

**Universidad Peruana Cayetano Heredia**

**Facultad de Ciencias y Filosofía**

**“Alberto Cazorla Talleri”**



**Exposición personal a PM<sub>2.5</sub> según los medios de  
transporte utilizados en la ciudad de Lima**

Trabajo de Investigación para optar el Grado de Bachiller en  
Ciencias con mención en Biología

**Autora:**

Caterina Ossio Tord

**Asesora:**

Dra. Stella Hartinger Peña,

Lima, Perú

2021

## Tabla de contenido

Resumen.....	3
Palabras clave .....	4
Abstract.....	4
Key words .....	5
Estado del arte.....	6
<b>1. Contaminación del Aire Ambiental</b> .....	6
<b>1.2. PM<sub>2.5</sub></b> .....	6
<b>2. Megaciudades</b> .....	8
<b>2.1. Problemática ambiental dentro de las megaciudades</b> .....	8
<b>2.2. Lima como megaciudad</b> .....	11
<b>3. Exposición personal</b> .....	12
<b>3.1. Definición</b> .....	12
<b>3.2. En medios de transporte</b> .....	13
<b>4. Políticas públicas ambientales</b> .....	13
<b>4.1. Globales</b> .....	13
<b>4.2. Nacionales</b> .....	14
Problemática y justificación.....	17
Estrategia de abordaje .....	18
Bibliografía .....	20

## Resumen

La contaminación del aire ambiental por gases o partículas puede generar efectos adversos en el ambiente y la salud humana (1). Los principales contaminantes del aire son los gases SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, O<sub>3</sub> y VOCs y el material particulado, subclasificado en PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> (2–5). Globalmente, estos contaminantes pueden incrementar la tasa de mortalidad y morbilidad, tanto en enfermedades transmisibles como no transmisibles (2,5). Entre ellos, el PM<sub>2.5</sub> contribuyó a 4.2 millones de muertes por cáncer, infecciones respiratorias y enfermedades cardíacas o respiratorias en el 2016 a nivel mundial (1). Este contaminante del aire es listado como el quinto mayor factor de riesgo de muerte prematura y suele usarse como indicador de contaminación del aire (1,2,4). Debido a su impacto en la salud, la contaminación del aire ambiental contribuye substancialmente a la carga global de enfermedades, sobre todo en megaciudades y en países de ingresos bajos o intermedios (1,3). En las megaciudades, la calidad ambiental depende del planeamiento urbano, el efecto isla de calor urbano y el sistema de transporte (6–9).

El transporte es la fuente principal de contaminantes del aire en varias ciudades, sobre todo en países con ingresos bajos y medios (8). Un ejemplo es Lima, ciudad que estuvo listada como la 2da ciudad de Latinoamérica con mayor concentración de PM<sub>2.5</sub> en el 2011 y con niveles de PM<sub>2.5</sub> que actualmente exceden los límites de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (9–12).

Los tipos de transporte en Lima se agrupan en transporte colectivo, individual y no motorizado y se desconoce si hay diferencias en la exposición a contaminantes del aire ambiental de personas según el tipo de transporte que utilizan (13). Cada medio de

transporte implica un microambiente, por lo cual es necesario evaluar cada uno como un espacio con una calidad de aire ambiental independiente y la metodología ideal para ello es la exposición personal (14–16). El objetivo de este estudio es determinar la exposición personal de PM<sub>2.5</sub> en adultos según el medio de transporte que utilicen en Lima.

### **Palabras clave**

calidad del aire, transporte, salud ambiental, PM, material particulado, exposición personal

### **Abstract**

Pollution of ambient air by gases or particles can have adverse effects on the environment and human health (1). The main air pollutants are SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, O<sub>3</sub> and VOCs and particulate matter, sub-classified into PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> (2–5). Globally, these pollutants can increase mortality and morbidity rates, both in communicable and non-communicable diseases (2,5). Among them, PM<sub>2.5</sub> contributed to 4.2 million deaths from cancer, respiratory infections and cardiac or respiratory diseases in 2016 globally (1). This air pollutant is listed as the fifth highest risk factor for premature death and is often used as an indicator of air pollution (1,2,4). Due to its impact on health, ambient air pollution contributes substantially to the global burden of disease, especially in megacities and in low- or intermediate-income countries (1,3). In megacities, environmental quality depends on urban planning, the urban heat island effect, and the transportation system (6–9).

Transportation is the main source of air pollutants in several cities, especially in low- and middle-income countries (8). An example is Lima, a city that was listed as the 2nd city in Latin America with the highest concentration of PM<sub>2.5</sub> in 2011 and with PM<sub>2.5</sub> levels that currently exceed the limits of the World Health Organization (WHO) (9– 12).

The types of transportation in Lima are grouped into collective, individual, and non-motorized transportation and it is unknown whether there are differences in people's exposure to ambient air pollutants according to the type of transportation they use (13). Each means of transport implies a microenvironment, for which it is necessary to evaluate each one as a space with an independent ambient air quality, and the ideal methodology for this is personal exposure (14–16). The objective of this study is to determine the personal exposure of PM<sub>2.5</sub> in adults according to the means of transport they use in Lima.

**Key words**

air quality, transport, environmental health, PM, particulate matter, personal exposure

## **Estado del arte**

### **1. Contaminación del Aire Ambiental**

La contaminación del aire ambiental es una mezcla de material particulado suspendido y gases cuya presencia o concentración es inusual en ese ambiente (4). Estos componentes son emitidos por fuentes estacionarias —fábricas, plantas de energía e industrias— o móviles —vehículos, maquinaria y equipos motorizados— (17). La presencia de estos contaminantes en el aire lleva a que eventualmente se degraden o lleguen a un sitio final de destino, el cual puede afectar al ecosistema (ej.: sedimentación de polvo en una laguna) o las personas, en caso los respiren. La exposición de las personas ante contaminantes del aire se ha visto incrementada en los últimos años, trayendo consecuencias graves en la salud humana a nivel global (1–5).

En general, la exposición a los contaminantes del aire ambiental aumenta la morbilidad y la mortalidad de las personas (1,4). Esto se debe a asociaciones entre la exposición a estos contaminantes y las enfermedades transmisibles o no transmisibles, especialmente referidas a problemas cardiovasculares o respiratorios (1).

#### **1.2. PM<sub>2.5</sub>**

Entre los diversos contaminantes del aire ambiental, el más relevante epidemiológicamente es el material particulado (PM), específicamente el PM<sub>2.5</sub> (1). Los principales componentes del material particulado son sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), amonios (NH<sub>4</sub>), carbono orgánico (CO), carbono elemental y suelo (que incluye minerales como aluminio, silicio, calcio, titanio y hierro) (6). De acuerdo a su

composición (qué componentes se encuentran o cuáles son más abundantes que otros) puede haber diferencias entre los tipos de PM con respecto a su comportamiento ambiental y a su efecto en la salud (1,18). En general, según el máximo de diámetro que puede tener la partícula en micrómetros, este contaminante se clasifica en: PM<sub>2.5</sub> (entre 0 y 2.5 µm) y PM<sub>10</sub> (entre 2.5 y 10 µm) (26).

Cuando es aspirado, el PM<sub>10</sub> es considerado una partícula “inhalable” y el PM<sub>2.5</sub> es una partícula “respirable”, debido a que este último tiene menor tamaño y le permite ingresar por las vías respiratorias, llegar a los alvéolos, irritarlos y degradar la función pulmonar (19). Debido a la variabilidad en la composición de las partículas de PM<sub>2.5</sub>, existen varios mecanismos que pueden dañar el sistema respiratorio (19). Entre ellos se conoce el daño por radicales libres que oxidan las células pulmonares y pueden dañar el ADN y estimular la carcinogénesis, o que reducen la capacidad antioxidante de las células, peroxidan los lípidos membranales, elevan la concentración de calcio intracelular y alteran la homeostasis (19). Además, las asociaciones de exposición a PM<sub>2.5</sub> con inflamación del sistema respiratorio se ven sustentadas por el aumento y migración de neutrófilos, macrófagos alveolares, eosinófilos, células T hacia los tejidos pulmonares y otros (19). Debido a estos y a otros mecanismos aun no investigados, la exposición a PM<sub>2.5</sub> está asociada a enfermedad de las arterias coronarias, enfermedad cerebrovascular, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, cáncer de pulmón, infección respiratoria baja, entre otros (1,2,19). Dichos efectos en la salud asociados a la contaminación del aire ambiental son de tal magnitud que el PM<sub>2.5</sub> ha sido listado como el 5to factor de riesgo de mortalidad y se le han atribuido 4.2 millones de muertes en el 2015 (1). Cabe mencionar que las asociaciones entre la exposición al contaminante y la presencia de la enfermedad pueden deberse a una relación indirecta, si es que el

contaminante afecta a un factor de riesgo para la enfermedad en vez de a la generación de la enfermedad *per se* (1).

Además de fuentes estacionarias y móviles, el PM<sub>2.5</sub> también puede ser formado a partir de la interacción entre varios contaminantes presentes en el aire, tras lo cual se le llama PM<sub>2.5</sub> secundario (5). Aun así, la combustión de biomasa y de combustibles fósiles suelen ser las fuentes principales, siendo en Latinoamérica y el Caribe predominante la quema de combustibles fósiles (12,20).

Entender los mecanismos de acción del PM<sub>2.5</sub> puede ayudar a diagnosticar y a desarrollar tratamientos para enfermedades inducidas por la exposición a este contaminante; sin embargo, la medida para la reducción de estos casos más eficiente en la actualidad es la prevención de exposición (19).

## **2. Megaciudades**

### **2.1. Problemática ambiental dentro de las megaciudades**

El PM<sub>2.5</sub> está relacionado a efectos adversos en la salud medioambiental, ecosistémica y humana, los cuales son más notables en las megaciudades (3,5). Las megaciudades son ciudades con un mínimo de 10 millones de habitantes y la mayoría de ellas están creciendo a una tasa mayor que en años pasados (21). Esto implica un aumento demográfico sustancial, lo cual suele relacionarse con un incremento en la contaminación del aire ambiental (3,4,6,22). La contaminación del aire en ambientes urbanos se debe mayormente a la quema de combustibles fósiles y las fuentes más



importantes son el sector transporte, la generación de energía, los sectores industriales y la calefacción/refrigeración/cocción de uso doméstico (12).

Diferentes características de las megaciudades influyen la calidad del aire ambiental; entre ellas, las principales son el planeamiento urbano, el efecto isla de calor urbano y el transporte (6).

### 2.1.1. Planeamiento urbano

Usualmente, la riqueza del país se concentra en las áreas urbanas, por lo que las personas de las zonas rurales migran a ellas en busca de crecimiento económico y acceso a mejores servicios; además de otros posibles factores como conflictos o degradación de suelos (6). Esta migración más el aumento del número de personas dentro de la población causa un crecimiento urbano acelerado, lo cual puede ser acompañado de una expansión desorganizada de la megaciudad y la generación de nuevas industrias o crecimiento de las existentes, que pueden degradar la calidad del aire (6). Un ejemplo de los riesgos ambientales y salubres es la contaminación del aire por plomo en Callao en la última década, donde se reportan altos niveles de plomo en la sangre de niños que estudian y/o viven cerca a sitios de fabricación de baterías y depósitos minerales (23). Además, las expansiones periféricas suelen ser habitadas por el sector de la población con menos recursos y consisten de asentamientos ilegales, lo cual suele incluir degradación de suelos, generación de pistas no asfaltadas y construcciones que provocan el levantamiento de polvo (material particulado) (6).

Vale mencionar que la contaminación del aire en Lima puede verse influenciada por el polvo producido por fenómenos naturales, ya que es una ciudad rodeada de un desierto costero (4). Sin embargo, esto se vería mayormente reflejado en los niveles de  $PM_{10}$  en vez de  $PM_{2.5}$ , por lo cual no se considera ese factor dentro de este estudio (5). A su vez, las características meteorológicas de Lima pueden influir en los niveles de material particulado, debido a que la temperatura y la humedad relativa pueden tener un efecto en el incremento de PM, por la acumulación y formación de polvo, o en su reducción, por la deposición húmeda de polvo (4). Aun así, al ser parámetros que afectan a toda Lima Metropolitana y son estacionales, no serán considerados dentro de este estudio que evalúa microambiente dentro de la megaciudad.

#### 2.1.2. Efecto Isla de Calor Urbano

Existe otra característica que puede, y suele, agravar la contaminación del aire ambiental en megaciudades: las islas de calor urbano (6,7). El efecto isla de calor urbano consiste en el aumento de la temperatura en el centro del área urbano con respecto a su periferia, debido a una alta densidad de infraestructura urbana y baja densidad de áreas verdes en el centro (7). Esto causa un flujo cíclico del aire que concentra a los contaminantes del aire ambiental en el centro de la ciudad, ya que el aire caliente del centro de la ciudad se eleva y desciende en la periferia, tras lo cual vuelve a ingresar al centro y recircula (7). Así, mientras el ciclo continúa, la producción de contaminantes del aire dentro de la ciudad aporta a su degradación ambiental.

#### 2.1.3. Transporte

Una fuente relevante de contaminantes del aire ambiental en ciudades es el transporte, la cual se vuelve predominante en ciudades de países de ingresos bajos y medios (6,8,12). La alta contribución de esta fuente al deterioro de la calidad del aire urbano probablemente se debe al número de vehículos motorizados, a la antigüedad de los vehículos, a la eficiencia del motor, a la calidad del combustible utilizado y al manejo del tránsito (8). Respecto a estas variables, el Estado peruano ha publicado normas que las regulan, las cuales serán explicadas posteriormente.

## **2.2. Lima como megaciudad**

Recientemente Lima ha entrado a la lista de megaciudades, resultado de un crecimiento urbano continuo y no planeado (21,24). Lamentablemente, la falta de planeamiento urbano apropiado ha tenido consecuencias en el bienestar de sus habitantes, quienes han identificado a la inseguridad ciudadana, el transporte público y la contaminación ambiental como los principales problemas de la calidad de vida en la ciudad (19).

La preocupación por la contaminación ambiental en Lima es el reflejo de la calidad de aire degradada que esta tiene. Con respecto al contaminante del aire ambiental  $PM_{2.5}$ , la ciudad ha sobrepasado los límites recomendados por la OMS (Organización Mundial de la Salud) y los establecidos por el MINAM (Ministerio del Ambiente del Perú) durante los últimos años (11,25,26). Estos niveles de contaminación implican un riesgo significativo para la población y se deben establecer o adaptar medidas para controlar las fuentes de emisión o las vías de exposición. En Lima, la fuente principal de emisiones atmosféricas es el parque automotor (9).

### 2.2.1. Principal fuente de emisión en Lima: el parque automotor

Además de ser la fuente principal de contaminantes del aire ambiental, el parque automotor es considerado como el factor de riesgo más preocupante de la contaminación en Lima, según sus habitantes (9,13). La alta preocupación por la contaminación por vehículos motorizados puede deberse a la cercanía de las personas a esta fuente mientras se transportan dentro de la ciudad, ya que Lima está listada como la 3era ciudad con mayor congestión vehicular en el 2018, lo cual implica una larga duración de los viajes dentro de la ciudad y un largo periodo de exposición a los contaminantes (27).

Los tipos de transporte en Lima se agrupan en transporte colectivo, individual y no motorizado y se desconoce si hay diferencias en la exposición a contaminantes del aire ambiental de personas según el tipo de transporte que utilizan (13,24).

## **3. Exposición personal**

### **3.1. Definición**

Usualmente se asume el nivel de contaminación del aire al cual están expuestas las personas a partir de la información recolectada por un detector fijo (15,16). Sin embargo, la distribución de contaminantes del aire ambiental es heterogénea y las personas se mueven constantemente dentro de las ciudades, por lo cual están expuestas a diferentes microambientes con diferentes contaminantes (15–17). Por ello es necesario utilizar instrumentos de medición que obtengan un valor representativo de la presencia y

concentración de los contaminantes a los cuales están directamente expuestas las personas, es decir, que permitan determinar la exposición personal (15,16).

### **3.2. En medios de transporte**

El uso de detectores portátiles de contaminantes del aire es vital para determinar la exposición personal en distintos medios de transporte. Esto se debe a que cada medio de transporte implica un microambiente diferente, es decir, es probable que los componentes del aire dentro de un microbús no sean iguales a los del espacio inmediato a un peatón fuera del microbús (14,28–30).

Aun así, en este tipo de estudios deben tomarse en cuenta los factores que influyen en el microambiente de cada medio de transporte, como la hora del viaje, la duración del viaje, la ruta tomada, la ventilación del vehículo, la antigüedad del vehículo, la variación estacional y la dosis (de acuerdo a la actividad física) (28,29).

## **4. Políticas públicas ambientales**

### **4.1. Globales**

La contaminación del aire tiene altos costos económicos debido al impacto en la salud humana, la productividad y el daño en ecosistemas, por lo cual es necesario que se considere dentro las agendas políticas (2,6).

El nivel más amplio de política que influye en la calidad del aire ambiental son los acuerdos internacionales, entre los cuales pueden nombrarse el Acuerdo de París, el

Protocolo de Montreal y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU (32-33). Sin embargo, al dictar puntos generales que sean fácilmente traducibles a cada contexto nacional, deja el aterrizaje de gestión en las manos del país firmante. Es deseable que dicho aterrizaje logre generar un cambio medible en la calidad del aire: un ejemplo de ello es la fiscalización de emisiones en las rutas en California que logró reducir la emisión de contaminantes de aire de vehículos, como del PM<sub>2.5</sub> (34).

En Latinoamérica y el Caribe también se han implementado planes de gestión de calidad del aire, como es el caso de México con PROAIRE (plan estratégico de mejora de calidad del aire) y de Bogotá con el sistema de transporte público masivo TransMilenio (12). Sin embargo, estos planes requieren adaptarse ante la creciente emisión de contaminantes del aire ambiental (12).

#### **4.2. Nacionales**

En el Perú, la Constitución fundamenta que “el derecho al medio ambiente es indispensable para el goce de los demás derechos” (35). Entonces, al tenerse en cuenta la degradación de la calidad ambiental en el país, el impacto que este significa para los derechos humanos de sus habitantes y los compromisos internacionales, se han establecido medidas para proteger al ambiente.

En primer lugar, la ley en la cual se basan los planes y normativas nacionales es la Ley General del Ambiente que dicta, en relación a la cita previa de la Constitución, que “toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable,

equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida” y señala “el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente” (36).

Los planes gubernamentales, al igual que los acuerdos internacionales, generan la necesidad de seguir objetivos claros y sujetos a un plazo límite para tomar acciones con respecto a la contaminación, y son especialmente necesarios en países con calidad ambiental degradada (12). En Perú, el Plan Nacional de Acción Ambiental (PLANAA) planteó una serie de diagnósticos y metas para el país del año 2011 al 2021; entre las metas, la Meta 3 es específica para la calidad del aire en ciudades: “100 % de las ciudades priorizadas implementan sus planes de acción para la mejora de la calidad del aire y cumplen los ECA para Aire” (37). En resumen, para lograr cumplir aquella meta el MINAM propuso implementar áreas verdes en el planeamiento urbano y utilizar y actualizar un instrumento de gestión ya existente: los Estándares de Calidad Ambiental (37).

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) son parámetros que indican el nivel máximo de una sustancia presente en el ambiente que no representa un riesgo significativo para salud humana o ambiental (26). Con respecto a la contaminación del aire ambiental, existen ECAs para el monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), material particulado (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>), entre otros (26). Esta es una herramienta útil para realizar análisis, monitoreos y fiscalización de emisiones, aunque actualmente solo suele ser usada para regular la fuente de la contaminación y evaluar la atmósfera, no la exposición personal de los ciudadanos.

Respecto a la fuente de contaminación principal, Lima ha avanzado con el desarrollo de sistemas viales más eficientes y formales: la construcción del tren eléctrico, el metropolitano, los corredores, entre otros, y con las estrategias intersectoriales como el Plan Nacional de Transporte Urbano, que se busca lograr la “reducción de los contaminantes locales del aire y de gases de efecto invernadero por el cambio en el sistema de transporte urbano de personas” (24). También se han implementado medidas que regulan la contaminación por vehículos motorizados como los requisitos de cumplir con los estándares EURO, para garantizar una flota vehicular en buen estado y que minimice las emisiones, y el Impuesto Selectivo para Combustibles según el Índice de Nocividad de Combustibles, para incentivar el consumo de combustibles menos contaminantes mediante la regulación de precios (38-40).

Sin embargo, aún queda un vacío en la transversalidad de estos proyectos en términos de tránsito, salud y bienestar, el cual puede completarse a la luz de avances tecnológicos o descubrimientos científicos (4,6,34). Por ello, este estudio puede aportar información sobre el riesgo a efectos adversos para la salud (exposición a contaminantes del aire ambiental), que contribuya a las estrategias de mejora de medios de transporte (cuáles medios están asociados a una menor o mayor exposición).



## **Problemática y justificación**

El aumento de la contaminación del aire ambiental en las megaciudades junto a los riesgos que esta implica en la salud humana genera la necesidad de monitorear las fuentes de emisión y las vías de exposición para adoptar los instrumentos de gestión ambiental que las regulen para el bienestar poblacional (4,6,22).

Teniendo en cuenta que las emisiones producidas por el tráfico vehicular contribuyen significativamente al deterioro de la calidad de aire urbano, la cercanía e interacción de las personas a esta fuente puede implicar un riesgo para su salud, sobre todo en megaciudades (8,12,22). Reducir la exposición a contaminantes del aire es la mejor forma de minimizar dicho riesgo, por lo cual resultaría útil el efecto del tipo de medio de transporte en la concentración de contaminantes a la que está expuesta una persona (19). La manera más representativa de medir la concentración de los contaminantes del aire que se encuentren en el espacio inmediato de las personas es mediante la medición de la exposición personal, que se realiza utilizando un detector portátil del contaminante (15,16). Según lo expuesto a lo largo del documento, la medición se enfocará en  $PM_{2.5}$  debido a sus efectos nocivos a la salud asociados y a su uso en investigaciones pasadas como indicador de la contaminación del aire (1,2,4,14,28). Así, el objetivo de este estudio es evaluar la exposición personal al  $PM_{2.5}$  de adultos según el medio de transporte que utilizan en Lima.

Existen casos de análisis similares en otras ciudades; y, este sería el primero en realizarse en Lima (14,28–30). Llevar a cabo un estudio de este tipo es de vital importancia debido a los altos niveles de  $PM_{2.5}$  producidos principalmente por el parque

automotor y al constante y, usualmente, prolongado uso de medios de transporte por sus habitantes (9,11,13,25). Entonces, la información obtenida puede aplicarse en planes nacionales e instrumentos de gestión ambiental que acerquen a Lima Metropolitana al Objetivo de Desarrollo Sostenible N°11, ya que involucra “proveer el acceso a sistemas de transporte seguro, asequible, accesible y sostenible” y “reducir el impacto ambiental de ciudades, con especial atención a la calidad del aire y al manejo de desperdicios” (22,32).

### **Estrategia de abordaje**

De acuerdo con la metodología utilizada en estudios anteriores, el estudio consiste en proveer a 500 adultos de la ciudad de Lima con un detector de PM<sub>2.5</sub> portátil y un aparato de GPS (14,16,29–30). Cada individuo del estudio prenderá ambos equipos y los llevará puestos en un collar durante la movilización desde su vivienda hasta su sitio de trabajo, y viceversa. El detector de PM<sub>2.5</sub> brinda información sobre el nivel de exposición a la cual se encontró el individuo y el aparato GPS permitirá saber qué rutas/distritos involucró su ruta. Además, los individuos deben reportar diariamente información acerca de su viaje para complementar los datos obtenidos de los equipos:

- la hora de inicio del trayecto;
- la hora del cambio de medio de transporte;
- el/los tipo(s) de medio de transporte utilizado(s);
- las horas a las cuales se transportaron;
- si las ventanas del vehículo estaban abiertas o cerradas;
- si percibió al vehículo como antiguo o nuevo;
- otra información que el individuo considere pertinente.

Con la información obtenida en el estudio, se comparará la exposición personal a PM<sub>2.5</sub> según el medio de transporte utilizado, teniendo en cuenta las variables “horario” (si se

movilizó en la hora pico o no), “duración de viaje” (tiempo transcurrido en el medio de transporte), “ruta” (si es que el individuo viajó mayormente por avenidas o calles, y atravesando cuáles distritos) y características observadas de los vehículos como “antigüedad del vehículo” y “ventilación del vehículo”.

## **Bibliografía**

1. Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, Anderson HR, Frostad J, Estep K, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet*. mayo de 2017;389(10082):1907-18.
2. Maji KJ, Arora M, Dikshit AK. Burden of disease attributed to ambient PM2.5 and PM10 exposure in 190 cities in China. *Environ Sci Pollut Res*. abril de 2017;24(12):11559-72.
3. Cheng Z, Luo L, Wang S, Wang Y, Sharma S, Shimadera H, et al. Status and characteristics of ambient PM2.5 pollution in global megacities. *Environment International*. abril de 2016;89-90:212-21.
4. Mao M, Zhang X, Yin Y. Particulate Matter and Gaseous Pollutions in Three Metropolises along the Chinese Yangtze River: Situation and Implications. *IJERPH*. 28 de mayo de 2018;15(6):1102.
5. Ren L, Yang W, Bai Z. Characteristics of Major Air Pollutants in China. En: Dong G-H, editor. *Ambient Air Pollution and Health Impact in China* [Internet]. Singapore: Springer Singapore; 2017 [citado 16 de septiembre de 2019]. p. 7-26. Disponible en: [http://link.springer.com/10.1007/978-981-10-5657-4\\_2](http://link.springer.com/10.1007/978-981-10-5657-4_2)
6. Molina MJ, Molina LT. Megacities and Atmospheric Pollution. *Journal of the Air & Waste Management Association*. junio de 2004;54(6):644-80.
7. Rao VL. Effects of Urban Heat Island on Air pollution Concentrations. 2014;13.

8. Goyal SK, Ghatge SV, Nema P, M. Tamhane S. Understanding Urban Vehicular Pollution Problem Vis-a-Vis Ambient Air Quality – Case Study of a Megacity (Delhi, India). *Environ Monit Assess.* 31 de julio de 2006;119(1-3):557-69.
9. Dawidowski L, Sánchez-Ccoyllo O, Alarcón N. Estimación de emisiones vehiculares en Lima Metropolitana – Informe final. 2014;46.
10. OMS. Ambient air pollution. A global assessment of exposure and burden of disease. Organización Mundial de la Salud; 2016.
11. INEI. Anuario de estadísticas ambientales 2018. Instituto Nacional de Estadística e Informática; 2018.
12. Joanne Green, Sergio Sanchez. La Calidad del Aire en América Latina. Clean Air Institute; 2012.
13. LimaComoVamos. Séptimo Informe de Percepción sobre Calidad de Vida. 2016.
14. Kaur S, Nieuwenhuijsen MJ. Determinants of Personal Exposure to PM<sub>2.5</sub>, Ultrafine Particle Counts, and CO in a Transport Microenvironment. *Environmental Science & Technology.* julio de 2009;43(13):4737-43.
15. Cherrie JW. How important is personal exposure assessment in the epidemiology of air pollutants? *Occupational and Environmental Medicine.* 1 de octubre de 2002;59(10):653-4.
16. Steinle S, Reis S, Sabel CE, Semple S, Twigg MM, Braban CF, et al. Personal exposure monitoring of PM 2.5 in indoor and outdoor microenvironments. *Science of The Total Environment.* marzo de 2015;508:383-94.

17. Cairncross EK, John J, Zunckel M. A novel air pollution index based on the relative risk of daily mortality associated with short-term exposure to common air pollutants. *Atmospheric Environment*. diciembre de 2007;41(38):8442-54.
18. Feng J, Yu H, Liu S, Su X, Li Y, Pan Y, et al. PM2.5 levels, chemical composition and health risk assessment in Xinxiang, a seriously air-polluted city in North China. *Environ Geochem Health*. octubre de 2017;39(5):1071-83.
19. Xing Y-F, Xu Y-H, Shi M-H, Lian Y-X. The impact of PM2.5 on the human respiratory system. *Journal of Thoracic Disease*. 2016;8(1):6.
20. Zhang L, Ninomiya Y, Yamashita T. Formation of submicron particulate matter (PM1) during coal combustion and influence of reaction temperature. *Fuel*. julio de 2006;85(10-11):1446-57.
21. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World urbanization prospects: the 2018 revision*. 2019.
22. Gurjar BR, Jain A, Sharma A, Agarwal A, Gupta P, Nagpure AS, et al. Human health risks in megacities due to air pollution. *Atmospheric Environment*. noviembre de 2010;44(36):4606-13.
23. Montesinos E. Los niños que respiran plomo en el Callao. *Convoca*. 6 de marzo de 2020;24.
24. MTC. *Plan Nacional de Transporte Urbano*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones; 2019.

25. OMS. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Organización Mundial de la Salud; 2005.
26. Ministerio del Ambiente. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para aire. Ministerio del Ambiente; 2017.
27. TomTom. Traffic Index Ranking 2018. TomTom Traffic; 2018.
28. Adams HS, Nieuwenhuijsen MJ, Colville RN, McMullen MAS, Khandelwal P. Fine particle  $\text{PM}_{2.5}$ / personal exposure levels in transport microenvironments, London, UK. :16.
29. N. Dirks K, Sharma P, A. Salmond J, B. Costello S. Personal Exposure to Air Pollution for Various Modes of Transport in Auckland, New Zealand. The Open Atmospheric Science Journal. 20 de abril de 2012;6(1):84-92.
30. Dons E, Int Panis L, Van Poppel M, Theunis J, Wets G. Personal exposure to Black Carbon in transport microenvironments. Atmospheric Environment. agosto de 2012;55:392-8.
31. Kayser D, van der Veen H. 20 Years of Success: Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. United Nations Development Program; 2007.
32. United Nations. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. En: A New Era in Global Health [Internet]. New York, NY: Springer Publishing Company; 2017 [citado 2 de diciembre de 2019].

Disponible en:

<http://connect.springerpub.com/lookup/doi/10.1891/9780826190123.ap02>

33. Organización de las Naciones Unidas. Acuerdo de París. 2005. París, Francia.
34. Lurmann F, Avol E, Gilliland F. Emissions reduction policies and recent trends in Southern California's ambient air quality. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 4 de marzo de 2015;65(3):324-35.
35. Ministerio de Justicia y Derechos Humanos. Constitución Política del Perú. Décimo Tercera Edición Oficial. Resolución N° 0030-2005-PI/TC. 2019;240.
36. Congreso de la República del Perú. Ley General del Ambiente. MINAM; 2005. Lima, Perú. Ley N°28611.
37. Ministerio del Ambiente. Plan Nacional de Acción Ambiental. MINAM; 2011. Lima, Perú.
38. Congreso de la República del Perú. Ley que regula el contenido de azufre en el combustible diésel. 2006. Lima, Perú. Ley N°28694.
39. Presidencia de la República del Perú. Modifican Decreto Supremo N° 047-2001-MTC, que establece Límites Máximos Permisibles de Emisiones Contaminantes para Vehículos Automotores que circulen en la Red Vial. *El Peruano*. 2012;12.
40. Presidencia de la República del Perú. Establecen Límites Máximos Permisibles de emisiones contaminantes para vehículos automotores que circulen en la red vial. *EL Peruano*. 31 de octubre de 2001.