



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA LA FISCALIZACIÓN AMBIENTAL

Análisis del impacto en el ambiente por el incremento del valor de dióxido de azufre (SO₂) en el ECA Aire 2017

INTEGRANTES:

APELLIDOS Y NOMBRES

ESPECIALIDAD Y CARRERA

Felix Asencio Luz María

Economía / Economía Pública

Mateo Tagle Diego Alberto

Ciencias / Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales

Olivares Ramón Fabio Brandon

Derecho / Derecho

Paucar Calsin Lady Solange

Ciencias / Ingeniería Geográfica

Porras Núñez Angie Luxa Valentina

Derecho / Derecho

NOMBRE DEL ASESOR: Ramiz Martínez Polo

Tabla de contenido

1. Justificación de la investigación.	3
2. Antecedentes y conceptos básicos.	5
2.1. Antecedentes del problema.....	5
2.1.1. Antecedentes Internacionales	5
2.1.2. Antecedentes en Latinoamérica	6
2.1.3. Antecedentes Nacionales.....	7
2.2. Definición de términos básicos.....	8
2.2.1. Calidad de aire.....	8
2.2.2. Estándar de Calidad Ambiental – ECA.....	8
2.2.3. Límite máximo permisible	9
2.2.4. Dióxido de azufre	9
2.2.5. Contaminación atmosférica.....	11
2.2.6. Impacto ambiental	11
2.2.7. Costos ambientales.....	11
2.2.8. Fuentes de emisión	11
2.2.9. Fuentes fijas.....	12
2.2.10. Fuentes móviles.....	12
3. Preguntas, objetivos e hipótesis de la investigación	12
4. Fuentes de información	13
4.1. Tabla con las bases de datos públicas.....	13
4.2. Tabla con las fuentes bibliográficas	13
4.3. Tabla con las normas legales peruanas.....	14
4.4. Tabla con las normas legales extranjeras	14
5. Metodología de la investigación	15
5.1. Alcance de la investigación	15
5.2. Diseño de la investigación.....	15
5.3. Métodos de la investigación	16
6. Referencias bibliográficas y bibliografía	16

1. Justificación de la investigación.

La contaminación atmosférica es un problema de deterioro ambiental que afecta a todo el mundo, y que el ser humano padece actualmente; adicionalmente se enfrenta a la disyuntiva de cómo detener esta afectación al ambiente. La explotación excesiva de los recursos naturales, los cambios de uso de suelo, las concentraciones urbano-industriales y la gran cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera, dañan el medio ambiente en un proceso que parece ser irreversible. Estos efectos no sólo perjudican a los seres vivos, sino también, generan fenómenos que afectan al ecosistema; e inciden en la salud de los seres humanos. (García et al, 2013)

Existen muchos factores que alteran la calidad del aire siendo estos, la presencia de sustancias contaminantes, como gases o partículas que pueden ser generadas de forma natural o de manera antropogénica. Actualmente la contaminación del aire está en aumento debido a una mayor demanda del uso de energía, servicios y recursos por parte de la población y las industrias ya sean grandes o pequeñas, siendo estas las que contaminan el aire con gases o partículas, afectando de esta manera la salud pública y al ambiente. (García A. , 2019)

La salud y un ambiente limpio son dos de los pilares en los que se basa nuestro bienestar integral; es por ello que, en casi todo el mundo, existen normativas que regulan el estado de los contaminantes presentes en nuestro medio ambiente, y con órganos de control que verifican que se respeten estos parámetros.

En Perú la calidad del aire se basa en el cumplimiento de los estándares de la calidad ambiental (ECA), es por lo que esta investigación se enfocará en analizar el impacto del incremento de la concentración del parámetro de SO₂ en el Estándar de Calidad Ambiental (en adelante, ECA) Aire 2017¹, respecto al ECA Aire 2013².

El Estándar de Calidad Ambiental - ECA es la medida que determina 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 un riesgo significativo a la salud humana o al ambiente. (MINAM, Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente, 2005)

Los Estándares de Calidad Ambiental actualizan su normativa, y se ajustan a las recomendaciones del Organismo Mundial de la Salud y las de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) en la Evaluación de Desempeño Ambiental del Perú, así como a los Objetivos de Desarrollo Sostenible hacia el 2030. (MINAM, 2017)

Al respecto, la Guía de Calidad del Aire (GCA) de la OMS, con respecto al dióxido de azufre, estableció los rangos de 20 µg/m³ para un promedio de 24 horas y 500 µg/m³, para una media de 10 minutos, fundamentados en los efectos generados en la población según el tiempo de exposición a dicho parámetro. En una exposición de corta duración la población analizada (asmáticos que hacían ejercicios), experimentaron cambios en la función respiratoria en solo 10 minutos, por lo que se recomendó no exceder el nivel de 500 µg/m³ para evitar mayores complicaciones. En el caso de las exposiciones de

¹ Estándar de Calidad Ambiental (ECA) Aire, aprobado mediante D.S. N° 003-2017-MINAM

² Estándar de Calidad Ambiental (ECA) Aire, aprobado mediante D.S. N° 006-2013-MINAM

duración prolongada, estas se fundamentaron en estudios epidemiológicos en los que la población estaba normalmente expuesta a una mezcla de contaminantes. Sin embargo, había cierta incertidumbre sobre la causalidad del SO₂ y sus efectos directos, por lo que, adoptándose en un enfoque precautorio, se estableció como valor recomendable el de 20 µg/m³. (Organización Mundial de la Salud, 2005)

Los ECA también se ajustan a las Evaluaciones de Desempeño de Calidad Ambiental realizados por OCDE. Al respecto, en el informe del 2017 se analizan los resultados de los monitoreos efectuados en las estaciones permanentes. Para la estación de Lima se determinó que existen parámetros como el PM₁₀ y SO₂ que exceden los valores permitidos, comparados con los establecidos según el ECA 2013. El informe detalla que para la concentración de SO₂ se coincidía con el valor recomendado por la OMS (20µg/m³), mientras que el segundo valor excedía en 4 veces lo permitido (80µg/m³), siendo aplicable solo en localidades donde se superaban los 20µg/m³, teniendo que fijarse planes para su reducción. (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2017)

En el año 2017 el ECA aire se modificó, aumentando más de 12 veces la concentración del dióxido de azufre (SO₂), pasando de 20 µg/m³ a 250 µg/m³, en un periodo de 24 horas; situación que resultó anómala, toda vez que, en otros países el estándar de calidad también se incrementó, permitiendo así, que las personas estén expuestas a un mayor nivel de concentración de SO₂ en el ambiente, producto de las emisiones por parte de las empresas industriales.

El SO₂ según la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades - ATSDR, (1999) define al SO₂ o anhídrido sulfuroso como un “gas incoloro de olor acre, que posee una baja presión. El anhídrido sulfuroso en el aire se origina principalmente de actividades tales como quema de carbón o aceite en centrales eléctricas o de la fundición del cobre”; y que además de ello, de acuerdo a lo manifestado por la Organización Mundial de la Salud (2018) el SO₂ “puede afectar al sistema respiratorio y las funciones pulmonares, y causa irritación ocular. La inflamación del sistema respiratorio provoca tos, secreción mucosa y agravamiento del asma y la bronquitis crónica”, incluso puede ocasionar en ciertas personas paros cardiorrespiratorios; y, además, actúa como precursor de la formación de sulfato amónico, los daños a la salud sin duda son evidentes, y un aumento del SO₂ en el aire aumentaría estos efectos negativos.

El SO₂ se origina principalmente en el proceso de combustión de combustibles fósiles, en nuestro país los sectores productivos que utilizan derivados del petróleo en sus procesos son bastante diversos y numerosos, pero las industrias a gran escala son los mayores emisores de SO₂ al ambiente, fábricas de fertilizantes, papeles, plásticos, generadores termoeléctricos, por ejemplo las fábricas de papel y cartón emiten 8.71 kg/h, lo que representa dos veces y media lo emitido por los motores a diésel. (España, 2012)

Asimismo se debe tener en cuenta el principio de No Regresión del Derecho Ambiental, que fue fortalecido en la Cumbre de Río + 20³, al respecto Amaya (2015), en su tesis de

³ La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (Río +20) se realizó en Río de Janeiro, Brasil, los días 20-22 de junio de 2012. El resultado fue el documento El futuro que queremos que contiene medidas claras y prácticas para la implementación del desarrollo sostenible.

postgrado indica lo siguiente “(...) se busca evitar la supresión normativa o la reducción de sus exigencias por intereses que no logren demostrar ser jurídicamente superiores al interés público ambiental, ya que en muchos casos, dichas regresiones podrían derivar en daños ambientales irreversibles”; claramente la decisión de reducir el ECA aire respecto del componente SO₂ se contradice en lo mencionado por dicho principio.

En el medio ambiente los efectos nocivos son igual de alarmantes. De acuerdo al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España, el SO₂ puede producir daños en la vegetación, degradación de la clorofila, reducción de la fotosíntesis y con ello una potencial pérdida de especies vulnerables. (España, 2012)

Con esta investigación, se quiere analizar el impacto que ha tenido en el ambiente la modificación del valor del parámetro SO₂ en el ECA 2017 con respecto al ECA 2013, comparando la normativa nacional con la internacional, describiendo los resultados obtenidos en monitoreos de la calidad del aire y realizando un análisis de los costos por contaminación en la salud.

2. Antecedentes y conceptos básicos.

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes Internacionales

- Manisalidis, Stavropoulou, Stavropoulos, & Bezirtzoglou (2020) en su investigación nos dice que uno de los mayores flagelos de nuestra era es la contaminación del aire, y no solo hace referencia a su impacto en el cambio climático sino que también se refiere al impacto en el público y a la salud individual, aumentando de esa manera la morbilidad y la mortalidad. Además en la presente artículo hacen una descripción y análisis sobre los diferentes contaminantes que en este caso constituyen un factor importante de enfermedad en los seres humanos como los son el material particulado, Ozono, los COV's, el CO, el SO₂ y el NO₂. Al menos, el cambio climático, resultante de la contaminación ambiental, afecta la distribución geográfica de muchas enfermedades infecciosas. El aporte que brinda este trabajo a nuestra investigación es diciendonos que la única manera de abordar el problema es la conciencia pública junto con un enfoque multidisciplinario de la ciencia y demás expertos; así también con los organismos nacionales e internacionales ya que ellos deben abordar el surgimiento de problema y proponer soluciones sostenibles.
- Dahiya & Myllyvirta (2019) realizaron una investigación en la que plantearon como objetivo elaborar un sistema de data sobre las áreas con mayores concentraciones de SO₂ para poder tener una mejor percepción de las diferentes regiones del mundo, y luego de ello arribaron a la conclusión sobre que la quema de combustibles fósiles como el carbón, petróleo y gas es la fuente más grande de emisiones antropogénicas de SO₂ que tiene como consecuencias una mala calidad de aire y muertes prematuras en todo el mundo a la vez que se reduzca el impacto de las instalaciones que siguen contaminando, con la adopción de estándares de emisiones más estrictos. La presente investigación será relevante para el presente trabajo, ya que las autoras indicaron que se deben de adoptar estándares de calidad ambiental

más estrictos respecto al aire y al SO₂, materia importante para la presente investigación.

- Rodríguez (2018) en su trabajo elaboró una herramienta, que puede ser empleada en la toma de decisiones respecto a los problemas derivados de la contaminación atmosférica, para la resolución de problemas relacionados con la calidad del aire respirable a escala local y observar los efectos de las partículas en la salud humana. A partir del conjunto de datos experimentales de las concentraciones de dióxido de azufre recogidos desde 2013 a 2015, se construyen varios modelos de regresión utilizando técnicas basadas en el aprendizaje estadístico, y mediante Estimación de la tendencia mensual de las concentraciones de SO₂, durante los años 2013, 2014 y 2015, para predecir mediante el modelo resultante la calidad del aire en la ciudad de Oviedo. Se confirmó la hipótesis de que el diagnóstico de la calidad del aire en el área urbana de Oviedo, a escala local, puede modelarse con precisión utilizando un modelo híbrido basado en PSO-SVM para predecir las concentraciones de SO₂ en función de los contaminantes de operación de entrada medidos y para reducir los costos en la evaluación de la calidad del aire, en la zona urbana de Oviedo.

2.1.2. Antecedentes en Latinoamérica

- Núñez, Rodríguez, Gómez, Herrera, & Morales (2019) elaboraron un artículo de investigación publicado por el Centro Agrícola de la Universidad Central Marta Abreu de las Villas, centro de investigación de Cuba, en el cual tuvieron como objetivo cuantificar la carga contaminante de SO₂ emitida por fuentes fijas, para evaluar la calidad del aire y así, proponer medidas para su reducción, y después de ello arribaron a la siguientes conclusiones:
 1. La fuente responsable de emitir mayor cantidad de SO₂ es la fábrica de conservas "Mady" del municipio de Santo Domingo.
 2. Por el elevado porcentaje de azufre que posee, Fueloil es el combustible que más SO₂ emite al quemarse.
 3. La evaluación de la calidad del aire presenta dificultades en las fuentes analizadas que poseen la categoría de Deciente y Pésima en el 80 % de las mismas.
 4. El impacto ambiental de las medidas de eficiencia energética propuestas es positivo al disminuir el consumo de combustible en 38 t y la emisión de SO₂ en 1,8 t.

Este trabajo será de utilidad, pues los autores afirman que la calidad de aire que se tiene en una población cercana a fábricas que emiten SO₂ e industrias puede alcanzar niveles por debajo de lo recomendado y con ello afectar la salud de las personas, reforzando nuestra investigación.

- Cuesta, Gonzales, Velasco, & Aristizábal (2017) tuvieron como objetivo el establecer una línea de inicio para las concentraciones de gases y analizar la influencia de los emisores, para finalizar con las conclusiones de que las concentraciones de SO₂ fueron significativamente superiores en el sector industrial y el área rural (influida por emisiones volcánicas), en comparación con los sectores residencial y comercial. Las concentraciones más bajas de SO₂ se obtuvieron en sectores residenciales. Este trabajo será de utilidad para

la presente investigación pues los autores concluyen en que las emisiones de SO_2 son mayores en áreas industriales que, en áreas urbanas, por lo que se considera que las fábricas no deben de situarse en ciudades con alta concentración de personas pues la calidad de aires queda reducida considerablemente.

- Salazar (2018) tuvo como objetivo el análisis de la concentración del SO_2 en la Zona Metropolitana de Toluca y su relación con los registros de temperatura, de acuerdo a la base de datos gubernamental en un periodo de 5 años, para luego arribar a la siguiente conclusión, para el caso de este estudio, una elevación se presenta de 8:00 a 12:00 horas y otra, de 20:00 a 23:00 horas. Para la elevación matutina, esta pudiese ser explicada gracias a la actividad económica e industrial que en la ZMVT se desempeña, ya que existen alrededor de once mil 364 unidades económicas industriales en toda el área (GEM, 2012). En este sentido, cabe señalar que la industria energética, manufacturera y de construcción, son algunas de las actividades económicas que más participan en la formación de SO_2 . Este trabajo será importante en la presente investigación, pues la autora relaciona directamente la emisión de SO_2 por parte de conglomerados industriales, con el aumento de temperatura de un área urbana metropolitana, alterando el correcto desempeño de la calidad ambiental del aire.

2.1.3. Antecedentes Nacionales

- Custodio (2018), presenta como objetivo de estudio determinar el impacto ambiental del SO_2 y el material particulado ($\text{PM}_{2.5}$) respecto de la calidad de aire en Chimbote, para luego concluir que los niveles de concentración del dióxido de azufre y material particulado ($\text{PM}_{2.5}$), Chimbote, 2014 - 2016, en algunos casos superan el valor $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de material particulado y $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de dióxido de azufre, según los Estándares de Calidad de Aire - ECAs, o están próximos al umbral de cuidado que es $>125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el material particulado y $> 500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el dióxido de azufre, según la calificación del Índice Nacional de Calidad del Aire – INCA. Este trabajo será importante en la presente investigación, pues, el autor establece que zonas urbanas en donde existen grandes industrias donde se emplea combustión de as licuado de petróleo, como son las fábricas de harina de pescado, los niveles de SO_2 sobrepasan los límites establecido por el Estándar de Calidad Ambiental vigente.
- Coaquira (2018) tuvo como objetivo de la investigación el identificar cuáles son los factores determinantes de la calidad ambiental del aire y su consecuencia para ocasionar enfermedades respiratorias, y luego de ello la autora llegó a la conclusión sobre que se presenta un portafolio de 18 factores naturales y antrópicos que son determinantes para relacionarlos con la morbilidad y mortalidad de las enfermedades respiratorias (...) el dióxido de azufre constituye el segundo contaminante mayormente emitido en la cuenca atmosférica de Arequipa, correspondiendo en un 19.9% a la actividad de fabricación de cemento por el empleo de carbón mineral en sus hornos de proceso en seco. Este trabajo será de gran utilidad en la presente investigación, ya que la autora relaciona el aumento de la morbilidad y

mortalidad de las enfermedades respiratorias con la baja calidad del componente aire de Arequipa.

- Luna, Talavera, & Cano (2017) obtuvieron data en tiempo real de los contaminantes atmosféricos como el CO₂, SO₂, Ozono, NO₂ y VOC; y la aplicación de redes neuronales para los contaminantes de CO₂ Y SO₂. Se realizó la medición en campo empleando sensores electroquímicos con 4 electrodos que miden los gases en nmol/mol, por lo que se requirió de lenguaje de programación para convertir las unidades en ppm. Como resultados se obtuvieron que los valores CO₂ Y SO₂ excedían lo permitido en el ECA; en el caso de SO₂ superaba en más de 270%. Solo para estos 2 contaminantes se aplicó la metodología de las redes neuronales. Los valores medidos con los sensores de bajo costo fueron divididos en 3 conjuntos, el 70% fue empleado para el entrenamiento, el 20% se usó para validación y el 10% restante para el teste; y a partir del algoritmo Levenberg-Marquardt se logró una convergencia luego de una serie de iteraciones. Se concluyó que el empleo de inteligencia artificial en sensores atmosféricos de bajo costo, tienen un alto potencial para ser usados como complemento ante la escasez de estaciones estáticas de monitoreo, ya que proporcionan información preliminar confiable sobre emisiones provenientes de fuentes fijas. Además, destacan su uso para identificar en tiempo real puntos críticos de contaminación, y en base a ello proponer medidas de mitigación en beneficio de la población.

2.2. Definición de términos básicos

2.2.1. Calidad de aire

Una adecuada y buena calidad de aire mejora la calidad de vida de una población. Para ello se requiere el compromiso de las personas que realizan las actividades involucradas. Es el Estado el que debe implementar medidas necesarias para garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental (ECA) y límites máximos permisibles (LMP). De lo contrario la presencia de los contaminantes que exceden los niveles establecidos por los ECA no solo significaría que la calidad del aire disminuya, sino también la disminución de calidad de vida de la población con efectos dañinos para la salud. (García A. , 2019)

2.2.2. Estándar de Calidad Ambiental – ECA

Es un instrumento de gestión ambiental que se establece para medir el estado de la calidad del ambiente en el territorio nacional. El ECA establece los niveles de concentración de elementos o sustancias presentes en el ambiente que no representan riesgos para la salud y el ambiente. Este instrumento de gestión es importante porque permite tener una meta de calidad ambiental cuya evaluación periódica permite saber su cumplimiento y tomar las medidas respectivas. (MINAM, 2019)

Tabla 1.
Estándar de Calidad Ambiental Aire

Parámetros	Periodo	Valor [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Criterio de Evaluación	Método de Análisis
Benceno (C_6H_6)	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases

Dióxido de Azufre (SO_2)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO_2)	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras ($PM_{2,5}$) (PM_{10})	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM_{10})	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso Total (Hg)	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS)
				o
				Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS)
				o
				Espectrometría de absorción atómica Zeeman. (Métodos automáticos)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR)(Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	
Ozono (O_3)	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
	Mensual	1,5	NE más de 4 veces al año	
Plomo (Pb) en (PM_{10})	Anual	0,5	Media aritmética de los valores mensual	Método para PM_{10} (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Sulfuro de Hidrógeno (H_2S)	24 horas	150	Media aritmética

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM

2.2.3. Límite máximo permisible

El Límite Máximo Permisible - LMP, es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por la respectiva autoridad competente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos. (MINAM, Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente, 2005)

2.2.4. Dióxido de azufre

El dióxido de azufre es un gas incoloro con un olor acre, se disuelve en agua muy fácilmente. El dióxido de azufre en el aire es el resultado principalmente de actividades asociadas con la quema de combustibles fósiles (carbón,

petróleo) como en las centrales eléctricas o de la fundición de cobre. En la naturaleza, el dióxido de azufre también puede ser liberado al aire, por ejemplo, de erupciones volcánicas. (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1998)

El SO₂ se disuelve en agua para formar ácido e interactúa con otros gases y partículas en el aire para formar sulfatos y otros productos que pueden ser dañinos. (Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía, 2011)

Tabla 2.
Peligros como consecuencia de presencia de dióxido de azufre

Estado Físico	Peligros Físicos	Peligros Químicos
Gas licuado o comprimido o gas incoloro, de olor acre	El gas es más denso que el aire.	La disolución en agua es moderadamente ácida. Reacciona violentamente con amoníaco, acroleína, acetileno, metales alcalinos, cloro, óxido de etileno, aminas, butadieno. Reacciona con el agua o vapor de agua, originando peligro de corrosión. Ataca a muchos metales incluyendo, aluminio, hierro, acero, cobre, níquel en presencia de agua. Incompatible con los halógenos. Ataca a los plásticos, caucho y recubrimientos, si está en forma líquida.

Fuente: INSHT. Fichas Internacionales de Seguridad Química.

Efectos sobre la salud

El SO₂ es un producto primario de la combustión de combustibles fósiles que puede ser agrupado junto a aerosoles ácidos y partículas para formar un complejo grupo de distintos contaminantes del aire asociados con una amplia serie de efectos adversos sobre la salud, incluyendo mortalidad y morbilidad respiratoria a corto plazo e irritación y agravamiento de enfermedades respiratorias crónicas como efectos agudos. Estudios en cámara han determinado que los calentadores de queroseno son la principal fuente de aerosoles de sulfato y SO₂ interior. Algunos estudios en cámara han demostrado que el SO₂ puede causar broncostricción en adultos sanos y con asma pero un estudio más reciente encontró que el SO₂ (200 ppb) y sus productos de reacción (ácido sulfúrico 200 mg/m³ y bisulfato amónico 2000mg/m³) no causan cambios significativos en espirometrías o síntomas en sujetos sanos y sujetos con asma. (Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía, 2011)

Tabla 3.
Muestra los valores guía que da la Organización Mundial de la Salud para concentración de contaminantes en el interior respecto del SO₂, según su efecto en la salud.

Compuesto	Efecto sobre la salud	Valor guía (ug/m ²)	Tiempo de exposición
-----------	-----------------------	---------------------------------	----------------------

	Cambios en la función pulmonar en asmáticos	500	10 minutos
Dióxido de azufre		125	24 horas
	Aumento de los síntomas respiratorios en individuos sensibles	50	1 año

Fuente: Organización Mundial de la Salud.

2.2.5. Contaminación atmosférica

La contaminación del aire se ha definido como la condición de la atmósfera que ocurre posterior a la emisión en ella de sustancias que 26 alteran su estado natural y que dañan al medio ambiente y a la salud humana. Las sustancias contaminantes, que pueden ser descargadas de diferentes fuentes, se diluyen en la atmósfera y pueden pasar por una gran variedad de procesos físicos y químicos, como por ejemplo reaccionar con otras sustancias presentes en el aire o ser disociados por la luz solar. (Hilario, 2017)

2.2.6. Impacto ambiental

Se define impacto ambiental como la “Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza”. Existen diversos tipos de impactos ambientales, pero fundamentalmente se pueden clasificar, de acuerdo a su origen y a sus atributos. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018)

2.2.7. Costos ambientales

La definición tradicional de costos ambientales de una empresa comprende costos que son causados por el cumplimiento con las normas ambientales en adición a los costos de producción. Con esa definición resulta que los costos ambientales no se pueden influenciar en la gestión de la empresa. Una definición más amplia integra todos los costos que son asociados con el manejo de los residuos o mejor dicho costos que no existieran si no hubiera residuos, esa definición trae una clave mucho más fuerte en determinar los residuos (Talero-Cabrejo, 2008)

2.2.8. Fuentes de emisión

Se producen por actividades humanas, sobre todo por la combustión de carbón, petróleo y por la industria metalurgia; los contaminantes atmosféricos pueden ser compuestos gaseosos, aerosoles o material particulado. Entre los contaminantes gaseosos se encuentran el ozono, los óxidos de azufre y de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y compuestos volátiles orgánicos e inorgánicos. Entre las diferentes fuentes de emisiones a la atmósfera podemos distinguir dos grandes tipos: las fuentes fijas y las móviles, las cuales se describen a continuación. (SEMARNAT, 2007)

2.2.9. Fuentes fijas

Son plantas industriales estacionarias (manufactureras o de producción) que generan emisiones desde equipos estacionarios a través de chimeneas o ductos de venteo, o bien desde fuentes fugitivas no confinadas. (Instituto de Ecología y Cambio Climático - INECC, 2007)

2.2.10. Fuentes móviles

Ejemplos de fuentes móviles son los aviones, helicópteros, ferrocarriles, tranvías, tractocamiones, autobuses, camiones, automóviles, motocicletas, embarcaciones, equipo y maquinarias no fijas con motores de combustión y similares, que por su operación generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera. Si bien la definición de fuente móvil incluye prácticamente a todos los vehículos automotores, la NOM para fuentes fijas se refiere básicamente a las emisiones de automóviles y camiones. Los motores de los vehículos son los responsables de las emisiones de CO, de compuestos orgánicos volátiles, SO₂, y NO_x, producidos durante la combustión. (SEMARNAT, 2007)

3. Preguntas, objetivos e hipótesis de la investigación

PREGUNTA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL
¿Cuál es el impacto que genera al ambiente el incremento en el valor del parámetro SO ₂ en el Estándar de Calidad Ambiental en Aire de 2017?	Analizar el impacto que genera al ambiente el incremento en el valor del parámetro SO ₂ en el Estándar de Calidad Ambiental en Aire de 2017	El incremento en el valor del parámetro SO ₂ en el Estándar de Calidad Ambiental en Aire de 2017 genera impactos negativos en el ambiente.
PREGUNTAS ESPECÍFICAS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	
¿De qué manera se determina la concentración máxima del parámetro SO ₂ en el Estándar de Calidad Ambiental en aire de 2017?	Analizar el proceso de determinación de la concentración máxima del parámetro SO ₂ en el Estándar de Calidad Ambiental en aire de 2017	
¿Cuáles y cuántas son las estaciones de monitoreo de calidad de aire que miden la concentración SO ₂ ?	Recabar información sobre las concentraciones de SO ₂ de las distintas estaciones de monitoreo de la calidad del aire	
¿Cuáles son los costos de salud ocasionados por la emisión del SO ₂ al aire, en Lima?	Determinar los costos de salud ocasionados por la emisión de SO ₂ al aire en Lima	

4. Fuentes de información

4.1. Tabla con las bases de datos públicas

Tabla 4.

Base de datos de información sobre valores de SO₂

Nombre de la fuente de información	Qué se espera obtener
INEI Anuario de Estadísticas Ambientales 2015 https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1342/libro.pdf	Valores de calidad ambiental en Lima, con la vigencia del Decreto Supremo N° 006-2013
INEI Anuario de Estadísticas Ambientales 2019 https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1704/libro.pdf	Valores de calidad ambiental en Lima, con el actual Decreto Supremo N°003-2017
OEFA Portal de Vigilancia Ambiental	Valores de la evolución del parámetro de SO ₂ en el tiempo
DIGESA Programa Nacional de Vigilancia Sanitaria de Calidad del Aire http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/pral2/lima.asp	Valores de la concentración mensual del parámetro SO ₂
INEI Indicadores de empleo e ingreso por departamento 2007-2017 https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1537/libro.pdf	Valores de la población económicamente activa en Lima
INEI Ingreso promedio provenientes del trabajo https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/income/	Valores del ingreso promedio proveniente del trabajo en Lima

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Tabla con las fuentes bibliográficas

Tabla 5.

Fuentes bibliográficas

Nombre de la fuente de información	Qué se espera obtener
Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades - ATSDR.	Definición del dióxido de azufre, sus efectos en el ambiente y salud.
Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.	Valores de concentración de SO ₂ admitidos por la OMS y riesgos a la salud de la población expuesta
Evaluaciones de Desempeño ambiental: Perú 2017 DOI: https://dx.doi.org/10.1787/9789264289000-es	Resultados del monitoreo de la calidad del aire de acuerdo al ECA 2015
Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático - INECC	Definiciones de fuentes de contaminación fijas y móviles.

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Tabla con las normas legales peruanas

Tabla 6.

Normas legales peruanas

Nombre de la fuente de información	Qué se espera obtener
Constitución Política del Perú artículo 2°, numeral 22. A la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.; artículo 7° Derecho a la Salud	Se reconoce en la norma suprema del Estado los derechos a la salud de las personas y a gozar de un medio ambiente adecuado
Ley General del Ambiente – Ley N° 28611 Artículo 31 y 32	Se establece el concepto del Estándar de Calidad Ambiental y de los Límites Máximos Permisibles
Decreto Supremo N° 006-2013-MINAM Aprueban Disposiciones Complementarias para la aplicación de Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de Aire ⁴	Conocer el ECA aire 2013 para el parámetro dióxido de azufre, anterior al vigente
Decreto Supremo N° 014-2010-MINAM- Aprueban los Límites Máximos Permisibles para las Emisiones Gaseosas y de Partículas de las Actividades del Sub Sector Hidrocarburos	Conoces los valores máximos permisibles para el parámetro dióxido de azufre.
Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias	Conocer el ECA aire 2017 para el parámetro dióxido de azufre
EXP-DS-003-2017 - Exposición de motivos del Proyecto del Decreto Supremo que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establece disposiciones complementarias.	Actualización de los ECA aire en el parámetro dióxido de azufre.
Decreto Supremo N° 010-2019-MINAM Decreto Supremo que aprueba el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire	

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Tabla con las normas legales extranjeras

Tabla 7.

Normas legales internacionales

Nombre de la fuente de información	Qué se espera obtener
Decreto 104- 2018 Norma Primaria de calidad de aire para dióxido de azufre (SO ₂)	Actualización Norma Primaria de calidad de aire para el dióxido de azufre. Conocer el estándar de calidad

⁴ DEROGADO por la Única Disposición Complementaria Derogatoria del Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, publicado el 07 junio 2017.

<http://bcn.cl/2kbex>

aire para el parámetro SO_2 en Chile, en la cual determina como concentración de $250 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$

Real Decreto 818- 2018 Emisiones Nacionales contaminantes atmosféricos
<https://www.boe.es/eli/es/rd/2018/07/06/818>

Conocer los compromisos nacionales de España para la reducción de las emisiones de del dióxido de azufre, en la cual se determina una concentración de $125 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$

Fuente: Elaboración propia.

5. Metodología de la investigación

La investigación es de un enfoque mixto, ya que implica una vinculación de datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio para responder a un planteamiento del problema (Hernandez-Sampieri & Mendoza, 2018). Comenzaremos el proceso examinando los hechos en sí y realizando una revisión documental de los estudios previos, para finalmente realizar cálculos obtenidos de data estadística.

5.1. Alcance de la investigación

El alcance de nuestra investigación será de tipo descriptivo, es decir, se encargará describir y especificar las propiedades y características de procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. (Hernandez-Sampieri & Mendoza, 2018)

En tal sentido, vamos a especificar el planteamiento del nuevo valor para el parámetro de SO_2 en ECA Aire 2017, conociendo su sustento técnico y sus características, a través de la comparación de normativas nacionales e internacionales en relación a la calidad del aire. Además, por medio de la base de datos provenientes de estaciones de monitoreo y los informes anuales del INEI, se describirá la evaluación de calidad de aire en el 2017, relacionados al parámetro SO_2 y se especificará su impacto al medio ambiente y los costos relacionados con la afectación a la salud de las personas.

5.2. Diseño de la investigación

Esta investigación tiene diseño no experimental. Hernandez-Sampieri y Mendoza (2018) lo definen como los estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos.

Se analizarán las variaciones en la calidad de aire en Lima para el año 2017, a partir de los datos recolectados por OEFA, DIGESA, INEI, entre otros, a través de sus informe anuales; luego de la recolección de datos se procedió a estimar la concentración del parámetro SO_2 que contamina al medio ambiente en Lima (que es la ciudad que cuenta con estaciones con mayor cantidad de datos de SO_2 para poder analizar); con estos resultados se realizará la comparación con los Estándares Nacionales de Calidad ambiental del Aire para determinar si sobrepasó los límites permisibles respecto a cómo venía variando, con la normativa derogada ECA Aire 2013 y la actual ECA Aire 2017 con el objetivo de explicar los efectos de la variación de la normativa.

5.3. Métodos de la investigación

El método de esta investigación es de tipo deductivo lógico, pues aplica los principios descubiertos a casos particulares a partir de la vinculación de juicios. (Behar, 2008)

El método a utilizar será deductivo ya que, a partir de la información conocida sobre las mediciones de SO₂, ya sea de fuentes legales y científicas, vamos a relacionarlas para obtener una conclusión. En este caso, analizar el incremento de SO₂ en los ECA Aire 2017 y cómo ello ha tenido impactos negativos en el ambiente y población.

6. Referencias bibliográficas y bibliografía

- Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades - ATSDR. (1999). *ToxFAQs™ - Anhídrido sulfuroso (Sulfur Dioxide)*. Atlanta. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts116.pdf
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (1998). *Toxicological profile for the Sulfur Dioxide*. Atlanta: U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES.
- Amaya, A. (2015). *El principio de no regresión en el derecho ambiental*. España: Universidad de Zaragoza. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=174863#:~:text=Consiste%20en%20la%20existencia%20de,los%20niveles%20de%20protecci%C3%B3n%20ya>
- Behar, D. S. (2008). *Metodología de la Investigación*. Editorial Shalom.
- Coaquira, J. (2018). *Factores determinantes de la Calidad Ambiental del Aire de la Provincia de Arequipa en las enfermedades respiratorias como causas primarias de morbilidad y mortalidad (ASIS 2016), 2018*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7065/Bicoqujm.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cuesta, A., Gonzales, C., Velasco, M., & Aristizábal, B. (2017). *Distribución Espacial de Concentraciones de S₂, NO_X y O₃ en el Aire Ambiente de Manizales*. Manizales: Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 34(3), 489-504. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v34n3/0188-4999-rica-34-03-489.pdf>
- Custodio, P. (2018). *Impactos Ambientales del Dióxido de Azufre y Material Particulado (PM_{2.5}), sobre la Calidad del Aire. Chimbote, 2014 – 2016*. Chimbote: Universidad Nacional del Santa. Obtenido de <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/3293/48974.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dahiya, S., & Myllyvirta, L. (2019). *Base de datos de puntos críticos de emisiones globales de SO₂*. Greenpeace Environment Trust. Obtenido de <https://www.greenpeace.org/static/planet4-mexico-stateless/2019/08/ae5fe956-reporte-de-puntos-criticos-de-contaminaci%C3%B3n-por-so2-2.pdf>

- Escamilla, M. D. (s.f.). *Los enfoques de la Investigación Científica*. Obtenido de Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- España, G. d. (2012). *Calidad del Aire - Efectos en Salud y Ecosistemas*. Obtenido de Calidad del Aire - Efectos en Salud y Ecosistemas: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/dioxido-azufre.aspx>
- García, A. (2019). *Evaluación de la concentración de CO, NO₂ y SO₂ en el aire por tráfico vehicular en el distrito de Morales, 2018*. Tarapoto: Universidad Peruana Unión. Obtenido de https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/2608/Antony_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- García, M., Ramírez, H., Ulloa, H., García, O., Mulenert, A., & Alcalá, J. (2013). *Concentración de contaminantes SO₂, NO₂ y correlación con H⁺, SO₄ temporada de lluvias en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México*. México: Scielo. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rcher/v29n2/art04.pdf>
- Hernandez-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la Investigación - Las Rutas Cuantitativa, Cualitativa y Mixta*. Mc GrawHill.
- Hilario, N. (2017). *Emisiones Contaminantes de Vehículos del Distrito de Huancayo*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/4137/Hilario%20Roman.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Instituto de Ecología y Cambio Climático - INECC. (2007). Fuentes Fijas. En Instituto de Ecología y Cambio Climático - INECC. Ciudad de México. Obtenido de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/491/fuentefija.pdf>
- Luna, A., Talavera, A., & Cano, L. (2017). *Uso de sensores electroquímicos de bajo costo para el monitoreo de la Calidad de Aire en el Distrito de San Isidro - Lima - Perú*. Lima: Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico. Obtenido de <https://repositorio.up.edu.pe/bitstream/handle/11354/1845/DD1705.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Impactos ambientales y de salud de la contaminación del aire: Una revisión. *Frontiers in Public Health*, 39. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7044178/#:~:text=Air%20pollution%20has%20various%20health,on%20low%20air%20pollution%20days.&text=The%20long%20term%20effects%20associated,cardiovascular%20diseases%2C%20and%20cardiovascular%20mortality.>
- MINAM. (2005). *Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente*. Lima, Perú. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-28611.pdf>
- MINAM. (2017). Aprueban estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para aire y establecen disposiciones complementarias.

- MINAM. (09 de Octubre de 2019). *Plataforma digital única del Estado Peruana*. Obtenido de Plataforma digital única del Estado Peruana: <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/308391-estandar-de-calidad-ambiental>
- Núñez, V., Rodríguez, R., Gómez, L., Herrera, I., & Morales, M. (2019). *Emisiones de dióxido de azufre a la atmósfera por fuentes fijas del MINAG y su influencia en la calidad del aire en la provincia de Villa Clara*. Villa Clara: Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v46n3/0253-5785-cag-46-03-86.pdf>
- Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía. (2011). *Calidad de Aire Interior*. Obtenido de https://www.diba.cat/c/document_library/get_file?uuid=c7389bc9-6b7b-4711-bdec-3ead4bc9a68b&groupId=7294824
- 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*. OMS.
- Organización Mundial de la Salud. (02 de Mayo de 2018). *OMS*. Obtenido de OMS: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health#:~:text=SO2%20puede%20afectar%20al,contraer%20infecciones%20del%20sistema%20respiratorio](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health#:~:text=SO2%20puede%20afectar%20al,contraer%20infecciones%20del%20sistema%20respiratorio)
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2017). *Evaluaciones del Desempeño Ambiental Perú*. Lima: OCDE. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/42527/1/S1600240_es.pdf
- Rodríguez, A. (2018). *Modelización y análisis de la calidad del aire en la ciudad de Oviedo (norte de España), mediante los enfoques PSO-SVM, red neuronal MLP y árbol de regresión M5*. Oviedo: Universidad de León. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=148049>
- Salazar, D. (2018). *Análisis del comportamiento del Bióxido de Azufre (SO₂) y su relación con la temperatura: Caso Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) 2011-2016*. México: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/94660/Tesis.%20Daniela%20Salazar%20Avila.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sanchez, H., Rodríguez, C. (2017). *Determinar los costos ocultos ambientales, de los residuos peligrosos en las empresas manufactureras de muebles para oficina*. Colombia: CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS. Obtenido de https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/5399/UVD-TCP_SanchezRojasHarol_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (13 de Agosto de 2018). *Gobierno de México*. Obtenido de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/impacto-ambiental-y-tipos-de-impacto-ambiental>



SEMARNAT. (15 de Noviembre de 2007). *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático - INECC*,. Obtenido de Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático - INECC,: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/396/tipos.html>

Talero-Cabrejo, S. (2008). El lugar de los costos ambientales de producción: ¿qué son, cómo clasificarlos y por qué tenerlos en cuenta? *Contabilidad 25*, 581-592.

