
- Contaminantes cuyas CP fueron siempre mayores a CA, como es el caso de MP_{10} , COVs y también NO y CO, aunque estos últimos con pocos conjuntos de datos numéricos (1 cada uno) en todos la CP fue mayor.
- Contaminantes cuya CA fue siempre mayor a CP como es el caso de O_3t y SO_2 , del cual se obtuvieron 2 conjuntos de datos.

Para todos los contaminantes analizados, existieron ciudades con diferencias significativas entre las CP y CA (con la excepción de $MP_{2.5}$ ABS), por lo que este resultado confirma que no se pueden utilizar directamente los valores de CA

como aproximación a la CP y que esto sea cierto en todas las temporalidades, en todas las ciudades y que las estaciones de monitoreo podrían no estar captando las verdaderas concentraciones a lo que las personas están expuestas. Aquí es importante revisar las investigaciones en donde las CP fueron mayores, ya que en estos casos, la utilización de CA para estimar exposiciones estaría subestimando las CP reales a las que están expuestas los individuos, en donde algunos autores son tajantes en sus conclusiones mencionando que las concentraciones obtenidas desde estaciones de monitoreo no son representativas de la exposición personal (de acuerdo a los valores obtenidos en sus investigaciones) (Kaur et al., 2005) y que deben utilizarse con precaución (Kaur et al., 2005; Nerriere et al., 2005), siendo las CP más adecuadas que los datos ambientales para evaluar la asociación entre contaminación y efectos epidemiológicos (como asma en niños pequeños) (Tang et al., 2007).

Variabilidad en los datos de CA y CP

La ciencia de la exposición va más allá al buscar estudiar y caracterizar los procesos que afectan el transporte y la transformación de los contaminantes desde su fuente hasta el individuo (EPA, 2019). En la Figura 15 se muestra un esquema que engloba todas las temáticas que estudia la ciencia de la exposición, y como la exposición en si misma es solo una parte de esta ciencia. Pueden ser múltiples las variables que afectan la exposición personal (mostradas

a la izquierda del esquema), comenzando con la entrada de un contaminante al medio ambiente, donde luego ocurre la transformación física, química y o biológica de este, transporte y posteriormente la exposición. En este punto, la magnitud de la exposición va a depender de la concentración de contaminante, las actividades que generan la exposición de la persona al contaminante y la duración del contacto. Luego del contacto, ocurrirá la absorción de este contaminante en el individuo, lo que se conoce como dosis, siendo dispersado y/o metabolizado en el organismo, generando finalmente los resultados de esta exposición, pudiendo ser agudos o crónicos (lado derecho del esquema).

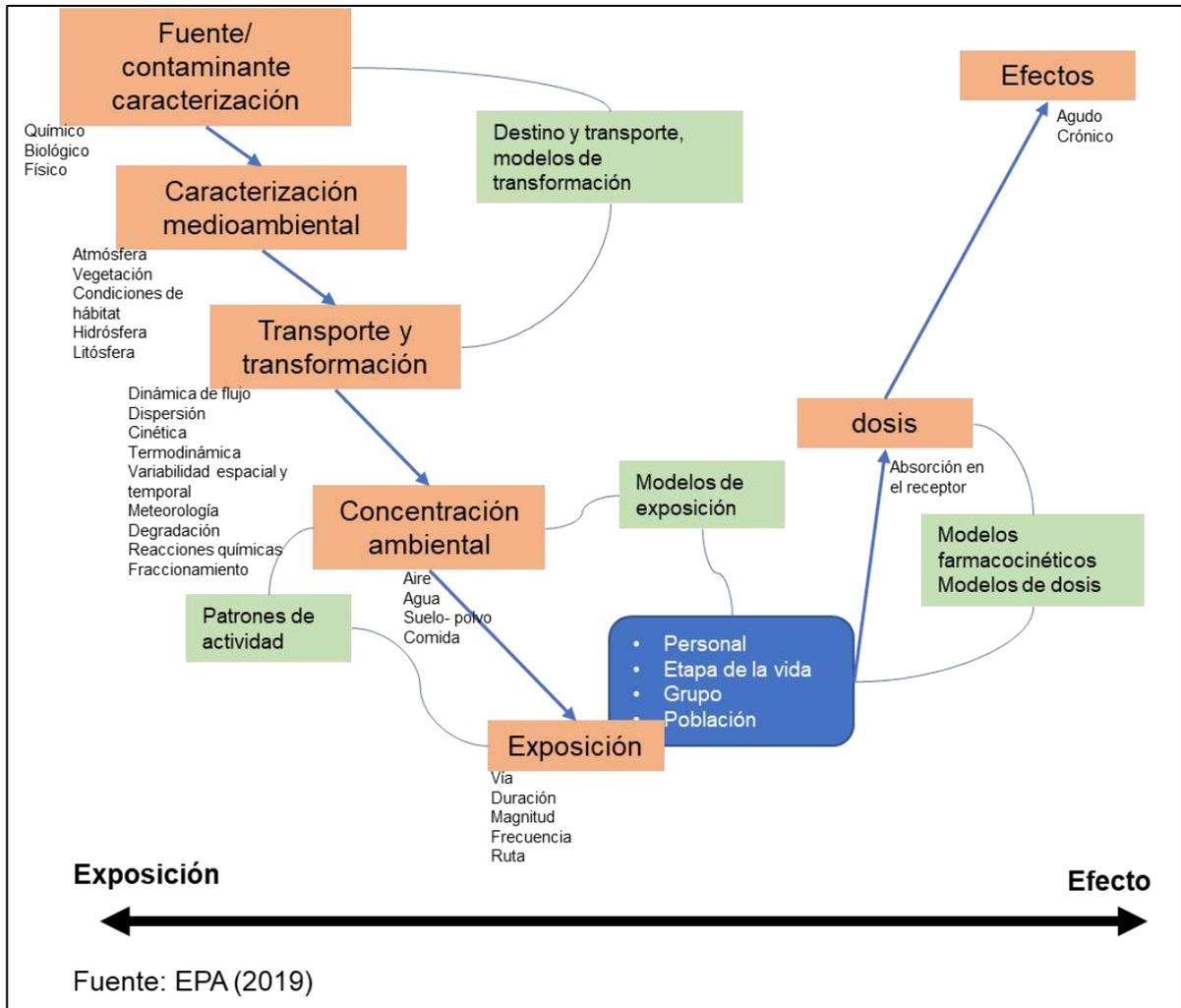


Figura 15: Marco conceptual de la ciencia de la exposición propuesto por la National Research Council (NRC). El esquema presentado busca entender los conceptos importantes de la ciencia de la exposición desde la fuente hasta el efecto que causa. El texto debajo de los cuadros en color naranja muestra la información utilizada para caracterizar los diversos procesos y condiciones representados. Las flechas entre los cuadros representan los modelos utilizados para vincularlos.

En los resultados obtenidos se obtuvo variabilidad entre CA y CP obtenidos de los artículos científicos, mostrando distintas desviaciones estándar. La variabilidad es la heterogeneidad inherente de los datos de un estudio, siendo una descripción cuantitativa del rango o dispersión de un conjunto de valores representada por cálculos estadísticos como varianza y desviación estándar, entre otros (EPA, 2011, 2019). La variabilidad ambiental ocurre por factores meteorológicos y topográficos, entre otros (ver Figura 15 hacia la izquierda del cuadro concentración ambiental) que van a condicionar la dispersión atmosférica del contaminante desde su fuente, transporte y deposición de este, mientras que la variabilidad personal se da por la ubicación, ocupación, estado de salud, estilo de vida y comportamiento (actividades, preferencia de consumo, hábitos dietéticos, que se relacionan igualmente con la edad, género) (ver Figura 15 hacia la derecha del cuadro exposición) y factores socioeconómicos. La dosis que recibe una persona de un contaminante también se relaciona con la edad, estado de salud, sexo y genética, por lo que son múltiples y complejas las variables que inciden en la exposición. También es importante destacar que la variabilidad no se puede eliminar, solo caracterizar (EPA, 2011, 2019).

Analizando la escala espacial, las diferencias de exposición personal entre individuos están influenciadas por fuentes interiores (dentro de viviendas, edificios, lugares cerrados, entre otros) y exteriores (aire libre) de contaminación, patrones de comportamiento (actividad en el tiempo de los individuos y

permanencia en los distintos lugares), así como también la calidad de aire desigual dentro de las ciudades o puntos críticos de contaminación en zonas urbanas (Nerriere et al., 2005). La exposición personal posee dos componentes espaciales principales: las exposiciones ambientales o exterior y no ambientales o interiores. El componente ambiental exterior incluye la exposición a la concentración en espacios exteriores y la exposición a contaminantes que se han infiltrado en el interior de edificios. El componente interior se refiere a la exposición de la actividad personal a los contaminantes generado por fuentes interiores como cocinas, calefacción, actividades del hogar o laborales (Du et al., 2010). Es por esto que las diferencias entre concentraciones ambientales y personales pueden estar dadas por fuentes de contaminación que no son captadas por monitores ambientales. Un ejemplo de esto es la utilización de purificadores de aire en ambientes interiores, lo que es considerado una medida protectora frente a la contaminación, generando una menor exposición personal en individuos que pasan una mayor cantidad de tiempo en estos ambientes protegidos (oficinas y hogares con sistemas purificadores) (Ma et al., 2020) y que viene a destacar las inequidades que existen con respecto a la exposición a contaminación más alta por la población más vulnerable que tiene menos acceso a medidas protectoras (Mathiarasan & Hüls, 2021).

Lo discutido con anterioridad se relaciona con los conocidos como puntos críticos (*toxic hot spot*) de contaminación atmosférica, los que se definen como áreas

localizadas o microambientes con altas concentraciones de un contaminante o contaminantes mucho mayor que la concentración de fondo en una región en particular. En grandes zonas urbanas existen lugares altamente contaminados debido a industrias, tráfico y quema de combustibles fósiles, lo que genera una compleja dinámica de la contaminación del aire dentro de ciudades (Kumar et al., 2017). También, se asocia con una variabilidad tanto espacial como temporal pudiendo existir distintos puntos críticos dentro de una zona urbana dependiendo de la estación anual (Goyal et al., 2021).

Por otra parte, en el análisis realizado se utilizó como criterio de elegibilidad de los artículos científicos el hecho que posean mediciones realizadas por un monitor personal. Este tipo de medición se considera un *gold standard* para exposición personal (Silverman et al., 1982; Sloan et al., 2016; Ma et al., 2020;), ya que se considera la forma más directa para medir la exposición de un individuo a la contaminación en distintos microambientes. Las desventajas de este tipo de medición son el tamaño de muestra que se puede obtener debido al costo y tiempo requerido para realizar este trabajo en terreno, y además, si se utilizan monitores portable de bajo costo pueden obtener datos de calidad deficiente (Ma et al., 2020). A pesar de esto, la tecnología continúa mejorando, por lo que es importante integrar estos monitores en la toma de decisiones en salud que cada persona realiza, así como en los programas de monitoreo del gobierno, sin reemplazar al monitoreo de contaminantes que se realiza tradicionalmente,

incluyendo calibraciones de estos instrumentos. Aquí es importante destacar que a nivel nacional ya se están tomando en consideración la posible integración de monitores de bajo costo en la medición de contaminantes al aire libre (Caquilpan et al., 2019).

Si bien la revisión bibliográfica realizada no estuvo enfocada en obtener valores de correlación, se obtuvieron estos valores en algunos artículos donde estaban disponibles. Al leer los artículos se mencionan frases como alta, baja o nula correlación, relacionadas a distintos valores numéricos, no existiendo un consenso en el uso de estas frases, agregando sesgos ya que no está claro dónde una buena relación se convierte en una fuerte. Este problema de interpretación ha visibilizado la necesidad de informar de manera normalizada las frases que se relacionan con estos datos numéricos (Akoglu, 2018). Es importante que los investigadores acuerden la manera en la que refieren a estos valores, una opción válida de interpretación es la presentada por Chan, (2003) mostrada en el Cuadro 11.

Cuadro 11: Interpretación de los coeficientes de correlación. Fuente: Chan (2003)

Coeficiente de correlación		
+1	-1	Perfecta
+0,9	-0,9	Muy fuerte
+0,8	-0,8	
+0,7	-0,7	Moderada
+0,6	-0,6	
+0,5	-0,5	Razonable
+0,4	-0,4	
+0,3	-0,3	
+0,2	-0,2	Pobre
+0,1	-0,1	
0	0	No existente

Con respecto a esta discusión, a continuación, se mostrarán un conjunto de recomendaciones realizadas para las autoridades y la comunidad científica.

Recomendaciones a las autoridades y la comunidad científica

1. Se recomienda realizar estudios de exposición personal a contaminantes incluyendo mediciones personales y/o en distintos microambientes interiores y exteriores. La contaminación a la que se ve expuesto un individuo no estaría siendo representada en todos los casos por las concentraciones informadas por una estación de monitoreo. La exposición personal está dada por distintos factores, en donde se destaca un componente de exposición al ambiente exterior y al ambiente interior, por lo que estudios más detallados a estos niveles serían un gran avance. Se recomienda la realización de estos estudios en distintas ciudades del país, priorizando las ciudades con problemáticas de calidad de aire, que ya estén con planes de prevención o descontaminación implementados.
2. De no poder realizar estudios de concentraciones de exposición personal o en distintos microambientes, se recomienda explorar la utilización de modelos que caractericen estas exposiciones, como los publicados a nivel nacional, siguiendo la línea de investigaciones ya realizadas en nuestro país por Finazzi & Paci, (2019), Mena-Carrasco et al., (2012) y Trehwela et al., (2019).
3. Además, es importante la estandarización en la publicación de datos de concentraciones ambientales y personales. Es importante que la comunidad científica fije parámetros a la hora de informar los distintos

valores de concentración en sus artículos científicos, ya que se pierde información importante cuando no se informa correctamente el promedio, desviación estándar o número de observaciones. Se recomienda que cada investigación informe el conjunto completo de mediciones obtenidas, con el fin de facilitar estudios sistemáticos y meta análisis como los publicados por Evangelopoulos et al., (2020), Holliday et al., (2014) y Ma et al., (2020).

CONCLUSIONES

Las revisiones sistemáticas realizada permitieron obtener información numérica sobre valores de CA y CP, compararlos utilizando un análisis estadístico y realizar un análisis sobre una problemática específica. Esto cobró gran importancia y relevancia sobre todo cuando los trabajos de campo se ven limitados (pandemia COVID).

El análisis realizado contó con distintas limitaciones importantes de considerar, como las características de los datos obtenidos de los artículos científicos, lo cual fue la base de una de las recomendaciones planteadas a la comunidad científica.

Los resultados obtenidos del análisis bibliométrico mostraron una brecha de conocimiento debido a la cantidad de artículos provenientes de continentes como África y América Latina. La revisión sistemática del objetivo específico 1 no entregó ningún artículo realizado a nivel nacional, por lo tanto, para el objetivo específico 2 se tuvo que ampliar la búsqueda, obteniendo finalmente una cantidad mucho menor de artículos.

Con respecto a la relación entre CA y CP, como resultado principal se obtuvo que no se pueden utilizar directamente los valores de CA como aproximación a la CP y que esto sea cierto en todas las temporalidades y en todas las ciudades ya que las estaciones de monitoreo podrían no estar captando las verdaderas

concentraciones a lo que las personas están expuestas. Esto debido a que para $MP_{2.5}$ y NO_2 la relación entre CA y CP fueron variadas, mostrando ciudades sin diferencias significativas y otros en que CA fue mayor o CP mayor; MP_{10} , COVs, NO y CO siempre la CP fue mayor a CA; para los contaminantes O_3 y SO_2 , la CA siempre mayor a CP. Para todos los contaminantes analizados, existieron ciudades con diferencias significativas entre las concentraciones personales y ambientales medidas en estaciones de monitoreo.

Las diferencias entre CA y CP se interpretan como la variabilidad, en la cual se incluye los distintos comportamientos de los individuos, entre otros factores, los que se ven expuestos a exposiciones interior y exterior en mayor o menor medida dependiendo de sus rutinas diarias.

Finalmente se presentaron recomendaciones a la autoridad nacional y comunidad científica, que permitirán en un futuro disminuir la brecha de conocimiento con respecto a la exposición humana a contaminantes atmosféricos.

BIBLIOGRAFÍA

- Akoglu, H. (2018). User's guide to correlation coefficients. *Turkish journal of emergency medicine*, 18(3), 91-93.
- Berasaluce, M., Mondaca, P., Schuhmacher, M., Bravo, M., Sauv e, S., Navarro-Villarroel, C., Dovletyarova, E. A., & Neaman, A. (2019). Soil and indoor dust as environmental media of human exposure to As, Cd, Cu, and Pb near a copper smelter in central Chile. *J Trace Elem Med Biol*, 54, 156-162. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2019.04.006>
- Bravo, M. A., Parra, S., Quiroz, W., & Neaman, A. (2019). Human exposure assessment to mercury through hair analysis in coastal villages of the Valparaiso Region (Chile). *Journal of the Chilean Chemical Society*, 64(2), 4480-4483. <https://doi.org/10.4067/s0717-97072019000204480>
- Caquilpan, P. V., Aros, G. G., Elgueta, A. S., Diaz, S. R., Sepulveda, K. G., & Sierralta, J. C. (2019). Advantages and challenges of the implementation of a low-cost particulate matter monitoring system as a decision-making tool. *Environ Monit Assess*, 191(11), 667. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7875-4>
- Chan, Y. (2003). Biostatistics 104: Correlational analysis. *Singapore Med J*, 44(12), 614-619.
- Chatzidiakou, L., Krause, A., Han, Y. Q., Chen, W., Yan, L., Popoola, O. A. M., Kellaway, M., Wu, Y. F., Liu, J., Hu, M., Barratt, B., Kelly, F. J., Zhu, T.,

Jones, R. L., & Team, A. (2020). Using low-cost sensor technologies and advanced computational methods to improve dose estimations in health panel studies: Results of the AIRLESS project. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 9. <https://doi.org/10.1038/s41370-020-0259-6>

Chatzidiakou, L., Krause, A., Popoola, O. A. M., Di Antonio, A., Kellaway, M., Han, Y. Q., Squires, F. A., Wang, T., Zhang, H. B., Wang, Q., Fan, Y. F., Chen, S. Y., Hu, M., Quint, J. K., Barratt, B., Kelly, F. J., Zhu, T., & Jones, R. L. (2019). Characterising low-cost sensors in highly portable platforms to quantify personal exposure in diverse environments. En *Atmospheric Measurement Techniques* (Vol. 12, Número 8, pp. 4643-4657). <https://doi.org/10.5194/amt-12-4643-2019>

Choi, H., Harrison, R., Komulainen, H., & Saborit, J. M. D. (2010). Polycyclic aromatic hydrocarbons. En *WHO guidelines for indoor air quality: Selected pollutants*. World Health Organization.

Cortes, S., Pozo, K., Llanos, Y., Martinez, N., Foerster, C., Leiva, C., Ustariz, J., Pribylova, P., Klanova, J., & Jorquera, H. (2020). First measurement of human exposure to current use pesticides (CUPs) in the atmosphere of central Chile: The case study of Mauco cohort. *Atmospheric Pollution Research*, 11(4), 9. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.12.023>

- Deelaman, W., Pongpiachan, S., Tipmanee, D., Choochuay, C., Iadtem, N., Suttinun, O., Wang, Q. Y., Xing, L., Li, G. H., Han, Y. M., Hashmi, M. Z., & Cao, J. J. (2020). Source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons in terrestrial soils in Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, 99, 11. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102514>
- Dezzutti, M. Clara. (2016). Tesis Doctoral: Contaminación del aire en cañones urbanos. En *Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires*.
- Du, X. A., Kong, Q. A., Ge, W. H., Zhang, S. J., & Fu, L. X. (2010). Characterization of personal exposure concentration of fine particles for adults and children exposed to high ambient concentrations in Beijing, China. En *Journal of Environmental Sciences* (Vol. 22, Número 11, pp. 1757-1764). [https://doi.org/10.1016/s1001-0742\(09\)60316-8](https://doi.org/10.1016/s1001-0742(09)60316-8)
- Ebelt, S. T., Petkau, A. J., Vedal, S., Fisher, T. V., & Brauer, M. (2000). Exposure of chronic obstructive pulmonary disease patients to particulate matter: Relationships between personal and ambient air concentrations. En *J Air Waste Manag Assoc* (Vol. 50, Número 7, pp. 1081-1094). <https://doi.org/10.1080/10473289.2000.10464166>
- EPA. (2011). *United States Environmental Protection Agency. Exposure factors handbook: 2011 edition* (EPA Report EPA/600/R-090/052F). U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development,

- National Center for Environmental Assessment. [En línea]<<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockkey=P100F2OS.txt>>
- EPA. (2019). *United States Environmental Protection Agency. Guidelines for Human Exposure Assessment.*
- EPA. (2022). *United States Environmental Protection Agency. Uncertainty and Variability.* [En línea]<<https://www.epa.gov/expobox/uncertainty-and-variability>> [Consulta: 12 de marzo de 2023]
- EPA. (2023a). *United States Environmental Protection Agency. Basic Information about NO2.* [En línea]<<https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2>> [Consulta: 22 de enero de 2023]
- EPA. (2023b). *United States Environmental Protection Agency. Technical Overview of Volatile Organic Compounds.* [En línea]<<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds>> [Consulta: 22 de enero de 2023]
- EPA. (2023c). *United States Environmental Protection Agency. Términos M.* Términos M. [En línea]<<https://espanol.epa.gov/espanol/terminos-m>> [Consulta: 22 de enero de 2023]
- EPA. (2023d). *United States Environmental Protection Agency. Volatile Organic Compounds' Impact on Indoor Air Quality.* [En línea]<<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic->

compounds-impact-indoor-air-quality#Health_Effects> [Consulta: 22 de enero de 2023]

Erickson, L. E., Newmark, G. L., Higgins, M. J., & Wang, Z. X. (2020). Nitrogen oxides and ozone in urban air: A review of 50 plus years of progress. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 39(6), 9. <https://doi.org/10.1002/ep.13484>

Eurachem, & Citac. (2012). *Guía, C. G. (4). Guía de Cuantificación de la Incertidumbre en Medidas Analíticas. Eurachem. Traducida por Eurlolab, España.*

Evangelopoulos, D., Katsouyanni, K., Keogh, R. H., Samoli, E., Schwartz, J., Barratt, B., Zhang, H. B., & Walton, H. (2020). PM2.5 and NO2 exposure errors using proxy measures, including derived personal exposure from outdoor sources: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 137, 14. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105500>

Finazzi, F., & Paci, L. (2019). Quantifying personal exposure to air pollution from smartphone-based location data. *Biometrics*, 75(4), 1356-1366. <https://doi.org/10.1111/biom.13100>

Gálvez Martínez, M. C. & others. (2018). *Análisis de co-palabras aplicado a los artículos muy citados en Biblioteconomía y Ciencias de la Información (2007-2017).*

- Geyh, A. S., Xue, J. P., Ozkaynak, H., & Spengler, J. D. (2000). The Harvard Southern California chronic ozone exposure study: Assessing ozone exposure of grade-school-age children in two Southern California communities. *Environmental Health Perspectives*, 108(3), 265-270. <https://doi.org/10.2307/3454444>
- Goyal, P., Gulia, S., & Goyal, S. K. (2021). Identification of air pollution hotspots in urban areas—An innovative approach using monitored concentrations data. *Science of The Total Environment*, 798, 149143. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149143>
- Grivas, G., Dimakopoulou, K., Samoli, E., Papakosta, D., Karakatsani, A., Katsouyanni, K., & Chaloulakou, A. (2017). Ozone exposure assessment for children in Greece—Results from the RESPOZE study. En *Science of the Total Environment* (Vol. 581, pp. 518-529). <https://doi.org/10.1016/j.sdtotenv.2016.12.159>
- Holliday, K. M., Avery, C. L., Poole, C., McGraw, K., Williams, R., Liao, D. P., Smith, R. L., & Whitsel, E. A. (2014). Estimating Personal Exposures from Ambient Air Pollution Measures Using Meta-Analysis to Assess Measurement Error. En *Epidemiology* (Vol. 25, Número 1, pp. 35-43). <https://doi.org/10.1097/ede.0000000000000006>
- Huneus, N., Urquiza, A., Gayó, E., Osses, M., Arriagada, R., Valdés, M., Álamos, N., Amigo, C., Arrieta, D., & Basoa, K. (2020). *El aire que*

respiramos: Pasado, presente y futuro—Contaminación atmosférica por MP2, 5 en el centro y sur de Chile. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR) 2. ANID/FONDAP/5110009), 102 pp. Available online Accessed September 2020,(2020b

INE. (2017). *Instituto Nacional de estadísticas. Gobierno de Chile. Resultados CENSO 2017.* [En línea]<<http://resultados.censo2017.cl/Region?R=R13>> [Consulta: 10 de octubre de 2022]

IQAir. (2021). *World Air Quality Report. Region & City PM2.5 Ranking.* [En línea]<<https://www.iqair.com/world-air-quality-report>> [Consulta: 21 de febrero de 2023]

Jan van Eck, N., & Waltman, L. (2021). *VOSviewer Manual.* [En línea]<https://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.17.pdf>

Jorquera, H. (2020). Ambient particulate matter in Santiago, Chile: 1989-2018: A tale of two size fractions. *J Environ Manage*, 258, 110035. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.110035>

Kalisa, E., Archer, S., Nagato, E., Bizuru, E., Lee, K., Tang, N., Pointing, S., Hayakawa, K., & Lacap-Bugler, D. (2019). Chemical and Biological Components of Urban Aerosols in Africa: Current Status and Knowledge Gaps. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph16060941>

- Karanasiou, A., Viana, M., Querol, X., Moreno, T., & de Leeuw, F. (2014). Assessment of personal exposure to particulate air pollution during commuting in European cities—Recommendations and policy implications. *Sci Total Environ*, *490*, 785-797. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.036>
- Kaur, S., Nieuwenhuijsen, M. J., & Colvile, R. N. (2005). Pedestrian exposure to air pollution along a major road in Central London, UK. En *Atmospheric Environment* (Vol. 39, Número 38, pp. 7307-7320). <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.09.008>
- Kumar, S., Prasad, S., Khan, S., Katiyar, R., & Choudhary, J. (2017). Air pollution hotspots: A future airpocalypse. *Environment 360**, *1*, 11-13.
- Levy, R. J. (2015). Carbon monoxide pollution and neurodevelopment: A public health concern. *Neurotoxicology and Teratology*, *49*, 31-40. <https://doi.org/10.1016/j.ntt.2015.03.001>
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J., & Moher, D. (2009). The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration. *PLOS Medicine*, *6*(7), e1000100. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000100>

- Ma, J., Tao, Y. H., Kwan, M. P., & Chai, Y. W. (2020). Assessing Mobility-Based Real-Time Air Pollution Exposure in Space and Time Using Smart Sensors and GPS Trajectories in Beijing. En *Annals of the American Association of Geographers* (Vol. 110, Número 2, pp. 434-448). <https://doi.org/10.1080/24694452.2019.1653752>
- Manzano, C. A., Dodder, N. G., Hoh, E., & Morales, R. (2019). Patterns of Personal Exposure to Urban Pollutants Using Personal Passive Samplers and GC x GC/ToF-MS. *Environmental Science & Technology*, 53(2), 614-624. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b06220>
- Martinez, P. A., Caba, F. M., Alvarado, S. A., & Caceres, D. D. (2012). Indoor and Personal Carbon Monoxide Exposure Risk Assessment in Sample of Apartment Buildings in Santiago, Chile. *Indoor and Built Environment*, 21(3), 474-480. <https://doi.org/10.1177/1420326x11411501>
- Mathiarasan, S., & Hüls, A. (2021). Impact of Environmental Injustice on Children's Health—Interaction between Air Pollution and Socioeconomic Status. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2). <https://doi.org/10.3390/ijerph18020795>
- Medwave. (2011). *Estadística aplicada a la investigación en salud. Comparación de los promedios de dos muestras independientes (con varianzas desconocidas pero supuestas iguales)*. Nov;11(11):e5254. <https://doi.org/10.5867/medwave.2011.11.5254>

- Mena-Carrasco, M., Oliva, E., Saide, P., Spak, S. N., de la Maza, C., Osses, M., Tolvett, S., Campbell, J. E., Tsao, T. E., & Molina, L. T. (2012). Estimating the health benefits from natural gas use in transport and heating in Santiago, Chile. *Sci Total Environ*, 429, 257-265. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.04.037>
- Microsoft. (2022). *Función INTERVALO.CONFIANZA.NORM.* [En línea]<<https://support.microsoft.com/es-es/office/funci%C3%B3n-intervalo-confianza-norm-7cec58a6-85bb-488d-91c3-63828d4fbfd4>> [Consulta: 10 de octubre de 2022]
- Chile. Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Decreto Supremo N° 105. Aprueba plan de prevención y descontaminación atmosférica para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví, (2018). [En línea]<<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1130135>>
- MMA. (2019). *Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile. Quinto Reporte del Estado del Medio Ambiente. Calidad del Aire.* [En línea]<<https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/12/REMA-2019-comprimido.pdf>>
- MMA. (2020). *Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile. Tercer Informe del Estado del Medio Ambiente 2020. Capítulo 14: Calidad del Aire.* [En línea]<<https://sinia.mma.gob.cl/estado-del-medio-ambiente/informe-del-estado-del-medio-ambiente-2020/>>

- MMA. (2021). *Ministerio del Medio Ambiente (MMA), Gobierno de Chile. Sexto Reporte del Estado del Medio Ambiente 2021. Capítulo 14: Calidad del Aire.* [En línea]<<https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/01/REMA2021.pdf>>
- MMA. (2023a). *Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile. Aire Chile, pronóstico de calidad del aire. Preguntas Frecuentes.* [En línea]<<http://airechile.mma.gob.cl/faq>> [Consulta: 26 de enero de 2023]
- MMA. (2023b). *Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile. Planes de Prevención y/o Descontaminación Atmosférica (PPDA).* [En línea]<<https://ppda.mma.gob.cl/>> [Consulta: 21 de febrero de 2023]
- Nerriere, E., Zmirou-Navier, D., Blanchard, O., Momas, I., Ladner, J., Le Moullec, Y., Personnaz, M. B., Lameloise, P., Delmas, W., Target, A., & Desqueyroux, H. (2005). Can we use fixed ambient air monitors to estimate population long-term exposure to air pollutants? The case of spatial variability in the Genotox ER study. En *Environmental Research* (Vol. 97, Número 1, pp. 32-42). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2004.07.009>
- Nethery, E., Teschke, K., & Brauer, M. (2008). Predicting personal exposure of pregnant women to traffic-related air pollutants. *Science of the Total Environment*, 395(1), 11-22. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.01.047>

- Oyarzún, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 26, 16-25. [En línea]<https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-73482010000100004&nrm=iso>
- Ozkaynak, H., Baxter, L. K., Dionisio, K. L., & Burke, J. (2013). Air pollution exposure prediction approaches used in air pollution epidemiology studies. En *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* (Vol. 23, Número 6, pp. 566-572). <https://doi.org/10.1038/jes.2013.15>
- Pal, L. C. (2021). Urbanization and Air Pollution: A Critical Review and Policy Recommendations. *Journal homepage: www. ijpr. com ISSN, 2582, 7421.*
- Rojas-Bracho, L., Suh, H. H., Oyola, P., & Koutrakis, P. (2002). Measurements of children's exposures to particles and nitrogen dioxide in Santiago, Chile. *Science of the Total Environment*, 287(3), 249-264. [https://doi.org/10.1016/s0048-9697\(01\)00987-1](https://doi.org/10.1016/s0048-9697(01)00987-1)
- Sarigiannis, D. A., Karakitsios, S. P., Gotti, A., Liakos, I. L., & Katsoyiannis, A. (2011). Exposure to major volatile organic compounds and carbonyls in European indoor environments and associated health risk. *Environ Int*, 37(4), 743-765. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2011.01.005>
- Sarnat, J. A., Schwartz, J., Catalano, P. J., & Suh, H. H. (2001). Gaseous pollutants in particulate matter epidemiology: Confounders or surrogates?

En *Environmental Health Perspectives* (Vol. 109, Número 10, pp. 1053-1061). <https://doi.org/10.2307/3454961>

Sheldon, L. S., & Cohen Hubal, E. A. (2009). Exposure as part of a systems approach for assessing risk. *Environmental Health Perspectives*, 117(8), 119-1194. PubMed. <https://doi.org/10.1289/ehp.0800407>

Shupler, M., Hystad, P., Birch, A., Miller-Lionberg, D., Jeronimo, M., Arku, R. E., Chu, Y. L., Mushtaha, M., Heenan, L., Rangarajan, S., Seron, P., Lanas, F., Cazor, F., Lopez-Jaramillo, P., Camacho, P. A., Perez, M., Yeates, K., West, N., Ncube, T., ... Study, P.-A. (2020). Household and personal air pollution exposure measurements from 120 communities in eight countries: Results from the PURE-AIR study. *Lancet Planetary Health*, 4(10), E451-E462. [En línea]<://WOS:000582415300010 [https://www.thelancet.com/pdfs/journals/lanplh/PIIS2542-5196\(20\)30197-2.pdf](https://www.thelancet.com/pdfs/journals/lanplh/PIIS2542-5196(20)30197-2.pdf)>

Silverman, F., Pengelly, L. D., Mintz, S., Kerigan, A. T., Hosein, H. R., Corey, P., & Goldsmith, C. H. (1982). Exposure estimates in assessing health effects of air pollution. En *Environ Monit Assess* (Vol. 2, Números 1-2, pp. 233-245). <https://doi.org/10.1007/bf00399168>

SINCA. (2023a). *Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire, Ministerio de Medio Ambiente, Gobierno de Chile. Preguntas frecuentes.* [En

línea]<<https://sinca.mma.gob.cl/index.php/pagina/index/id/faq>> [Consulta: 26 de enero de 2023]

SINCA. (2023b). *Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire, Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile*. [En línea]<<https://sinca.mma.gob.cl/>> [Consulta: 26 de enero de 2023]

Sloan, C. D., Philipp, T. J., Bradshaw, R. K., Chronister, S., Barber, W. B., & Johnston, J. D. (2016). Applications of GPS-tracked personal and fixed-location PM_{2.5} continuous exposure monitoring. En *Journal of the Air & Waste Management Association* (Vol. 66, Número 1, pp. 53-65). <https://doi.org/10.1080/10962247.2015.1108942>

SMA. (2020). *Superintendencia del Medio Ambiente, Gobierno de Chile. SMA inaugura Centro de Toma de Muestras de Quintero-Puchuncaví*. [En línea]<<https://portal.sma.gob.cl/index.php/2020/08/19/sma-inaugura-centro-de-toma-de-muestras-de-quintero-puchuncavi/>> [Consulta: 19 de marzo de 2022]

Snyder, E. G., Watkins, T. H., Solomon, P. A., Thoma, E. D., Williams, R. W., Hagler, G. S., Shelow, D., Hindin, D. A., Kilaru, V. J., & Preuss, P. W. (2013). The changing paradigm of air pollution monitoring. *Environ Sci Technol*, 47(20), 11369-11377. <https://doi.org/10.1021/es4022602>

- Srogi, K. (2007). Monitoring of environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: A review. *Environ Chem Lett*, 5(4), 169-195. <https://doi.org/10.1007/s10311-007-0095-0>
- Stevens, C., Williams, R., & Jones, P. (2014). Progress on understanding spatial and temporal variability of PM_{2.5} and its components in the Detroit Exposure and Aerosol Research Study (DEARS). *Environmental Science-Processes & Impacts*, 16(1), 94-105. <https://doi.org/10.1039/c3em00364g>
- Suarez, L., Mesias, S., Iglesias, V., Silva, C., Caceres, D. D., & Ruiz-Rudolph, P. (2014). Personal exposure to particulate matter in commuters using different transport modes (bus, bicycle, car and subway) in an assigned route in downtown Santiago, Chile. *Environ Sci Process Impacts*, 16(6), 1309-1317. <https://doi.org/10.1039/c3em00648d>
- Svecova, V., Topinka, J., Solansky, I., Broday, D., & Sram, R. J. (2019). Relation between personal exposure and outdoor concentrations of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons during smog episode. *Central European Journal of Public Health*, 27(4), 305-311. <https://doi.org/10.21101/cejph.a5475>
- Tang, C. S., Chang, L. T., Lee, H. C., & Chan, C. C. (2007). Effects of personal particulate matter on peak expiratory flow rate of asthmatic children. *En Science of the Total Environment* (Vol. 382, Número 1, pp. 43-51). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.04.016>

- Thurston, G. D. (2017). Outdoor Air Pollution: Sources, Atmospheric Transport, and Human Health Effects. En S. R. Quah (Ed.), *International Encyclopedia of Public Health (Second Edition)* (pp. 367-377). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803678-5.00320-9>
- Trehwela, B., Huneus, N., Munizaga, M., Mazzeo, A., Menut, L., Mailler, S., Valari, M., & Ordonez, C. (2019). Analysis of exposure to fine particulate matter using passive data from public transport. *Atmospheric Environment*, 215, 12. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116878>
- Unidad de Aprendizaje. (2023). *Unidad de Aprendizaje, Departamento de Pregrado, Universidad de Chile. ¿Cómo buscar información académica?* [En línea]<<https://aprendizaje.uchile.cl/recursos-para-leer-escribir-y-hablar-en-la-universidad/profundiza/profundiza-la-escritura/busquedas-academicas/>> [Consulta: 22 de enero de 2023]
- Van Roosbroeck, S., Hoek, G., Meliefste, K., Janssen, N. A. H., & Brunekreef, B. (2008). Validity of residential traffic intensity as an estimate of long-term personal exposure to traffic-related air pollution among adults. *Environmental Science & Technology*, 42(4), 1337-1344. <https://doi.org/10.1021/es0712827>
- Varela, Z., López-Sánchez, G., Yáñez, M., Pérez, C., Fernández, J. A., Matos, P., Branquinho, C., & Aboal, J. R. (2018). Changes in epiphytic lichen diversity are associated with air particulate matter levels: The case study

- of urban areas in Chile. *Ecological Indicators*, 91, 307-314.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.023>
- Violante, F. S., Barbieri, A., Curti, S., Sanguinetti, G., Graziosi, F., & Mattioli, S. (2006). Urban atmospheric pollution: Personal exposure versus fixed monitoring station measurements. *Chemosphere*, 64(10), 1722-1729.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.01.011>
- WHO. (2000). *World Health Organization. Air quality guidelines for Europe. Chapter 5.5 Carbon monoxide.*
- WHO. (2023). *World Health Organization. Air pollution.* [En línea]<https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1>
[Consulta: 22 de enero de 2023]
- World Bank. (2022). *The Global Health Cost of PM2.5 Air Pollution: A Case for Action Beyond 2021.* The World Bank.
- Wu, X. M., Fan, Z. H., Zhu, X. L., Jung, K. H., Ohman-Strickland, P., Weisel, C. P., & Liou, P. J. (2012). Exposures to volatile organic compounds (VOCs) and associated health risks of socio-economically disadvantaged population in a «hot spot» in Camden, New Jersey. En *Atmospheric Environment* (Vol. 57, pp. 72-79).
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.04.029>
- Zeger, S. L., Thomas, D., Dominici, F., Samet, J. M., Schwartz, J., Dockery, D., & Cohen, A. (2000). Exposure measurement error in time-series studies

of air pollution: Concepts and consequences. *Environmental Health Perspectives*, 108(5), 419-426. PubMed.
<https://doi.org/10.1289/ehp.00108419>

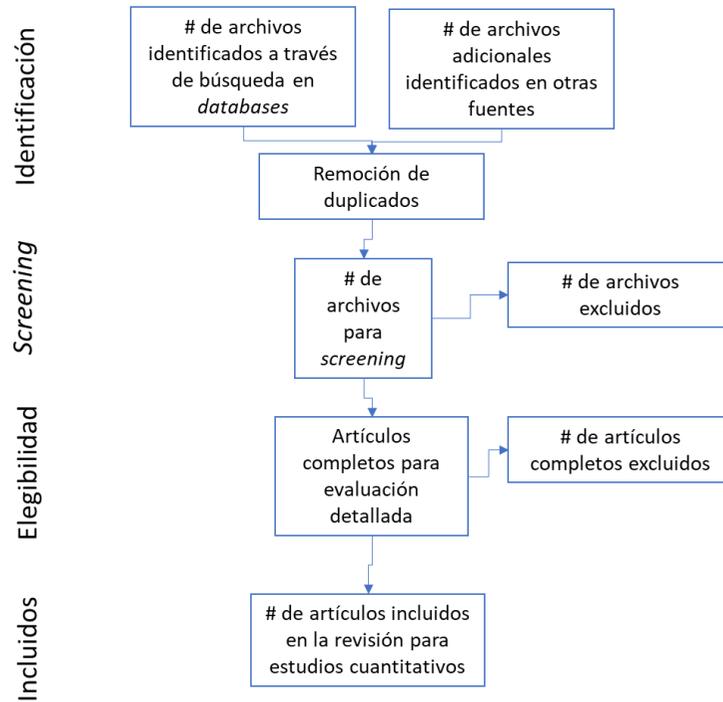
Zhang, J. J., Wei, Y., & Fang, Z. (2019). Ozone Pollution: A Major Health Hazard Worldwide. *Front Immunol*, 10, 2518.
<https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.02518>

Zhang, R., Wang, G., Guo, S., Zamora, M. L., Ying, Q., Lin, Y., Wang, W., Hu, M., & Wang, Y. (2015). Formation of urban fine particulate matter. *Chem Rev*, 115(10), 3803-3855. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00067>

Zhu, X. L., Fan, Z. H., Wu, X. M., Jung, K. H., Ohman-Strickland, P., Bonanno, L. J., & Liroy, P. J. (2011). Ambient concentrations and personal exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in an urban community with mixed sources of air pollution. En *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* (Vol. 21, Número 5, pp. 437-449).
<https://doi.org/10.1038/jes.2011.2>

ANEXOS

Anexo 1: Diagrama de flujo PRISMA sobre las diferentes fases de una revisión sistemática



Fuente: Liberati et al., 2009.

Anexo 2: Conjuntos de palabras utilizadas en la búsqueda bibliográfica para el objetivo específico 1.

Conjunto #1	Conjunto #2	Conjunto #3	Conjunto #4
"atmospheric contamination" "atmospheric pollution" "air contamination" "air pollution" "ambient contamination" "ambient pollution" "air quality"	"personal exposure" "personal exposures" "human exposure" "humans exposure" "human exposures" "humans exposures" "pedestrian exposure" "pedestrians exposure" "pedestrian exposures" "pedestrians exposures" "commuter exposure" "commuters exposure" "commuter exposures" "commuters exposures"	"ambient concentration" "ambient concentrations" "ambient measure" "ambient measures" "ambient measurement" "outdoor concentration" "outdoor concentrations" "outdoor measure" "outdoor measures" "outdoor measurement" "stationary measure" "stationary measures" "stationary measurement" "fixed measure" "fixed measures" "fixed measurement" "monitoring station" "monitoring stations" "fixed monitoring" "outdoor monitor" "outdoor monitoring" "fixed-site monitoring" "fixed site monitoring"	"proxy" "proxies" "surrogate" "surrogates" "versus" "representative" "representatives" "substitute" "substitutes" "association" "associate" "associative" "differed" "different" "difference" "differentiation" "compare" "comparison" "correlate" "correlation" "relation" "relations"

Anexo 3: Conjuntos de palabras a utilizar en la búsqueda bibliográfica para el objetivo específico 2.

Conjunto #1	Conjunto #2	Conjunto #5
"atmospheric contamination" "atmospheric pollution" "air contamination" "air pollution" "ambient contamination" "ambient pollution" "air quality"	"personal exposure" "personal exposures" "human exposure" "humans exposure" "human exposures" "humans exposures" "pedestrian exposure" "pedestrians exposure" "pedestrian exposures" "pedestrians exposures" "commuter exposure" "commuters exposure" "commuter exposures" "commuters exposures"	Chile chilean

Anexo 4: Búsqueda realizada en base de datos *Web of Science* para el objetivo específico 1.

Web of Science Búsqueda final realizada: #1 AND #2 AND #3 AND #4 En sección de búsqueda avanzada Fecha: 08-10-2020	
#1	TI=(“atmospheric contamination” OR “atmospheric pollution” OR “air contamination” OR “air pollution” OR “ambient contamination” OR “ambient pollution” OR “air quality”) OR AB=(“atmospheric contamination” OR “atmospheric pollution” OR “air contamination” OR “air pollution” OR “ambient contamination” OR “ambient pollution” OR “air quality”)
#2	TI=(“personal exposure” OR “personal exposures” OR “human exposure” OR “humans exposure” OR “human exposures” OR “humans exposures” OR “pedestrian exposure” OR “pedestrians exposure” OR “pedestrian exposures” OR “pedestrians exposures” OR “commuter exposure” OR “commuters exposure” OR “commuter exposures” OR “commuters exposures”) OR AB=(“personal exposure” OR “personal exposures” OR “human exposure” OR “humans exposure” OR “human exposures” OR “humans exposures” OR “pedestrian exposure” OR “pedestrians exposure” OR “pedestrian exposures” OR “pedestrians exposures” OR “commuter exposure” OR “commuters exposure” OR “commuter exposures” OR “commuters exposures”)
#3	TI=(“ambient concentration” OR “ambient concentrations” OR “ambient measure” OR “ambient measures” OR “ambient measurement” OR “outdoor concentration” OR “outdoor concentrations” OR “outdoor measure” OR “outdoor measures” OR “outdoor measurement” OR “stationary measure” OR “stationary measures” OR “stationary measurement” OR “fixed measure” OR “fixed measures” OR “fixed measurement” OR “monitoring station” OR “monitoring stations” OR “fixed monitoring” OR “outdoor monitor” OR “outdoor monitoring” OR “fixed-site monitoring” OR “fixed site monitoring”) OR AB=(“ambient concentration” OR “ambient concentrations” OR “ambient measure” OR “ambient measures” OR “ambient measurement” OR “outdoor concentration” OR “outdoor concentrations” OR “outdoor measure” OR “outdoor measures” OR “outdoor measurement” OR “stationary measure” OR “stationary measures” OR “stationary measurement” OR “fixed measure” OR “fixed measures” OR “fixed measurement” OR “monitoring station” OR “monitoring stations” OR “fixed monitoring” OR “outdoor monitor” OR “outdoor monitoring” OR “fixed-site monitoring” OR “fixed site monitoring”)
#4	TI=(“proxy” OR “proxies” OR “surrogate” OR “surrogates” OR “versus” OR “representative” OR “representatives” OR “substitute” OR “substitutes” OR “association” OR “associate” OR “associative” OR “differed” OR “different” OR “difference” OR “differentiation” OR “compare” OR “comparison” OR “correlate” OR “correlation” OR “relation” OR “relations”) OR AB=(“proxy” OR “proxies” OR “surrogate” OR “surrogates” OR “versus” OR “representative” OR “representatives” OR “substitute” OR “substitutes” OR “association” OR “associate” OR “associative” OR “differed” OR “different” OR “difference” OR “differentiation” OR “compare” OR “comparison” OR “correlate” OR “correlation” OR “relation” OR “relations”)
128 artículos encontrados	

Anexo 5: Búsqueda realizada en base de datos PUBMED para el objetivo específico 1

<p>PUBMED Fecha: 08-10-2020 En sección búsqueda avanzada se construyó lo siguiente:</p> <p>((("atmospheric contamination"[Title/Abstract] OR "atmospheric pollution"[Title/Abstract] OR "air contamination"[Title/Abstract] OR "air pollution"[Title/Abstract] OR "ambient contamination"[Title/Abstract] OR "ambient pollution"[Title/Abstract] OR "air quality"[Title/Abstract]) AND ("personal exposure"[Title/Abstract] OR "personal exposures"[Title/Abstract] OR "human exposure"[Title/Abstract] OR "humans exposure"[Title/Abstract] OR "human exposures"[Title/Abstract] OR "humans exposures"[Title/Abstract] OR "pedestrian exposure"[Title/Abstract] OR "pedestrians exposure"[Title/Abstract] OR "pedestrian exposures"[Title/Abstract] OR "pedestrians exposures"[Title/Abstract] OR "commuter exposure"[Title/Abstract] OR "commuters exposure"[Title/Abstract] OR "commuter exposures"[Title/Abstract] OR "commuters exposures"[Title/Abstract])) AND ("ambient concentration"[Title/Abstract] OR "ambient concentrations"[Title/Abstract] OR "ambient measure"[Title/Abstract] OR "ambient measures"[Title/Abstract] OR "ambient measurement"[Title/Abstract] OR "outdoor concentration"[Title/Abstract] OR "outdoor concentrations"[Title/Abstract] OR "outdoor measure"[Title/Abstract] OR "outdoor measures"[Title/Abstract] OR "outdoor measurement"[Title/Abstract] OR "stationary measure"[Title/Abstract] OR "stationary measures"[Title/Abstract] OR "stationary measurement"[Title/Abstract] OR "fixed measure"[Title/Abstract] OR "fixed measures"[Title/Abstract] OR "fixed measurement"[Title/Abstract] OR "monitoring station"[Title/Abstract] OR "monitoring stations"[Title/Abstract] OR "fixed monitoring"[Title/Abstract] OR "outdoor monitor"[Title/Abstract] OR "outdoor monitoring"[Title/Abstract] OR "fixed-site monitoring"[Title/Abstract] OR "fixed site monitoring"[Title/Abstract])) AND ("proxy"[Title/Abstract] OR "proxies"[Title/Abstract] OR "surrogate"[Title/Abstract] OR "surrogates"[Title/Abstract] OR "versus"[Title/Abstract] OR "representative"[Title/Abstract] OR "representatives"[Title/Abstract] OR "substitute"[Title/Abstract] OR "substitutes"[Title/Abstract] OR "association"[Title/Abstract] OR "associate"[Title/Abstract] OR "associative"[Title/Abstract] OR "differed"[Title/Abstract] OR "different"[Title/Abstract] OR "difference"[Title/Abstract] OR "differentiation"[Title/Abstract] OR "compare"[Title/Abstract] OR "comparison"[Title/Abstract] OR "correlate"[Title/Abstract] OR "correlation"[Title/Abstract] OR "relation"[Title/Abstract] OR "relations"[Title/Abstract]))</p> <p>123 artículos encontrados</p>

Anexo 6: Búsqueda realizada en base de datos SCIELO para el objetivo específico 1

<p>SCIELO Búsqueda final realizada: #1 AND #2 AND #3 AND #4 Fecha: 08-10-2020 En sección búsqueda avanzada se construyó lo siguiente:</p>
<p>((("atmospheric contamination" OR "atmospheric pollution" OR "air contamination" OR "air pollution" OR "ambient contamination" OR "ambient pollution" OR "air quality")) OR (ab:(("atmospheric contamination" OR "atmospheric pollution" OR "air contamination" OR "air pollution" OR "ambient contamination" OR "ambient pollution" OR "air quality")))) AND ((("personal exposure" OR "personal exposures" OR "human exposure" OR "humans exposure" OR "human exposures" OR "humans exposures" OR "pedestrian exposure" OR "pedestrians exposure" OR "pedestrian exposures" OR "pedestrians exposures" OR "commuter exposure" OR "commuters exposure" OR "commuter exposures" OR "commuters exposures")) OR (ab:(("personal exposure" OR "personal exposures" OR "human exposure" OR "humans exposure" OR "human exposures" OR "humans exposures" OR "pedestrian exposure" OR "pedestrians exposure" OR "pedestrian exposures" OR "pedestrians exposures" OR "commuter exposure" OR "commuters exposure" OR "commuter exposures" OR "commuters exposures")))) AND ((("ambient concentration" OR "ambient concentrations" OR "ambient measure" OR "ambient measures" OR "ambient measurement" OR "outdoor concentration" OR "outdoor concentrations" OR "outdoor measure" OR "outdoor measures" OR "outdoor measurement" OR "stationary measure" OR "stationary measures" OR "stationary measurement" OR "fixed measure" OR "fixed measures" OR "fixed measurement" OR "monitoring station" OR "monitoring stations" OR "fixed monitoring" OR "outdoor monitor" OR "outdoor monitoring" OR "fixed-site monitoring" OR "fixed site monitoring")) OR (ab:(("ambient concentration" OR "ambient concentrations" OR "ambient measure" OR "ambient measures" OR "ambient measurement" OR "outdoor concentration" OR "outdoor concentrations" OR "outdoor measure" OR "outdoor measures" OR "outdoor measurement" OR "stationary measure" OR "stationary measures" OR "stationary measurement" OR "fixed measure" OR "fixed measures" OR "fixed measurement" OR "monitoring station" OR "monitoring stations" OR "fixed monitoring" OR "outdoor monitor" OR "outdoor monitoring" OR "fixed-site monitoring" OR "fixed site monitoring")))) AND ((("proxy" OR "proxies" OR "surrogate" OR "surrogates" OR "versus" OR "representative" OR "representatives" OR "substitute" OR "substitutes" OR "association" OR "associate" OR "associative" OR "differed" OR "different" OR "difference" OR "differentiation" OR "compare" OR "comparison" OR "correlate" OR "correlation" OR "relation" OR "relations")) OR (ab:(("proxy" OR "proxies" OR "surrogate" OR "surrogates" OR "versus" OR "representative" OR "representatives" OR "substitute" OR "substitutes" OR "association" OR "associate" OR "associative" OR "differed" OR "different" OR "difference" OR "differentiation" OR "compare" OR "comparison" OR "correlate" OR "correlation" OR "relation" OR "relations"))))</p>
<p>0 artículos encontrados</p>

Anexo 7: Búsqueda realizada en base de datos *Web of Science* para el objetivo específico 2.

Web of Science	
Búsqueda final realizada: #1 AND #2 AND #3	
En sección de búsqueda avanzada	
Fecha:05-03-2021	
#1	ALL=("atmospheric contamination" OR "atmospheric pollution" OR "air contamination" OR "air pollution" OR "ambient contamination" OR "ambient pollution" OR "air quality")
#2	ALL=("personal exposure" OR "personal exposures" OR "human exposure" OR "humans exposure" OR "human exposures" OR "humans exposures" OR "pedestrian exposure" OR "pedestrians exposure" OR "pedestrian exposures" OR "pedestrians exposures" OR "commuter exposure" OR "commuters exposure" OR "commuter exposures" OR "commuters exposures")
#3	ALL=(chile OR chilean)
17 artículos encontrados	

Anexo 8: Búsqueda realizada en base de datos PUBMED para el objetivo específico 2

PUBMED	
Fecha: 05-03-2021	
En sección búsqueda avanzada, con opción <i>TEXT WORD</i> se construyó lo siguiente:	
Search: (((("atmospheric contamination"[Text Word] OR "atmospheric pollution"[Text Word] OR "air contamination"[Text Word] OR "air pollution"[Text Word] OR "ambient contamination"[Text Word] OR "ambient pollution"[Text Word] OR "air quality")[Text Word]) AND (("personal exposure"[Text Word] OR "personal exposures"[Text Word] OR "human exposure"[Text Word] OR "humans exposure"[Text Word] OR "human exposures"[Text Word] OR "humans exposures"[Text Word] OR "pedestrian exposure"[Text Word] OR "pedestrians exposure"[Text Word] OR "pedestrian exposures"[Text Word] OR "pedestrians exposures"[Text Word] OR "commuter exposure"[Text Word] OR "commuters exposure"[Text Word] OR "commuter exposures"[Text Word] OR "commuters exposures"[Text Word])) AND ((chile[Text Word] OR chilean)[Text Word])	
7 artículos encontrados	

Anexo 9: Búsqueda realizada en base de datos SCIELO para el objetivo específico 2

SCIELO
Búsqueda final realizada: #1 AND #2 AND #3 AND #4
Fecha: 05-03-2021
En sección búsqueda avanzada se construyó lo siguiente:
("atmospheric contamination" OR "atmospheric pollution" OR "air contamination" OR "air pollution" OR "ambient contamination" OR "ambient pollution" OR "air quality") AND ("personal exposure" OR "personal exposures" OR "human exposure" OR "humans exposure" OR "human exposures" OR "humans exposures" OR "pedestrian exposure" OR "pedestrians exposure" OR "pedestrian exposures" OR "pedestrians exposures" OR "commuter exposure" OR "commuters exposure" OR "commuter exposures" OR "commuters exposures") AND (chile OR chilean)
0 artículos encontrados

Anexo 10: Razones de exclusión de artículos científicos para la revisión bibliográfica realizada para el objetivo específico 1

Autor	Año	Razón de exclusión
Agudelo-Castañeda, D. M.; Teixeira, E. C.; Schneider, I. L.; Lara, S. R.; Silva, L. F. O.	2017	Otro enfoque: caracterización de HAP en MP _{1.0} ; no realiza monitoreo personal
Alas, H. D.; Pfeifer, S.; Wiesner, A.; Wehner, B.; Weinhold, K.; Merkel, M.; Loschau, G.; Bastian, S.; Hausmann, A.; Wiedensohler, A.	2019	Enfoque <i>outdoor</i> microambiente, no compara tipos de mediciones
Ashmore, M. R.; Dimitroulopoulou, C.	2009	Review
Augusto, S.; Pereira, M. J.; Maguas, C.; Soares, A.; Branquinho, C.	2012	Otro enfoque: análisis de exposición personal basada en distintas medidas ambientales (aire, suelo, líquenes); no realiza monitoreo personal
Baiz, N.; Slama, R.; Bene, M. C.; Charles, M. A.; Kolopp-Sarda, M. N.; Magnan, A.; Thiebaugeorges, O.; Faure, G.; Annesi-Maesano, I.	2011	No realiza monitoreo personal
Berrocal, V. J.; Gelfand, A. E.; Holland, D. M.; Burke, J.; Miranda, M. L.	2011	No realiza monitoreo personal; utiliza modelo como aproximación a la exposición personal
Blangiardo, M.; Hansell, A.; Richardson, S.	2011	No realiza monitoreo personal; utiliza modelo como aproximación a la exposición personal
Boudet, C.; Zmirou, D.; Dechenaux, J.	2000	Artículo completo no encontrado para su descarga
Boudet, C.; Zmirou, D.; Vestri, V.	2001	Midieron MP _{2.5} con medidor personal pero no estuvo disponible la medida de este contaminante en la estación de monitoreo, ahí midieron MP ₁₀
Brauer, M.; Brumm, J.; Vedal, S.; Petkau, A. J.	2002	Usa datos publicados en Ebel, S. T., Petkau, A. J., Vedal, S., Fisher, T. V., & Brauer, M. (2000). Exposure of chronic obstructive pulmonary disease (copd) patients to particles: relationship between personal exposure and ambient air concentrations. Journal of the air and waste management association, 50, 1081–1094.
Breen, M. S.; Long, T. C.; Schultz, B. D.; Williams, R. W.; Richmond-Bryant, J.; Breen, M.; Langstaff, J. E.; Devlin, R. B.; Schneider, A.; Burke, J. M.; Batterman, S. A.; Meng, Q. Y.	2015	Otro enfoque: desarrollan un modelo para exposición individual y realizan una validación cruzada del modelo con datos ambientales
Breen, M.; Seppanen, C.; Isakov, V.; Arunachalam, S.; Breen, M.; Samet, J.; Tong, H. Y.	2019	Otro enfoque: desarrollo de aplicación móvil
Breen, M.; Xu, Y. D.; Schneider, A.; Williams, R.; Devlin, R.	2018	Presenta modelo de exposición personal y lo valida con datos de monitor personal, pero no compara medidas
Breitner, S.; Peters, A.; Zareba, W.; Hampel, R.; Oakes, D.; Wiltshire, J.; Frampton, M. W.; Hopke, P. K.; Cyrus, J.; Utell, M. J.; Kane, C.; Schneider, A.; Rich, D. Q.	2019	Reporte científico
Cao, G.; Bi, J.; Ma, Z.; Shao, Z.; Wang, J.	2019	Otro enfoque: <i>indoor/outdoor</i>
Cassidy, B. E.; Alabanza-Akers, M. A.; Akers, T. A.; Hall, D. B.; Ryan, P. B.; Bayer, C. W.; Naeher, L. P.	2007	Este <i>paper</i> no compara tipos de mediciones directamente, ya que presenta los datos de mediciones <i>street level</i> por un periodo de medición, y los datos ambientales como curso temporal y promedio de 24 horas.

Chan, L. Y.; Kwok, W. S.; Chan, C. Y.	2000	Otro enfoque: microambientes <i>outdoor</i>
Chang, S. Y.; Vizuete, W.; Breen, M.; Isakov, V.; Arunachalam, S.	2015	Otro enfoque: modelo <i>indoor/outdoor</i>
Chatzidiakou, L.; Krause, A.; Popoola, O. A. M.; Di Antonio, A.; Kellaway, M.; Han, Y. Q.; Squires, F. A.; Wang, T.; Zhang, H. B.; Wang, Q.; Fan, Y. F.; Chen, S. Y.; Hu, M.; Quint, J. K.; Barratt, B.; Kelly, F. J.; Zhu, T.; Jones, R. L.	2019	Compara nuevo dispositivo portable con instrumentos de referencias,
Chiogna, M.; Bellini, P.	2002	No realiza monitoreo personal; utiliza modelo como aproximación a la exposición personal
Colome, S. D.; Kado, N. Y.; Jaques, P.; Kleinman, M.	1992	Los datos personales son poco claros, se presentan en un gráfico sin DE; el enfoque es más que nada solo <i>indoor vs outdoor</i> . A pesar eso, mencionan que las mediciones <i>indoor</i> son mejores predictores de la exposición personal que las <i>outdoor</i> o ambientales ya que las personas pasan gran parte de tu tiempo dentro de los hogares
de Bruin, Y. B.; Koistinen, K.; Kephelopoulou, S.; Geiss, O.; Tirendi, S.; Kotzias, D.	2008	Presenta valores ambientales provenientes de estación de monitoreo fuera de algún microambiente
Dedele, A.; Miskinyte, A.	2016	Otro enfoque: <i>indoor/outdoor</i>
Dominici, F.; Zeger, S. L.; Samet, J. M.	2000	No realiza monitoreo personal; utiliza modelo como aproximación a la exposición personal
Dons, E.; Van Poppel, M.; Kochan, B.; Wets, G.; Panis, L. I.	2014	Nuevo modelo de exposición personal y lo valida con medidas de monitor portable
Enkhmaa, D.; Warburton, N.; Javzandulam, B.; Uyanga, J.; Khishigsuren, Y.; Lodoysamba, S.; Enkhtur, S.; Warburton, D.	2014	Otro enfoque: concentración ambiental/aborto
Evangelopoulos, D.; Katsouyanni, K.; Keogh, R. H.; Samoli, E.; Schwartz, J.; Barratt, B.; Zhang, H. B.; Walton, H.	2020	Review
Freijer, J. I.; Bloemen, H. J. T.	2000	Otro enfoque: <i>indoor/outdoor</i>
Gall, E. T.; Chen, A. L.; Chang, V. W. C.; Nazaroff, W. W.	2015	No realiza monitoreo personal; utiliza modelo como aproximación a la exposición personal
Georgopoulos, P. G.; Purushothaman, V.; Chiou, R.	1997	No realiza monitoreo personal; utiliza modelo como aproximación a la exposición personal; articulo completo no encontrado para su descarga
Gerharz, L. E.; Kruger, A.; Klemm, O.	2009	No realiza monitoreo personal; utiliza modelo como aproximación a la exposición personal
Godoi, A. F. L.; Grasel, A. M.; Polezer, G.; Brown, A.; Potgieter-Vermaak, S.; Scremim, D. C.; Yamamoto, C. I.; Godoi, R. H. M.	2018	Otro enfoque: <i>indoor/outdoor</i>
Hampson, N. B.; Courtney, T. G.; Holm, J. R.	2015	Solo monitoreo personal
Han, X. L.; Naeher, L. P.	2006	Review
Hasunuma, H.; Sato, T.; Iwata, T.; Kohno, Y.; Nitta, H.; Odajima, H.; Ohara, T.; Omori, T.; Ono, M.; Yamazaki, S.; Shima, M.	2016	No realiza monitoreo personal; utiliza modelo como aproximación a la exposición personal
Healy, R. M.; Sofowote, U.; Su, Y.; Deboz, J.; Noble, M.; Jeong, C. H.; Wang, J. M.; Hilker, N.; Evans, G. J.; Doerksen, G.; Jones, K.; Munoz, A.	2017	Otro enfoque: <i>outdoor</i> -microambiente
Hidy, G. M.; Brook, J. R.; Chow, J. C.; Green, M.; Husar, R. B.; Lee, C.; Scheffe, R. D.; Swanson, A.; Watson, J. G.	2009	Review

Holliday, K. M.; Avery, C. L.; Poole, C.; McGraw, K.; Williams, R.; Liao, D. P.; Smith, R. L.; Whitsel, E. A.	2014	Review
Hvidtfeldt, U. A.; Geels, C.; Sorensen, M.; Ketzel, M.; Khan, J.; Tjonneland, A.; Christensen, J. H.; Brandt, J.; Raaschou-Nielsen, O.	2019	No realiza monitoreo personal; utiliza modelo como aproximación a la exposición personal, presenta un modelo que predice la exposición a MP _{2.5} y sus constituyentes en una cohorte con seguimiento de 15 años, no realiza comparación de tipos de mediciones directamente
Isakov, V.; Touma, J. S.; Burke, J.; Lobdell, D. T.; Palma, T.; Rosenbaum, A.; Ozkaynak, H.	2009	No realiza monitoreo personal; utiliza modelo como aproximación a la exposición personal y lo compara con datos de modelo <i>outdoor</i>
Isley, C. F.; Nelson, P. F.; Taylor, M. P.; Mazaheri, M.; Morawska, L.; Atanacio, A. J.; Stelcer, E.; Cohen, D. D.; Morrison, A. L.	2017	Datos están en un gráfico de cajas y los valores no se pueden comparar directamente con los ambientales
Ito, K.; Thurston, G. D.; Nadas, A.; Lippmann, M.	2001	Otro enfoque: compara y correlaciona datos de contaminantes entre estaciones de monitoreo en estados del norte y centro de usa
Jedrychowski, W.; Pac, A.; Choi, H.; Jacek, R.; Sochacka-Tatara, E.; Dumyahn, T. S.; Spengler, J. D.; Camann, D. E.; Perera, F. P.	2007	Presenta valores ambientales provenientes de estación de monitoreo fuera de algún microambiente
Jia, C.; Batterman, S.	2010	Review
Jinsart, W.; Tamura, K.; Loetkamonwit, S.; Thepanondh, S.; Karita, K.; Yano, E.	2002	Presenta valores ambientales provenientes de estación de monitoreo fuera de algún microambiente
Jones, R. R.; Ozkaynak, H.; Nayak, S. G.; Garcia, V.; Hwang, S. A.; Lin, S.	2013	No realiza monitoreo personal; utiliza modelo como aproximación a la exposición personal
Jung, K. H.; Artigas, F.; Shin, J. Y.	2011	Presenta valores ambientales provenientes de estación de monitoreo fuera de algún microambiente
Kalimeri, K. K.; Bartzis, J. G.; Saraga, D. E.	2017	Presenta valores ambientales provenientes de estación de monitoreo fuera de algún microambiente
Kim, Y. M.; Kim, J.; Han, Y.; Lee, B. J.; Choi, D. C.; Cheong, H. K.; Jeon, B. H.; Oh, I.; Bae, G. N.; Lee, J. Y.; Kim, C. H.; Seo, S.; Noh, S. R.; Ahn, K.	2017	No realiza monitoreo personal
Klepeis, N. E.; Gabel, E. B.; Ott, W. R.; Switzer, P.	2009	Otro enfoque: realizan un experimento en donde liberan CO con flujo establecido y miden concentración de CO en distintos puntos, realizan modelo con otros parámetros
Kotzias, D.; Geiss, O.; Tirendi, S.; Barrero-Moreno, J.; Reina, V.; Gotti, A.; Cimino-Reale, G.; Casati, B.; Marafante, E.; Sarigiannis, D.	2009	Presenta valores ambientales provenientes de estación de monitoreo fuera de algún microambiente
Lazaridis, M.; Aleksandropoulou, V.; Smolik, J.; Hansen, J. E.; Glytsos, T.; Kalogerakis, N.; Dahlin, E.	2006	Otro enfoque: <i>indoor/outdoor</i>
Leikauf, G. D.; Kline, S.; Albert, R. E.; Baxter, C. S.; Bernstein, D. I.; Bernstein, J.; Buncher, C. R.	1995	Review
Levy, J. I.; Chemerynski, S. M.; Sarnat, J. A.	2005	Review
Levy, J. I.; Clougherty, J. E.; Baxter, L. K.; Houseman, E. A.; Paciorek, C. J.	2010	Reporte científico
Levy, J. I.; Dumyahn, T.; Spengler, J. D.	2002	Otro enfoque: <i>indoor/outdoor</i>
Li, H. C.; Chiueh, P. T.; Liu, S. P.; Huang, Y. Y.	2017	Como medida ambiental utilizan valores de un modelo (spatial interpolation methods such as inverse distance weighting (idw) were used to estimate each pollutant's distribution in Taipei metropolitan area).

Li, Z. Y.; Fung, J. C. H.; Lau, A. K. H.	2018	Otro enfoque: <i>outdoor</i> - microambiente; mide contaminación en tranvía durante su movimiento en la ciudad de Hong Kong, lo compara con estación de monitoreo
Lioy, P. J.; Fan, Z.; Zhang, J.; Georgopoulos, P.; Wang, S. W.; Ohman-Strickland, P.; Wu, X.; Zhu, X.; Harrington, J.; Tang, X.; Meng, Q.; Jung, K. H.; Kwon, J.; Hernandez, M.; Bonnano, L.; Held, J.; Neal, J.	2011	Reporte científico
Lioy, P. L.; Waldman, J. M.; Greenberg, A.; Harkov, R.; Pietarinen, C.	1988	No realiza monitoreo personal; utiliza modelo como aproximación a la exposición personal
Liu, W. J.; Shen, G. F.; Chen, Y. C.; Shen, H. Z.; Huang, Y.; Li, T. C.; Wang, Y. L.; Fu, X. F.; Tao, S.; Liu, W. X.; Huang-Fu, Y. B.; Zhang, W. H.; Xue, C. Y.; Liu, G. Q.; Wu, F. Y.; Wong, M. H.	2018	Presenta valores ambientales provenientes de estación de monitoreo fuera de algún microambiente
Liu, X. S.; Schnelle-Kreis, J.; Zhang, X.; Bendl, J.; Khedr, M.; Jakobi, G.; Schlotter-Hai, B.; Hovorka, J.; Zimmermann, R.	2020	Otro enfoque: <i>outdoor</i> - microambiente; compara dos villas-ciudades con monitores portables
Ma, X. Y.; Longley, I.; Gao, J.; Salmond, J.	2020	Review
Ma, X.; Longley, I.; Gao, J.; Salmond, J.	2020	Otro enfoque: microambiente <i>outdoor</i> ; modelo <i>outdoor</i>
Masiol, M.; Squizzato, S.; Chalupa, D.; Rich, D. Q.; Hopke, P. K.	2018	Otro enfoque: evalúa un nuevo monitor de bajo costo para ozono frente a instrumentos de referencia para su corrección y calibración
Minami, T.; Matsumoto, H.; Kondo, F.; Yamada, S.; Matsumura, T.; Ando, M.; Miyazaki, Y.	2002	Otro enfoque: <i>indoor</i> ; artículo completo no encontrado para su descarga
Morandi, M. T.; Stock, T. H.; Contant, C. F.	1988	Resultados no claros, se muestran en gráficos
Moreno, T.; Querol, X.; Alastuey, A.; Viana, M.; Gibbons, W.	2009	Otro enfoque: <i>outdoor</i> ; ve las diferencias entre estaciones de monitoreo en una ciudad
Moreno, T.; Reche, C.; Ahn, K. H.; Eun, H. R.; Kim, W. Y.; Kim, H. S.; Fernández-Iriarte, A.; Amato, F.; Querol, X.	2020	Enfoque del <i>paper</i> no se relaciona directamente con el objetivo de la tesis, habla de la distribución de tamaño de partículas durante desplazamiento
Nyarku, M.; Mazaheri, M.; Jayaratne, R.; Dunbabin, M.; Rahman, M. M.; Uhde, E.; Morawska, L.	2018	Otro enfoque: teléfono celular que mide contaminantes; comparación con instrumentos de referencia;
Oluwasanya, P. W.; Alzahrani, A.; Kumar, V.; Samad, Y. A.; Occhipinti, L. G.	2019	Otro enfoque: presenta nuevo dispositivo para medir contaminantes a nivel personal
Ozkaynak, H.; Baxter, L. K.; Dionisio, K. L.; Burke, J.	2013	Review
Ozkaynak, H.; Palma, T.; Touma, J. S.; Thurman, J.	2008	No realiza monitoreo personal; utiliza modelo como aproximación a la exposición personal
Parker, J. L.; Larson, R. R.; Eskelson, E.; Wood, E. M.; Veranth, J. M.	2008	Otro enfoque: <i>indoor/outdoor</i>
Polachova, A.; Gramblicka, T.; Parizek, O.; Sram, R. J.; Stupak, M.; Hajslova, J.; Pulkralbova, J.	2020	Otro enfoque: evaluar la exposición humana diaria a los HAP a través de la ingesta alimentaria y la inhalación de aire
Qin, K.; Rao, L. L.; Xu, J.; Bai, Y.; Zou, J. H.; Hao, N.; Li, S. S.; Yu, C.	2017	No realiza monitoreo personal; utiliza modelo como aproximación a la exposición personal; enfoque modelo-imágenes satelitales- concentración <i>outdoor</i> ; medida ambiental=gtwr model; escala poblacional;
Ramos, Y.; St-Onge, B.; Blanchet, J. P.; Smargiassi, A.	2015	No realiza monitoreo personal; utiliza modelo como aproximación a la exposición personal; presente un modelo de interpolación de concentraciones ambientales <i>ground-level</i> de MP _{2.5} , no compara tipos de medidas

Rao, S. T.; Ku, J. Y.; Rao, K. S.	1991	Presenta una discusión para el diseño de programas de monitoreo de contaminantes atmosféricos, no compara tipos de mediciones
Reche, C.; Viana, M.; van Drooge, B. L.; Fernandez, F. J.; Escribano, M.; Castano-Vinyals, G.; Nieuwenhuijsen, M.; Adami, P. E.; Bermon, S.	2020	Atletas, bandas de silicona
Requia, W. J.; Adams, M. D.; Arain, A.; Koutrakis, P.; Lee, W. C.; Ferguson, M.	2017	Otro enfoque: <i>indoor/personal</i> ; no realiza monitoreo personal; utiliza modelo como aproximación a la exposición personal
Ribeiro, M. C.; Pinho, P.; Branquinho, C.; Llop, E.; Pereira, M. J.	2016	Otro enfoque: no analiza un contaminante en específico, usa muestras de líquenes
Rich, D. Q.; Frampton, M. W.; Balmes, J. R.; Bromberg, P. A.; Arjomandi, M.; Hazucha, M. J.; Thurston, S. W.; Alexis, N. E.; Ganz, P.; Zareba, W.; Koutrakis, P.; Thevenet-Morrison, K.	2020	Reporte científico
Rotko, T.; Koistinen, K.; Hanninen, O.; Jantunen, M.	2000	Presenta valores ambientales provenientes de estación de monitoreo fuera de algún microambiente
Sahsuvaroglu, T.; Su, J. G.; Brook, J.; Burnett, R.; Loeb, M.; Jerrett, M.	2009	Presenta valores ambientales provenientes de estación de monitoreo fuera de algún microambiente
Sajani, S. Z.; Hanninen, O.; Marchesi, S.; Lauriola, P.	2011	Otro enfoque: <i>outdoor</i> ; presenta distintos enfoques de utilizar concentraciones de estaciones de monitoreo (promedio de todas en una región, promedio de macrozonas, etc) en relación con la mortalidad, no compara tipo de mediciones en específico
Santos-Burgoa, C.; Rojas-Bracho, L.; Rosas-Pérez, I.; Ramírez-Sánchez, A.; Sánchez-Rico, G.; Mejía-Hernández, S.	1998	Artículo completo no encontrado para su descarga
Sari, M. F.; Esen, F.; Del Aguila, D. A. C.; Karakus, P. B. K.	2020	Otro enfoque: <i>indoor/outdoor</i>
Sarnat, J. A.; Russell, A.; Liang, D.; Moutinho, J. L.; Golan, R.; Weber, R. J.; Gao, D.; Sarnat, S. E.; Chang, H. H.; Greenwald, R.; Yu, T.	2018	Reporte científico
Sarnat, J. A.; Wilson, W. E.; Strand, M.; Brook, J.; Wyzga, R.; Lumley, T.	2007	Review
Schembari, A.; Triguero-Mas, M.; de Nazelle, A.; Dadvand, P.; Vrijheid, M.; Cirach, M.; Martinez, D.; Figueras, F.; Querol, X.; Basagana, X.; Eeftens, M.; Meliefste, K.; Nieuwenhuijsen, M. J.	2013	Presenta valores ambientales provenientes de estación de monitoreo fuera de algún microambiente
Sheppard, L.	2005	Review
Sheppard, L.; Slaughter, J. C.; Schildcrout, J.; Liu, L. J. S.; Lumley, T.	2005	Modelo de exposición personal
Shi, Y.; Ho, H. C.; Xu, Y.; Ng, E.	2018	Otro enfoque: imágenes satelitales; utiliza imágenes satelitales, mejoran una metodología de detección de MP _{2.5} en base a imágenes satelitales, no comparan mediciones ambientales y personales
Shrestha, A.; Mullins, B.; Zhao, Y.; Selvey, L. A.; Rumchev, K.	2020	No concluyen con respecto a diferencias entre mediciones, valores de CP en gráfico, no se pueden extraer
Silva, A. V.; Oliveira, C. M.; Canha, N.; Miranda, A. I.; Almeida, S. M.	2020	Otro enfoque: evalúa la evolución temporal de la calidad de aire a través de 10 años, no compara tipo de medidas personal vs ambiental
Solomon, P. A.; Costantini, M.; Grahame, T. J.; Gerlofs-Nijland, M. E.; Cassee, F. R.; Russell, A. G.; Brook, J. R.; Hopke, P. K.; Hidy, G.; Phalen, R. F.; Saldiva, P.; Sarnat, S. E.; Balmes, J. R.; Tager, I. B.;	2012	Conferencia

Ozkaynak, H.; Vedal, S.; Wierman, S. S. G.		
Sorensen, M.; Daneshvar, B.; Hansen, M.; Dragsted, L. O.; Hertel, O.; Knudsen, L.; Loft, S.	2003	Posee los mismos datos de contaminantes que el otro <i>paper</i> de Sorensen et al. 2003
Steinle, S.; Reis, S.; Sabel, C. E.; Semple, S.; Twigg, M. M.; Braban, C. F.; Leeson, S. R.; Heal, M. R.; Harrison, D.; Lin, C.; Wu, H.	2015	Validan un instrumento <i>low cost</i> y predicen MP _{2.5} desde valores de PNC, miden con ese instrumento en distintos microambientes, pero no comparan extensamente con estación de monitoreo, solo presentan en un gráfico los datos de CA y CP y según este grafico CP predicha es mayor
Stranger, M.; Potgieter-Vermaak, S. S.; Van Grieken, R.	2008	Otro enfoque: <i>indoor/outdoor</i>
Suriano, D.; Cassano, G.; Penza, M.	2020	Otro enfoque: nuevo dispositivo con distintos sensores, evaluación de campo y instrumentos de referencia; monitor portable; nuevo dispositivo de medición
Topalovic, D. B.; Davidovic, M. D.; Jovanovic, M.; Bartonova, A.; Ristovski, Z.; Jovasevic-Stojanovic, M.	2019	Otro enfoque: utilizan un modelo para calibrar de mejor manera sensores de bajo costo en relación con instrumentos de referencia
Vallejo, M.; Ruiz, S.; Hermosillo, A. G.; Borja-Aburto, V. H.; Cardenas, M.	2006	No realiza monitoreo ambiental; no compara tipo de medidas
Visser, S.; Slowik, J. G.; Furger, M.; Zotter, P.; Bukowiecki, N.; Dressler, R.; Flechsig, U.; Appel, K.; Green, D. C.; Tremper, A. H.; Young, D. E.; Williams, P. I.; Allan, J. D.; Herndon, S. C.; Williams, L. R.; Mohr, C.; Xu, L.; Ng, N. L.; Detournay, A	2015	Otro enfoque: <i>outdoor</i> -microambiente
Wangchuk, T.; Mazaheri, M.; Clifford, S.; Dudzinska, M. R.; He, C. R.; Buonanno, G.; Morawska, L.	2015	No realiza monitoreo ambiental; no compara tipo de medidas
Weisel, C. P.; Zhang, J.; Turpin, B. J.; Morandi, M. T.; Colome, S.; Stock, T. H.; Spektor, D. M.; Korn, L.; Winer, A. M.; Kwon, J.; Meng, Q. Y.; Zhang, L.; Harrington, R.; Liu, W.; Reff, A.; Lee, J. H.; Alimokhtari, S.; Mohan, K.; Shendell, D.; Jones, J.	2005	Reporte científico
Weisskopf, M. G.; Kioumourtoglou, M. A.; Roberts, A. L.	2015	Review
Wen, T. H.; Jiang, J. A.; Sun, C. H.; Juang, J. Y.; Lin, T. S.	2013	Presenta nuevo dispositivo de medición
Wilson, J. G.; Kingham, S.; Pearce, J.; Sturman, A. P.	2005	Review
Wu, J.; Lurmann, F.; Winer, A.; Lu, R.; Turco, R.; Funk, T.	2005	No realiza monitoreo personal; utiliza modelo como aproximación a la exposición personal
Zauli Sajani, S.; Hänninen, O.; Marchesi, S.; Lauriola, P.	2011	Compara enfoques para exposición, pero siempre usando medidas ambientales, para ver cual de esas tiene menos error
Zhang, J. J.; Liou, P. J.	2002	Review
Zhu, X. L.; Fan, Z. H.; Wu, X. M.; Meng, Q. Y.; Wang, S. W.; Tang, X. G.; Ohman-Strickland, P.; Georgopoulos, P.; Zhang, J. F.; Bonanno, L.; Held, J.; Liou, P.	2008	Otro enfoque: <i>outdoor</i> -microambiente; realiza mediciones en microambientes <i>outdoor</i> , utiliza varios muestreadores

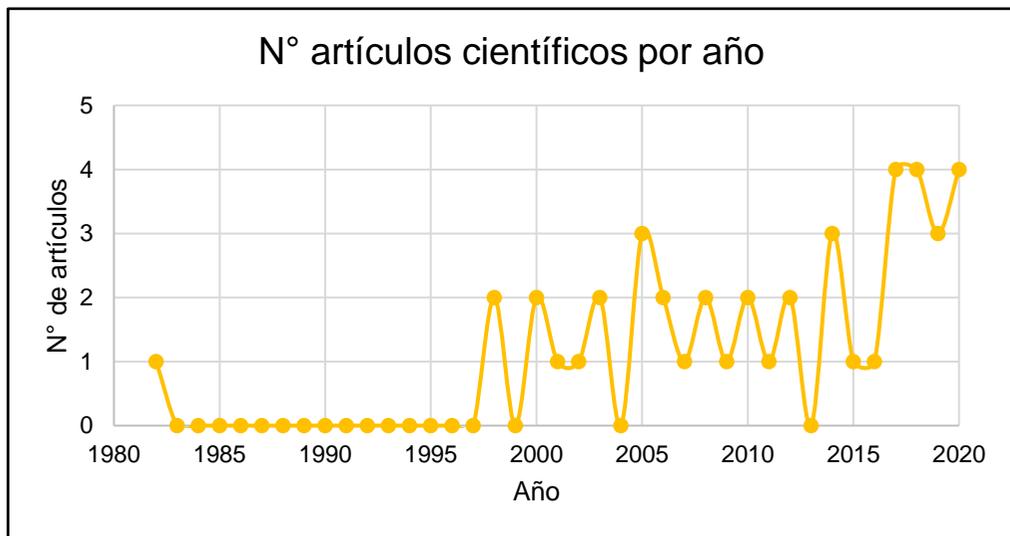
Anexo 11: Razón de exclusión de artículos científicos del objetivo específico 2

Autor	Año	Razón exclusión
Sin autor	2011	no es un artículo científico
L. Calderon-Garciduenas, R. Villarreal-Calderon, G. Valencia-Salazar, C. Henriquez-Roldan, P. Gutierrez-Castrellon, R. Coria-Jimenez, N. Osnaya-Brizuela, L. Romero, R. Torres-Jardon, A. Solt and W. Reed	2008	estudio no realizado en Chile
W. Choi, D. Ranasinghe, K. Bunavage, J. R. DeShazo, L. S. Wu, R. Seguel, A. M. Winer and S. E. Paulson	2016	estudio no realizado en Chile
A. de Nazelle, M. J. Nieuwenhuijsen, J. M. Anto, M. Brauer, D. Briggs, C. Braun-Fahrlander, N. Cavill, A. R. Cooper, H. Desqueyroux, S. Fruin, G. Hoek, L. I. Panis, N. Janssen, M. Jerrett, M. Joffe, Z. J. Andersen, E. van Kempen, S. Kingham, N. Kubesch, K. M. Leyden, J. D. Marshall, J. Matamala, G. Mellios, M. Mendez, H. Nassif, D. Ogilvie, R. Peiro, K. Perez, A. Rabl, M. Ragetti, D. Rodriguez, D. Rojas, P. Ruiz, J. F. Sallis, J. Terwoert, J. F. Toussaint, J. Tuomisto, M. Zurbier and E. Lebret	2011	Review
K. Pozo, S. K. Sarkar, V. H. Estellano, S. Mitra, O. Audi, P. Kukucka, P. Pribylova, J. Klanova and S. Corsolini	2017	estudio no realizado en Chile
A. Villarreal-Calderon, H. Acuna, J. Villarreal-Calderon, M. Garduno, C. F. Henriquez-Roldan, L. Calderon-Garciduenas and G. Valencia-Salazar	2002	estudio no realizado en Chile

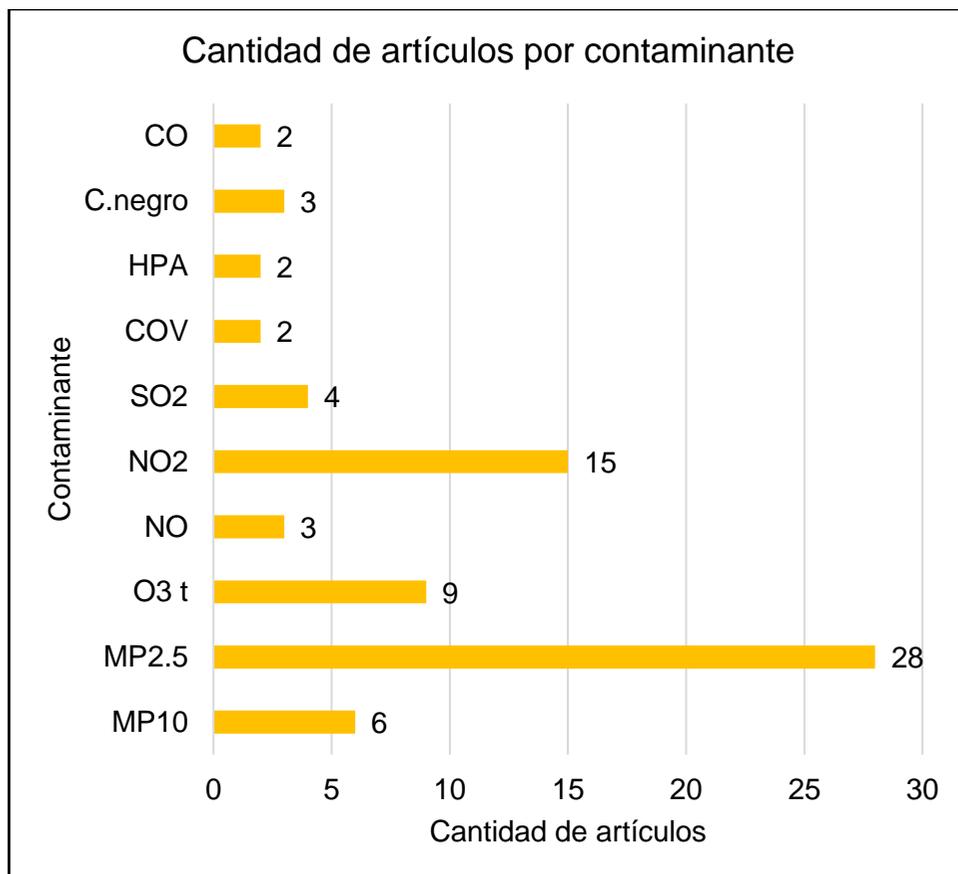
Anexo 12: Metodología del análisis bibliométrico revisado

La bibliometría es una herramienta importante para evaluar y analizar el resultado de la investigación académica y permite determinar información importante del conjunto de artículos analizados; por lo tanto, es clave incluir un análisis bibliométrico en las revisiones bibliográficas realizadas. Es por esto que, en primer lugar, se realizó un análisis bibliométrico de los 43 artículos científicos finales, para lo cual se obtuvo el país, año de publicación (**Anexo 13**), tipo de contaminantes (**Anexo 14**), continente (**Anexo 15**), población (**Anexo 16**), duración del estudio (**Anexo 17**) y duración de medición de los contaminantes (**Anexo 18**). Esta información fue graficada utilizando el *software* Microsoft Excel. Además, a cada artículo se le asignaron palabras clave propias para poder conocer información específica de cada uno. Estas palabras clave fueron esquematizadas utilizando el *software* VOSviewer. Para esto se reemplazaron las palabras clave de los autores por las palabras clave asignadas a cada uno de los 42 artículos manualmente en el archivo de texto de la referencia y se cargaron en el *software* siguiendo las instrucciones del autor (Jan van Eck & Waltman, 2021). Se realizó un análisis de co-ocurrencia (**Anexo 19** y **Anexo 20**) de las palabras clave asignadas para obtener un esquema final. Un análisis de co-ocurrencia o apariciones conjuntas, de dos términos en un texto dado tiene el objetivo de identificar la estructura conceptual y temática de un dominio científico. En el proceso de análisis, una vez seleccionados los términos que se van a analizar, se construyen matrices de co-ocurrencias, con las que se calculan medidas de similitud. Las medidas de similitud sirven como *input* a diferentes clases de análisis multivariante, tales como análisis de agrupamiento (*clustering*) (Gálvez Martínez & others, 2018).

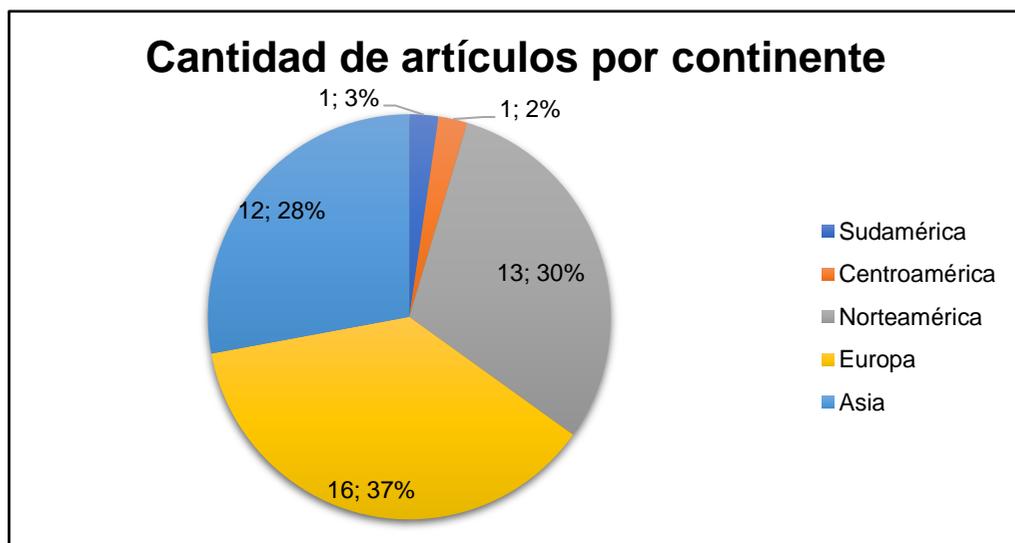
Anexo 13: Cantidad de artículos científicos por año de publicación. Con respecto a los 43 artículos finales, estos fueron publicados en distintos períodos de tiempo, como se muestra a continuación, existiendo una mayor cantidad de artículos publicados desde el año 2000, con un máximo en el año 2017, 2018 y parte del 2020 con 4 artículos para cada año.



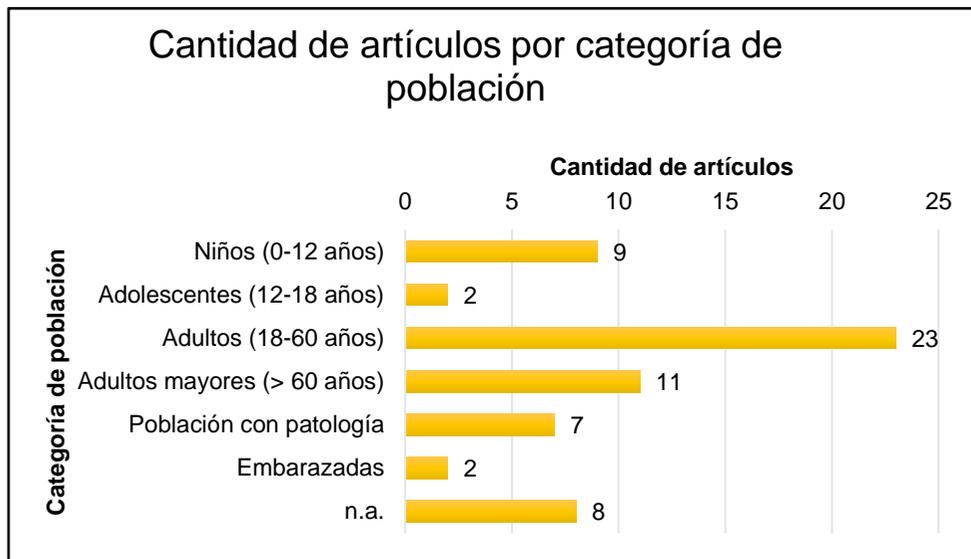
Anexo 14: Cantidad de artículos científicos por tipo de contaminante. Los 43 artículos analizados, se clasificaron dependiendo de que contaminante estudiaba. Como se puede observar en el gráfico que se muestra a continuación, MP_{2.5}, seguido los gases NO₂ y O_{3t} fueron los contaminantes más estudiados en el grupo de artículos analizado.



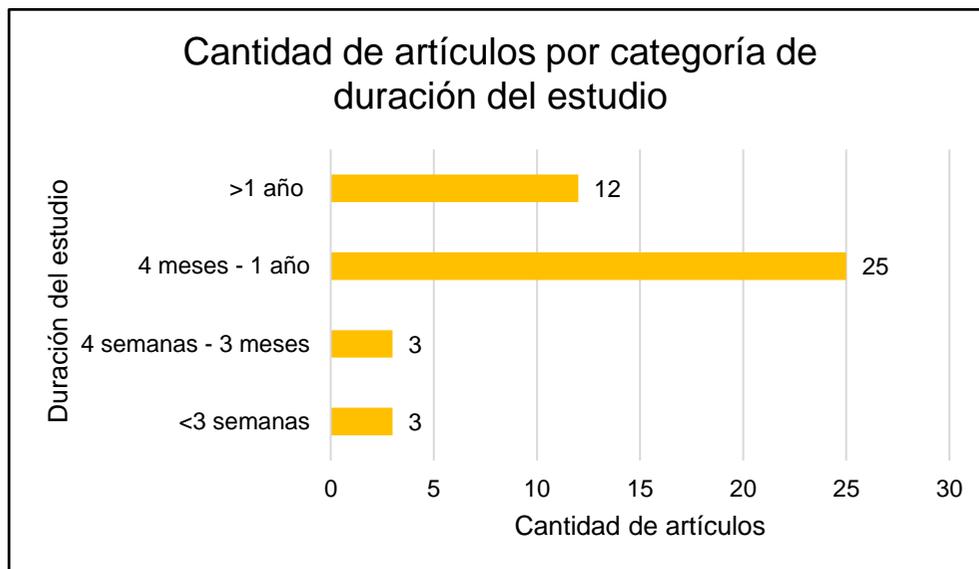
Anexo 15: Cantidad de artículos por continente. Con respecto a la escala espacial de los artículos analizados, Europa, Asia y Norteamérica son los continentes con mayor cantidad de artículos, con 16, 12 y 13 artículos totales respectivamente, como se muestra en el gráfico siguiente, aquí se destaca la baja cantidad de artículos para Centro y Sudamérica, con solo 1 cada uno, muy por debajo de los otros continentes, además que, para África, no se encontró ningún artículo.



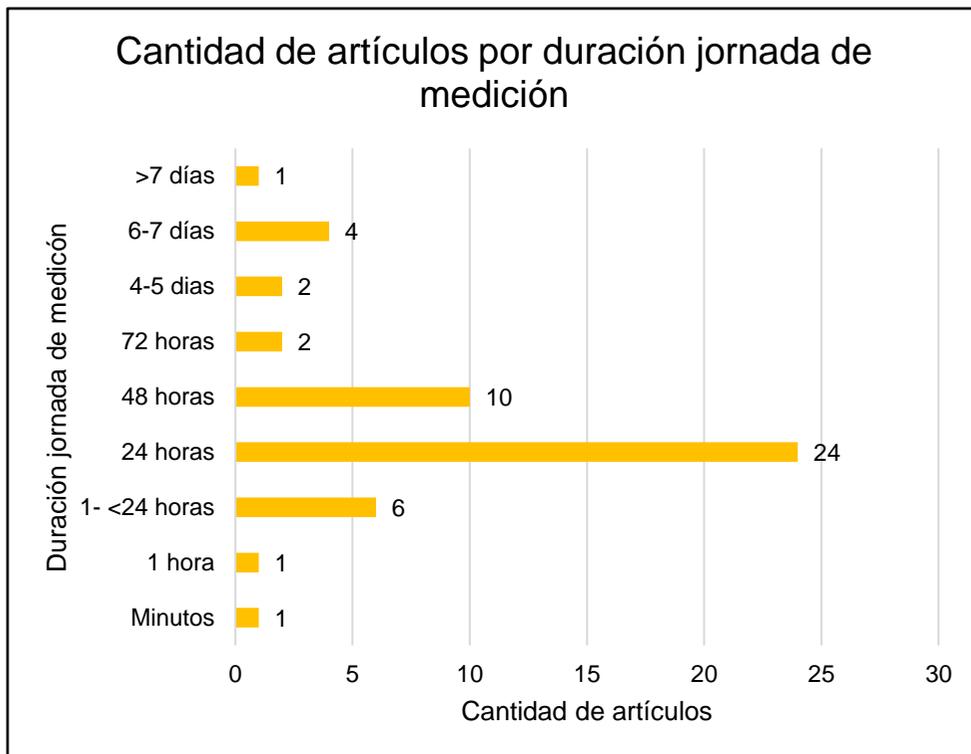
Anexo 16: Cantidad de artículos por categoría de población. Se muestran las categorías de población que participaron en estos estudios, los cuales fueron en su mayoría adultos y adultos mayores de 60 años.



Anexo 17: Cantidad de artículos por categoría de duración del estudio. Con respecto a la duración del estudio publicado, una mayor cantidad de artículos tuvieron una duración total de entre 3 meses a 1 año.



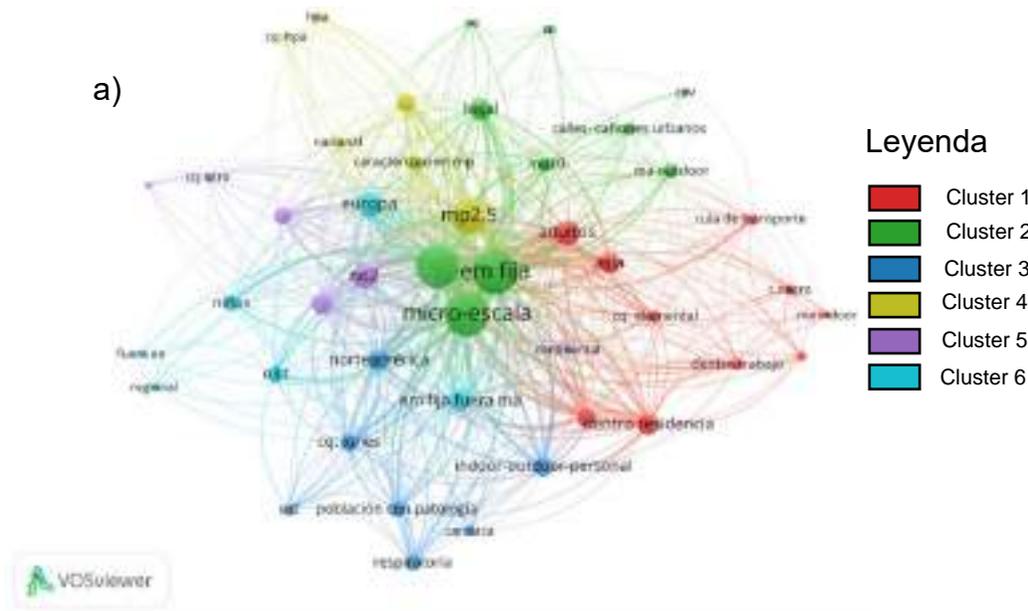
Anexo 18: Cantidad de artículos por duración jornada de medición. Con respecto al tiempo promedio de medición del contaminante, estas fueron en su mayoría de 24 horas de duración o mayores, con una pequeña cantidad de artículos con escalas temporales menores a 1 hora. De los 43 artículos analizados, solo 1 artículo realizó mediciones de 1 hora, y 1 artículo de una escala temporal de minutos.



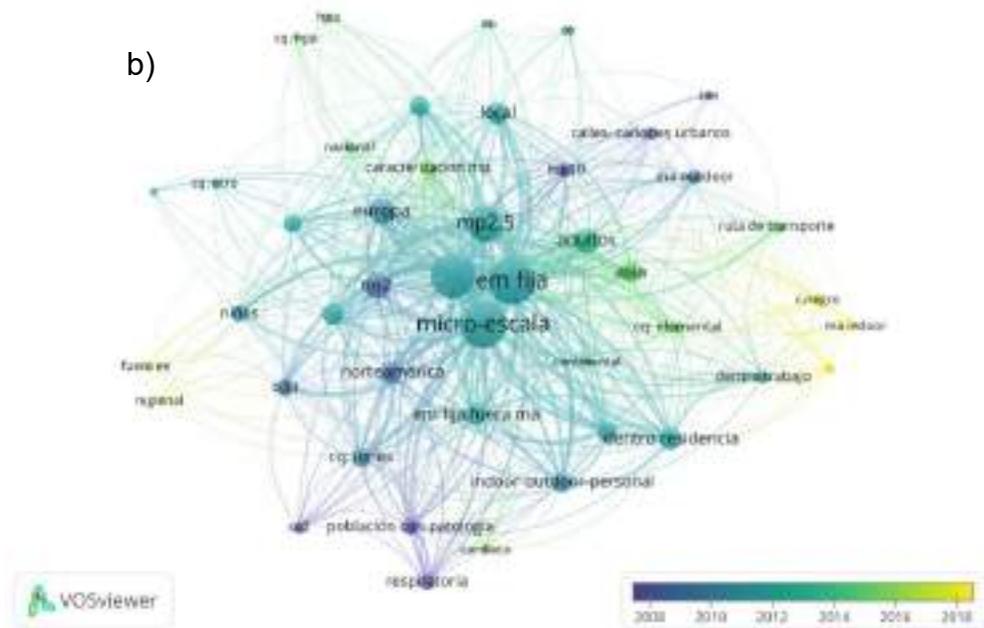
Anexo 19: Análisis de co-ocurrencia. A los artículos científicos se les asignaron palabras clave los cuales fueron esquematizados, realizando un diagrama de co-ocurrencia mostrado a continuación en donde puede observar cómo algunas palabras fueron asignadas a todos los artículos, lo que es esperable porque la búsqueda fue acotada a estudios que incluían monitoreo en estaciones fijas de CA y monitoreo de CP lo que corresponde a una microescala de medición. También se observan las palabras con distintos números de ocurrencia se van relacionando en distintos *clusters* señalados con colores (a) en donde algunos tipos de palabras fueron asignadas a *clusters* diferentes, como por ejemplo el continente y el grupo demográfico (en el *cluster* 1: Asia y adultos, *cluster* 3: Norteamérica y población con patología, *cluster* 4: adultos mayores, *cluster* 5 embarazadas y *cluster* 6: Europa y niños). También se observa (b) la distribución temporal de las palabras de los artículos, en donde se pueden ver en publicaciones más actuales a las palabras carbono negro, microambiente (MA) *indoor* y dentro de transporte. Como proyección a futuro, es una metodología plausible de estudio el análisis de los artículos agrupados en estos *clusters*, que poseen temáticas similares de acuerdo al análisis de co-ocurrencia, en relación con la obtención de conclusiones específicas para distintas poblaciones

demográficas, año de publicación u otras características. En el Anexo 20 se muestran las palabras de cada *cluster* y el significado de las siglas utilizadas. .

a)



b)



Fuente: Elaboración propia utilizando VosViewer

Anexo 20: *Clusters* obtenidos en el análisis de co-ocurrencia y palabras incluidas en cada uno. MA: microambiente, EM: estación de monitoreo, EE: establecimiento educacional, cq: caracterización química.

45 ítems (6 clusters) (al menos 2 repeticiones)		
<p><i>Cluster 1</i> (10 ítems) adultos Asia c.negro cq: elemental dentro residencia dentro trabajo dentro transporte fuera residencia MA indoor ruta de transporte</p>	<p><i>Cluster 2</i> (10 ítems) calles - cañones urbanos CO COV CP y CA EM fija local MA outdoor micro-escala MP₁₀ NO</p>	<p><i>Cluster 3</i> (7 ítems) cardiaca cq: iones indoor-outdoor-personal Norteamérica población con patología respiratoria SO₂</p>
<p><i>Cluster 4</i> (6 ítems) Adultos mayores caracterización MP cq: HAP HAP MP_{2.5} nacional</p>	<p><i>Cluster 5</i> (6 ítems) cf: reflectancia-absorbancia continental cp: otro embarazadas modelos determinantes de exposición NO₂</p>	<p><i>Cluster 6</i> (6 ítems) EM fija fuera MA Europa fuera EE niños O_{3t} regional</p>

Anexo 21: Datos utilizados para elaborar el gráfico de CP y CA para MP₁₀ y sus características. Los datos de CA y CP corresponden a promedios aritméticos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y desviación estándar (DE) a menos que se indique lo contrario. n CA y n CP corresponden al número de mediciones realizadas para cada CA y CP. nd: información no disponible en el artículo científico.

País, ciudad	Autor, año	Población	Tiempo promedio (h)	Cantidad de participantes	Año cuando se realizó el estudio	n CP	CP	DE CP	n CA	CA	DE CA	Observación
Ho Chi Minh, Vietnam	Mehta, et al. 2014	Bebes, Niños	24	71	2007-2008	466	103,6	171,8	1192	87,7	76,1	valor p: 0,009; p<0,05 CP ≠ CA
Sin-Chung City, Taiwan	Tang, et al. 2007	Niños, Patología	1	30	2003-2005	3639	51,8	39,5	3934	48,4	26,5	valor p: 9,6 E-06; p<0,05 CP ≠ CA
Amsterdam, Países Bajos	Janssen, et al. 1998	Adultos, Adultos Mayores	24	37	1994	262	61,7	18,3	285	41,5	4,3	valor p: 1,09E-57; p<0,05 CP ≠ CA
Paris, Francia	Nerriere, et al. 2005	Adultos	48	70	2001-2003	167	44,8	56,6	167	22,0	31,3	valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 7,1E-06; p<0,05 CP ≠ CA
Grenoble, Francia	Nerriere, et al. 2005	Adultos	48	70	2001-2003	78	34,5	33,1	78	27,8	20,6	valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 0,13; p>0,05 CP = CA

Rouen, Francia	Nerriere, et al. 2005	Adultos	48	70	2001- 2003	107	48,4	77,1	107	20, 8	25, 7	valor calculado: promedio ponderad o y DE combinad a; valor p: 0,0005; p<0,05 CP ≠ CA
Strasbourg, Francia	Nerriere, et al. 2005	Adultos	48	70	2001- 2003	120	68,5	88,7	120	26, 1	41, 2	valor calculado: promedio ponderad o y DE combinad a; valor p: 3,5E-06 ; p<0,05 CP ≠ CA
Padova, Italia	Scapella to, et al. 2009	Adultos , Patolog ía	24	31	2004- 2006	155	94,0	129, 8	155	60, 4	56, 7	valor calculado: promedio ponderad o y DE combinad a; valor p: 0,003; p<0,05 CP ≠ CA
Bologna, Italia	Violante, et al. 2006	Adultos	24	176	2000- 2001	371	185, 1	38,5	nd	43, 6	24, 1	análisis estadístic o no disponible

Anexo 22: Datos utilizados para elaborar el gráfico de CP y CA para MP_{2.5} y sus características. Los datos de CA y CP corresponden a promedios aritméticos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y desviación estándar (DE) a menos que se indique lo contrario. n CA y n CP corresponden al número de mediciones realizadas para cada CA y CP. nd: información no disponible en el artículo científico

País, ciudad	Autor, año	Población	Tiempo promedio (h)	Cantidad de participantes	Año del estudio	n CP	CP	DE CP	n CA	CA	DE CA	Observación
Shangai, China	Chen, et al. 2018	Adultos,	24	36	2014-2015	417	39,9	32,1	429	59,0	42,0	valor p: $2,9\text{E}-13$; $p < 0,05$ CP \neq CA
Beijing, China	Du, et al. 2010	Niños, Adultos,	24	70	2006-2007	114	102,5	68,4	13	118,5	95,0	valor p: 0,45; $p > 0,05$ CP = CA
Guangzhou, China	Hu, et al. 2018	Adultos, otro, respiratoria, cardiaca	8	30	2016	nd	65,1	22,2	nd	40,8	8,6	análisis estadístico no disponible
Shangai, China (2)	Lei, et al. 2020	Adultos,	72	36	2014-2015	36	45,7	31,6	nd	65,3	37,9	análisis estadístico no disponible
Ho Chi Minh, Vietnam	Mehta, et al. 2014	Bebes, Niños,	24	66	2007-2008	466	64,7	63,8	592	45,3	28,1	valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: $5,37\text{E}-11$; $p < 0,05$ CP \neq CA
New Delhi, India	Pant, et al. 2017	Adultos,	1	18	2014-2016	18	197,3	267,2	9966	141,2	258,5	valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 0,36; $p > 0,05$ CP = CA
Sin-Chung City, Taiwan	Tang, et al. 2007	Niños, Patología, respiratoria	1	30	2003-2005	3639	34,0	28,9	3934	31,4	18,8	valor p: $3,0\text{E}-06$; $p < 0,05$ CP \neq CA

London, Inglaterra	Kaur, et al. 2005	nd	1	11	2004	155	37,7	16,4	155	22,1	7,7	valor p: 5,38E-23; p<0,05 CP ≠ CA
Helsinki, Finlandia	Montagne, et al. 2014	nd	96	45	2010-2011	15	5,2	nd	15	6,9	nd	análisis estadístico no disponible
Utrecht, Países Bajos	Montagne, et al. 2014	nd	96	45	2010-2011	15	10,9	nd	15	11,4	nd	análisis estadístico no disponible
Barcelona, España	Montagne, et al. 2014	nd	96	45	2010-2011	15	19,4	nd	15	16,1	nd	análisis estadístico no disponible
Paris, Francia	Nerriere, et al. 2005	Adultos,	48	70	2001-2003	167	23,6	29,8	167	14,2	22,2	valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 0,001; p<0,05 CP ≠ CA
Grenoble, Francia	Nerriere, et al. 2005	Adultos,	48	70	2001-2003	78	23,6	25,5	78	19,6	15,9	valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 0,25; p>0,05 CP = CA
Rouen, Francia	Nerriere, et al. 2005	Adultos,	48	70	2001-2003	107	28,1	55,7	107	14,0	19,9	valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 0,015; p<0,05 CP ≠ CA
Strasbourg, Francia	Nerriere, et al. 2005	Adultos,	49	70	2001-2003	120	56,1	72,7	120	17,1	28,1	valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 1,14E-07; p<0,05 CP ≠ CA
Helsinki, Finlandia	Rotko, et al. 2002	Adultos,	48	nd	1996-1998	201	15,1	nd	nd	9,9	nd	análisis estadístico no disponible
Basel, Suiza	Rotko, et al. 2002	Adultos,	48	nd	1996-1998	50	27,8	nd	nd	21,9	nd	análisis estadístico

													no disponible
Kuopio, Finlandia	Siponen, et al. 2019	Adultos Mayores,	24	37	2008-2009	153	4,3	5,3	113	4,8	3,7		valor p: 0,39; p>0,05 CP = CA
Copenhagen, Dinamarca	Sorensen, et al. 2003	Adultos,	48	50	1999-2000	180	16,1	nd	157	9,2	nd		análisis estadístico no disponible
Vancouver, Canadá	Ebelt, et al. 2000	Adultos, Adultos mayores, Patología, respiratoria	24	16	1998	106	18,2	14,6	90	11,4	4,1		promedio aritmético + DE; valor p: 2,98E-05; p<0,05 CP ≠ CA
Varias ciudades, USA	Miller, et al. 2019	Adultos, Adultos Mayores, Patología, cardiaca	2 semanas	60	2005-2008	91	11,8	6,1	nd	13,4	5,1		análisis estadístico no disponible
Vancouver, Canadá (2)	Nethery, et al. 2008	Adultos, Embarazadas,	48	62	2005-2006	124	11,3	6,6	nd	5,3	2,8		análisis estadístico no disponible
Boston, USA	Sarnat, et al. 2005	Niños,	24	43	1999-2000	591	21,3	31,3	74	13,5	19,0		valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 0,037; p<0,05 CP ≠ CA
Steubenville, USA	Sarnat, et al. 2006	Adultos Mayores,	24	10	2000	373	20,0	14,9	137	19,7	15,3		valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 0,83; p>0,05 CP = CA
Atlanta, USA	Suh, et al. 2010	n.a., Patología, cardiaca, respiratoria	24	30	0	282	15,8	8,8	264	17,7	7,2		valor p: 0,0056; p<0,05 CP ≠ CA

Anexo 23: Datos utilizados para elaborar el gráfico de CP y CA para MP_{2.5}ABS y sus características. Los datos de CA y CP corresponden a promedios aritméticos ($m^{-1} \times 10^{-5}$) y desviación estándar (DE) a menos que se indique lo contrario. n CA y n CP corresponden al número de mediciones realizadas para cada CA y CP. nd: información no disponible en el artículo científico.

Autor, año	País, ciudad	Población	Tiempo de medición	Cantidad de participantes	Año del estudio	n CP	CP	DE CP	n CA	CA	DE CA	Observación
Mehta, et al. 2014	Ho Chi Minh, Vietnam	Bebes, Niños	24 horas	68	2007-2008	467	5,49	4,21	1158	5,17	3,61	valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 0,13; p>0,05 CP = CA
Montagne, et al. 2014 (1)	Helsinki, Finlandia	nd	96 horas	45	2010-2011	15	0,70	nd	15	0,70	nd	análisis estadístico no disponible
Montagne, et al. 2014 (2)	Utrecht, Países Bajos	nd	96 horas	45	2010-2011	15	1,00	nd	15	0,90	nd	análisis estadístico no disponible
Montagne, et al. 2014 (3)	Barcelona, España	nd	96 horas	45	2010-2011	15	2,20	nd	15	1,70	nd	análisis estadístico no disponible
Siponen, et al. 2019	Kuopio, Finlandia	Adultos Mayores	24 horas	37	2008-2009	155	0,30	0,30	114	0,30	0,30	valor p: 1; p>0,05 CP = CA

Anexo 24: Datos utilizados para elaborar el gráfico de CP y CA para MP_{2.5} SO₄² y sus características. Los datos de CA y CP corresponden a promedios aritméticos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y desviación estándar (DE) a menos que se estipule lo contrario. n CA y n CP corresponden al número de mediciones realizadas para cada CA y CP.

Autor, año	País, ciudad	Población	Tiempo de medición (h)	Cantidad de participantes	Año del estudio	n CP	CP	DE CP	n CA	CA	DE CA	Observación
Ebelt, et al. 2000	Vancouver, Canada	Adultos, Adultos mayores, Patología	24	16	1998	106	1,5	0,9	90	1,9	0,9	promedio aritmético + DE; valor p: 0,002; p<0,05 CP ≠ CA
Sarnat, et al. 2005	Boston, USA	Adultos Mayores	24	43	1999-2000	627	3,3	8,1	69	4,3	8,4	valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 0,33; p>0,05 CP = CA
Sarnat, et al. 2006	Steubenville, USA	Adultos Mayores	24	10	2000	353	5,1	5,3	133	2,6	6,7	valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 2,2E-05; p<0,05 CP ≠ CA

Anexo 25: Datos utilizados para elaborar el gráfico de CP y CA para MP_{2.5} carbono negro y sus características. Los datos de CA y CP corresponden a promedios aritméticos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y desviación estándar (DE) a menos que se estipule lo contrario. n CA y n CP corresponden al número de mediciones realizadas para cada CA y CP.

Autor, año	País, ciudad	Población	Tiempo de medición	Cantidad de participantes	Año del estudio	n CP	CP	DE CP	n CA	CA	DE CA	Observación
Chen, et al. 2018	Shangai, China	Adultos	72 horas	36	2014-2015	130	6,1	2,8	137	3,3	2,3	valor p: 6,45E-17; p<0,05 CP ≠ CA
Du, et al. 2010	Beijing, China	Niños, Adultos	24 horas	71	2006-2007	114	14,7	6,8	130	11,0	4,7	valor p: 0,06; p>0,05 CP = CA
Pant, et al. 2017	New Delhi, India	Adultos	1 hora	18	2014-2016	30	7,5	17,7	253	6,2	10,6	valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 0,52; p>0,05 CP = CA
Zhou, et al. 2020	Jinan, China	Adultos Mayores	24 horas	67	2018-2019	1364	44,1	3,5	86	4,6	4,1	valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 0,23; p>0,05 CP = CA

Anexo 26: Datos utilizados para elaborar el gráfico de CP y CA para MP_{2.5} carbono elemental y sus características. Los datos de CA y CP corresponden a promedios aritméticos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y desviación estándar (DE) a menos que se estipule lo contrario. n CA y n CP corresponden al número de mediciones realizadas para cada CA y CP.

Autor, año	País, ciudad	Población	Tiempo de medición	Cantidad de participantes	Año del estudio	n CP	C P	DE CP	n CA	C A	DE CA	Observaciones
Chen, et al. 2017	Guangzhou, China	Adultos	24	11	2011	84	7,5	5,8	76	6,2	4,4	valor p: 0,12; $p > 0,05$ CP = CA
Sarnat, et al. 2006	Steubenville, USA	Adultos Mayores	24	10	2000	363	1,2	0,9	127	1,1	0,9	valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 0,56; $p > 0,05$ CP = CA
Suh, et al. 2010	Atlanta, USA	n.a., Patología	24	31	nd	283	1,6	0,7	253	2,0	1,3	valor p: 9,44E-07; $p < 0,05$ CP \neq CA

Anexo 27: Datos utilizados para elaborar el gráfico de CP y CA para COVs y sus características. Los datos de CA y CP corresponden a promedios aritméticos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y desviación estándar (DE) a menos que se estipule lo contrario. n CA y n CP corresponden al número de mediciones realizadas para cada CA y CP.

Contaminante	Autor, año	País, ciudad	Población	Tiempo de medición (h)	n CP	CP	DE CP	n CA	CA	DE CA	Observación
Benceno (COVs) (1)	Violante, et al. 2006	Bologna, Italia	Adultos	24	176	17,27	6,30	nd	4,94	1,71	No aplica análisis estadístico
Benceno (COVs) (2)	Wu, et al. 2012 (1)	Camden, USA		24	340	2,63	3,03	172	0,71	3,72	Valor calculado: promedio y desviación estándar geométrica ponderada; valor p: 8,2E-10; p<0,05 CP ≠ CA
Carbon tetrachloride (COVs)					303	0,48	1,87	124	0,21	1,72	Valor calculado: promedio y desviación estándar geométrica ponderada; valor p: 0,17; p>0,05 CP = CA
Cloroformo (COVs)					303	0,59	4,96	124	0,06	3,09	Valor calculado: promedio y desviación estándar geométrica ponderada; valor p: 0,26; p>0,05 CP = CA
Estireno (COVs)					365	0,20	3,60	185	0,06	2,91	Valor calculado: promedio y desviación estándar geométrica ponderada; valor p: 0,62; p>0,05 CP = CA
Etilbenceno (COVs)					365	0,93	3,48	185	0,19	3,02	Valor calculado: promedio y desviación estándar

											geométrica ponderada; valor p: 0,014; p<0,05 CP ≠ CA
Hexano (COVs)					320	4,08	9,79	162	1,40	10,59	Valor calculado: promedio y desviación estándar geométrica ponderada; valor p: 0,006; p<0,05 CP ≠ CA
m/p- xylene (COVs)					365	2,62	3,59	185	0,55	3,15	Valor calculado: promedio y desviación estándar geométrica ponderada; valor p: 6,66E-11; p<0,05 CP ≠ CA
MTBE (COVs)					365	2,37	4,37	185	0,74	3,98	Valor calculado: promedio y desviación estándar geométrica ponderada; valor p: 2,4E-05; p<0,05 CP ≠ CA
o-xylene (COVs)					365	0,85	3,45	185	0,19	3,09	Valor calculado: promedio y desviación estándar geométrica ponderada; valor p: 0,03; p<0,05 CP ≠ CA
Tolueno (COVs)					365	5,67	3,71	185	1,07	3,76	Valor calculado: promedio y desviación estándar geométrica ponderada; valor p: 6,32E-37; p<0,05 CP ≠ CA

Anexo 28: Datos utilizados para elaborar el gráfico de CP y CA para O_{3t} y sus características. Los datos de CA y CP corresponden a promedios aritméticos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y desviación estándar (DE) a menos que se estipule lo contrario. n CA y n CP corresponden al número de mediciones realizadas para cada CA y CP.

País, ciudad	Autor, año	Población	Tiempo de medición	Cantidad de participantes	Año del estudio	n CP	CP	DE CP	n CA	CA	DE CA	Observación
Atenas, Grecia	Dimakopoulou, et al. 2017 (1)	Niños	7 días	nd	2013-2014	395	9,9	13,0	6	58,4	33,6	valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 4,94E-17; p<0,05 CP ≠ CA
Thessaloniki, Grecia	Dimakopoulou, et al. 2017 (2)	Niños	7 días	nd	2013-2014	255	5,4	10,2	6	53,7	28,1	valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 1,6E-22; p<0,05 CP ≠ CA
Ciudad de Mexico, México	O'Neill, et al. 2003	n.a.	6,4 horas	39	1996	107	67,5	43,8	107	164,9	48,7	valor p: 2,3E-36; p<0,05 CP ≠ CA
Boston, USA	Sarnat, et al. 2005	Niños	24 horas	43	1999-2000	619	7,6	6,7	126	39,3	15,2	valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 3,7E-172; p<0,05 CP ≠ CA
Steubenville, USA	Sarnat, et al. 2006	Adultos Mayores	24 horas	10	2000	409	8,9	13,4	134	43,5	30,7	valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 8,08E-58; p<0,05 CP ≠ CA
Atlanta, USA	Suh, et al. 2010	n.a., Patología	24 horas	30	nd	282	5,0	6,0	250	57,7	20,4	valor p: 2,14E-168; p<0,05 CP ≠ CA

Anexo 29: Datos utilizados para elaborar el gráfico de CP y CA para NO₂ y sus características. Los datos de CA y CP corresponden a promedios aritméticos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y desviación estándar (DE) a menos que se estipule lo contrario. n CA y n CP corresponden al número de mediciones realizadas para cada CA y CP. nd: dato no disponible.

País, ciudad	Autor, año	Población	Tiempo de medición	Año del estudio	Cantidad de participantes	n CP	CP	DE CP	n CA	CA	DE CA	Observación
Mumbai, India	Kulkarni, et al. 1998	nd	48 horas	1996	43	21	82,94	43,77	nd	42,34	27,78	análisis estadístico no disponible
Ho Chi Minh, Vietnam	Mehta, et al. 2014	Niños	24 horas	2007-2008	64	452	33,69	27,69	669	33,10	25,10	valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 0,71; $p > 0,05$ CP = CA
Manchester, Inglaterra	Molter, et al. 2012	Niños	24 horas	2008-2009	60	46	20,40	7,90	46	28,60	15,00	valor p: 0,0014; $p < 0,05$ CP \neq CA
Helsinki, Finlandia	Montagne, et al. 2014 (1)	nd	96 horas	2010-2011	45	15	16,20	nd	15	23,60	nd	análisis estadístico no disponible
Utrecht, Países Bajos	Montagne, et al. 2014 (2)	nd	96 horas	2010-2011	45	15	24,30	nd	15	22,70	nd	análisis estadístico no disponible
Barcelona, España	Montagne, et al. 2014 (3)	nd	96 horas	2010-2011	45	15	49,00	nd	15	50,70	nd	análisis estadístico no disponible
Paris, Francia	Nerriere, et al. 2005 (1)	Adultos, Niños	48 horas	2001-2003	70	168	34,39	43,95	168	38,16	46,07	valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 0,44; $p > 0,05$ CP = CA
Grenoble, Francia	Nerriere, et al. 2005 (2)	Adultos, Niños	48 horas	2001-2003	70	114	26,69	33,06	114	40,94	37,16	valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 0,0025; $p < 0,05$ CP \neq CA
Rouen, Francia	Nerriere, et al. 2005 (3)	Adultos, Niños	48 horas	2001-2003	70	107	27,13	50,37	107	29,86	28,72	valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 0,62; $p > 0,05$ CP = CA
Strasbourg, Francia	Nerriere, et al. 2005 (4)	Adultos, Niños	48 horas	2001-2003	70	120	32,61	40,50	120	51,02	38,53	valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p:

																	0,00038; p<0,05 CP ≠ CA
Vancouver, Canada	Nethery, et al. 2008	Adultos, Embarazo	48 horas	2005- 2006	62	12 7	35, 19	17,3 1	12 7	38, 01	10,16						valor p: 0,11; p>0,05 CP = CA
Grenoble, Francia	Ouidir, et al. 2015	Adultos, Embarazo	7 días	2012- 2013	10	27 74	23, 70	12,9 0	10 7	24, 37	16,60						valor p: 0,85; p>0,05 CP = CA
Helsinki, Finlandia	Rotko, et al. 2002 (1)	Adultos	48 horas	1996- 1998	nd	17 6	25, 00	nd	17 6	30, 20	nd						análisis estadístico no disponible
Basel, Suiza	Rotko, et al. 2002 (2)	Adultos	48 horas	1996- 1998	nd	50	33, 20	nd	50	29, 30	nd						análisis estadístico no disponible
Prague, Italia	Rotko, et al. 2002 (3)	Adultos	48 horas	1996- 1998	nd	50	44, 40	nd	50	42, 20	nd						análisis estadístico no disponible
Boston, USA	Sarnat, et al. 2005	Niños, Adultos Mayores	24 horas	1999- 2000	43	63 8	34, 99	44,3 7	375	49, 84	30,23						valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 0,0049; p<0,05 CP ≠ CA
Steubenville, USA	Sarnat, et al. 2006	Adultos Mayores	24 horas	2000	10	41 1	20, 92	16,1 0	113 3	19, 68	17,93						valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 0,45; p>0,05 CP = CA
Milan, Italia	Scheers, et al. 2018 (1)	Adultos Mayores	5 días	nd	20	20	63, 70	4,70	20	46, 30	0,90						promedio aritmético + DE; valor p: 1,05E- 18; p<0,05 CP ≠ CA
Vindein, Suecia	Scheers, et al. 2018 (2)	Adultos Mayores	5 días	nd	20	20	4,4 0	0,40	20	11, 20	0,30						promedio aritmético + DE; valor p: 1,77E- 39; p<0,05 CP ≠ CA
Leuven, Belgica	Scheers, et al. 2018	Adultos Mayores	5 días	nd	20	14 0	21, 91	16,8 3	14 0	22, 09	15,78						valor calculado: promedio ponderado y DE combinada; valor p: 0,93; p>0,05 CP = CA
Atlanta, USA	Suh, et al. 2010	n.a., Patología	24 horas	nd	30	27 7	21, 83	22,0 1	22 4	32, 23	13,11						valor p: 9,63E- 10; p<0,05 CP ≠ CA

Anexo 30: Datos utilizados para elaborar el gráfico de CP y CA para NO y sus características. Los datos de CA y CP corresponden a promedios aritméticos (ppb) y desviación estándar (DE) a menos que se estipule lo contrario. n CA y n CP corresponden al número de mediciones realizadas para cada CA y CP. nd: dato no disponible.

Pais, ciudad	Autor, año	Población	Tiempo de medición	Año del estudio	Cantidad de participantes	n CP	CP	DE CP	n CA	CA	DE CA	Observación
Vancouver, Canada	Nethery, et al. 2008	Adultos, Embarazo	48 horas	2005-2006	62	127	48,5	50,5	127	20,9	24,2	valor p: 7,068E-08; p<0,05 CP ≠ CA

Anexo 31: Datos utilizados para elaborar el gráfico de CP y CA para SO₂ y sus características. Los datos de CA y CP corresponden a promedios aritméticos (ppb) y desviación estándar (DE) a menos que se estipule lo contrario. n CA y n CP corresponden al número de mediciones realizadas para cada CA y CP. nd: dato no disponible.

País, ciudad	Autor, año	Población	Tiempo de medición	Año del estudio	Cantidad de participantes	n CP	CP	DE CP	n CA	CA	DE CA	Observación
Boston, USA	Sarnat, et al. 2005	Niños	24 horas	1999-2000	43	633	0,58	4,21	75	5,80	1,93	calculo: promedio ponderado; valor p: 1,62E-24; p<0,05 CP ≠ CA
Steubenville, USA	Sarnat, et al. 2006	Adultos Mayores	24 horas	2000	10	413	1,06	3,81	134	4,13	6,92	calculo: promedio ponderado; valor p: 1,89E-10; p<0,05 CP ≠ CA

Anexo 32: Datos utilizados para elaborar el gráfico de CP y CA para CO y sus características. Los datos de CA y CP corresponden a promedios aritméticos (ppm) y desviación estándar (DE) a menos que se estipule lo contrario. n CA y n CP corresponden al número de mediciones realizadas para cada CA y CP. nd: dato no disponible.

País, ciudad	Autor, año	Tiempo de medición	Año del estudio	Cantidad de participantes	n CP	CP	DE CP	n CA	CA	DE CA	Observación
Londres, Inglaterra	Kaur, et al. 2005	1 hora	2004	11	173	1,3	0,8	346	0,5	0,51	CP promedio aritmético + DE ; CA promedio ponderado + DE combinada; valor p: 3,37E-37 ; p<0,05 CP ≠ CA