



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA LA FISCALIZACIÓN AMBIENTAL

La incorporación del Material Particulado Sedimentable como parámetro en el ECA Aire para la evaluación ambiental

INTEGRANTES:

Carranza, Juan	Derecho
Choque, Kevin	Economía
Mallea, Mariana	Derecho
Rojas, Angeles	Ciencias, Ingeniería Forestal y Ambiental
Valverde, Sandro	Ciencias, Biología

NOMBRE DEL ASESOR: Mg. Llanos, Jorge

Febrero de 2021



CONTENIDO

1. 32. ¡Error! Marcador no definido.3.¡Error! Marcador no definido.4.¡Error! Marcador no definido.5. ¡Error! Marcador no definido.6.¡Error! Marcador no definido.

1. Justificación de la investigación

La contaminación atmosférica se presenta por la introducción en la atmósfera, de manera directa o indirecta, de distintas sustancias que, por su nocividad, pueden poner en peligro la salud y bienestar de las personas, causar graves daños a los ecosistemas y otros recursos biológicos, deteriorar bienes materiales, o impedir el normal desenvolvimiento del ambiente y sus componentes (Martínez, Lluveras, 2019; Hernández et al., 2009).

Este tipo de contaminación se ha presentado desde hace muchos años, existiendo diferentes casos de contaminación atmosférica natural originada por erupciones volcánicas, tormentas de arena, incendios, o por la descomposición de materia. Posteriormente, con los indicios del sedentarismo y el descubrimiento del fuego, se puede afirmar que apareció la contaminación atmosférica antropogénica, también llamada contaminación atmosférica en sentido estricto, la cual ha cobrado relevancia a partir de la masificación del uso de los combustibles fósiles como fuente de energía; así como a partir del desarrollo de actividades antrópicas que generan la emisión de estas partículas contaminantes. Por ejemplo actividades del sector eléctrico, sector minero, actividades termoeléctricas en base a combustión; sector transporte, y el sector hidrocarburos (Aránguez et al., 1999; Romero et al., 2006).

Teniendo ello en cuenta, cabe preguntarse, ¿cómo se presenta ello en la vida cotidiana? Un ejemplo de la contaminación atmosférica natural es el levantamiento de partículas de polvo del desierto del Sahara en grandes cantidades (100 millones de toneladas) que se desplaza a Europa y América. Este fenómeno es común, y es en cierta medida beneficioso para la fertilidad de los suelos amazónicos y los océanos, dado que muchos de esos elementos son nutrientes como fósforo y nitrógeno. Sin embargo, este polvo puede llegar a afectar la salud de las personas, dado que afecta la calidad del aire, causando un gran riesgo para personas asmáticas o alérgicas; ello, porque la concentración de polvo del Sahara se encuentra en un rango de entre 30 a 50 microgramos por metro cúbico, número bastante alto y “comparable al de grandes metrópolis con alta contaminación atmosférica” (Martins, A. 2018).

Además, se genera un gran riesgo porque este polvo contiene bacterias, virus, esporas, hierro, mercurio, y pesticidas; por lo que podrían generar alergias y crisis asmáticas en muchas personas (Martins, A. 2018). Situación similar ocurre en Ciudad de México, en donde la contaminación atmosférica que afecta la ciudad muestra una gran variedad de sustancias contaminantes como: partículas suspendidas totales, plomo, óxido de azufre, ozono, entre otras sustancias (Romero et. al. 2006).

Todo lo mencionado anteriormente sirve como un sustento base para demostrar que el material particulado suspendido en el aire y sus efectos en la salud afectan a toda la población, dado que los efectos adversos aumentan con la exposición a dichas sustancias. Por lo general, los estudios se centran en determinar como material particulado adverso para el entorno aquellos de tamaño $2.5 \mu\text{m}$ y $10 \mu\text{m}$, toda vez que las partículas más pequeñas son las que tienen mayor capacidad de penetración en las vías respiratorias. En Alemania, por ejemplo, desde el año 2005 se implementaron por primera vez los valores límite de PM10 en numerosas poblaciones, y también en el sector urbano (Klinger 2005).



Sin embargo, se omite la fuerte evidencia de que material particulado mayor o igual a 10 μm presentan efectos adversos a la salud y al ambiente. Por ello resulta necesario seguir investigando sobre este tema para poder recopilar mayor información respecto de otras concentraciones de estos materiales particulados que pueden afectar a la salud de las personas en concentraciones y exposiciones determinadas (Organización Mundial de la Salud, 2006).

Además, (Romero et al., 2006) señalan que existen diversos estudios que demuestran que la exposición a distintos contaminantes ambientales, “incluso a niveles por debajo de las normas internacionales, se asocian con un incremento en la incidencia de asma, severidad en el deterioro de la función pulmonar, así como mayor gravedad en la presentación de enfermedades respiratorias de niños y adolescentes”.

En este contexto, es factible recordar que el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (en adelante, OEFA) es un organismo técnico especializado, adscrito al Ministerio del Ambiente (en adelante, MINAM), que se encarga de verificar el cumplimiento de las normas ambientales por todas las personas, naturales o jurídicas, públicas o privadas, a través de las funciones de evaluación, supervisión, control, y sanción en materia ambiental, de acuerdo con la Segunda Disposición Complementaria del Decreto Legislativo N° 1013.

Es así que la incorporación del Material Particulado Sedimentable (MPS, en adelante), que es aquel que tiene un tamaño igual o mayor a 10 μm , como parámetro en el Estándar de Calidad Ambiental aire (en adelante, ECA Aire) resulta muy importante pues será factible que se fortalezcan los procedimientos de evaluación y análisis de la calidad ambiental realizados por el OEFA, ya que mediante su incorporación se podrá indicar el nivel de este componente contaminante en el ambiente e iniciar las evaluaciones de causalidad pertinentes para determinar su origen e instar a los administrados a adoptar las medidas pertinentes, con el fin de tutelar la calidad del ambiente.

En el contexto nacional, la ciudad de Lima es considerada como una de las que tiene mayor contaminación atmosférica, debido a sus principales fuentes de contaminación de vehículos e industrias que evidencian un comportamiento cada vez más alarmante y pone en riesgo la salud de su población. El MPS contiene partículas en combinación con otros contaminantes derivados de procesos de combustión o compuestos que, estando suspendidos en la atmósfera, pueden sedimentar junto al polvo, siendo otra vía de ingreso al cuerpo humano además de las vías respiratorias y ocasionando problemas del mismo tipo.

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (en adelante, SENAMHI), el 76% de distritos de la capital sobrepasan los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en cuanto MPS, en donde el 58% proviene de fuentes móviles; el 26%, de fuentes fijas puntuales; y el 16%, de fuentes de área (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2013). De las enfermedades que se asocian a la calidad de aire se ha registrado un mayor número de defunciones por infección respiratoria baja y enfermedad isquémica del corazón. Se proyectan costos de morbilidad y mortalidad anual de hasta 0.5% (USD 929 506 925) del PBI nacional y 0.9% del PBI de Lima (MINAM 2019).

Por lo expuesto, resulta fundamental investigar sobre el MPS, y cómo desde la evaluación ambiental se puede mejorar la tutela de la calidad ambiental; en concreto, de la calidad del aire. En tal sentido, esta investigación abordará las definiciones y metodologías de medición del MPS, y cómo esta se vincula a la evaluación ambiental a cargo del OEFA. Posteriormente, se presentará una propuesta de parámetro MPS a efectos de que su incorporación pueda considerarse en el ECA Aire, bajo estándares de calidad regulatoria y prevención del riesgo ambiental.

2. Antecedentes y conceptos básicos

2.1. Antecedentes

a) Antecedentes internacionales

En Dappe et al. (2018) *Single-particle analysis of industrial emissions brings new insights for health risk assessment of PM*, se realiza la recolección de partículas gruesas y finas (PM10 y PM1) en una empresa industrial de baterías de plomo con fuerte emisión peligrosa. A través del análisis micro espectrométrico y Tof-SIM se demostró la composición de partículas en alto nivel de plomo que induce a resultados nocivos para el ambiente. Además, el análisis de partículas individuales hace posible una evaluación más precisa del riesgo de la salud humana y el desarrollo de una mejor regulación sobre calidad de aire. En tal sentido, la investigación nos ayuda a complementar información sobre evaluaciones individuales al material particulado en la industria y sus efectos negativos al ambiente.

En Cătălin, Ș. E. (2019) *Evaluation of the Powder level from Roșița locality*, se presentan resultados sobre el seguimiento de concentración de polvos sedimentarios y en suspensión en la localidad de Roșița en Gorj. Sigue una metodología con respecto al control del polvo; primero, el monitoreo de partículas en suspensión, con el seguimiento de 2 muestras de material particulado que estuvieron por encima del límite establecido; seguidamente, se consultaron tres fuentes de información (EMC, pruebas locales e informes enviados por APM Gorj) en donde se hacen evidente los efectos sobre la salud humana por el entorno industrial-minero a causa de la inhalación de partículas cristalinas en rodajas, además de efectos sobre la vegetación afectada por polvos ácidos en flores y hojas. Por lo tanto, se concluyó que la concentración de MPS sobrepasaba el Límite Máximo Permisible (en adelante, LMP, debido a la explotación minera en la zona que causaba las principales enfermedades respiratorias dentro de la localidad. Este artículo aporta a nuestra investigación al evidenciar los efectos negativos sobre la salud y el ambiente que presenta material particulado, sobretudo en zonas de alta actividad económica como lo son el entorno industrial-minero.

En Zhiping et al. (2020) *Association between exposure to ambient air pollution and hospital admission, incidence, and mortality of stroke: an updated systematic review and meta-analysis of more than 23 million participants*, a través de otras investigaciones en PubMed, Embase y Web of Science, se busca analizar la asociación entre la contaminación del aire (PM10, PM2.5, NO2, SO2, CO2 y O3) y los accidentes cerebrovasculares, a partir de un meta-análisis de modelo de efectos aleatorios para calcular las ratios de concentración y la relación entre ellos, bajo un nivel de confianza del 95%. De un total de 68 estudios realizados con más de 23 millones de participantes, se muestran asociaciones significativas entre los seis contaminantes del aire y la admisión al hospital por accidente cerebrovascular, en donde existe una mayor

asociación de accidentes y grado de mortalidad por material particulado PM10 y PM2.5 el cual eleva el riesgo de ingreso hospitalario por accidente cerebrovascular. La investigación nos es de utilidad al ofrecer evidencia sobre el alto riesgo de enfermedades cerebrovasculares que se dan en el mundo por material particulado a causa de la contaminación del aire.

b) Antecedentes Latinoamericanos

En Santillán et al. (2016) *Estimación del grado de contaminación de Material Particulado atmosférico y sedimentable en el Laboratorio de servicios ambientales de la UNACH*, realizado en el laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo (LSA-UNACH), Ecuador; se evalúa el grado de contaminación por material particulado atmosférico y sedimentable (MPA-MPS). Se aplicó el método de muestreo pasivo con doce análisis por cada reactivo HACH, obteniéndose cuarenta y ocho análisis diarios por el mes de muestreo. Los resultados obtenidos fueron comparados con los LMP que establece la OMS y la legislación de dicho país. Por último, se encontró que los valores de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y de $14.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para los MPA y MPS son superiores a los LMP, y por ende, indica condiciones alarmantes dentro del laboratorio; de tal modo, se propuso contar con una cámara de aislamiento para evitar daños a la salud de sus trabajadores. La investigación otorga una fuente metodológica para el análisis del material particulado sedimentable (método pasivo), que también es usado en el Perú, además de la normatividad ambiental existente que es comparada con lo establecido por la OMS.

En Alcalá et al. (2018) *Heavy metals in atmospheric dust deposited in leaves of Acacia farnesiana (Fabaceae) and Prosopis laevigata (Fabaceae)*, con el fin de determinar la composición elemental de partículas que se adhieren a dos tipos de árboles (Acacia farnesiana y Prosopis laevigata), como indicador de impacto ambiental en el estado de San Luis Potosí, México, se tomaron en cuenta 5 tipos de suelo en donde se recolectó material foliar y se extrajo polvo atmosférico durante la temporada de verano y primavera, utilizando la técnica ICP-MS (concentración de metales pesados). Lo cual indicó la presencia de Al, Cu, Zn, Pb, V, As, Ni, Cd, Ti, Cr y Co; donde principalmente el suelo mineral se vio afectada por Al, Cd, Co, Pb, Cu y Zn. Además, se encontró que el suelo minero presenta mayores concentraciones de Cd, Co y Pb que el uso del suelo agrícola, comercio y servicios. Finalmente, las conclusiones señalan la existencia de contaminantes que perjudican el entorno ecológico debido a los metales de partículas atmosféricas depositadas en dichas especies de árboles. La investigación nos evidencia que la actividad minera presenta mayores concentraciones de polvo contaminante con efectos negativos en la vegetación del lugar, además nos proporciona una metodología muy práctica para el análisis del mismo.

Sangoluisa (2018) *Valoración económica de la contaminación del aire Caso de las parroquias Belisario Quevedo y Cotacollao del Distrito Metropolitano de Quito*, busca determinar el costo que genera la contaminación del aire analizando las principales afectaciones tanto a nivel general como local debido a su concentración en la atmósfera. Para ello se utiliza el levantamiento de datos junto con un análisis descriptivo de las características socioeconómicas y ambientales, además de modelos econométricos que evalúan el impacto económico en el precio de las viviendas. Finalmente plantea una estrategia de política que internalice los costos por contaminación atmosférica. La investigación nos proporciona una técnica de evaluación económica del daño por contaminación del aire y efectos negativos al sector

inmobiliario y a la salud de los pobladores; que también puede usarse como un método de proyección de costos o análisis de riesgo en la salud.

c) Antecedentes nacionales

Flores Rojas (2015) *Determinación de la cantidad de partículas atmosféricas sedimentables, mediante el método de muestreo pasivo, en la ciudad de Morales, provincia de San Martín*, se basa en el análisis comparativo de resultados de las mediciones de los niveles de concentraciones de MPS obtenidas por el método pasivo (por medio de precipitación). Utilizó una metodología basada en la ubicación de cinco puntos de monitoreo, que es comparado con el nivel de 0.5 mg/cm²/mes recomendada por la OMS, tomado como referencia. Los resultados muestran que 2 puntos superan el nivel (0.63-0.68 mg/cm²/mes), aumentando el riesgo a la salud de la población más vulnerable. Del mismo modo se concluye que las actividades económicas en zonas acondicionadas y de mejor dominio no superan dicho nivel, a diferencia de zonas inadecuadas, indicando con ello que las calles sin pavimentos son los focos más importantes en contribuir con partículas al ambiente causadas por el transporte y otras actividades. La investigación nos aporta un caso realizado en el Perú con método pasivo en donde se sobrepasan los niveles establecidos debido a las actividades económicas del lugar, dañando a la población que no cuenta con zonas acondicionadas para el proceso productivo.

En Hurtado (2017) *Polvo Atmosférico Sedimentable y su influencia en la salud de los trabajadores de la obra: “Ampliación y mejoramiento del Sistema de agua potable y alcantarillado de Pillco Marca – Huánuco”*, se planteó como objetivo relacionar el MPS (también conocido como polvo atmosférico sedimentable) y la salud de los trabajadores en dicha obra. Se utilizó la metodología muestreo pasivo usada por el SENAMHI, con la participación de 10 trabajadores por punto de muestreo en donde se realizó una encuesta con 10 preguntas sobre el MPS y la salud de los trabajadores. Para establecer los puntos de muestreo se tomaron aspectos como la exposición de los trabajadores y el periodo de trabajo. Los resultados se compararon con el ECA establecido por la OMS, logrando identificar 3 zonas críticas con valores promedios elevados durante los meses de octubre y noviembre. Se concluyó con la aplicación de una prueba de correlaciones para demostrar que existe una relación significativa entre el MPS y la salud de los obreros. La investigación nos proporciona evidencia nacional sobre el impacto negativo a la salud de trabajadores de una obra a causa del MPS, además el método de muestreo pasivo otorga una metodología eficaz para este tipo de estudio.

Otros estudios en Perú:

Si bien no existe normativa nacional con respecto al MPS, instituciones como SENAMHI y la Dirección General de Salud Ambiental (en adelante, DIGESA) han realizado estudios periódicos de este parámetro en Lima metropolitana, como parte de sus monitoreo de la calidad de aire, sin embargo, no se tiene el mismo esfuerzo en ciudades del interior del país (Dirección General de Salud Ambiental [DIGESA], 2012). Por otro lado, en los últimos años hubo un creciente interés por el nivel de MPS, encontrándose estudios en ciudades como Tayabamba (Castillo, 2017), Cieneguilla (Chipoco y Valencia, 2015), Morales (Flores, 2017), Tingo María (Ramos 2017), Moyobamba (Lozano, 2012), Tacna (Miranda y Merma 2017), Huánuco (Rodríguez, 2018), Lurigancho (Saldarriaga, 2019), entre otros (**Tabla 1**).

Tabla 1*Evaluaciones de MPS en diferentes ciudades y rango de valores encontrados.*

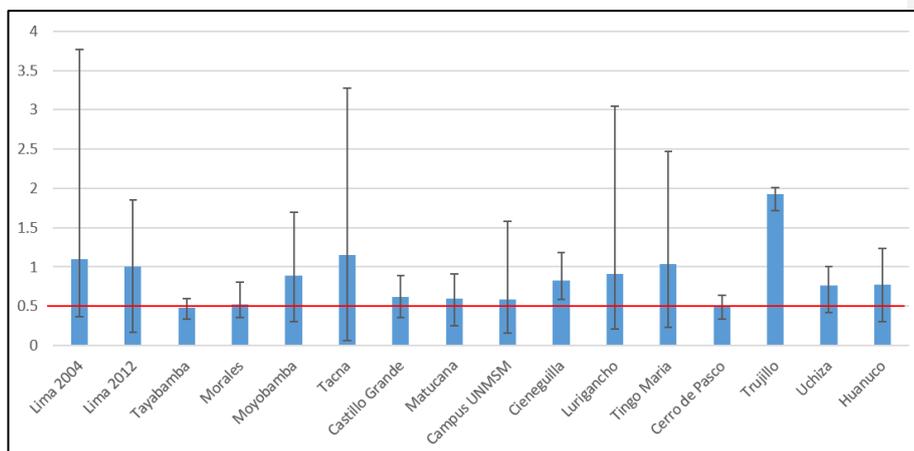
N° Estudio	Ciudad/Localidad	DPTO	Periodo	Media	Max	Min	#Meses	#Estaciones	#Muestras	Metodología
Institucionales										
1 DIGESA, 2012	Lima MET	Lima MET	Feb-Mar, Jul-Set 2011	1.01	1.85	0.17	5	50	250	Tubos
2 Silva y Montoya (Senamhi), 2006	Lima MET	Lima MET	Feb, Abr, Ago y Set 2004	1.10	3.77	0.37	4	24	71	Tubos
Otros estudios										
3 Castro, 2019 (UNDanielAlcidesCarrion)	Cerro de Pasco	Cerro de Pasco	Mar-May 2017	0.49	0.64	0.34	3	15	45	Placas
4 Ramos, 2017 (UNAS)	Tingo Maria	Huanuco	Abr-May 2017	1.04	2.47	0.23	2	9	18	Placas
5 Rodriguez, 2018 (UNAS)	Castillo Grande	Huanuco	Feb-Mar 2018	0.62	0.89	0.36	2	4	8	Recipientes c/agua
6 Sanchez, 2019 (UDeHuanuco)	Huanuco	Huanuco	Jul-Set 2018	0.77	1.24	0.30	3	20	60	Placas
7 Castillo, 2017 (UNAS)	Tayabamba	La Libertad	Feb-Abr 2015	0.48	0.60	0.34	3	4	12	Recipientes c/agua
8 Delgado, 2019 (UCV)	Trujillo	La Libertad	2019	1.93	2.01	1.72	1	10	10	Placas
9 Chipoco y Valencia, 2015 (UNALM)	Cieneguilla	Lima MET	feb. 2014	0.83	1.18	0.59	1	5	5	Placas
10 Marcos et al, 2009	Campus UNMSM	Lima MET	May-Jun 2008	0.59	1.58	0.16	2	6	12	Placas y Tubos
11 Saldarriaga, 2019 (UNTumbes)	Lurigancho	Lima MET	Set-Dic 2015	0.91	3.05	0.21	3	30	90	Tubos (ASTM1739-98)
12 Ruiz, 2016 (UNAS)	Matucana	Lima Region	Ene-Abr 2016	0.60	0.91	0.25	2	6	12	Recipientes c/agua
13 Flores, 2017 (UN San Martin)	Morales	San Martin	Ene-Abr 2016	0.52	0.81	0.36	4	5	20	Placas
14 Lozano, 2012 (UN San Martin)	Moyobamba	San Martin	Nov 2012-Ene 2013	0.89	1.70	0.30	3	15	45	Placas
15 Quiroz, 2018 (UDeHuanuco)	Uchiza	San Martin	Oct-Dic 2018	0.76	1.01	0.42	3	16	48	Placas
16 Miranda y Merma, 2017 (U Priv. Tacna)	Tacna	Tacna	Feb-May 2017	1.15	3.28	0.06	4	8	32	Placas

Nota: Fuente de datos en la columna de "Estudios", elaboración propia.

Todos estos estudios, cuyos resultados se muestran resumidos en la Tabla 1, se realizaron en zonas urbanas, algunas de ellas cercanas a industrias, con métodos gravimétricos (como tubos sedimentables, jarras, y placas receptoras). En uno de los estudios (Chipoco y Valencia, 2015) se comparó la influencia de las plantas como agentes que disminuyen la concentración de MPS; en los estudios realizados por Quiroz (2018), Rodriguez (2018) y Ruiz (2016), sobre la distribución de concentración de MPS en distintas ciudades, se evidenciaron que la presencia de MPS tiene una mayor concentración en la zona central y media de la ciudad. En varios se buscó determinar su correlación con la prevalencia de enfermedades respiratorias con los niveles encontrados de MPS mediante encuestas a la población cercana. De los 16 estudios compilados se evidenció que el 87.5% obtuvieron un elevado nivel de MPS por encima del nivel recomendado por la OMS (0.5 mg/cm²/mes), sobrepasando ampliamente hasta en 376% el valor propuesto por la OMS. La ciudad de Trujillo es la que supera en mayor proporción con un valor de 1.93 mg/cm²/mes en algunos distritos de Lima (SENAMHI, 2011) (**Fig.1**).

Figura 1

Valores de polvo sedimentable encontrados en las diferentes ciudades con sus rangos



de máximos y mínimos expresados en mg/cm²/mes.

Nota: Línea Roja: Guía de calidad de la OMS (Fuente: Estudios mencionados en la Tabla 1, elaboración propia)

2.2. Conceptos básicos

a) Estándar de Calidad Ambiental para aire

El Estándar de Calidad Ambiental (en adelante, ECA), de conformidad con el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley N° 28611, Ley General de Ambiente, es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. El numeral 31.2 del precitado artículo establece que el ECA es obligatorio en el diseño de normas legales y las políticas públicas, y a su vez, es un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental, siendo que ningún estudio de impacto ambiental podrá ser aprobado de verificarse que la actividad implicaría el incumplimiento de un ECA; asimismo, los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) deberán considerar los ECA en la configuración de sus compromisos.

Actualmente, el ECA Aire está regulado por el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias. En el mismo se establece el valor máximo de distintos parámetros en función a determinados periodos. Vale destacar que dicho ECA no hace referencia al MPS, ni se contempla proyecto afín alguno.

b) La fiscalización ambiental en sentido amplio

De conformidad con el numeral 11.1 del artículo 11 de la Ley N°, Ley del Sistema Nacional de Evaluación Fiscalización Ambiental, comprende las funciones de evaluación, supervisión, fiscalización y sanción destinadas a asegurar el cumplimiento de las obligaciones ambientales fiscalizables establecidas en la legislación ambiental,



así como de los compromisos derivados de los instrumentos de gestión ambiental y de los mandatos y disposiciones emitidas por el OEFA. En tal sentido, los compromisos referidos a los ECA contenidos en los instrumentos de gestión ambiental son fiscalizables por el OEFA siempre que comporte su ámbito de competencia. Asimismo, el OEFA supervisa que las Entidades de Fiscalización Ambiental (en adelante, EFA) cumplan con fiscalizar los distintos ECA de su competencia.

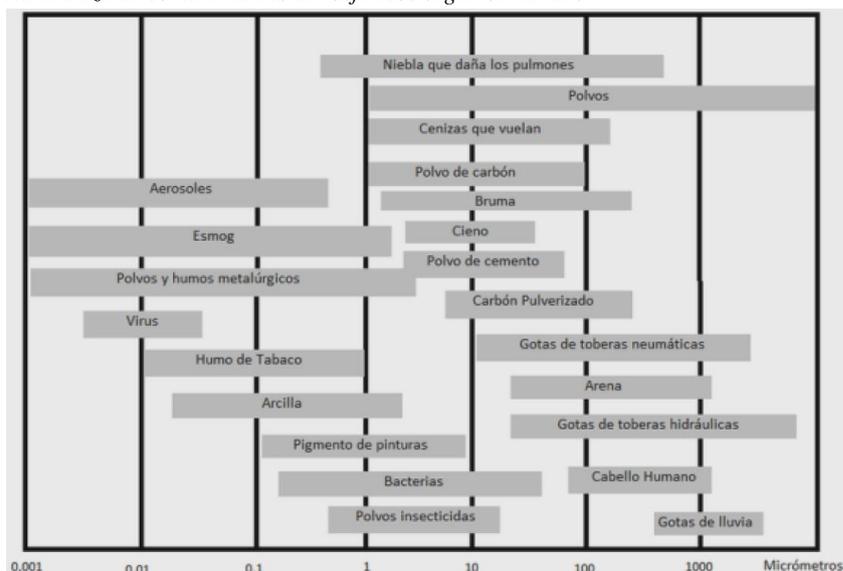
La función de evaluación, de conformidad con el artículo 1 de la Resolución de Consejo Directivo N° 013-2020-OEFA-CD, comprende las acciones de vigilancia, monitoreo, y otras similares, que puedan realizarse con el fin de asegurar el cumplimiento de las normas ambientales. De conformidad con el artículo 5 de la precitada Resolución, la vigilancia se refiere a la acción técnica de monitoreo periódico o continuo del estado de los componentes ambientales, y el monitoreo, a la obtención en espacio y tiempo de información específica sobre el estado de los componentes ambientales. De conformidad con el artículo 10 de la precitada Resolución, la evaluación ambiental tiene como etapas la planificación, ejecución y resultado, por el cual se aprueba el Informe de Evaluación ambiental con el resultado de las acciones técnicas que determinan el estado de la calidad ambiental, sus causas o efectos de la situación cuando corresponda.

e) Material Particulado Sedimentable (MPS) o Polvo Atmosférico Sedimentable

El MPS (también conocido como polvo atmosférico sedimentable, contaminantes sólidos sedimentables o deposición ácida seca) son el grupo de partículas sólidas de diámetro igual o mayor a 10 μm (Marcos et al, 2009) hasta aproximadamente 100 μm (Silva y Montoya, 2006; SENAMHI, 2011), tamaño a partir del cual se considera que caen rápidamente; por ejemplo, las partículas mayores a 20 μm caen después de 2 a 4 horas (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología, 2011). El MPS al tener un peso dentro de la influencia de la atracción gravitatoria, sedimenta y se deposita en las superficies (edificios y objetos en exteriores e interiores, áreas verdes, avenidas y calles con o sin asfalto) donde pueden volver a ser eyectados por flujos de aire urbanos, dándose el fenómeno de resuspensión. Sobre estos fenómenos de suspensión y resuspensión, Silva y Montoya (2006) mencionan que pueden ser incrementados por la baja altitud de la capa de inversión térmica, la cual es menor en verano, provocando una mayor turbulencia en la superficie.

Según Sandoval (1989), la naturaleza de las partículas que entran en esta categoría pueden ser cenizas, polvos de carbón y cemento, bruma, bacterias, entre otros (**Fig 2**).

Figura 2
Naturaleza de contaminantes atmosféricos según su tamaño



Nota: Polvos sedimentarios entre 10 y 100 um. (Fuente: Sandoval, 1989)

d) Diferentes metodologías en medición del MPS

En cuanto a los métodos de medición de MPS, una ventaja es el bajo costo de su implementación. La gran mayoría son de naturaleza gravimétrica y pasiva, pesando el material colectado por el transcurso de un mes, dividido entre el área de exposición, calculando el parámetro en $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$. El estándar más extendido para la medición del MPS es la norma propuesta por la American Society of Testing Materials ASTM-D1739-98 (**Fig. 3-A**). Este método, consiste en tubos pasivos de PVC de aproximadamente 15 cm de diámetro y 40 cm de altura, colocados sobre soportes metálicos de 1.5 m, aunque existen variaciones donde los recipientes colectores pueden variar en tamaños y formas. Este y los posteriores métodos descritos, no son apropiados para determinar la tasa de caída de polvo en áreas pequeñas afectadas por fuentes específicas (American Society of Testing Materials [ASTM], 2010). Este método ha sido empleado en aproximadamente la mitad de los estudios encontrados en Perú (Tabla 1) además de por instituciones como DIGESA (2012) y (SENAMHI, 2011 citado por INEI, 2011).

Una variación de este método aplicado a zonas donde es más común las precipitaciones, es mediante recipientes de mayor volumen capaces de recolectar el polvo más las precipitaciones (**Fig. 3-B**), luego se extrae el agua, se homogeniza y se extrae un volumen determinado para su posterior secado y medición de sólidos sedimentables, este es empleado en estudios como el de Ruiz (2016) y otros dos estudios encontrados en Perú (**Tabla 1**).

Finalmente, otro método muy extendido es el de placas receptoras (**Fig. 3-C**). Se disponen placas petri o similares, las cuales son lavadas a fondo y untadas con adherente (generalmente vaselina) el cual retiene las partículas de polvo sedimentable sobre estas. Igualmente, al método de tubos pasivos, se colocan a una altura de 1 metro o más y se dejan en el lugar de estudio por un mes.

Figura 3

Tres metodologías principales en la medición de polvo sedimentable a) Tubos pasivos de deposición seca. b) Colectores pasivos adaptados a precipitación. c) Placas receptoras con adherente



Nota: Imágenes tomadas de Saldarriaga 2019, Castillo, 2017 y Miranda y Merma, 2017 respectivamente

Marcos et al. (2009) compararon las metodologías de tubos pasivos con el de placas receptoras. En el estudio mencionado, se analizó además la dinámica del viento sobre los instrumentos colectores y la capacidad de captación de los mismos. Se colocaron en cada punto de muestreo una estación de cada metodología. Un hallazgo importante es la menor capacidad de las placas receptoras para retener el polvo sedimentable resultando valores inferiores de esta metodología en todos los puntos de muestreo. Esto debido a que una vez capturada la primera capa de polvo sedimentable, la segunda no tiene adherencia, y al estar expuestas al viento, se pierde parte de la muestra. Parece entonces que el método gravimétrico basado en tubos recomendado por la ASTM sigue siendo el más eficiente. Sin embargo las placas receptoras, por su practicidad, aún se utilizan frecuentemente. Se encontró que cerca de la mitad de los 16 estudios encontrados en Perú, utilizaban esta técnica. Cabe resaltar entonces, que existe una alta probabilidad de que los datos presentados de estos estudios en la Tabla 1 estén subestimados, aunque es difícil determinar en cuanto.

e) Estándares internacionales sobre ECA Aire para el estudio de polvo sedimentable

El tratamiento de polvo sedimentable a nivel internacional se evidencia en distintos instrumentos normativos. A nivel internacional, la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece como límite máximo 0.5 mg/cm²/mes (Marcos, 2009). Dicho límite es tomado como referencia por nuestro país para sus estudios de monitoreo por parte de instituciones como la DIGESA y el SENAMHI. Desde una perspectiva comparada, diversos países de la región y del mundo incluyen al MPS como contaminante del aire dentro de las normas de calidad atmosférica (**Tabla 2**).

Tabla 2

Tratamiento normativo internacional sobre PMS en normas de calidad atmosférica

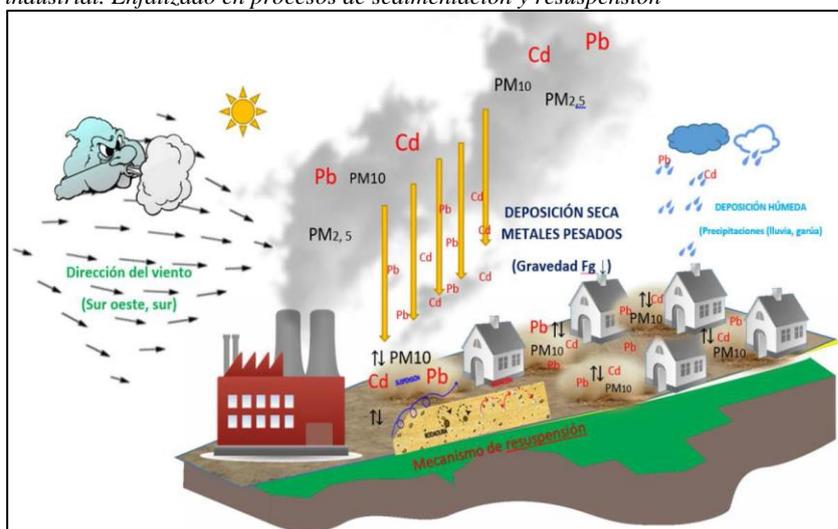
País	Instrumento de referencia	Tiempo promedio	Límite mg/cm²/30 días	Técnica
Argentina	Ley N° 20.284, Plan de prevención de situaciones críticas de contaminación atmosféricas, Anexo II	30 días	1	Gravimetría
Australia	Protection of the Environment Operations (Clean Air) Regulation 2010 (versión del 2019)	30 días	0.4	Gravimetría (AS/NZS 3580.10.1) y nefelómetro integrador (AS 2724.49)
Chile	Decreto Externo N° 4 del Ministerio de Agricultura. Art. 4	30 días	0.6	Gravimetría
Colombia	NTC 3662:1994	30 días	1	Gravimetría
Ecuador	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), reformado por Acuerdo Ministerial 097-A. Libro VI Anexo IV	30 días	1	Gravimetría
México	NOM 010-STPS-1994	30 días	0.5	Gravimetría

f) Actividades económicas relacionadas al MPS y la evaluación ambiental

Un factor a resaltar sobre el MPS y las evaluaciones ambientales, son las situaciones donde existe cercanía de población urbana e instalaciones industriales cuyas emisiones a la atmósfera pueden contener contaminantes peligrosos como metales pesados. Si bien el nivel de contaminantes puede ser mínimo, y como tal, encontrarse dentro de los LMP, si estos se encontraran en zonas de alto nivel de MPS, podrían sedimentar con estos, y acumularse a través del tiempo (Fig. 4). En estas situaciones, será vital incluir en las evaluaciones ambientales el nivel de MPS y de contaminantes que podrían acumularse a largo plazo y llegar a las personas a través de la resuspensión de estos materiales.

Figura 4

Modelo conceptual de contaminación por metales pesados en el aire en un área industrial. Enfatizado en procesos de sedimentación y resuspensión



Nota: Modelo conceptual de una evaluación ambiental de causalidad (EAC) presentado en la clase de "Evaluaciones Ambientales" (OEFA-CEU 2021)

Incluir el enfoque de MPS, implicaría brindar mayor alcance sobre coyunturas de contaminación por metales pesados en zonas no pavimentadas y/o zonas industriales. Un caso muy difundido fue el del Complejo Industrial de Ventanilla en el Callao, según el reporte periodístico de Convoca.pe (2020), en el la concentración del plomo superaban los niveles del ECA Aire del lugar, causando afecciones en la población, afectando, sobre todo, el desarrollo de los niños quienes presentan concentraciones de plomo de hasta de 21.83 microgramos por decilitro de sangre; ello superaría en 220.05% la cantidad límite de 9.9 microgramos por decilitro de sangre. Sin embargo, al realizar las evaluaciones de los LMP de las industrias cercanas las concentraciones en sus emisiones no explicaron por completo los niveles de plomo encontrado en el ambiente. Ante esto, se propone la sedimentación a largo plazo en el polvo sedimentable y su resuspensión constante por los vientos como responsable de la persistencia de este contaminante. Como se aprecia, la consideración del MPS en el



proceso de evaluación ambiental coadyuvó a explicar la causa de la contaminación; por ello, dicha evaluación debería ser un parámetro dentro del ECA Aire.

Así, se evidencia que las variables principales de investigación son la inclusión del MPS y la efectividad de la evaluación ambiental, de forma que se buscará evidenciar cómo dicha inclusión impacta positivamente en la evaluación, y en qué grado lo hace.

Por otro lado, son muy raros los estudios que además de evaluar el nivel de MPS, analicen su composición. Por ejemplo, en uno de los pocos estudios encontrados realizado en una zona industrial de Lurigancho-Lima (Saldarriaga, 2019) se encontraron trazas de metales pesados en muestras de polvo sedimentable seleccionadas, hallando arsénico en dos muestras y plomo en dieciséis; además de encontrar porcentajes menores de PM10. Esto demuestra la posibilidad real de la acumulación de metales en el MPS.

g) Consecuencias de la contaminación por MPS

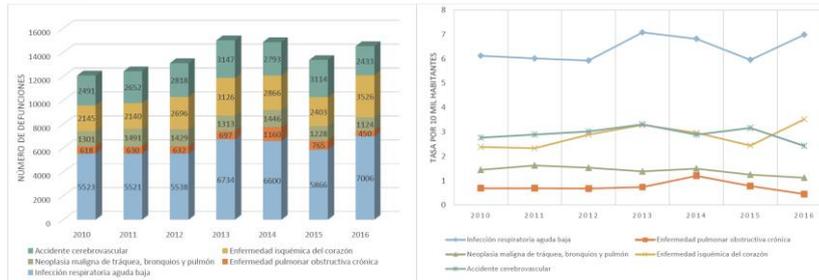
Las consecuencias en la salud son distintas y muy variadas. Desde afectaciones dermatológicas hasta enfermedades crónicas, además de la producción de diversas secuelas. De igual forma como ocurre en los PM10 y PM2.5, las partículas más finas de MPS son más peligrosas, por tener mayor capacidad de penetración en las vías respiratorias. Si bien la mayoría de estas partículas son retenidas básicamente en la parte superior y eliminadas por la limpieza natural del tracto, la exposición continua a altas concentraciones puede causar irritación en la garganta y mucosas (Hormazabal y Adonis, 1998). Numerosos estudios demuestran la relación directa entre la contaminación por partículas del aire y afecciones respiratorias; además, la población vulnerable (niños y personas con trastornos respiratorios) es la más perjudicada (OMS, 2004).

Según el Centro Municipal de Higiene y Epidemiología de la Habana, Cuba (2009); un estudio mas específico señala que las principales enfermedades a causa del MPS son el asma bronquial y las infecciones respiratorias agudas (IRA) que al pasar el límite establecido por la OMS de 0.5 mg/cm²/mes, terminó afectando a 380.5 habitantes/km², que equivale al 72% de la población.

En el contexto nacional, el Estudio de Desempeño Ambiental (MINAM, 2015) señaló en su informe de calidad del aire que Lima Metropolitana y el Callao se encuentran influenciadas por material particulado PM10, el cual en algunos casos excede el ECA establecido por la OMS. El Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades, muestra los registros de mortalidad junto a la tasa bruta por el estado de la calidad de aire a causa de accidente cerebrovascular, neoplasia maligna de tráquea, bronquios y pulmón; infección respiratoria aguda baja, enfermedad isquémica del corazón y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (MINSAL, 2019).

Figura 5

Número de defunciones y tasa de mortalidad por enfermedad asociada a la calidad del aire.



Fuente: Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades, 2019

Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2018) las consecuencias al ambiente por material particulado a través de la sedimentación en el suelo o agua, según su composición química, pueden provocar acidificación de los arroyos y agua, alteración en el balance nutricional de las aguas costeras y cuencas fluviales, reducción de los nutrientes del suelo, generación de daño en parques o bosques y cultivos agrícolas, efectos negativos sobre los ecosistemas dentro del área contaminada y contribución a los efectos de la lluvia ácida. Además se pueden dañar diferentes tipos de materiales u objetos de ámbito cultural.

Por otro lado, las consecuencias económicas se hacen cada vez más evidentes. Según la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (2019), la contaminación del aire se asocia con los costos asociados al mercado (gastos en salud, disminución de la productividad laboral y de los rendimientos agrícolas) y con costos no asociados con el mercado (perjuicios al sector inmobiliario, muerte prematura e incapacidad por enfermedad).

El equipo técnico ESDA-MINAM realizó la valoración económica del impacto a la salud por la contaminación del aire por PM10 para Lima Metropolitana, en diferentes escenarios de riesgo alto, medio y bajo, donde no solo se generan gastos de los pacientes (gasto de hogares) sino también del Estado (subsidios a la salud). Se compara el resultado del cálculo entre casos de mortalidad, admisiones hospitalarias y ausentismo laboral, obteniendo como resultado, el mayor coste social por mortalidad asociado en un escenario de alto riesgo a la contaminación por material particulado (DIGESA, 2011).

Tabla 3

Valoración económica en USD del impacto a la salud por la contaminación del aire por PM10

Rubro	Valor Escenario Riesgo medio	Valor Escenario Riesgo alto	Valor Escenario Riesgo bajo
<i>Mortalidad</i>	802 288 960	924 473 440	676 756 960
<i>Admisiones hospitalarias</i>	3 199 430	4 408 524	2 005 701

<i>Ausentismo laboral</i>	453 558	624 961	284 332
Total	805 941 948	929 506 925	679 046 993

Fuente: Ministerio de Salud (Minsa). Dirección General de Salud Ambiental (Digesa), 2011

Lo que concierne al costo evitado por ausentismo laboral; se considera un promedio de 8.1 días de hospitalización de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, también 5 días en promedio para la recuperación que genera un total de 13.1 días y un ingreso diario de USD 12.79. Por lo que el costo total asciende a USD 167.55 por persona.

Como se evidencia, la contaminación atmosférica impone altos costos económicos, sociales y ambientales sobre el Estado y sus ciudadanos; en consecuencia, se deben emprender todos los esfuerzos para poder dimensionar adecuadamente sus impactos. No obstante, dichos impactos no podrán ser adecuadamente dimensionados si no se le brinda la relevancia debida al MPS, cuyas afectaciones a la salud son reales y evidenciadas por los estudios precitados.

En tal sentido, la delimitación geográfica se circunscribe en puntos representativos de centros urbanos y rurales, sobre los cuales se pueden emprender estudios comparativos en diferentes zonas de análoga clasificación. En cuanto a la delimitación temporal, el muestreo se realizará en el presente año, de conformidad a las circunstancias sanitarias y climatológicas, recabando información de los últimos cinco años y aquellas que se deriven del momento mismo del muestreo.

III. PREGUNTAS, OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

PREGUNTA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL
¿Cómo se podría incorporar el Material Particulado Sedimentable (MPS) en el ECA Aire para evaluación ambiental?	Establecer criterios para incorporar la evaluación del Material Particulado Sedimentable en la evaluación ambiental.	El Material Particulado Sedimentable (MPS) debe ser incorporado al ECA Aire, como un nuevo parámetro, para lo cual se debería tener como criterios: (i) la situación de las ciudades; (ii) el nivel de afectación a la salud ambiental; y (iii) las guías internacionales.

PREGUNTAS ESPECÍFICAS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS
¿Cuál es la regulación nacional y extranjera existente con respecto al Material Particulado Sedimentable (MPS)?	Determinar la tendencia nacional e internacional en la regulación del Material Particulado Sedimentable (MPS).
¿Qué nivel de concentración de Material Particulado Sedimentable (MPS) existe en diferentes ciudades del Perú?	Sintetizar los niveles de concentración de Material Particulado Sedimentable (MPS) de los estudios realizados hasta la fecha en el país al respecto.
¿Cuáles son las afectaciones por la contaminación del Material Particulado Sedimentable (MPS) sobre la salud de los ciudadanos que viven en zonas potencialmente contaminadas?	Identificar las afectaciones del Material Particulado Sedimentable (MPS) en la salud de las personas que viven en zonas potencialmente contaminadas.
¿Qué valor de concentración máxima de Material Particulado Sedimentable (MPS) a implementar en el Estándar de Calidad Ambiental Aire permite garantizar la calidad del aire y la salud de las personas?	Construir un valor preliminar de Material Particulado Sedimentable (MPS) para su incorporación como parámetro en el Estándar de Calidad Ambiental Aire, que permita garantizar la calidad del aire y la salud de las personas.

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Calibri, 11 pto

IV. FUENTES DE INFORMACIÓN

a) Bases de datos	Información a obtener
Conjunto de datos obtenidos de evaluaciones en 12 localidades del país: Tayabamba (Castillo, 2017), Cieneguilla (Chipoco y Valencia, 2015), San Martín (Flores, 2017), Moyobamba (Lozano, 2012), Tacna (Miranda y Merma 2017), Tingo María (Ramos 2017), Huánuco (Rodríguez, 2018), Lurigancho (Saldarriaga, 2019). Todos disponibles en sus repositorios institucionales públicos (Ver bibliografía).	Imagen preliminar del estado del polvo sedimentario en las diferentes ciudades del país, identificando los valores medios y desviaciones, contrastando con el valor guía de la OMS y normativas de países vecinos.

Estudio de desempeño ambiental (MINAM, 2015), Organización Mundial de la Salud (OMS, 2005), Evaluación de la calidad de aire Lima (SENAMHI), Estudio de saturación de calidad de aire Lima-callao (MINSa, 2011)	Impacto a la salud por contaminantes atmosféricos PM10 en Lima/Perú. Mortalidad atribuible a material particulado PM10. Valoración económica del impacto a la salud por material particulado PM10.
---	--

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Calibri, 11 pto

b) Fuentes bibliográficas	Información a obtener
Klinger, Matthias. (2005). Hierarchische Gliederung von Überschreitungen Episoden - erweiterte und detaillierte Analyse für Schwebstaub (PM10). Fraunhofer Institute for Transportation and Infrastructure Systems IVI.	Identificar la clasificación jerárquica de los episodios de superación y análisis detallado de las partículas en suspensión empleado en Alemania.
OECD. (2019). <i>Implementación del Análisis de Impacto Regulatorio en el Gobierno Central del Perú: Estudios de caso 2014-16</i> . OECD Publishing.	Metodología para el análisis de impacto regulatorio, y los instrumentos de calidad regulatoria actualmente vigentes en Perú.
Andaluz Westreicher, C. (2013). <i>Manual de Derecho Ambiental</i> (4ta ed.). Editorial Iustitia.	Vinculación del Estándar de Calidad Ambiental con los Instrumentos de Gestión Ambiental y la Política Ambiental en Perú.
Aránguez, E., Ordóñez, J. M., Serrano, J., Aragonés, N., Fernández-Patier, R., Gandarillas, A., & Galán, I. (1999). Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. <i>Revista Española de Salud Pública</i> , 73(2), 123–132	Identificar conceptos básicos de la contaminación atmosférica, y los efectos que esta tiene con relación a la afectación a la salud de las personas.
Organización Mundial de la Salud. (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre: Actualización mundial 2005.	Revisión de las medidas orientadas a conseguir una calidad del aire que proteja la salud pública en distintas situaciones propuestas en el año 2006.
MINAM (2015) Estudio de Impacto ambiental/calidad del aire. SENAMHI (2013) Evaluación de calidad de aire Lima Metropolitana. MINSa (2011) Estudio de saturación Lima-callao.	Obtención de datos sobre estado de calidad del aire para determinar las implicaciones y/o afectaciones a la salud.
Norma ASTM D 1739-98 y estudio	Metodología comparada para la

comparativo para a determinación del polvo atmosférico sedimentable mediante metodología de tubo pasivo y de placas receptoras en la ciudad universitaria San Marcos (Marcos et al., 2007)	evaluación de MPS.
Estudio de niveles y características del material particulado sedimentable en la ciudad de Lurigancho - Huachipa (Saldarriaga Mariñas, 2019)	identificar la definición, características y tamaño y contenidos en las partículas del MPS.

c) Normas peruanas	Información a obtener
Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias	Detalle del valor de concentración máximo y periodo asignado a cada contaminante del aire.
Ley N° 28611, Ley General del Ambiente	Regulación transversal del Estándar de Calidad Ambiental, así como su vinculación con los principios consagrados en el Título Preliminar.
Ley N° 27466, Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental, y norma reglamentaria	Procedimiento para la certificación ambiental, en lo referido en los compromisos de los Instrumentos de Gestión Ambiental (IGA)
Ley N° 29325, Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental	Lineamientos, principios y bases comunes de la fiscalización ambiental en el país, en el marco del SINEFA.
Resolución Ministerial N° 247-2013-MINAM, Aprueba Régimen Común de Fiscalización Ambiental	
Decreto Supremo N° 013-2017-MINAM, Aprueban el Reglamento de Organización y Funciones del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA)	Competencias del OEFA en la fiscalización del cumplimiento de los ECA.
Decreto Supremo N° 002-2017-MINAM, Aprueban el Reglamento de Organización y Funciones (ROF) del Ministerio del Ambiente - MINAM	Competencias del MINAM en la elaboración de los ECA.

Resolución del Consejo Directivo N° 006-2019-OEFA-CD, Aprueban Reglamento de Supervisión	Competencias del OEFA en la supervisión ambiental en el ámbito
Resolución del Consejo Directivo N° 013-2020-OEFA-CD, Aprueban el Reglamento de Evaluación del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA	Competencias del OEFA en la evaluación ambiental en el ámbito de su competencia.
Resolución del Consejo Directivo N° 006-2018-OEFA/CD, Tipifican infracciones administrativas y establecen escala de sanciones relacionadas con los Instrumentos de Gestión Ambiental, aplicables a los administrados que se encuentran bajo el ámbito de competencia del OEFA	Configuración de las infracciones administrativas relacionadas al incumplimiento de lo establecido en los instrumentos de gestión ambiental (IGA).

d) Normas internacionales	Información a obtener
[Argentina] Ley N° 20.284, Plan de prevención de situaciones críticas de contaminación atmosféricas	Regulación, valores, periodo y técnicas de muestreo del polvo sedimentable en Argentina como contaminante atmosférico.
[Australia] Protection of the Environment Operations (Clean Air) Regulation 2010 (versión del 2019)	Regulación, valores, periodo y técnicas de muestreo del polvo sedimentable en Australia como contaminante atmosférico.
[Chile] Decreto Externo N° 4 del Ministerio de Agricultura. Artículo 4	Regulación, valores, periodo y técnicas de muestreo del polvo sedimentable en Chile como contaminante atmosférico.
[Colombia] NTC 3662:1994	Regulación, valores, periodo y técnicas de muestreo del polvo sedimentable en Colombia como contaminante atmosférico.
[Ecuador] Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), reformado por Acuerdo Ministerial 097-A	Regulación, valores, periodo y técnicas de muestreo del polvo sedimentable en Ecuador como contaminante atmosférico.
[México] NOM 010-STPS-1994	Regulación, valores, periodo y técnicas de muestreo del polvo sedimentable en México como contaminante atmosférico.

e) Actores claves a entrevistar	Información a obtener
Autoridades de las EFAs (Municipalidad Metropolitana de Lima, Municipalidad Distrital de Comas y Municipalidad Distrital de Callao)	Conocer las dificultades en la evaluación de la calidad atmosférica, y cómo perciben y son afectados por los impactos del polvo polvo atmosférico sedimentable.
Población aledaña a zonas expuestas a polvo sedimentario (corredores de los distritos de Comas y Carabaylo, y de la región de Trujillo)	
Servidor de la Dirección General de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente del Perú	Proceso de planificación y elaboración de un Estándar de Calidad Ambiental en el marco de la Resolución Ministerial N. ° 124-2020-MINAM, Lineamientos para la elaboración, revisión y aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP).
Servidor experto en el monitoreo de la calidad del aire, de la Dirección de Evaluación Ambiental del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA	Protocolos para la vigilancia, monitoreo y evaluación ambiental de la calidad ambiental del aire; procedimiento para el desarrollo de estudios técnicos científicos para determinar los factores que afectan a los componentes ambientales.
Servidor de la Subdirección Técnico Científica del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA	Procedimiento para el monitoreo de la calidad ambiental del aire, y para el establecimiento de la línea base ambiental. Evaluación y limitaciones de los Estándares de Calidad Ambiental y el rol del OEFA en la evaluación ambiental.
Docente de la asignatura del Derecho Ambiental de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos	Limitaciones y perspectiva crítica al proceso de macro-fiscalización ambiental del OEFA y obligaciones ambientales contenidas en los Instrumentos de Gestión Ambiental.

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Calibri, 11 pto

3. Metodología de la investigación

El presente proyecto de investigación tiene una metodología de investigación mixta. Presenta rasgos cualitativos en el sentido de describir los conceptos, métodos y comparación normativa (Behar, 2008) existente respecto al MPS en Perú y el mundo, así como las percepciones de las poblaciones afectadas por el MPS mediante encuestas y entrevistas; y presenta rasgos cuantitativos, al hacer una síntesis de los valores y datos numéricos obtenidos en diferentes estudios y presentarlos estadísticamente. Se busca poder evaluar dichos datos en función a las dimensiones del MPS en los distintos contextos específicos del Perú. (Pregunta específica 1 y 2)

El alcance del presente proyecto es descriptivo toda vez que se realizaron revisiones de diversas investigaciones científicas y normativas internacionales sobre la regulación del polvo sedimentario, su impacto y situación actual en las áreas urbanas del país, permitiendo contrastar conceptos, métodos, y resultados de diversos autores. La revisión metódica de literatura resulta ser un método replicable y transparente que permite analizar la línea de investigación, haciendo seguimiento de discusiones y conclusiones para poder brindar aportes. El diseño del presente proyecto es no experimental toda vez que no se manipulan las variables del estudio realizado, sino se observa y analiza a efectos de identificar las interacciones entre las variables y sus fenómenos.

En cuanto a los métodos, para las primeras preguntas de investigación, se sigue el método fenomenológico (Behar, 2008), toda vez que se realiza un análisis descriptivo en base a la bibliografía y literatura existente sobre el MPS y su relación con el ambiente como fenómeno de estudio. Para la construcción del valor preliminar de Material Particulado Sedimentable (MPS) a implementar en el Estándar de Calidad Ambiental Aire, posterior a la obtención de los parámetros atmosféricos, se realizará mediante el método inductivo, en cuanto a partir de la obtención de valores de calidad ambiental en ciudades representativas se establecerá cuál será el límite de MPS que el aire, en su calidad de cuerpo receptor, puede soportar sin representar un riesgo para la calidad del ambiente y la salud de las personas; reconociendo su validez mientras no se encuentren casos que representen situaciones especiales, como demarcaciones geográficas cuyo MPS se genere a partir de condiciones naturales o ecosistemas especialmente frágiles (pregunta específica 4).

La justificación de la necesidad de regular un parámetro adicional, el MPS, dentro del ECA Aire, tendrá carácter argumentativo bajo la metodología del Análisis de Impacto Regulatorio (RIA, por sus siglas en inglés) (OECD, 2019). Se procederá a definir el problema, el objetivo de la intervención en función a la política ambiental, y las alternativas de regulación para finalmente proceder a una prospección en la evaluación de impactos, determinando si la inclusión del ECA como parámetro puede representar la alternativa idónea en función a comprender mayores beneficios y costos sociales, económicos y ambientales para la administración y los administrados en la evaluación ambiental.

4. Bibliografía

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2018). Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente.
- Alcalá Jáuregui, J., Rodríguez Ortiz, J. C., Hernández Montoya, A., Díaz Flores, P. E., Rojas Velázquez, Á. N., Rodríguez-Fuentes, H., & Morales, F. A. B. (2018). Heavy metals in atmospheric dust deposited in leaves of *Acacia farnesiana* (Fabaceae) and *Prosopis laevigata* (Fabaceae). *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 50(2), 173–185. <https://bdigital.uncu.edu.ar/app/navegador/?idobjeto=11680>
- Andaluz Westreicher, C. (2013). *Manual de Derecho Ambiental* (4ª ed.). Editorial Iustitia.
- Aránguez, E., Ordóñez, J. M., Serrano, J., Aragonés, N., Fernández-Patier, R., Gandarillas, A., & Galán, I. (1999). Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. *Revista Española de Salud Pública*, 73(2), 123–132. http://scielo.isciii.es/pdf/resp/v73n2/contam_atmos.pdf
- BBC News Mundo. (2020). Polvo del Sahara: cuál es el fenómeno detrás de la densa nube que viajó 10.000 km desde África y ya afecta México. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-53146160>
- BBC. (2020). Nube de polvo del Sahara: qué complicaciones de salud puede causar y qué recomendaciones hay para protegerse. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-53186243>
- Behar, D. S. (2008) *Metodología de la Investigación*. Editorial Shalom. 978-959-212-783-7
- Cătălin, Ș. E. (2019). Evaluation of the Powder level from Roșița locality (pp. 1–4). https://www.utgjiu.ro/rev_ing/?page=curent&nr=2019-1
- Castillo, G. M. (2017). Partículas sedimentables del aire y su influencia en las infecciones respiratorias agudas en la ciudad de Tayabamba [Tesis, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional. <https://web2.unas.edu.pe/>
- Castro, M. P. (2019). Evaluación de la contaminación del aire ocasionado por el polvo atmosférico sedimentable mediante el método de placas receptoras en el área urbana del Centro Poblado de Paragsha - Región Pasco, Agosto-Noviembre 2017 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio institucional. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1989>
- Chipoco, J. G., Valencia, F. (2015). Determinación de la capacidad de adsorción de material particulado en el aire en una especie arbórea *Schinus terebinthifolius* y una rastrera *Aptenia cordifolia* en el condominio La Quebrada – Cieneguilla. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2192>
- Convoca.pe (2020) Los niños que respiran plomo en el Callao - IV Las Fabricas de Ventanilla. <https://convoca.pe/investigacion/los-ninos-que-respiran-plomo-en-el-callao>

- Dappe, V., Uzu, G., Schreck, E., Wu, L., Li, X., Dumat, C., Moreau, M., Hanoune, B., Ro, C. U., & Sobanska, S. (2018). Single-particle analysis of industrial emissions brings new insights for health risk assessment of PM. *Atmospheric Pollution Research*, 9(4), 697–704. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.01.016>
- Delgado, J. L. (2019). Influencia del flujo vehicular, en la contaminación por polvo atmosférico sedimentable en el mercado zonal Palermo - Trujillo, 2019. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio institucional. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/48368>
- Dirección General de Salud (2012). Estudio de Saturación de Calidad de aire en Lima metropolitana y Callao en 2011. Informe Gubernamental. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/estudio-saturacion-lima-metropolitana-callao-ano-2011>
- Flores, F. S. (2017). Determinación de la cantidad de partículas atmosféricas sedimentables, mediante el método de muestreo pasivo, en la ciudad de Morales, provincia de San Martín, 2015. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/11458/2757>
- Hernández, C.E., Rodríguez, F. L., & Pérez, A. (2009). Polvo Sedimentable, asma bronquial y enfermedades respiratorias agudas. San Antonio de los Baños. La Habana. Centro Municipal de Higiene y Epidemiología. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2009000100017
- Hurtado Grijalva, B. A. (2017). Polvo Atmosférico Sedimentable y su influencia en la salud de los trabajadores de la obra: Ampliación y mejoramiento del Sistema de agua potable y alcantarillado de Pillco Marca – Huánuco, octubre – noviembre 2017. 0, 163. <http://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/962?show=full>
- Lozano, F. R. (2013). Determinación del grado de partículas atmosféricas sedimentables, mediante el método de Muestreo Pasivo, zona urbana – ciudad de Moyobamba, 2012. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/11458/1084>
- Marcos, R., Cabrera, M., Laos, H., Mamani, D., & Valderrama, A. (2009). Estudio comparativo para la determinación del polvo atmosférico sedimentable empleando las metodologías de tubo pasivo y de placas receptoras en la ciudad universitaria de San Marcos – Lima. *Revista del Centro de Desarrollo e Investigación en Termofluidos CEDIT*, 3(1), 49-58. <https://sisbib.unmsm.edu.pe/>
- Martínez, J., Lluveras, E. M. (2019). Contaminación atmosférica. [Tesis de Maestría, Universidad Tecnológica de La Habana]. 10.13140/RG.2.2.14603.34087
- Martínez, M.A. (2012). Contaminación atmosférica. Cátedra de Ecología. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. <https://www.agro.uba.ar/users/semmarti/Atmosfera/Presentacion.pdf>
- Martins, A. (2018). Del Sahara al Amazonas: 4 fascinantes impactos del polvo del desierto que viaja miles de kilómetros para llegar a América Latina. *BBC News Mundo*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-45019573>

- MINAM. (2015). Estudio De Desempeño Ambiental. 716. http://www.minam.gob.pe/esda/wp-content/uploads/2016/09/estudio_de-desempeno_ambiental_esda_2016.pdf
- MINAM. (2019). Diagnóstico de la Gestión de la Calidad Ambiental del Aire de Lima y Callao. 97. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/diagnostico-gestion-calidad-ambiental-aire-lima-callao>
- MINSA. (2011). Estudio de saturación Lima Metropolitana y Callao, año 2011. 66. <https://www.yumpu.com/es/document/view/13237199/ii-estudio-de-saturacion-de-la-calidad-del-aire-en-lima->
- Miranda, J. L., Merma, L. (2017). Evaluación de la concentración de polvo atmosférico sedimentable y material particulado (PM2.5, PM10) para la gestión de la calidad del aire 2017 en la ciudad de Tacna. [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio institucional. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/UPT/354>
- OECD. (2019). *Implementación del Análisis de Impacto Regulatorio en el Gobierno Central del Perú: Estudios de caso 2014-16*. OECD Publishing.
- OECD. (2008). *Introductory Handbook for Undertaking Regulatory Impact Analysis (RIA)*. <https://www.oecd.org/gov/regulatory-policy/44789472.pdf>
- OMS. (2004). Guías para la calidad del aire. 1–239. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.0_2_spa.pdf;jsessionid=BC0E3939753FF43CF0772B9AD42CCD1B?sequence=1
- Organización Mundial de la Salud. (2006). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre: Actualización mundial 2005. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.0_2_spa.pdf;jsessionid=CAD54B02D886F0AFD36BD74964D150CB?sequence=1
- Quiroz, E. N. (2018). Comparación de la concentración del polvo atmosférico sedimentable de vías pavimentadas respecto a las vías no pavimentadas de la ciudad de Uchiza, provincia de Tocache y departamento de San Martín en el periodo de octubre a diciembre del 2018. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional. <http://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/1666>
- Ramos, L. (2017). Partículas atmosféricas sedimentables en tres áreas de esparcimiento poblacional de las principales vías vehiculares del casco urbano de la ciudad de Tingo María. [Tesis, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional. <https://web2.unas.edu.pe/>
- Rodríguez, L. Y. (2018). Partículas Atmosféricas Sedimentables en el casco urbano del distrito de Castillo Grande, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco. [Tesis, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional. <https://web2.unas.edu.pe/>
- Romero, M., Diego, F., & Álvarez, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*. <https://www.redalyc.org/pdf/2232/223214848008.pdf>

- Rojano, R., E., Angulo, L., C., & Restrepo, G. (2013). Niveles de Partículas Suspendidas Totales (PST), PM10 y PM2.5 y su relación en lugares públicos de la Ciudad Riohacha, Caribe Colombiano. *Revista Información Tecnológica*. Vol.24 (2), 37-46. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642013000200006
- Ruiz, K. A. (2016). Concentración de polvo atmosférico sedimentable y su relación con la morbilidad asociada a infecciones respiratorias agudas en la ciudad de Matucana. [Tesis, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional. <https://web2.unas.edu.pe/>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de ecología. (2011). *Guía metodológica para la estimación de emisiones de PM2.5*. Mexico. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/225459.pdf>
- Saldarriaga, J. A. (2019). Niveles y Características del material particulado sedimentable en la ciudad de Lurigancho – Huachipa en 2015. [Tesis, Universidad Nacional de Tumbes]. Repositorio institucional. <http://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/UNITUMBES/296>
- Sanchez, I. R. (2019). Concentración del Polvo Atmosférico Sedimentable y su efecto en la salud de los habitantes de la ciudad de Amarilis – Huánuco en 2019. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional. <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/2363>
- Sandoval, H. (2000). Contaminación y contaminantes, aspectos científicos, teóricos y prácticos. Lima.
- Sangoluisa Ibarra, B. (2018). Valoración económica de la contaminación del aire Caso de las parroquias Belisario Quevedo y Cotocollao del Distrito Metropolitano de Quito. 1–140. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/15096>
- Santillán Lima, G. P., Damián Carrión, D. A., Torres Rodríguez, S. H., Rodríguez Llerena, M. V., & Cargua Catagña, F. E. (2016). Estimación del grado de contaminación de Material Particulado atmosférico y sedimentable en el Laboratorio de servicios ambientales de la UNACH. 2. <http://ceaa.esPOCH.edu.ec:8080/revista.perfiles/Articuloshtml/Perfiles16Art5/Perfiles16Art5.xhtml>
- Sangoluisa Ibarra, B. (2018). Valoración económica de la contaminación del aire Caso de las parroquias Belisario Quevedo y Cotocollao del Distrito Metropolitano de Quito. 1–140. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/15096>
- SENAMHI. (2013). Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana 2013. <http://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/405/Evaluaci%C3%B3n-calidad-aire-Lima-Metropolitana-2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Silva-Cotrino, J., Montoya-Cabrera, Z. (2006). Análisis de la relación entre el comportamiento estacional de los contaminantes sólidos sedimentables con las condiciones meteorológicas predominantes en la zona metropolitana de Lima-Callao durante el año 2004. *Acta Nova*, 3(2), 398-411. <http://www.scielo.org.bo>

- 
- Sistema Peruano de Información Jurídica. (2009). Ley N° 29325. Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental.
 - Sistema Peruano de Información Jurídica. (2008). Decreto Legislativo. Decreto Legislativo que aprueba la Ley de creación, organización y funciones del Ministerio del Ambiente.
 - Zhiping, N., Feifei, L., Hongmei, Y., Shaotang, W., & Hao, X. (2021). Association between exposure to ambient air pollution and hospital admission, incidence, and mortality of stroke: an updated systematic review and meta-analysis of more than 23 million participants. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 26(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s12199-021-00937-1>