

**PRIMERA EDICIÓN  
DIGITAL  
2022**

# **INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE HUÁNUCO**

*El estudio sirve como apoyo administrativo en la gestión urbanística, comercial e industrial sostenible de la ciudad, desde el punto de vista socioambiental.*



**CHÁVEZ CABELLOS, Boris Mirko  
ESTELA VILLAR, Esteban  
ESTACIO ALBORNOZ, Darwin Josué**



**CHÁVEZ CABELLOS, Boris Mirko**  
**ESTELA VILLAR, Esteban**  
**ESTACIO ALBORNOZ, Darwin Josué**

**INVENTARIO DE EMISIONES  
ATMOSFÉRICAS EN LA CALIDAD DEL  
AIRE DE LA CIUDAD DE HUÁNUCO**

**Editor**

**CHÁVEZ CABELLOS, Boris Mirko**

# INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE HUÁNUCO

## **Autores**

- © CHÁVEZ CABELLOS, Boris Mirko
- © ESTELA VILLAR, Esteban
- © ESTACIO ALBORNOZ, Darwin Josué

**Hecho el Depósito Legal en la  
Biblioteca Nacional del Perú N°: 2022-00319**

**Primera Edición Digital: Enero, 2022**

## **Publicación disponible en:**

<https://www.unheval.edu.pe>

## **Editado por:**

CHÁVEZ CABELLOS, Boris Mirko

## **Dirección:**

Jr. Túpac Amaru S/N Mz. 80 Lt. 17  
Ucayali – Coronel Portillo – Yarinacocha  
Perú

**ISBN: 978-612-00-7333-9**

**Derechos Reservados.** Prohibida la reproducción de este Libro Virtual por cualquier medio total o parcial, sin permiso expreso de los autores.

## DEDICATORIA

Este proyecto se la dedico con todo cariño a mi amada madre, por su sacrificio y esfuerzo, por creer en mi como persona y en mi capacidad intelectual, apoyándome día a día con sus consejos y amor ya que, aunque pasamos momentos difíciles siempre ha estado alentándome con sus palabras, las cuales nunca me dejaron decaer.

A mis tres amadas hijas, por ser fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depare un futuro mejor.

*Boris Chávez*

## AGRADECIMIENTO

A mis familiares y compañeros que sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos alegrías y tristezas para que este estudio se haga realidad, y a todas aquellas personas que en estos años estuvieron apoyándome y lograron que este desafío se haga realidad.

*Boris Chávez*

## RESUMEN

Este estudio estimó la cantidad de gases que afectan la calidad del aire emitidas por fuentes de área, fijas y móviles, calculados mediante un inventario y el uso de factores de emisión proporcionadas por la agencia para la protección ambiental de los Estados Unidos (US AP-42), en los distritos de Huánuco, Amarilis y Pillco marca en Perú, a través de una comparación en prospectiva para el año 2025. El estudio sirve como apoyo administrativo en la gestión urbanística, comercial e industrial sostenible de la ciudad, desde el punto de vista socioambiental. Los resultados mostraron, que el total de emisiones al 2025 superarían el 200% en incremento y deteriorarían la calidad del aire en el área de estudio, trayendo como consecuencia la generación de problemas ambientales como smog y ozono. Por otro lado, se ha llegado a la conclusión que los valores de emisiones de gases de efecto invernadero y que afectan a calidad del aire están correlacionados positivamente por las diversas actividades que se realizan en la ciudad, teniendo una relación considerable a alta igual al 0.878 y 0.937 respectivamente. Así mismo, del análisis de regresión se concluye que existe influencia directa de las emisiones de gases de efecto invernadero en un 77.1% en la atmosfera de la ciudad, y por su parte las emisiones de gases que afectan la calidad del aire y son precursores de otros fenómenos una influencia de 87.8%.

# ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b>	<b>5</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>10</b>

## CAPÍTULO I

### DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1	Fundamentación del problema de investigación	12
1.2	Justificación	13
1.3	Importancia o propósito	13
1.4	Limitaciones	14
1.5	Formulación del problema general y específicos	14
1.5.1	Problema general	14
1.6	Formulación del objeto general y específicos	14
1.6.1	Objetivo General	14
1.6.2	Objetivos específicos	14
1.7	Formulación de la Hipótesis	15
1.8	Variables	15
1.8.1	Variable independiente	15
1.8.2	Variable dependiente.	16
1.9	Operacionalización de variables	16
1.10	Definición de términos operacionales	17
1.10.1	Contaminación atmosférica	17
1.10.2	Causas de la contaminación atmosférica	17
1.10.3	Efectos a la salud por la contaminación atmosférica.	18

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes	20
2.2.	Bases teóricas.	26
2.3.	Bases Conceptuales	64
2.4.	Bases epistemológicas	68



## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

3.1. Ámbito	71
3.2. Población	71
3.3. Muestra	71
3.4. Nivel y tipo de estudio	71
3.5. Diseño de investigación	72
3.6. Técnicas e Instrumentos	73
3.7. Validación y confiabilidad del instrumento	73
3.7.1. Base de datos	73
3.7.2. Recopilación de Información	73
3.7.3. Estimación de emisiones	73
3.8. Procedimiento	74
3.8.1. Proyecciones de Emisiones	75
3.8.2. Consideraciones para la línea base	76
3.8.3. Consideraciones para las fuentes de área	76
3.9. Plan de tabulación y análisis de datos	76

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

4.1. Análisis descriptivo	78
4.1.1. Dispersión de contaminantes	84
4.2. Análisis Inferencial y contrastación de Hipótesis	87
4.2.1. Análisis respecto de gases de efecto invernadero GEI	87
4.2.2. Análisis respecto de la generación de gases que afectan la calidad del aire	90
4.3. Discusión de resultados	92

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS**

5.1. Conclusiones	97
5.2. Recomendaciones y sugerencias	99

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>101</b>
-----------------------------------	------------

## INTRODUCCIÓN

Este proyecto de investigación es el resultado de un estudio desarrollado en la ciudad de Huánuco, Perú, en el 2015. Se basa en el análisis de la calidad del aire que podría generarse a partir de la observación de los hábitos, costumbres y comportamiento económico, comercial e industrial del área de estudio.

Se realizó mediante el método de inventarios para fuentes fijas y de área calculando las emisiones por el método de factores de emisión proporcionados por la agencia mundial para la protección atmosférica AP – 42.

La investigación tubo como objetos de estudio a los distritos de Pillcomarca, Amarilis y Huánuco, tomando como referencia a las industrias, y comercios legalmente constituidas que forman parte de fuentes puntuales como fuentes de área de la ciudad.

Los resultados proporcionan información fundamental sobre emisiones futuras en la ciudad, que afectarían básicamente de la calidad del aire. Esta información podría servir para la implementación de sistemas y políticas de prevención, (monitoreo y vigilancia) en caso de obtener resultados desfavorables en el estudio, y de ser el caso, las condiciones adversas en la atmosfera de la ciudad se podrían evitar, y por ende se evitaría las consecuencias que trae tener una atmosfera (Troposfera) dañada.

# CAPÍTULO I

## DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

# CAPÍTULO I

## DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 Fundamentación del problema de investigación

La cantidad de contaminantes presentes en la atmósfera viene determinada por la cantidad de agentes contaminantes presentes en el mismo, a consecuencia de las fuentes de emisiones locales, o a causa de traslado horizontal desde otros lugares. Estos procesos atmosféricos también pueden causar acumulaciones excesivas de contaminantes en otros medios (vegetación, suelos, lagos, etc.), incluso lejos del punto de emisión del contaminante. El arrastre atmosférico producido por el viento y las emisiones puntuales móviles o fijas puede traer como efecto final la degradación de la calidad del aire, afectar a la salud de las personas e inclusive cambiar las condiciones climatológicas de la zona.

La contaminación del aire resulta de una compleja mezcla de, literalmente, miles de fuentes, que van desde las chimeneas industriales y los vehículos automotores, hasta el uso individual de productos de aseo, limpiadores domésticos y pinturas; incluso la vida animal y vegetal puede desempeñar un papel importante en este problema.

En los últimos años se ha podido observar en Huánuco un incremento considerable del parque automotor, actividades comerciales, industriales o semi industriales y crecimiento demográfico. Este crecimiento desproporcionado trae como consecuencias el incremento de fuentes de emisión de contaminantes atmosféricas puntuales y móviles, que podrían generar la degradación de la calidad del aire en la ciudad, pudiendo producirse episodios de fuerte contaminación local como consecuencia de la persistencia en el incremento de las actividades antes mencionadas y de situaciones meteorológicas adversas para la difusión de los contaminantes.

## 1.2 Justificación

Los estudios ambientales en esta época son una parte fundamental del crecimiento sostenible en cualquier región del mundo, y no solo eso, también deben buscar gestionar eficazmente los recursos, así como crear políticas de desarrollo económico adecuadas para ofrecer mejor calidad de vida a las futuras generaciones.

En base a lo anterior, se justificó la necesidad de esta investigación debido a que la ciudad de Huánuco ha venido creciendo comercial e industrialmente no necesariamente en forma adecuada. Sumado a esto el incremento del parque automotor, sobre todo de vehículos menores, evidencian el incremento de las emisiones gaseosas a la atmosfera de la ciudad, estos gases y partículas causan el deterioro de la calidad del aire del área donde se emiten y trae como consecuencias, por citar sólo algunos ejemplos, problemas de salud, afectaciones a plantas, animales, infraestructura, o incurrir en la inversión térmica u oscurecimiento atmosférico que podrían deteriorar el clima tan agradable que tenemos.

Un objetivo fundamental de este estudio es fomentar en nuestras autoridades académicas, políticas y sociales la formación de sistemas integrales de calidad del aire dentro de las cuales se pueden considerar sistema de vigilancia, sistema de predicción, sistema de información e inventariar las emisiones para poder controlar de alguna manera la calidad del aire de la ciudad y evitar su degradación como sucedió en otras ciudades como Lima.

## 1.3 Importancia o propósito

El presente estudio también es importante porque puede generar varias líneas de investigación en áreas de gran importancia como la tecnológica en la creación de aplicaciones informáticas para teléfonos inteligentes, tabletas y PCs, robótica, para el monitoreo de los índices de calidad ambiental, agronómica y ambiental, en la protección de materiales por recubrimientos, ingeniería civil en la utilización y formulación de nuevas técnicas para contrarrestar las afectaciones estructurales por el cambio de las condiciones

climáticas y atmosféricas, ambiental en dispersión natural etc., fomentando la formación investigadora en los estudiantes de la región.

#### **1.4 Limitaciones**

Las limitaciones del presente estudio se presentaron básicamente por el tamaño de la muestra ya que no se cuentan con datos exactos de industrias y comercios que operan en la ciudad de manera informal, a lo cual se hizo un inventario de las actividades que se realizan en forma personal para minimizar este inconveniente.

Otra limitación es el diseño que aplicarse, que no es experimental, lo que limitará la conexión causa efecto, pero se hará un diseño prospectivo, que se utilizaron en otras investigaciones similares que dieron buenos resultados.

#### **1.5 Formulación del problema general y específicos**

##### **1.5.1 Problema general**

¿Qué cantidad de gases contaminantes generan las fuentes de emisión atmosférica en la ciudad de Huánuco, y que comportamiento tendrá para el 2025?

#### **1.6 Formulación del objeto general y específicos**

##### **1.6.1 Objetivo General**

Conocer la cantidad de emisiones de gases contaminantes que alterarían la calidad del aire de la ciudad de Huánuco en el 2025, generadas de las principales fuentes de emisión atmosférica

##### **1.6.2 Objetivos específicos**

- Identificar las principales fuentes de contaminación atmosférica de la ciudad de Huánuco integrados por sector económico y demográfico para el 2015

- Desarrollar el inventario de emisiones totales por las diferentes categorías de fuente de emisión en la ciudad de Huánuco en el 2015.
- Estimar la dispersión natural de contaminantes atmosférica en fuentes puntuales en la ciudad de Huánuco.
- Estimar las variaciones de los niveles de emisión en el tiempo proyectados al 2025

## 1.7 Formulación de la Hipótesis

**Ho:** Las emisiones de contaminantes que afectan la calidad del aire para el 2025, no superarán el 100% de emisiones respecto del 2015 en la ciudad de Huánuco, a su vez, no tendrán una dispersión natural adecuada. Y a medida que las actividades antropogénicas y demográficas en la ciudad se incrementan, estas se mantendrán estables.

**Ha:** Las emisiones de contaminantes que afectan la calidad del aire para el 2025, superarán el 100% de emisiones respecto del 2015 en la ciudad de Huánuco, a su vez, no tendrán una dispersión natural adecuada. Y a medida que las actividades antropogénicas y demográficas en la ciudad se incrementan estas también se incrementan.

## 1.8 Variables

### 1.8.1 Variable independiente

Emisiones de contaminación atmosférica.

#### 1.8.1.1 Indicadores

Emisión de:

Óxidos de Nitrógeno (Tn/año)

Partículas en suspensión (Tn/año)

Monóxido de Carbono (Tn/año)

Óxidos de Azufre (Tn/año)

Compuestos orgánicos Volátiles COV's (Tn/año)

### 1.8.2 Variable dependiente.

Calidad del aire.

#### 1.8.2.1 Indicadores

Concentración de:

Óxidos de Nitrógeno ( $\mu/m^3$ )

Partículas en suspensión ( $\mu/m^3$ )

Monóxido de Carbono ( $\mu/m^3$ )

Óxidos de Azufre ( $\mu/m^3$ )

Compuestos orgánicos Volátiles COVs ( $\mu/m^3$ )

Ozono troposférico ( $\mu/m^3$ )

## 1.9 Operacionalización de variables

**Cuadro N° 01: Operacionalización de variables**

Objetivo	Variable independiente	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidades o categorías
<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar las principales fuentes de contaminación atmosférica de la ciudad de Huánuco integrados por sector económico y demográfico para el 2015.</li> <li>Desarrollar el inventario de emisiones totales por las diferentes categorías de fuente de emisión en la ciudad de Huánuco en el 2015.</li> </ul>	Emisiones de gases de contaminación atmosférica	Comprende el conjunto de fuentes de emisión de gases contaminantes caracterizados por actividad	Contaminación	<b>Emisión de:</b> Óxidos de Nitrógeno (%) Partículas en suspensión (%) Monóxido de Carbono (%) Óxidos de Azufre (%) Compuestos orgánicos Volátiles COV's (%)	Industria Comercio Residencial
			Contaminación	<b>Emisión de:</b> Óxidos de Nitrógeno (%) Partículas en suspensión (%) Monóxido de Carbono (%) Óxidos de Azufre (%) Compuestos orgánicos Volátiles COV's (%)	Unidades de Transporte motorizado



Objetivo	Variable dependiente	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidades o categorías
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estimar la dispersión natural de contaminantes atmosféricos en fuentes puntuales en la ciudad de Huánuco.</li> </ul>	Gases que deterioran la Calidad del aire	Comprende la cantidad de gases contaminantes emitidos a la atmósfera en estudio, esta a su vez proporcionará información de la calidad del aire con la que se cuenta.	Condición Atmosférica	<b>Concentración de gases</b> Óxidos de Nitrógeno (%) Partículas en suspensión (%) Monóxido de Carbono (%) Óxidos de Azufre (%) Compuestos orgánicos Volátiles COV's (%)	TM M <sup>3</sup> (%)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estimar las variaciones de los niveles de emisión en el tiempo proyectados al 2025</li> </ul>			Condición Atmosférica	<b>Concentración de gases</b> Óxidos de Nitrógeno (%) Partículas en suspensión (%) Monóxido de Carbono (%) Óxidos de Azufre (%) Compuestos orgánicos Volátiles COV's (%)	

Fuente: Datos de la investigación

## 1.10 Definición de términos operacionales

### 1.10.1 Contaminación atmosférica

OMS<sup>1</sup>. Se entiende como contaminación atmosférica a la presencia en la atmósfera de sustancias en una cantidad relevante que creen molestias o riesgo para la salud de las personas. También se considera contaminación atmosférica aquella que ataque a distintos materiales o a los gases que producen olores desagradables.

### 1.10.2 Causas de la contaminación atmosférica

OMS<sup>1</sup>. Las principales causas de la contaminación del aire están relacionadas con la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas). La combustión de estas materias primas se produce en los

procesos o en el funcionamiento de los sectores industrial y del transporte por carretera, principalmente.

### **1.10.3 Efectos a la salud por la contaminación atmosférica.**

OMS<sup>1</sup> La contaminación atmosférica urbana aumenta el riesgo de padecer enfermedades respiratorias agudas, como la neumonía, y crónicas, como el cáncer del pulmón y las enfermedades cardiovasculares. La contaminación atmosférica afecta de distintas formas a diferentes grupos de personas



CAPÍTULO II  
MARCO TEÓRICO

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

Manzi V. *et al.*<sup>2</sup> en su investigación denominada “Estimación de los factores de emisión de las fuentes móviles de la ciudad de Bogotá”. Seleccionaron, adaptaron y aplicaron una metodología práctica y económica para determinar las emisiones del parque automotor de la ciudad de Bogotá. La metodología está basada en mediciones de calidad de aire, parámetros meteorológicos, conteos de vehículos y la aplicación inversa de un modelo de calidad de aire.

Se presentan los resultados de un estudio de trazadores con el cual se validó la aplicación del modelo empleado. Se reportan los factores de emisión promedio de los contaminantes evaluados para vehículos livianos, pesados y para todos los vehículos. Las emisiones de los vehículos pesados son considerablemente mayores a las de los vehículos livianos.

Soret A. *et al.*<sup>β</sup> en “Estimation of future emission scenarios for analysing the impact of traffic mobility on a large Mediterranean conurbation in the Barcelona Metropolitan Area (Spain)” analizaron el impacto de varias estrategias de control en las emisiones urbanas en la ciudad costera de Barcelona, España. El análisis se llevó a cabo mediante la proyección de los datos sobre emisiones obtenidas de un escenario base en 2004 a tres futuros escenarios establecidos en el año 2015, donde cada escenario futuro representa un conjunto de medidas de gestión de la movilidad del tráfico específico que fueron considerados por sector de emisiones, incluyendo la generación de energía, la actividad industrial, doméstico- comercial, disolventes, en la carretera de tráfico, las emisiones biogénicas, puertos y aeropuertos, para comparar mejor el presente escenario caso base con los futuros escenarios de movilidad generadas para 2015. Estos escenarios de emisiones para el año 2015 tienen en cuenta las proyecciones demográficas y las variaciones en las actividades portuarias y aeroportuarias, entre otros factores, mientras que el objetivo principal es en el sector del tráfico en

carretera, los tipos de vehículos utilizados, como tecnológicamente mejorados autobuses y vehículos híbridos, así como los tipos de combustibles utilizados, incluyendo el gas natural y los biocombustibles. Los resultados del modelo indicaron que las estrategias de control de la emisión y las mejoras tecnológicas y el uso de combustibles alternativos reducen las emisiones del tráfico en carretera en aproximadamente 75% (en términos de los óxidos de nitrógeno). Esta disminución conduce a una reducción del 35% en las emisiones totales de óxidos de nitrógeno.

Jaramillo M. *et al.* <sup>4</sup> en “Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos por fuentes puntuales en la zona Cali-Yumbo (Colombia)” En este trabajo se calculan las emisiones de contaminantes atmosféricos convencionales (COV, MP<sub>10</sub>, CO, NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>) por fuentes puntuales para el año 1997 en Cali Yumbo (Colombia). La información se obtuvo de 108 declaraciones entregadas a las autoridades ambientales. La metodología utiliza factores de emisión para la mayoría de las fuentes que no realizaron mediciones directas y reportaron tipo y cantidad de combustible utilizado. Se encontró que las industrias del papel y artes gráficas son las que más generan emisiones totales, seguidas de la industria de minerales no metálicos y del sector de textiles y confecciones. Mientras las empresas analizadas en la ciudad de Cali son responsables de gran parte de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV), las emisiones de óxidos de azufre y material particulado son aportadas mayoritariamente por las industrias localizadas en el municipio de Yumbo.

Fernández S. <sup>5</sup> en “Biomonitorización de la calidad del aire en los alrededores de La Robla (León)” hicieron un trabajo de biomonitorización la cual se basa en conocer las variaciones que la contaminación atmosférica induce en las comunidades líquénicas. Se trata del Índice de Pureza Atmosférica (IPA), calculado a partir del número de especies presentes y la frecuencia de cada una de ellas en las diferentes localidades de estudio. De las diferentes formulaciones existentes de este método, eligieron la descrita por Ammann *et al.* con las modificaciones introducidas por Nimis *et al.*

quienes proponen el uso de una red de muestreo de 30 x 50 cm, con 10 rectángulos de 10 x 15 cm cada uno de ellos.

Con el fin de que el único factor ecológico variable entre las diversas estaciones de muestreo sea la contaminación atmosférica siguieron una serie de pautas. Las estaciones se sitúan en zonas donde no hay verdaderos bosques, evitando que se cree un microambiente distinto. De este modo, en cada estación se realizaron 5 inventarios, siempre sobre *Quercus pyrenaica*, ya que presenta una distribución más o menos uniforme en la zona de estudio, de diámetro comprendido entre 25–40 cm. Una vez elegido el forófito o árbol sobre el que se asientan los líquenes epífitos, se sitúa la red de muestreo sobre el tronco, de modo que la porción central coincida con la parte del tronco con máxima densidad de líquenes, a una altura entre 120 y 180 cm del suelo. Además, en cada estación se han tomado los siguientes datos: altitud, coordenadas U.T.M., fecha de realización de los inventarios, exposición, listado de especies y su presencia en cada uno de los rectángulos que conforman la red de muestreo. En cada inventario se calcula la frecuencia de cada especie como el número de rectángulos en los que aparece dicha especie (0 cuando la especie está ausente, la frecuencia máxima es 10). Posteriormente se suman todas las frecuencias de las distintas especies para calcular la frecuencia total (ft) del inventario.

El I.P.A. (Índice de Pureza Atmosférica) de cada estación viene dado por la relación entre la frecuencia total (ft) y el número de forófitos por estación (n):  
$$I.P.A = \sum f t / n$$
Con los datos obtenidos se elaboran una serie de mapas utilizando, por ejemplo, el programa *Surfer (Golden Software Inc., Golden, Colorado, U.S.A.)*, con el fin de evitar interpretaciones subjetivas a la hora de cartografiar los resultados. Además, hemos utilizado el programa *Statistica 4.5* para clasificar y ordenar la matriz de estaciones y especies.

Rincón G. Lázaro V.<sup>6</sup> en “*Assessment of Responsibility for Pollution from PM<sub>10</sub> and Sulfur Dioxide and Application to an Industrial Area on the Northeastern Coast of Venezuela*” Este estudio propone una metodología para determinar el origen de las emisiones industriales con el fin de atribuir la responsabilidad a las industrias que contaminan pueblos cercanos. La metodología se ha aplicada a la zona industrial en la costa noreste de

Venezuela. Esta zona está cerca de seis ciudades densamente pobladas. El estudio también da a los niveles estimados de PM<sub>10</sub> y SO<sub>2</sub> en las ciudades adyacentes a 11 industrias, a través de la modelización de la dispersión de los contaminantes del aire de fuentes estacionarias. El modelo utilizado ha sido el modelo de partículas de Lagrange LADISMO. Los resultados se discuten mediante la comparación de los valores estimados por el modelo con los límites propuestos por la Organización Mundial de la Salud y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

Aponte Carlos, Silva Juan, Lain Santiago<sup>7</sup>. en “Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos primarios de fuentes fijas puntuales en la Comuna 4 de la ciudad de Cali” El estudio revela los resultados obtenidos en desarrollo del proyecto “Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos primarios de fuentes fijas puntuales en la Comuna 4 de la ciudad de Cali” para el año 2006. El estudio se hizo con base en información primaria y secundaria; la información primaria se obtuvo directamente de las empresas a través de formularios; la información secundaria fue obtenida de la Cámara de Comercio y de las declaratorias ambientales suministradas por las empresas a las autoridades ambientales. Esta información permitió realizar el proceso de censado, validación de la información y caracterización de la zona de estudio. Una vez evaluada la información, fue necesario hacer una revisión y ajuste al Cuestionario de Declaratoria Ambiental, de acuerdo con las exigencias de la norma relacionada con la contaminación atmosférica y seguidamente se hizo la aplicación a todas las empresas seleccionadas.

Una vez depurada la información, se clasificaron 260 industrias: por actividad económica, procesos productivos, tipo de fuentes fijas y el tipo de combustible utilizado. Posteriormente se hizo el cálculo de emisiones de contaminantes primarios (PST, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO y COVs) por medio de factores de emisión. Cálculos que permitieron finalmente estimar la contribución de emisiones de fuentes fijas por contaminante.

Se pudo establecer que el sector de fibras y textiles fue el mayor generador de emisiones de material particulado (PST) con el 50% del total de las 182 ton/ año emitidas por las fuentes fijas inventariadas. Esto debido a que cinco (5) de sus industrias operan sus calderas con carbón como combustible sin ningún tipo de control y 165 ton/año de COVs por el sector metalmecánico y

artes gráficas, contaminantes que afectan el sistema respiratorio de las personas.

Echeverri C.<sup>8</sup> en “Estimación de la emisión de gases de efecto invernadero en el municipio de Montería (Córdoba, Colombia)” En este trabajo se presenta la primera versión del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero para el año de 2005 en el municipio de Montería (Córdoba, Colombia). Este inventario incluye las emisiones provenientes de los vehículos automotores, los rellenos sanitarios y las fuentes biogénicas. No se tuvieron en cuenta las fuentes puntuales por ser estas muy escasas en la zona de estudio y generar contaminantes diferentes a los gases de efecto invernadero.

Los estimativos que aquí se presentan no corresponden a valores absolutos; las cifras son el producto de métodos indirectos de cálculo, que deben ser interpretados como indicadores de las cantidades realmente emitidas. Se presentan con el fin de ilustrar el orden de magnitud en que pueden estar las descargas al ambiente y las principales actividades que las producen.

García José<sup>9</sup>. “Influencia de la meteorología en la calidad del aire en la zona metropolitana del valle de México” Se presenta el impacto en la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México debido a la meteorología y a las emisiones: industriales, del volcán Popocatepetl y de las ciudades vecinas esto se evalúa mediante el empleo de un modelo numérico de la calidad del aire. Se mencionan los diferentes patrones meteorológicos y el transporte de contaminantes que son relevantes en la región. Se concluye que las medidas de control de contaminantes deben considerar un enfoque regional.

Mendoza, A; García, M<sup>10</sup>. “Aplicación de un modelo de calidad del aire de segunda generación a la zona metropolitana de Guadalajara, México” En este trabajo se presenta una primera aplicación de uno de dichos modelos, del *California/Carneige Institute of Technology* (CIT), a la ZMG. El período de modelación seleccionado abarca del 16 al 18 de mayo de 2001, y el



dominio de modelación cubre una región de 25,600 km<sup>2</sup> centrado en la ZMG. La evaluación estadística del desempeño del modelo indica que el CIT tuvo un mejor comportamiento durante los dos últimos días de modelación. En este período, respecto al O<sub>3</sub>, el sesgo normalizado fue menor a 23.5 %, el error normalizado menor a 36.5 % y el índice diario de ajuste superior a 0.8. Asimismo, el modelo fue capaz de reproducir el pico de O<sub>3</sub> con un error inferior al 18 %. Estos valores, comparados con guías establecidas de evaluación de modelos de calidad del aire, indican un desempeño aceptable del modelo para el periodo simulado. No obstante, el desempeño respecto al CO fue regular, mientras que respecto al SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> fue pobre, indicando que se requiere trabajo adicional para mejorar el desempeño general del modelo. Espacialmente, el modelo tiende a representar mejor la dinámica de contaminantes en la zona occidente de la ZMG, y temporalmente se apreciaron áreas de mejora en la modelación durante los períodos nocturnos.

Céspedes Lourdes, Gerardo Garay, Hilario Jorge, Pastrana Nerida, Guadalupe Ramírez<sup>11</sup>. “Niveles de contaminación ambiental producido por los gases de combustión interna del parque automotor en el casco urbano de la ciudad de Huánuco” La metodología utilizada fue la descriptiva explicativa, mediante la técnica de muestreo; encontrándose que más de 66.7% de los automóviles emiten gases contaminantes por encima de los LMP, siendo más críticos los fabricados antes de 1995 (85% fuera de los LMP); mientras que las camionetas fabricadas antes de 1995, un 75% están fuera de los LMP, las demás mayoritariamente se encuentran dentro de los LMP y finalmente los trimóviles, de reciente incursión en el mercado, se encuentran dentro de los LMP. Esto nos permitió determinar que la Plaza de Armas es el área donde se genera la mayor cantidad de emisión de gases contaminantes, sin embargo, los puntos individuales de mayor riesgo son las esquinas de los Jr. Dos de mayo y Dámaso Beraún y el Jr. Huánuco y Huallayco.

## 2.2. Bases teóricas.

### **Inventario de emisiones**

Un inventario de emisiones es el elemento base para desarrollar un programa de calidad del aire consistente y con posibilidades de llegar a una reducción equitativa y eficaz de las emisiones que producen las industrias, los comercios y servicios, los vehículos automotores, los suelos y la vegetación.

Por otra parte, un inventario completo, detallado y validado, permite identificar con mayor precisión las fuentes que contribuyen con la mayor proporción de las emisiones contaminantes, permitiendo así el identificar e instrumentar acciones con metas cuantificables en términos de la reducción de emisiones alcanzada. EPA. 2000

Para la EPA, 1999. citado por Echeverri C.<sup>12</sup> Un inventario de emisiones es un listado actualizado y amplio de las emisiones de contaminantes atmosféricos, por fuente, de un área geográfica específica durante un intervalo de tiempo determinado. Así mismo un inventario de emisiones es el elemento base para desarrollar un programa de calidad del aire consistente y con posibilidades de establecer estrategias de reducción pertinentes, equitativas y eficaces de las emisiones producidas por la industria, el comercio, el parque automotor y las actividades agropecuarias. Adicionalmente, brinda a los responsables de la planificación en materia de calidad del aire, y también a investigadores, gerentes de industrias, funcionarios gubernamentales en el área de salud pública y promotores ambientales, una herramienta imprescindible para la evaluación y gestión de la calidad del aire que proporciona información sobre todas las fuentes de emisión, y define la ubicación, magnitud, frecuencia, duración y contribución relativa de estas emisiones; permite identificar las fuentes en las cuales deben aplicarse medidas de control; permite realizar análisis de costo-efectividad de las medidas de control y evaluar los programas de mejoramiento de la calidad del aire. Son muchas las aplicaciones que pueden darse a los inventarios, como, por ejemplo, el aporte de datos para los procesos de modelación de la calidad del aire o para las técnicas de estimación objetiva de la calidad del aire. Además, resultan imprescindibles

en el seguimiento del grado de cumplimiento de los fines perseguidos, tanto en proyectos de nivel global, como los referidos a fenómenos tales como la lucha contra el cambio climático, o en programas de índole local, que se plasman en los distintos planes de gestión de la calidad ambiental.

Echeverri Carlos<sup>12</sup>. Factores de Emisión Basados en los Censos.

Los factores de emisión relacionan la cantidad de un contaminante emitido con una unidad de actividad. Estos pueden estar basados en el proceso o en el censo. En general, los primeros son utilizados para las fuentes puntuales; mientras que los segundos lo son para las fuentes de área. El uso de factores de emisión basados en el censo es un método eficiente para tipos de fuentes de emisión que están dispersas y son numerosas, que no pueden ser caracterizadas por el conocimiento de las tasas de proceso, de consumo de combustible y/o de alimentación de material. Comparado con otras técnicas de estimación de emisiones (TEEs), el uso de factores de emisión basados en el censo es la opción más costo-efectiva, dado que los datos de los censos están disponibles para la mayor parte de las regiones del inventario, en el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). - INEI en el Perú - Sin embargo, cabe señalar que gran parte de los factores de emisión basados en el censo han sido desarrollados a partir de datos estadounidenses. Con el tiempo, estos factores deberán ser reemplazados con otros desarrollados a partir de datos nacionales. En la medida en que esto suceda, los factores de emisión basados en el censo van a constituir un método sumamente eficiente para el cálculo de emisiones. Radian International<sup>13</sup>.

### **Evaluación de la calidad del aire**

La calidad del aire se evalúa mediante la medición de diferentes compuestos atmosféricos considerados como contaminantes criterio, entre ellos se encuentra el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), las partículas suspendidas totales (PST), fracciones gruesa (PM<sub>10</sub>) y fina (PM<sub>2.5</sub>), el plomo y el ozono. La concentración de contaminantes secundarios (p.e. el ozono, el formaldehído y el glioxal) a nivel del suelo dependen de sus precursores como lo son los

NO<sub>x</sub>, los compuestos orgánicos volátiles (COV), la radiación luminosa, condiciones meteorológicas y la topografía.

La calidad del aire en una región depende principalmente de las emisiones industriales, vehiculares y de actividades humanas y las condiciones meteorológicas. García J<sup>14</sup>.

### **Índices de calidad del aire**

Las tendencias de los índices de calidad del aire indican que los esfuerzos para controlar y abatir el problema de la contaminación del aire en las grandes ciudades han tenido un éxito parcial (INE 2000, Zuk *et al.* <sup>15</sup>). Citado por Mendoza, A; García, M.<sup>16</sup> La dificultad en diseñar estrategias de control efectivas para reducir los niveles de contaminantes atmosféricos recae en la naturaleza altamente no lineal de la química atmosférica y la complejidad de las interacciones químicas y físicas que se dan en la atmósfera. Mendoza, A; García, M<sup>16</sup>.

La contaminación del aire es un importante problema de salud ambiental que afecta a países desarrollados y en desarrollo de todo el mundo. En una escala global, se emiten a la atmósfera grandes cantidades de partículas y gases potencialmente nocivos que afectan la salud humana y el ambiente y que en el largo plazo dañan los recursos necesarios para el desarrollo sostenible del planeta.

Existen tres grandes fuentes de contaminación del aire provenientes de actividades humanas: fuentes estacionarias, móviles y de interiores. En los países en desarrollo, la contaminación del aire en interiores debido al uso de fuego abierto para la cocina y la calefacción puede ser un problema grave. Se ha estimado que aproximadamente 1,9 millones de personas mueren cada año debido a la exposición a concentraciones altas de partículas suspendidas en ambientes interiores de áreas rurales, mientras que la mortalidad en exceso por la exposición a partículas suspendidas y dióxido de azufre en exteriores llega a 500.000 personas anualmente. Si bien la base de datos sobre el aire en interiores es limitada debido a los escasos resultados de monitoreo, estos estimados indican que en los países en desarrollo puede haber un grave problema de contaminación del aire en interiores.

Por lo general, los contaminantes del aire se clasifican en partículas suspendidas (polvos, neblinas, humos), contaminantes gaseosos (gases y vapores) y olores. Actualmente, la concentración de partículas en el aire se mide a través de dispositivos de muestreo específicos para el tamaño de las muestras. Por lo tanto, la masa de partículas con un diámetro inferior de 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{10}$ ) se puede determinar como un índice de la concentración de la masa de partículas que pueden penetrar en el tórax del ser humano. La concentración de masa de las partículas con un diámetro menor de 2,5  $\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{2,5}$ ) es un medio para medir la concentración gravimétrica total de varios tipos de partículas químicamente diferenciados que se emiten al ambiente o que se forman en él como partículas muy pequeñas.

Por lo general, las partículas finas y gruesas provienen de fuentes diferentes y tienen mecanismos de formación distintos, aunque es probable que haya cierta superposición. Elementos biológicos como las bacterias, el polen y las esporas también se pueden encontrar en las partículas gruesas. Las partículas finas y gruesas normalmente se comportan de manera diferente en la atmósfera. Estas variaciones deben tomarse en cuenta al interpretar valores monitoreados en sitios específicos y el comportamiento de las partículas después de que ingresan a las viviendas y edificios, donde las personas pasan la mayor parte de su tiempo. Las partículas finas generalmente permanecen más tiempo en la atmósfera (de días a semanas) que las partículas gruesas y tienden a dispersarse de manera más uniforme en un área urbana o en una región geográfica extensa. Las partículas más grandes se depositan más rápidamente que las pequeñas.

Esto da lugar a que en una región la concentración de la masa total de partículas más gruesas sea menos uniforme que la de partículas finas. OMS

1

Factores que afectan la concentración de los contaminantes del aire.

La concentración local de los contaminantes del aire depende de la magnitud de las fuentes y de la eficiencia de su dispersión. Las variaciones diarias en las concentraciones están más afectadas por las condiciones meteorológicas que por los cambios en la magnitud de las fuentes. El viento es un elemento clave en la dispersión de los contaminantes del aire: para fuentes ubicadas en el nivel del suelo, la concentración de los contaminantes

tiene una relación inversa con la velocidad del viento. La turbulencia también es importante: un espacio accidentado, como el que presenta un conglomerado de edificios, tiende a incrementar la turbulencia y la dispersión de los contaminantes OMS <sup>1</sup>.

### **Exposición a los contaminantes del aire**

La exposición diaria total de un individuo a la contaminación del aire equivale a la suma de los contactos independientes que tiene con el aire contaminado cuando pasa a través de diferentes ambientes (también llamados microambientes) a lo largo del día, como el hogar, el trayecto de la casa al trabajo, la calle, etcétera. La exposición en cada uno de estos ambientes se puede estimar como el producto de la concentración del contaminante en cuestión y el tiempo que el individuo ha permanecido en tal ambiente.

Existen muchos factores que pueden explicar las sustanciales diferencias entre las concentraciones de contaminantes medidas en sitios centralizados y aquellas medidas en las zonas respiratorias de los habitantes de la comunidad. Muchos de esos factores se pueden expresar a través de modelos que se han usado para estimar la distribución de las dosis asociadas con las concentraciones del aire ambiente. OMS <sup>1</sup>

### **Importancia de la contaminación del aire para la salud**

A finales de los ochenta y en los noventa surgió una nueva base de datos de estudios epidemiológicos. Esta base de datos de estudios de series temporales se desarrolló primero en Estados Unidos y posteriormente en Europa y otras áreas. En esencia, el enfoque de las series temporales toma el día como la unidad de análisis y relaciona la ocurrencia diaria de eventos, como defunciones y admisiones hospitalarias, con la concentración promedio diaria de los contaminantes. Sin embargo, también considera cuidadosamente los factores de confusión como la estación, la temperatura y el día de la semana. Se han aplicado técnicas estadísticas poderosas y se han generado coeficientes que relacionan las concentraciones promedio diarias de los contaminantes con sus efectos. Se han demostrado asociaciones entre las concentraciones promedio diarias de las partículas, el O<sub>3</sub>, el SO<sub>2</sub>, la acidez transportada por el aire, el NO<sub>2</sub> y el CO. Si bien las

asociaciones para cada uno de esos contaminantes no fueron significativas en todos los estudios, si se toma la evidencia en su totalidad, la consistencia de los resultados es sorprendente. Para las partículas y el O<sub>3</sub>, muchos han coincidido en que los estudios no indican un efecto umbral. OMS <sup>1</sup>

### **Concentración de los contaminantes del aire y factores que afectan la sensibilidad.**

La concentración de los contaminantes clásicos del aire en exteriores en Europa y Estados Unidos se ha tratado detalladamente en las Guías de Calidad del Aire para Europa OMS<sup>1</sup>. En los países en desarrollo, los niveles de concentración de la contaminación en exteriores son 10 veces mayores, según el Sistema de Información sobre Gestión de la Calidad del Aire (AMIS, por sus siglas en inglés), que es la principal fuente de información al respecto sobre países en desarrollo. Los contaminantes del aire en interiores generalmente se diferencian de los del aire en exteriores por el tipo y nivel de concentración. Los contaminantes en interiores incluyen el humo de tabaco en el ambiente, las partículas biológicas y no biológicas, los compuestos orgánicos volátiles, los óxidos de nitrógeno, el plomo, el radón, el monóxido de carbono, el asbesto, productos químicos sintéticos y otros. El deterioro de la calidad del aire en interiores ha sido asociado con una variedad de efectos sobre la salud, desde malestar e irritación hasta enfermedades crónicas y cáncer.

En una escala global, casi la mitad de los hogares del mundo emplean diariamente combustibles de biomasa como fuente de energía para la cocina o la calefacción. El humo de la biomasa contiene cantidades significativas de contaminantes importantes: CO, material particulado, HC y, en menor grado, NO<sub>x</sub>. Sin embargo, también contiene muchos compuestos orgánicos, incluidos los HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos), sospechosos de ser tóxicos, carcinógenos, mutágenos o perjudiciales de alguna otra manera. En la China, la quema de carbón es una fuente importante de contaminación del aire en interiores y su humo contiene todos esos contaminantes y otros adicionales, como los óxidos de azufre y metales pesados como el plomo. Una proporción desconocida pero significativa de quema de combustibles de biomasa se produce en condiciones de poca ventilación en las viviendas. Por



consiguiente, parte de las concentraciones más altas de material particulado y otros contaminantes se encuentran en ambientes interiores de zonas rurales de los países en desarrollo. Debido a las altas concentraciones de contaminantes y a la gran cantidad de poblaciones expuestas, la exposición humana total a muchos contaminantes del aire de importancia puede ser mucho mayor en las viviendas de los pobres en los países en desarrollo que en los exteriores de las ciudades en el mundo desarrollado.

La altitud, la temperatura y la humedad varían significativamente en todo el mundo. A mayor altitud, la presión parcial de oxígeno disminuye y, en compensación, la inhalación aumenta. En el caso de las partículas transmitidas por el aire, los mayores volúmenes de inhalación darán lugar a la ingesta de un mayor número de ellas. Por otro lado, en el caso de los contaminantes gaseosos, no se espera ningún aumento en los efectos respecto a aquellos esperados en el nivel del mar. La temperatura tiene un efecto importante en la salud, mientras que la humedad probablemente no causa un efecto significativo en la toxicidad de los contaminantes gaseosos.

La distribución de la población por grupos de edad varía notablemente de un país a otro. Las personas mayores tienden a ser más susceptibles a la contaminación del aire. Los niños muy pequeños también pueden estar en gran riesgo. Las personas con un bajo nivel de vida sufren deficiencias de nutrición, enfermedades infecciosas debido a condiciones insalubres de saneamiento y hacinamiento, además de tener un nivel insuficiente de atención médica. Cada uno de esos factores puede aumentar la susceptibilidad de los individuos a los efectos de la contaminación del aire. Las enfermedades que causan la estrechez de las vías respiratorias, una reducción en el área de la superficie de intercambio de gases del pulmón y una mayor alteración de la razón inhalación-perfusión pueden hacer al individuo más susceptible a los efectos de diversos contaminantes del aire. OMS <sup>1</sup>

### **Monitoreo y evaluación de la calidad del aire**

Las tres herramientas principales para evaluar la calidad del aire son: i) monitoreo del ambiente; ii) modelos y iii) inventario o medición de emisiones.



La finalidad última del monitoreo no es simplemente recopilar datos sino proporcionar la información necesaria para que los científicos, los encargados de formular políticas y los planificadores tomen decisiones fundamentadas sobre la gestión y mejoramiento del ambiente.

El monitoreo cumple un papel central en este proceso, ya que brinda la base científica necesaria para el desarrollo de políticas y estrategias, el establecimiento de objetivos y la medición del cumplimiento de las metas y medidas coercitivas. No obstante, debe reconocerse que el monitoreo tiene limitaciones. Ningún programa de monitoreo, aunque esté bien fundamentado y diseñado, puede aspirar a cuantificar de manera integral los patrones de contaminación del aire en el espacio y en el tiempo. En muchas circunstancias, las mediciones por sí solas pueden ser insuficientes o impracticables para definir cabalmente la exposición de la población en una ciudad o país. Por ello, el monitoreo a menudo debe usarse juntamente con otras técnicas objetivas de evaluación, incluidas la elaboración de los modelos, la medición y la elaboración de inventarios de emisiones, la interpolación y elaboración de mapas. En el mejor de los casos, el monitoreo proporciona una figura incompleta, aunque útil, de la calidad actual del ambiente.

Del mismo modo, tampoco se puede confiar únicamente en la elaboración de modelos de simulación. Si bien estos pueden ser una herramienta poderosa para la interpolación, la predicción y la optimización de las estrategias de control, la posibilidad de usarlos efectivamente depende de la disponibilidad de datos de monitoreo reales y validados de forma apropiada. Además, es importante que los modelos usados sean apropiados para las condiciones, las fuentes y la topografía locales, y que sean compatibles con las bases de datos disponibles sobre las emisiones y la meteorología. Muchos modelos dependen de la disponibilidad de datos de emisiones confiables.

Un inventario completo de emisiones para una ciudad o país puede requerir emisiones de fuentes puntuales, de área y móviles. En algunos casos, se debe considerar si es necesario evaluar los contaminantes transportados al área en estudio. Los inventarios generalmente serán estimados con factores de emisión apropiados para los diferentes tipos de fuentes (verificados a

través de la medición) y se usarán en conjunción con estadísticas de datos sustitutos como la densidad demográfica, el uso de combustibles, los kilómetros recorridos por los vehículos y la producción industrial. La medición de las emisiones generalmente estará disponible solo para fuentes puntuales grandes de tipo industrial o para tipos representativos de vehículos bajo condiciones estandarizadas de manejo.

Las tres herramientas de evaluación son interdependientes en alcance y aplicación. Por lo tanto, el monitoreo, la elaboración de modelos de simulación y la evaluación de las emisiones deben ser concebidos como componentes interrelacionados en todo enfoque integral para estudiar la exposición o determinar el cumplimiento de los criterios de calidad del aire.

La contaminación del aire es un problema de salud ambiental que afecta a los países desarrollados y en desarrollo de todo el mundo. A escala mundial, cada vez se emiten mayores cantidades de gases y partículas potencialmente nocivos, lo que daña la salud humana, el ambiente y los recursos necesarios para lograr un desarrollo sostenible en el planeta.

Las fuentes de contaminación del aire que se derivan de actividades humanas forman tres grandes tipos:

- Fuentes estacionarias. Estas se pueden subdividir en:
- Fuentes de zonas rurales, como la producción agrícola, la minería y la extracción de minerales.
- Fuentes industriales puntuales y del área, como la elaboración de productos químicos, productos minerales no metálicos, industrias metálicas básicas y generación de energía.
- Fuentes comunitarias, como la calefacción de viviendas y edificios, incineradores de residuos urbanos y de lodos provenientes de aguas residuales, chimeneas, cocinas y servicios de lavandería. · Fuentes móviles. Están compuestas por cualquier tipo de vehículos de combustión a motor, como vehículos ligeros con motor de gasolina, vehículos ligeros y pesados con motor de diesel, motocicletas, aviones, incluidas fuentes lineales como las emisiones del tránsito vehicular.

- Fuentes de interiores. Incluyen: consumo de tabaco, fuentes biológicas (como polen, ácaros, moho, insectos, microorganismos, alérgenos de mascotas, etcétera), emisiones de la combustión, emisiones de materiales o sustancias usadas en interiores como compuestos orgánicos volátiles, plomo, radón, asbesto, productos químicos sintéticos, etcétera.

Además, también existen fuentes naturales de contaminación, como las áreas erosionadas, los volcanes, algunas plantas que liberan grandes cantidades de polen, fuentes de bacterias, esporas, virus, etcétera. OMS<sup>1</sup>. Los contaminantes del aire generalmente se clasifican en partículas en suspensión (polvos, gases, neblinas y humos), contaminantes gaseosos (gases y vapores) y olores.

### **Material particulado (MPS)**

Las partículas suspendidas en el aire incluyen partículas totales en suspensión (PTS), MP<sub>10</sub> (MPS con diámetro aerodinámico mediano menor de 10 µm), MP<sub>2,5</sub> (MPS con diámetro aerodinámico mediano inferior a 2,5 µm), partículas finas y ultrafinas, escape de diésel, ceniza del carbón, polvos minerales (por ejemplo, carbón, asbesto, piedra caliza, cemento), polvos metálicos y humos (por ejemplo, cinc, cobre, hierro, plomo), neblinas ácidas (por ejemplo, ácido sulfúrico), partículas de fluoruro, pigmentos de pintura, partículas de plaguicidas, carbón negro, humo de petróleo, etcétera. Los contaminantes de las partículas suspendidas provocan enfermedades respiratorias y pueden causar cáncer, corrosión, destrucción de la vida vegetal, etcétera. También pueden generar molestias (por ejemplo, acumulación de suciedad), interferir con la luz solar (por ejemplo, difusión de la luz por smog y neblina) y actuar como superficies catalíticas para la reacción de productos químicos adsorbidos. Contaminantes gaseosos. Los contaminantes gaseosos incluyen compuestos de azufre (por ejemplo, dióxido de azufre [SO<sub>2</sub>] y trióxido de azufre [SO<sub>3</sub>], monóxido de carbono [CO], compuestos de nitrógeno (por ejemplo, óxido nítrico [NO], dióxido de nitrógeno [NO<sub>2</sub>], amoníaco [NH<sub>3</sub>]), compuestos orgánicos (por ejemplo, hidrocarburos [HC], compuestos orgánicos volátiles [COV], hidrocarburos aromáticos policíclicos [HAP], derivados halogénicos, aldehídos, etcétera), compuestos halogénicos (HF y HCl) y sustancias olorosas.

Los contaminantes secundarios se pueden formar a través de reacciones térmicas, químicas o fotoquímicas. Por ejemplo, por la acción térmica, el  $\text{SO}_2$  se puede oxidar a  $\text{SO}_3$ , el cual, disuelto en agua, da lugar a la formación de la neblina ácida sulfúrica (catalizada por manganeso y óxidos de hierro). Las reacciones fotoquímicas entre el  $\text{NO}_x$  y los hidrocarburos reactivos pueden generar ozono ( $\text{O}_3$ ), formaldehído (HCHO) y peroxi-acetil-nitrato (PAN) y las reacciones entre HCl y HCHO pueden formar éter diclorometílico.

Olores. Si bien se sabe que algunos olores son provocados por agentes químicos específicos, como el sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), el disulfuro de carbono ( $\text{CS}_2$ ) y los mercaptanos ( $\text{R-SH}$ ,  $\text{R}_1\text{S R}_2$ ), otros son difíciles de definir químicamente.

Un inventario de concentraciones contaminantes del aire resume los resultados del monitoreo de estos contaminantes. Los datos se expresan en función de los promedios anuales, percentiles y tendencias de los parámetros medidos. En la mayoría de los países desarrollados, los compuestos medidos para tal inventario incluyen  $\text{SO}_2$ , óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), MPS, CO,  $\text{O}_3$ , metales pesados, HAP y COV. En los países en desarrollo generalmente se monitorean los compuestos “clásicos”:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , MPS, CO,  $\text{O}_3$  y plomo. (OMS 2000).

Aspectos fisicoquímicos de la contaminación del aire y unidades usadas para describir las concentraciones de los contaminantes del aire

Para comparar las concentraciones de contaminantes del aire en diferentes países, se requiere un sistema consistente de unidades. Tanto para los gases como para las partículas, la OMS ha adoptado un sistema de masa por unidad de volumen, con concentraciones generalmente expresadas como  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Es importante especificar la temperatura ambiental y la presión atmosférica, ya que estas condiciones determinan el volumen de una masa de aire. Esto, además, es muy importante para considerar los contaminantes en una escala global.

El sistema alternativo, basado en la razón de mezcla del volumen, se aplica solo a gases. Por ejemplo, en este sistema la concentración de gas se expresa en partes por billón. Si se parte de un comportamiento ideal de los gases, dicha concentración no depende de las condiciones de muestreo, ya que estas afectarán el aire que contiene el contaminante y el contaminante mismo en idéntica medida. Por lo tanto, un gas presente en una parte por millón ocupa un  $\text{cm}^3$  por  $\text{m}^3$  de aire contaminado; es decir, está presente como una molécula por  $1 \times 10^6$  moléculas y ejerce una presión parcial de  $1 \times 10^{-6}$  atmósferas.

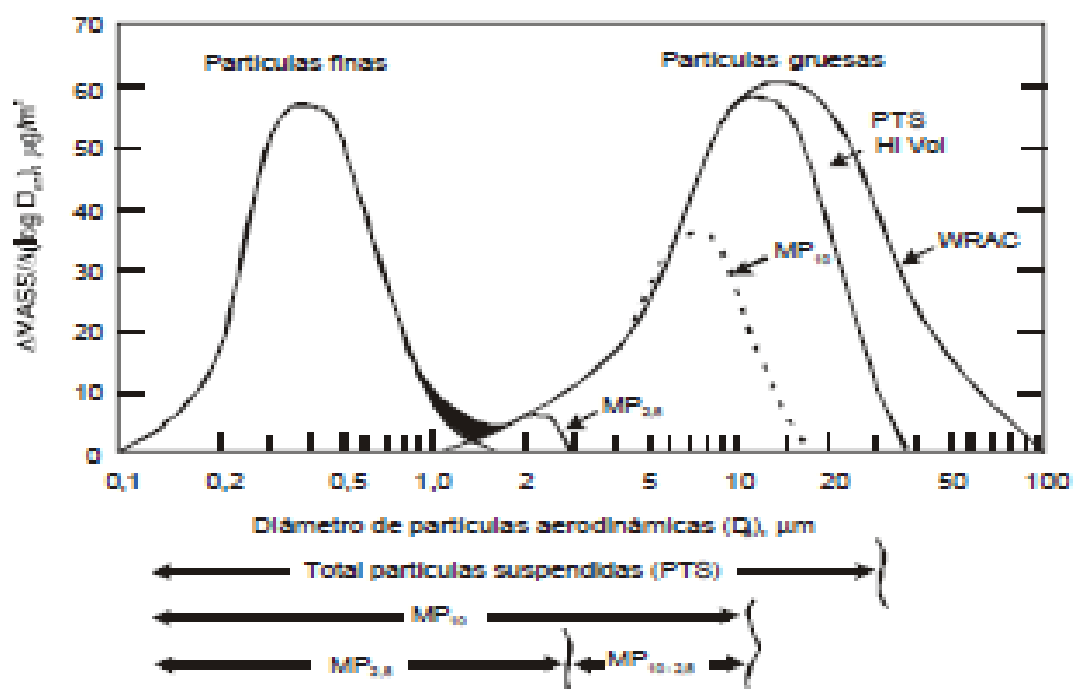
Los dos sistemas se pueden convertir entre sí bajo condiciones ideales: un mol de gas ocupa 22,4 litros a 273 °K y a 13 mb de presión (condición que se llama temperatura y presión estándar de aire seco; STPD, por sus siglas en inglés). La fórmula de conversión es:

$$\text{mg/m}^3 = \text{ppm} \times (\text{peso molecular/volumen molar})$$

$$\text{Volumen molar} = 22,4 \times T \times 1.013/273 \times P$$

T = temperatura absoluta (K)

P = presión atmosférica (mb) (OMS<sup>1</sup>).



**Gráfico 01.** Ejemplo representativo de la distribución de masa de las partículas en el ambiente en función del diámetro de las partículas aerodinámicas. Un captador de partículas de alto volumen (WRAC) proporciona un estimado de la distribución total de las partículas gruesas. Las restricciones de ingreso del muestreador de alto volumen para las PTS, el muestreador de  $MP_{10}$  y el muestreador de  $MP_{2,5}$  reducen la masa total que llega al filtro de muestreo.

Fuente: EPA<sup>17</sup>

Las técnicas que actualmente se usan para medir la concentración de la masa de las partículas en el aire emplean dispositivos para muestrear tamaños específicos y, por lo tanto, la masa de partículas con un diámetro inferior de 10 mm ( $MP_{10}$ ) se puede determinar como un índice de la concentración de la masa de partículas que pueden penetrar en el tórax del ser humano. Los dispositivos de muestreo permiten una separación suficientemente confiable de partículas de mayor o menor tamaño que el especificado. Para mayor precisión, será necesario definir el porcentaje de la masa de partículas en el rango de tamaño específico aceptado por el sistema de muestreo (10 mm en el ejemplo anterior). Una carga de muestreo de  $MP_{10}$  acepta 50% de partículas de diámetro aerodinámico de exactamente 10 mm, con una fracción de aceptación de rápido aumento para las partículas de diámetro menor y de rápida disminución para las partículas de diámetro mayor.

La concentración de masa de las partículas con un diámetro menor de 2,5 mm ( $MP_{2,5}$ ) es un medio para medir la concentración gravimétrica total de varios tipos de partículas químicamente diferenciados que se emiten al ambiente o que se forman en él como partículas muy pequeñas. En la primera categoría (las que se emiten) se encuentran las partículas carbonosas del humo de la madera y las provenientes de las emisiones de motores Diesel. La otra categoría (las que se forman en el ambiente) incluye las partículas carbonosas que se generan durante la secuencia de la reacción fotoquímica que también conduce a la formación de  $O_3$ , así como las partículas de sulfato y nitrato que resultan de la oxidación de  $SO_2$  y el

óxido de nitrógeno liberado durante la combustión y sus productos de reacción.

La fracción de partículas gruesas, aquellas con diámetros aerodinámicos mayores de 2,5  $\mu\text{m}$ , está compuesta principalmente de tierra y ceniza mineral que se dispersan mecánicamente en el aire. En términos químicos, las fracciones finas y las gruesas son mezclas complejas. Mientras estén en equilibrio en el aire, existe un equilibrio dinámico en el que ingresan al aire aproximadamente a la misma velocidad a la que salen. En climas secos, las concentraciones de partículas gruesas se equilibran mediante la dispersión en el aire, la mezcla con las masas de aire y la sedimentación gravitacional, mientras que las concentraciones de partículas finas están determinadas por las velocidades de formación, de transformación química y factores meteorológicos. La concentración tanto de partículas finas como de partículas gruesas se agota efectivamente a través de la captación dentro y debajo de la nube por precipitación. Véase el cuadro N° 02 para mayor detalle sobre estas diferencias.

**Cuadro 02. Comparación entre partículas finas y gruesas.**

	<b>Partículas finas</b>	<b>Partículas gruesas</b>
<b>Formado de:</b>	Gases	Sólidos grandes/gotas pequeñas
<b>Formado por:</b>	Reacción química; nucleación; condensación; coagulación; evaporación de niebla y gotas de nubes donde los gases se han disuelto y reaccionado.	Disrupción mecánica (por ejemplo, trituración, abrasión de superficies); evaporación de atomizadores; suspensión de polvo.
<b>Compuesto de:</b>	Sulfato $\text{SO}_4^{2-}$ ; nitrato $\text{NO}_3^-$ ; amonio, $\text{NH}_4^+$ ; ion hidrógeno, $\text{H}^+$ ; carbón elemental; compuestos orgánicos (por ejemplo, hidrocarburos aromáticos policíclicos); metales	Polvos resuspendidos (por ejemplo, polvos del suelo, polvos de la calle); ceniza de carbón y petróleo, óxidos metálicos de elementos presentes en la corteza terrestre (Si, Al, Ti, Fe); $\text{CaCO}_3$ , NaCl, sal marina; polen, esporas de

	(por ejemplo, Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe); agua ligada a las partículas.	moho; fragmentos de animales y plantas; restos de llantas gastadas.
<b>Solubilidad</b>	Muy soluble, higroscópico y delicuescente	Muy insoluble y no higroscópico
<b>Fuentes</b>	Combustión de carbón, aceite, gasolina, diesel, madera; productos de transformación atmosférica de NOx, SO2 y compuestos orgánicos incluidas las especies biogénicas (por ejemplo, terpenos), procesos de altas temperaturas, fundición, fábricas de acero, etcétera.	Resuspensión del polvo industrial y de la tierra que permanece en los caminos; suspensión de tierra removida (por ejemplo, por la agricultura, minería, caminos no pavimentados); fuentes biológicas; construcción y demolición; combustión de carbón y de aceite; brisa marina.
<b>Vida útil</b>	De días a semanas	De minutos a horas
<b>Distancia de viaje</b>	Cientos a miles de kilómetros	< 1 a decenas de kilómetros

Fuente: EPA (1995a, b).

Como se indica en el cuadro N °.1, si bien es probable que algunas veces haya superposición, por lo general las partículas finas y gruesas provienen de fuentes diferentes y tienen mecanismos de formación distintos. Las partículas finas primarias se forman por la condensación de vapores de altas temperaturas durante la combustión. Las partículas finas secundarias por lo general se forman por gases de tres maneras:

- Nucleación (es decir, las moléculas de gas que se reúnen para formar una partícula nueva).
- La condensación de gases en partículas existentes.
- Por reacción de los gases absorbidos en gotas pequeñas.

Las partículas que se forman por nucleación también se coagulan para formar partículas de agregados relativamente más grandes o gotitas cuyos diámetros oscilan entre 0,1 y 1,0 mm y, por lo general, estas partículas no llegan a ser gruesas. Las partículas se forman debido a la reacción química de los gases en la atmósfera que conducen a la formación de productos con una presión de vapor muy baja para formar una partícula o que reaccionan



hasta formar una sustancia con una baja presión de vapor. Algunos ejemplos incluyen:

- La conversión de  $\text{SO}_2$  a gotas pequeñas de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).
- Las reacciones de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  con  $\text{NH}_3$  para formar bisulfato amónico ( $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ ) y sulfato amónico ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ).
- La conversión de  $\text{NO}_2$  a vapor de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), el cual reacciona con el  $\text{NH}_3$  para formar nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ).

Si bien algunas partículas emitidas directamente se encuentran como partículas finas, la masa de partículas finas se compone principalmente de partículas secundarias formadas por gases.

En cambio, la mayoría de las partículas gruesas se forman directamente como partículas y surgen de la disrupción mecánica como triturado, evaporación de pulverizadores o suspensión de polvo proveniente de las actividades de construcción y agrícolas. Por lo general, la mayoría de las partículas gruesas se forma cuando las masas más grandes se desintegran en masas menores. Las consideraciones energéticas normalmente limitan los tamaños de las partículas a menos de 1,0 mm de diámetro. Algunas partículas minerales generadas por combustión, como la ceniza presente en el aire, también se encuentran dentro de la masa de partículas gruesas.

Elementos biológicos como las bacterias, el polen y las esporas también se pueden encontrar en la masa de las partículas gruesas. OMS <sup>1</sup>

### **Calentamiento Global**

Cuando está presente en la troposfera superior, el ozono es un gas de efecto invernadero muy eficaz. Las estrategias para reducir las concentraciones de ozono en los ámbitos urbanos y regionales tal vez ayuden a limitar la contribución del ozono troposférico al efecto invernadero y el calentamiento global CEC<sup>18</sup>.

Los seres humanos contribuyen a la formación de ozono troposférico sobre todo mediante la quema de combustibles fósiles en el transporte, la industria y las centrales eléctricas. La evaporación de combustibles líquidos y solventes se incorporan a la formación de ozono.

### **Dispersión de contaminantes**

La concentración de los contaminantes atmosféricos depende fundamentalmente de las condiciones de dispersión de la atmósfera.

La dispersión, es decir, el transporte de los contaminantes en el aire depende del estado de la atmósfera y de las condiciones meteorológicas (turbulencias atmosféricas, velocidad y dirección del viento, radiaciones solares, etc.). Diferentes tipos de fenómenos de dispersión de los contaminantes provocan bien acumulación en zonas próximas a las fuentes de emisión o transporte de estos a zonas más o menos alejadas.

La estabilidad atmosférica dificulta la dispersión de los contaminantes y, en consecuencia, contribuye a la acumulación de estos cerca de las fuentes emisoras. Existe una relación evidente entre la intensidad del viento y los niveles de concentraciones de los contaminantes. La dispersión de los contaminantes aumenta con la velocidad y la turbulencia del viento.

### **Monitoreo y evaluación de la calidad del aire, herramientas y funciones de la evaluación**

Existen algunas metodologías y sistemas usados para evaluar la calidad del aire ambiental, especialmente en relación con el requerimiento de que la exposición de la población sea evaluada y para determinar el cumplimiento de las normas o guías. Los contaminantes considerados en detalle son el SO<sub>2</sub>, el NO<sub>2</sub>, el CO, el O<sub>3</sub>, el MPS y el plomo. Estos tienen una serie de impactos potencialmente agudos y crónicos en la salud de la población. Por consiguiente, para evaluar la calidad del aire a partir de las guías, es probable que se necesite considerar varias escalas de tiempo para los efectos, en un rango de 10 minutos (SO<sub>2</sub>) a un año (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Pb).

Las tres herramientas principales para evaluar la calidad del aire son:

- Monitoreo del aire
- Modelos
- Inventarios o medición de emisiones.

La finalidad última del monitoreo no es simplemente recopilar datos sino proporcionar la información necesaria para que los científicos, los

encargados de formular políticas y los planificadores tomen decisiones fundamentadas sobre la gestión y mejoramiento del ambiente.

El monitoreo cumple un papel principal en este proceso, ya que brinda la base científica necesaria y segura para el desarrollo de políticas y estrategias, el establecimiento de objetivos y la medición del cumplimiento de las metas y medidas coercitivas. OMS <sup>1</sup>

Los inventarios generalmente serán estimados con factores de emisión apropiados para los diferentes tipos de fuentes (verificados a través de la medición) y se usarán con estadísticas de datos sustitutos, como la densidad demográfica, el uso de combustible, los kilómetros recorridos por los vehículos y la producción industrial. La medición de las emisiones generalmente estará disponible solo para fuentes puntuales grandes de tipo industrial o de tipos representativos de vehículos bajo condiciones estandarizadas de conducción.

Las tres herramientas de evaluación son interdependientes en alcance y aplicación. Por lo tanto, el monitoreo, los modelos de simulación y las evaluaciones de las emisiones deben ser concebidos como componentes interrelacionados en todo enfoque integral para evaluar la exposición o determinar el cumplimiento de los criterios de calidad del aire. Por consiguiente, para obtener una figura completa de la exposición de la población, se tendrán que complementar los datos de monitoreo del ambiente con información de reportes sobre la exposición en microambientes y la exposición individual.

Desde el punto de vista histórico, estos han proporcionado la mayoría de los datos usados para la evaluación de la exposición, y en algunas publicaciones recientes se ha abordado el monitoreo de la exposición en microambientes y a nivel individual OMS<sup>1</sup>

### **Factores de emisión**

Los factores de emisión son valores que relacionan la cantidad emitida de un contaminante con la actividad del equipo asociada con dicha emisión.

Estos factores se expresan normalmente como un cociente entre la masa del contaminante emitido y el peso, volumen, distancia o duración de la actividad que provoca la emisión; por ejemplo, kilogramos de partículas por tonelada de hierro gris producido, o kilogramos de compuestos orgánicos volátiles por días de operación de la planta industrial, etc. Por lo general, en la elaboración de inventarios de emisiones de fuentes fijas se utilizan los factores de emisión por proceso reportados en el documento AP-42 *Compilation of Air Pollutant Emission Factors*. US EPA<sup>19</sup>

Los factores de emisión están dados para el GLP, Kerosene y GN. se obtienen de la EPA, de las tablas 1.3-1, 1.3-7, 1.4-1 y 1.4-2, del AP-42 y se presentan en la tabla siguiente.

**Tabla N° 1:** Factores de emisión por combustibles (Kg contaminante/10<sup>3</sup>m<sup>3</sup> de combustible)

	COVs	CO	NOx	SOx	MP10	MP2.5	Unidad
<b>Combustible</b>							
<b>GLP</b>	87.5	221.7	1090.4	1.7	33.6	33.6	Kg/1000m <sup>3</sup>
<b>Kerosene</b>	83.9	575.2	2085.2	4925.5	129.4	99.5	Kg/1000m <sup>3</sup>
<b>GN</b>	0.1	0.6	1.5	0	0	0	Kg/1000m <sup>3</sup>

Fuente: AP-42;EPA

### Solventes de uso Doméstico

Para el caso de la categoría solventes de uso doméstico, gran variedad de productos utilizados en aplicaciones domésticas contiene solventes y estos a su vez contienen (COVs) que son emitidos directamente a la atmosfera *Emissions Estimation Technique Manual for Aggregated Emissions from Domestic/Commercial Solvent and Aerosol Use, Environment Australia*

La Ecuación propuesta por EMEP/EEA para el uso de otros solventes de uso doméstico es la siguiente:

$$E=C \times FE$$

Donde:

E: Emisión COVs (Ton/año)

FE: Factor de Emisión (Ton/año)

C: Cantidad de producto usado en el sector (ton/año)

La proporción de solventes contenidos en un producto, eliminados a la atmósfera variará dependiendo de la manera en que se utiliza. Según estudios de la EPA se asume que el 100% de las emisiones de COVNM a la atmósfera, excepto en el caso de productos que se utilicen diluidos en agua (lavalozas, detergentes, blanqueadores, etc.), en cuyo caso se asume generalmente el 1%, para productos que se eliminan con agua después de realizar su función (es decir, jabones, pasta de dientes, productos de limpieza, etc.), se asignan factores de entre 5% y 50% COVNM emitidos a la atmósfera.

La EPA por su parte establece la siguiente ecuación, destacando la utilización de emisión por población total.

$$E=P \times FE$$

Donde:

E: Emisión COVs (lb/año)

FE: Factor de Emisión per cápita (lb COV/persona/año)

P: Población (número de habitantes)

Debido a que no existe información de base necesaria para la cuantificación de la cantidad de solventes utilizados en el sector doméstico, se ha optado por la utilización del enfoque metodológico de la EPA, ya que los factores de emisión de COVs están asociados al consumo per cápita, el cual puede ser multiplicado por la población total en el área de estudio.

**Tabla N° 02:** Factores de emisión para compuestos organicos volatiles COVs

<b>Factores de Emisión para COVs</b>		
<b>Producto</b>	<b>Factores de emisión</b>	<b>Unidad</b>
Productos de Aerosol	0.046	<b>Kg /hab-año</b>
Productos Domesticos	0.36	<b>Kg /hab-año</b>
Productos de cuidado personal	1.05	<b>Kg /hab-año</b>
Productos de cuidado Automotriz	0.61	<b>Kg /hab-año</b>
Adhesivos y Selladores	0.26	<b>Kg /hab-año</b>
Pesticidas comerciales y domesticos	0.81	<b>Kg /hab-año</b>
Productos miscelaneos	0.03	<b>Kg /hab-año</b>

**Fuente:** EPA Manual del programa de mejoramiento del inventario de emisiones (EIIP), Volumen III, Capítulo 5, Emission Estimation Technique Manual for Aggregated Emissions from Domestic/Commercial Solvent and Aerosol Use, 1999 pag 7

### **Pintura Arquitectónica**

Las pinturas arquitectónicas están asociadas a la emisión de COVs, variando su generación en función de los productos constituyentes.

La EPA, establece un factor de emisión para cada tipo de pintura y el nivel de actividad lo relaciona con la cantidad de pintura usada, a través de la ecuación:

$$E = \sum FE \times NA / \sum NA$$

Donde:

E: Emisiones

FE: Factor de Emisión para cada pintura en lb/gal

NA: Cantidad de Pintura Usada en Galones

Por su parte la UE5 y NPI6, utilizan enfoques similares, utilizando las ventas anuales totales para la estimación de emisiones

Considerando que las fuentes de información disponibles no dan cuenta del nivel de actividad en términos de venta de pinturas, se ha establecido que el enfoque del Inventario de Emisiones se ajusta a la realidad local, por lo que se puede considerar el mismo método de estimación utilizado en inventarios anteriores. La ecuación que describe la metodología es la siguiente:

$$E = P \times FE$$

Donde:

E = Emisión COVs (ton /año)

FE = Factor de emisión per cápita (ton/persona/año)

P = Población

**Tabla N° 03** Factores de emisión para COVs Pintura Arquitectónica

**Factores de Emisión para COVs Pintura Arquitectónica**

Item	Factores de emisión	Unidad
Pintura Arquitectónico	1.36	Kg /hab-año

Fuente: DDF, 1995

**Uso de Adhesivos**

Debido a que no se registra información diferenciada del consumo de adhesivos por comuna, se utiliza la metodología que emplea factores de emisión asociadas a la población. Dicha metodología se basa en la aplicada para el desarrollo del inventario de Emisiones de México, y que además empleó la Universidad Católica de Temuco en el inventario año base 2005. Será utilizada la siguiente ecuación para la obtención de las emisiones de los solventes seleccionados:

$$E = NA \times FE$$

Donde:

E : Emisión COVs (Kg/año)

F : Factores de emisión (kg COVs/persona/año)

NA: Número de habitantes del área de estudio.

**Emisiones Residenciales de NH<sub>3</sub>**

Tanto en la EMEP/EEA como EPA, se realizan estimaciones de amoniaco para actividades y procesos asociados tanto a animales como seres humanos, utilizando el mismo enfoque metodológico específico, mediante el cálculo con factor de emisión, sin embargo, el número utilizado para el cálculo difiere en especificidad.

$$E = NA \times FE$$

Donde:

E: Emisión NH<sub>3</sub> (Ton/año)

F: Factores de emisión (Ton NH<sub>3</sub>/persona/año)

NA: Número de habitantes por rango etario específico.

**Tabla 04** Factores de emisión para fuentes evaporativas de NH<sub>3</sub> de la población.

Fuente	<b>Factores de emisión -Evaporativas de NH<sub>3</sub></b>	
	Factores de emisión	Unidad
Respiración humana	0.0016	<b>Kg NH<sub>3</sub>/hab-año</b>
Transpiración humana	0.25	<b>Kg NH<sub>3</sub>/hab-año</b>
Pañal desechable de niño < 3 años	0.16	<b>Kg NH<sub>3</sub>/hab-año</b>
Residuo de adultos	0.023	<b>Kg NH<sub>3</sub>/hab-año</b>
Perros	2.49	<b>Kg NH<sub>3</sub>/hab-año</b>
Gatos	0.82	<b>Kg NH<sub>3</sub>/hab-año</b>

Fuente: Vol V, Sección 11.6 Emisiones domésticas de amoníaco SERNAMAT, 1997.

**Tabla 05** Proporción de animales, perros y gatos según tipo de zona (mascotas/habitante)

Tipo de zona	Proporción- perros	Proporción - gatos
Urbana (>800,000 habitantes)	0.0016	<b>Kg NH<sub>3</sub>/hab-año</b>
Sub urbana (200,000-800,000 habitantes)	0.25	<b>Kg NH<sub>3</sub>/hab-año</b>
Rural (<200,000 habitantes)	0.16	<b>Kg NH<sub>3</sub>/hab-año</b>

Fuente: Vol V, Sección 11.6-1 SERNAMAT, 1997.

### Fuentes evaporativas comerciales

#### Distribución de combustibles

Las emisiones evaporativas de COV durante el transporte, se originan en el desplazamiento o generación de vapores durante la carga y descarga del combustible y dependen de su modo de operación, siendo sus emisiones



mayores en el caso que los camiones no cuenten con sistema de traspaso de vapores.

Las emisiones se calculan usando la siguiente ecuación:

$$L1=12,46 \times S \times P \times M \times T \times (1-Eff/100)$$

Donde:

L1 : Pérdidas por llenado (libras/1000 galones líquidos cargados)

S : Factor de saturación

P : Presión de vapor real del líquido cargado

M : Peso molecular de vapores (lb/lb Mol)

T : Temperatura del líquido cargado R (R=F+460)

Eff : Eficiencia de recuperación de vapores.

El factor de saturación (S) involucrado en el cálculo de las emisiones asociadas al transporte de combustibles, depende del modo de operación de la carga de los líquidos. En la estimación a desarrollar se utilizará el valor que supone llenado sumergido de estanque normal (S=0,6), el cual no incluye control de las emisiones evaporativas de COV. En la siguiente tabla se muestran dichos valores.

**Tabla 06** Factores de emisión COVs, para distribución de combustibles (ton/m<sup>3</sup>)

Factores de emisión COVs, distribución de combustible (ton/m3)	
Fuente	Factor de emisión
llenado de tanques	400000
Respiracion de tanques	1200000
llenado de tanques desde vehiculos	1320000

Fuente: *Petroleum industry*, EPA AP42-1995 Tabla 5.2-7

Para el expendio final, las fuentes evaporativas de COV, se ocasionan durante el traspaso de combustible que realizan los camiones a las estaciones de servicio para su expendio final, y están asociadas a los llenados de los estanques subterráneos de gasolina con camiones distribuidores, respiración de estanques en el momento de llenado o vaciado y derrames accidentales durante el expendio. La tabla 7 muestra las distintas etapas del expendio final de combustible con sus factores de emisión y en forma destacada los factores seleccionados suponiendo un escenario desfavorable. De esta forma, se obtiene el factor de emisión correspondiente a 0,0039 Ton de COV por cada m<sup>3</sup> de combustible.

**Tabla 07** Factores de emisión COVs, para expendio final de combustibles

<b>Factores de emisión de COVs para el expendio final</b>		
<b>Etapas</b>	<b>FE (mg/L transferido)</b>	<b>Observación</b>
Llenado de tanques y camiones	880	Alimentación sumergida
	1380	Llenado por rociado directo
	40	Llenado por traspaso de vapores
Respiración de estanques	120	...
Llenado de tanques de vehiculos	1320	Lenado no controlado
	132	Llenado controlado
Derrames	80	...

**Fuente:** EPA, 1995 AP - 42

### **Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire OMS<sup>1</sup>**

Plantea Directrices que se aplican en todo el mundo y se basan en la evaluación, realizada por expertos, de las pruebas científicas actuales concernientes a:

- partículas (PM)
- ozono (O<sub>3</sub>)
- dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y
- dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), en todas las regiones de la OMS.

Las Directrices de la OMS sobre calidad del aire se encuentran actualmente en proceso de revisión y su publicación está prevista para 2020.

## **Partículas (PM)**

### **Definición y fuentes principales**

Las PM son un indicador representativo común de la contaminación del aire. Afectan a más personas que cualquier otro contaminante. Los principales componentes de las PM son los sulfatos, los nitratos, el amoníaco, el cloruro de sodio, el hollín, los polvos minerales y el agua. Consisten en una compleja mezcla de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire. Si bien las partículas con un diámetro de 10 micrones o menos ( $\leq PM_{10}$ ) pueden penetrar y alojarse profundamente dentro de los pulmones, existen otras partículas aún más dañinas para la salud, que son aquellas con un diámetro de 2,5 micrones o menos ( $\leq PM_{2,5}$ ). Las  $PM_{2,5}$  pueden atravesar la barrera pulmonar y entrar en el sistema sanguíneo. La exposición crónica a partículas contribuye al riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como cáncer de pulmón. Generalmente, las mediciones de la calidad del aire se notifican como concentraciones medias diarias o anuales de partículas  $PM_{10}$  por metro cúbico ( $m^3$ ) de aire. Las mediciones sistemáticas de la calidad del aire describen esas concentraciones de PM expresadas en microgramos ( $\mu$ )/ $m^3$ . Cuando se dispone de instrumentos de medición suficientemente sensibles, se notifican también las concentraciones de partículas finas ( $PM_{2,5}$  o más pequeñas).

### **Efectos sobre la salud**

Existe una estrecha relación cuantitativa entre la exposición a altas concentraciones de pequeñas partículas ( $PM_{10}$  y  $PM_{2,5}$ ) y el aumento de la mortalidad o morbilidad diaria y a largo plazo. A la inversa, cuando las concentraciones de partículas pequeñas y finas son reducidas, la mortalidad conexas también desciende, en el supuesto de que otros factores se mantengan sin cambios. Esto permite a las instancias normativas efectuar proyecciones relativas al mejoramiento de la salud de la población que se podría esperar si se redujera la contaminación del aire con partículas.

La contaminación con partículas conlleva efectos sanitarios incluso en muy bajas concentraciones; de hecho, no se ha podido identificar ningún umbral por debajo del cual no se hayan observado daños para la salud. Por

consiguiente, los límites de la directriz de 2005 de la OMS se orientan a lograr las concentraciones de partículas más bajas posibles.

### **Valores fijados en las Directrices**

#### **Partículas finas (PM<sub>2.5</sub>)**

10 µg/m<sup>3</sup> de media anual

25 µg/m<sup>3</sup> de media en 24h

#### **Partículas gruesas (PM<sub>10</sub>)**

20 µg/m<sup>3</sup> de media anual

50 µg/m<sup>3</sup> de media en 24h

Además de los valores, las Directrices sobre la Calidad del Aire establecen metas intermedias para concentraciones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> destinadas a promover una reducción gradual, de concentraciones altas a otras más bajas.

Si se alcanzaran esas metas intermedias se podrían esperar reducciones importantes de los riesgos de enfermedades agudas y crónicas derivadas de la contaminación del aire. No obstante, los valores establecidos en las Directrices deberían ser el objetivo final.

Los efectos sanitarios de las partículas provienen de la exposición que actualmente experimentan muchas personas, tanto en las zonas urbanas como rurales, bien sea en los países desarrollados o en los países en desarrollo, aun cuando la exposición en muchas ciudades en rápido desarrollo suele ser actualmente muchísimo más alta que en ciudades desarrolladas de tamaño comparable.

En las Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire se estima que una reducción media anual de las concentraciones de partículas (PM<sub>10</sub>) de 35 microgramos/m<sup>3</sup>, común en muchas ciudades en desarrollo, a 10 microgramos/m<sup>3</sup>, permitiría reducir el número de defunciones relacionadas con la contaminación en aproximadamente un 15%. Sin embargo, incluso en la Unión Europea, donde las concentraciones de PM de muchas ciudades cumplen los niveles fijados en las Directrices, se estima que la exposición a

partículas de origen antropogénico reduce la esperanza media de vida en 8,6 meses.

En los países de bajos y medianos ingresos, la exposición a contaminantes en el interior y alrededor de las viviendas como consecuencia del uso de combustibles en estufas abiertas o cocinas tradicionales incrementa el riesgo de infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores, así como el riesgo de cardiopatías, neumopatía obstructiva crónica y cáncer de pulmón en los adultos.

Existen graves riesgos sanitarios no solo por exposición a las partículas, sino también al ozono ( $O_3$ ), el dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) y el dióxido de azufre ( $SO_2$ ). Como en el caso de las partículas, las concentraciones más elevadas suelen encontrarse en las zonas urbanas de los países de ingresos bajos y medianos. El ozono es un importante factor de mortalidad y morbilidad por asma, mientras que el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre pueden tener influencia en el asma, los síntomas bronquiales, las alveolitis y la insuficiencia respiratoria.

### **Ozono ( $O_3$ )**

#### **Valores fijados en las Directrices**

El límite recomendado en las Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire, de 2005, se redujo del nivel de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $O_3$  media en 8h, establecido en ediciones precedentes de esas directrices, a raíz de pruebas concluyentes sobre la relación entre la mortalidad diaria y concentraciones de ozono inferiores.

#### **Definición y fuentes principales**

El ozono a nivel del suelo —que no debe confundirse con la capa de ozono en la atmósfera superior— es uno de los principales componentes de la niebla tóxica. Éste se forma por la reacción con la luz solar (fotoquímica) de contaminantes como los óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) procedentes de las emisiones de vehículos o la industria y los compuestos orgánicos volátiles

(COV) emitidos por los vehículos, los disolventes y la industria. Los niveles de ozono más elevados se registran durante los períodos de tiempo soleado.

### **Efectos sobre la salud**

El exceso de ozono en el aire puede producir efectos adversos de consideración en la salud humana. Puede causar problemas respiratorios, provocar asma, reducir la función pulmonar y originar enfermedades pulmonares.

### **Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)**

#### **Valores fijados en las Directrices**

##### **NO<sub>2</sub>**

40 µg/m<sup>3</sup> de media anual

200 µg/m<sup>3</sup> de media en 1h

El valor actual de 40 µg/m<sup>3</sup> (de media anual) fijado en las Directrices de la OMS para proteger a la población de los efectos nocivos para la salud del NO<sub>2</sub> gaseoso no ha cambiado respecto al recomendado en las directrices anteriores.

#### **Definición y fuentes principales**

Como contaminante atmosférico, el NO<sub>2</sub> puede correlacionarse con varias actividades:

- En concentraciones de corta duración superiores a 200 mg/m<sup>3</sup>, es un gas tóxico que causa una importante inflamación de las vías respiratorias
- Es la fuente principal de los aerosoles de nitrato, que constituyen una parte importante de las PM<sub>2.5</sub> y, en presencia de luz ultravioleta, del ozono.

Las principales fuentes de emisiones antropogénicas de NO<sub>2</sub> son los procesos de combustión (calefacción, generación de electricidad y motores de vehículos y barcos).

### **Efectos sobre la salud**

Estudios epidemiológicos han revelado que los síntomas de bronquitis en niños asmáticos aumentan en relación con la exposición prolongada al NO<sub>2</sub>.

La disminución del desarrollo de la función pulmonar también se asocia con las concentraciones de NO<sub>2</sub> registradas (u observadas) actualmente en ciudades europeas y norteamericanas.

### **Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)**

#### **Valores fijados en las Directrices**

##### **SO<sub>2</sub>**

20 µg/m<sup>3</sup> media en 24h

500 µg/m<sup>3</sup> de media en 10 min

La concentración de SO<sub>2</sub> en períodos promedio de 10 minutos no debería superar los 500 µg/m<sup>3</sup>. Los estudios indican que un porcentaje de las personas con asma experimenta cambios en la función pulmonar y síntomas respiratorios tras períodos de exposición al SO<sub>2</sub> de tan solo 10 minutos.

La revisión de la directriz referente a la concentración de SO<sub>2</sub> en 24 horas, que ha descendido de 125 a 20 µg/m<sup>3</sup>, se basa en las siguientes consideraciones:

- Los efectos nocivos sobre la salud están asociados a niveles de SO<sub>2</sub> muy inferiores a los aceptados hasta ahora.
- Se requiere mayor grado de protección.
- Pese a las dudas que plantea todavía la causalidad de los efectos de bajas concentraciones de SO<sub>2</sub>, es probable que la reducción de las concentraciones disminuya la exposición a otros contaminantes.

#### **Definición y fuentes principales**

El SO<sub>2</sub> es un gas incoloro con un olor penetrante que se genera con la combustión de fósiles (carbón y petróleo) y la fundición de menas que contienen azufre. La principal fuente antropogénica del SO<sub>2</sub> es la combustión de fósiles que contienen azufre usados para la calefacción doméstica, la generación de electricidad y los vehículos a motor.

#### **Efectos sobre la salud**

SO<sub>2</sub> 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; asimismo, aumenta la propensión de las personas a contraer infecciones del

sistema respiratorio. Los ingresos hospitalarios por cardiopatías y la mortalidad aumentan en los días en que los niveles de SO<sub>2</sub> son más elevados. En combinación con el agua, el SO<sub>2</sub> se convierte en ácido sulfúrico, que es el principal componente de la lluvia ácida que causa la deforestación.

### **Escenarios**

Según Masini & Medina<sup>20</sup> los tipos de escenarios de futuro más usuales que se pueden construir son los siguientes:

- **Escenario Tendencial:**

Es el escenario que trata de mostrar lo que sucederá si las cosas siguen como van. No obstante, no basta con pensar las extrapolaciones de las tendencias que se pueden producir, se requiere explicar cuáles son los factores históricos, o nuevos que influyen o contribuyen a que la tendencia esperada sea similar a la actual, es decir, se necesita precisar aquellos factores que hacen que la tendencia tienda a reforzarse.

- **Escenario Optimista:**

Es el escenario que se ubica entre el escenario tendencial y el escenario utópico, ideal o más deseable. El escenario optimista contempla cambios razonables y positivos que no rayan en una ambición desmesurada, basada más en los deseos que en los fundamentos que conllevan los hechos y los datos. El escenario optimista plantea acciones deseables, pero plausibles o verosímiles que distinguen aquello que puede lograrse en el corto, mediano y largo plazo.

- **Escenario Pesimista:**

El escenario pesimista contempla un deterioro de la situación actual, pero sin llegar a una situación caótica. Es el escenario que se encuentra en medio del escenario tendencial y el escenario catastrófico o aquella situación que empeora dramática y aceleradamente un sistema a causa de factores desestabilizantes, inesperados y descontrolados.

- **Escenario Contrastado:**

Escenario donde ocurre lo inesperado y reina la incertidumbre, es decir donde abundan los factores de ruptura que quiebran las tendencias



existentes en un momento determinado. Sus consecuencias no necesariamente deben considerarse negativas, pues es un escenario que invita a pensar creativamente en nuevas posibilidades para canalizar los hechos positivos o contrarrestar los negativos. Este escenario se reserva para “pensar lo impensable”. Pensar que todo puede cambiar abruptamente, pero con una lógica argumentativa que lo sustente.

### **Efectos en la salud por la contaminación atmosférica**

La contaminación atmosférica se define como la condición de la atmósfera donde ciertas sustancias alcanzan concentraciones o niveles elevados para producir riesgos o daños a la población y ecosistemas.

La capacidad de un contaminante para producir un efecto en la salud depende fundamentalmente de dos factores: 1) la magnitud de la exposición y 2) la vulnerabilidad de las personas expuestas. La magnitud de la exposición está en función de la concentración del contaminante, de la duración de la exposición y de su frecuencia. Por otro lado, la vulnerabilidad de las personas expuestas depende de factores como la edad, genética, género; y a factores como las condiciones médicas, acceso a los servicios de salud y nutrición. Generalmente los grupos más vulnerables son los niños y las personas de la tercera edad. Los niños inhalan una tasa de masa de aire más alta por peso corporal que los adultos, lo que resulta en una exposición. Los niños tienen en general una menor capacidad para metabolizar y secretar sustancias tóxicas SEMARNAT/INE<sup>21</sup>.

### **Exposición aguda**

La exposición aguda conlleva a periodos de tiempo cortos en contacto con los contaminantes en altas concentraciones causando daños sistémicos al cuerpo humano. Se han detectado casos en los cuales se observa un aumento en la mortalidad derivadas de complicaciones respiratorias por exposición a partículas, ozono y algunos sulfatos. En casos menos severos, se han presentado casos de enfermedades de las vías respiratorias superiores e inferiores como la bronquitis, neumonía, tos, entre otras.

### **Exposición crónica**

La exposición crónica se caracteriza por el contacto con los contaminantes a bajas concentraciones en largos periodos de tiempo. Las afecciones a la salud se presentan de manera similar a los casos de exposición aguda. Aunque se mencionan casos del incremento de la mortalidad por exposición crónica, en la mayoría de las ocasiones se trata de adultos con problemas respiratorios y cardiovasculares degenerativos. Los síntomas se detectan principalmente por la disminución de la capacidad respiratoria, aumento de casos de asma e incremento de enfermedades cardíacas.

De igual manera que la exposición aguda, existen otros factores que condicionan la severidad de las afecciones como son: estado físico, hábitos alimenticios, condiciones de fumador, etc. A nivel mundial, son seis los contaminantes criterios que se reconocen como contaminantes tóxicos para la salud humana (ozono, monóxido de carbono, partículas suspendidas totales y fracción respirable, dióxido de azufre, bióxido de nitrógeno y plomo). Los efectos de cada uno de ellos por sí solos pueden ser menos nocivos que los efectos combinados, por ejemplo, el ozono y PM<sub>10</sub>.

### **Principales contaminantes**

#### **Ozono**

El ozono es un gas secundario formado por reacciones fotoquímicas. Es altamente reactivo e impacta directamente en el sistema respiratorio y tejido pulmonar. Los efectos del ozono se relacionan con el incremento de ingresos hospitalarios para tratamientos de asma y otras enfermedades respiratorias. La exposición crónica al ozono compromete el funcionamiento del sistema inmune, acelera el proceso de envejecimiento y aumenta la susceptibilidad a otras infecciones. El ozono es un irritante que afecta la mucosa ocular y respiratoria.

Algunos estudios revelan que, en diferentes grupos de edades poblacionales, la exposición a niveles altos de ozono conduce a síntomas como irritación de ojos, catarro, dolor de garganta, tos seca, dificultad para respirar, dolor de pecho así como un decremento en la función pulmonar. Linderhoff<sup>21</sup>

### Monóxido de carbono

Las emisiones de CO son producto del uso de combustibles fósiles y se forma por la combustión incompleta de sus compuestos. La principal fuente de emisión es los medios de transporte, además de otros procesos como las quemas agrícolas, incendios forestales y urbanos, incineradores, entre otros. La acumulación del CO en zonas urbanas es más común por el tránsito de vehículos automotores y dependerá de la intensidad del tráfico.

Las concentraciones urbanas de CO interfieren con el transporte de oxígeno a la sangre. La hemoglobina (Hb) es el compuesto que transporta oxígeno a los órganos del cuerpo. Para esto, se combina con el oxígeno de los pulmones y forma la oxihemoglobina (HbO<sub>2</sub>), que lleva oxígeno a todas las células del cuerpo.

El CO que llega a los pulmones junto con el aire inhalado se combina con la Hb para formar carboxihemoglobina (HbCO), siendo esta la sustancia que evita el transporte normal de oxígeno Linderhof <sup>21</sup>

**Tabla 08 Efectos del CO en la salud humana**

<b>% de HbCO</b>	<b>Efectos</b>
Menos de 1	Ningun efecto aparente
de 1 a 2	Efectos en la conducta
de 2 a 5	Efectos en el sistema nervioso central: incapacidad para determinar intervalos de tiempo, fallas en la agudeza visual
mas de 5	Cambios funcionales cardiacos y pulmonares
de 10 a 80	Dolores de cabeza, fatiga, somnolencia, coma, falla respiratoria, muerte

**Fuente:** Elaboración para el programa de calidad del aire de la zona metropolitana de San Luis de Potosí 2012

### Partículas suspendidas

Las partículas grandes son eliminadas normalmente por incrustarse en las vías respiratorias antes de llegar a la región traqueobronquial. Por otro lado, las partículas PM10 o menores ingresan directamente al aparato respiratorio lo que dificulta su expulsión natural. Linderhoff<sup>21</sup>

### **Dióxido de azufre**

Los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) y el ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) están relacionados con el daño y la destrucción de la vegetación, deterioro de los suelos y materiales de construcción. El dióxido de azufre es un gas incoloro, no inflamable y que tiene un olor irritante. Se produce por la combustión de combustibles ricos en azufre. Los aerosoles sulfatados son agentes irritantes con tres a cuatro veces más potencia que el bióxido de azufre por sí mismo. El tiempo medio de permanencia en la atmósfera es de 3 a 5 días.

Durante el proceso de oxidación del dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en la atmósfera, forma sulfatos que son transportados a grandes distancias y en presencia de humedad forman ácidos por ser altamente higroscópico. Estos ácidos pueden formar parte de las PM<sub>2.5</sub> e ingresar al sistema respiratorio o formar parte de la llamada lluvia ácida. Se ha observado que el ácido sulfúrico, el dióxido de azufre y las sales de sulfato son irritantes de las membranas mucosas del tracto respiratorio. En algunos otros casos, se detectaron lesiones crónicas del sistema respiratorio como bronquitis y enfisema pulmonar.

Algunos de los efectos agudos sobre la salud humana incluyen la irritación y restricción del paso del aire acompañados de jadeos, sensación de falta de aire y tensión en el pecho en personas con asma.

Los efectos crónicos por exposición al dióxido de azufre incluyen el aumento de la susceptibilidad a la bronquitis y supresión del sistema inmune. Linderhoff <sup>21</sup>.

**Tabla 09** Efectos del SOx en la salud humana

Concentración (ppm)	Efectos
de 1 a 6	Broncoconstricción
de 3 a 5	Concentración mínima detectable por el olfato
de 8 a 12	Irritación de la garganta
20	Irritación de los ojos y tos
de 50 a 100	Concentración máxima para una concentración corta (30 min)
de 400 a 500	Puede ser mortal, incluso en una exposición breve

**Fuente:** Elaboración para el programa de calidad del aire de la zona metropolitana de San Luis de Potosí 2012

### Dióxido de nitrógeno

El monóxido (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), son contaminantes primarios del aire, El NO, también llamado óxido nítrico es un gas incoloro e inodoro, en tanto que el NO<sub>2</sub> es un gas rojizo de olor fuerte parecido al del cloro. Con la humedad de la atmósfera, el NO<sub>2</sub> puede formar ácido nítrico y ácido nitroso.

Ambos pueden precipitarse junto con la lluvia o combinarse con el amoníaco de la atmósfera para formar nitrato de amonio.

La acumulación en el cuerpo humano es un riesgo para las vías respiratorias ya que puede alterar la capacidad de respuesta de las células en el proceso inflamatorio.

Entre los efectos agudos se pueden mencionar los daños a las membranas de las células en el tejido pulmonar y la reducción del paso del aire. Algunos de los efectos crónicos por exposición prolongada a altas concentraciones son la necrosis y muerte celular. Linderhoff<sup>21</sup>

**Tabla 10** Efectos del NOx en la salud humana

Concentración (ppm)	Efectos
de 1 a 3	Concentración mínima detectable por el olfato
13	Irritación de nariz, garganta y ojos
25	Congestión y enfermedades pulmonares
de 100 a 1000	puede ser mortal, incluso tras una exposición breve

**Fuente:** Elaboración para el programa de calidad del aire de la zona metropolitana de San Luis de Potosí 2012

## **Plomo**

El plomo es un elemento especialmente importante debido a sus aplicaciones industriales, pero presenta un alto grado de toxicidad aguda y crónica. El plomo no sólo se descarga al medio ambiente durante su extracción, fundición y refinación, sino también durante la combustión de combustibles fósiles y procesamiento de minerales metálicos no ferrosos. Cabe agregar que el 4% del plomo encontrado en la atmósfera es emitido por procesos naturales, el resto se debe a la actividad antropogénica.

El 35% del plomo que llega a la parte baja del sistema respiratorio pasa a la sangre y el resto se elimina, pero dependerá de factores como el tamaño de partícula inhalada, ritmo respiratorio y las características intrínsecas del organismo.

Los efectos que se presentan por exposición crónica son torpeza, irritabilidad, dolor de cabeza, temblor muscular, ataxia y pérdida de la memoria. En algunos casos puede haber coma, con o sin convulsiones y generalmente sobreviene la muerte. Se han asociado también otro tipo de problemas renales, del hígado y causa daño neurológico. Linderhoff<sup>21</sup>

## **Efecto invernadero y cambio climático**

La emisión de los gases de efecto invernadero. Como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), los clorofluorocarbonos (CFC's), los hidrofluorocarbonos (HCFC's), perfluorocarbonos (PFC's), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y el hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), han sido los principales precursores y responsables del efecto invernadero y alteración de los regímenes de temperatura, con el consecuente cambio climático en el planeta, y hasta ahora en muchos lugares del Perú no se toma conciencia de lo importante que es aportar en la no emisión de estos gases.

Según el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), indican que el incremento de la temperatura durante los últimos 100 años es alrededor de un grado centígrado (0.74° C), y que en los últimos cincuenta años ese incremento se aceleró lo que coincide con el crecimiento de la economía mundial

Si el ritmo de crecimiento de las emisiones continúa como hasta hoy en día, se estima que la temperatura media del planeta se incrementaría en alrededor de 3°C hacia el año 2,100.

### **Efectos del Cambio Climático.**

La frecuencia de inundaciones y sequías se verán influidas por los cambios no homogéneos de la temperatura global, provocando grandes afectaciones como la migración de y extinción de especies, así como la disminución de ciertas actividades que dependen del clima como la agricultura. La magnitud de los impactos globales dependerá, de la tendencia de emisiones de gases de efecto

invernadero y de las acciones que se establezcan para su mitigación. Las proyecciones de los escenarios arrojan los posibles efectos siguientes:

- Aumento de las temperaturas de entre 1°C y 6°C.
- Aumento del nivel de mar entre 10 cm y 90 cm.
- Cambios en los regímenes de precipitaciones.
- Aumento de periodos de sequía en algunas regiones.
- Aumento del riesgo de incendios de bosques.
- Pérdidas potenciales de ecosistemas, en áreas de montaña, humedales y zonas costeras.
- Alteraciones en los ciclos productivos de alimentos.
- Aumento del riesgo de daños resultantes de inundaciones, deslizamiento de suelos y otros eventos climáticos.
- Aumento de la presión sobre los sistemas públicos de salud por enfermedades.

Generalmente los sectores más pobres son los más afectados por vivir en zonas más vulnerables y tener condiciones sanitarias más precarias, por lo tanto, cuentan con menos recursos para establecer medidas de adaptación a las nuevas condiciones de vida ocasionadas por el cambio climático.

PNUMA <sup>22</sup>

### 2.3. Bases Conceptuales

#### **Aire puro**

El aire puro está compuesto de oxígeno (21%) y nitrógeno (78%) y otros gases menos comunes, de los cuales el argón es el más abundante. La concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (0,03%) es menor que la del argón (0,93%). El vapor de agua también está presente, hasta 4% por volumen. Las plantas generan oxígeno como un subproducto de la fotosíntesis y la atmósfera actual de la Tierra se describe como oxidante, en comparación con la atmósfera reductora rica en hidrógeno que existía antes de que comenzara la vida. El aumento de oxígeno ha hecho que muchos organismos vivos desarrollen defensas antioxidantes. (OMS 2000).

**Aforo** Medición del número y tipo de vehículos que transitan en un punto dado de una vialidad durante un tiempo determinado.

**Ambiente** Conjunto de elementos físicos, químicos y biológicos (naturales o artificiales inducidos por el hombre), que propician la existencia, transformación y desarrollo de organismos.

**Atmósfera** Capa de aire que circunda la tierra y que se extiende alrededor de 100 kilómetros por encima de la superficie terrestre. Su composición consiste en una mezcla de 78% de Nitrógeno, 21% de Oxígeno y 1% de diversos gases (Argón, Neón, Bióxido de Carbono y vapor de agua principalmente).

**Bióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>)** Contaminante generado cuando el nitrógeno contenido en los combustibles y en el aire es oxidado en un proceso de combustión.

**Combustibles fósiles** Compuestos orgánicos de los restos de plantas y animales que vivieron en la Tierra en épocas anteriores a la aparición del hombre (carbón mineral, petróleo y gas).



**Combustibles** Sustancias capaces de sufrir una oxidación violenta acompañada de desprendimiento de calor y algunas veces de flama.

**Combustión** Proceso de oxidación rápida de combustibles acompañados de liberación de energía en forma de calor y luz.

**Contaminación** Presencia de materia o energía cuya naturaleza, ubicación o cantidad produce efectos ambientales indeseables, afectando la integridad física, biológica, química o radiológica de los ecosistemas.

**Contaminante** Sustancia que, al incorporarse a la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier otra parte del ambiente, altera o modifica su composición, afecta la salud o impide su utilización como recurso.

**Contaminación atmosférica** Es la presencia en la atmósfera de materias, sustancias o formas de energía que impliquen molestia grave, riesgo o daño para la seguridad y la salud de las personas, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza. Estas materias y fuentes de energía que pueden hacer peligrar nuestra salud, bienestar o recursos se llaman contaminantes. OMS<sup>1</sup>

**Ecosistema** Unidad estructural funcional y de organización básica de interacción de los organismos entre sí y con el ambiente, en un espacio determinado.

**Energía** Capacidad de un sistema para desarrollar trabajo.

**Erosión** Destrucción y eliminación de ciertas características físicas, químicas o biológicas de los suelos, por efecto climático o por la actividad del hombre.

**Emisiones e inmisiones** Emisión es la cantidad de contaminante vertido a la atmósfera en un período determinado desde un foco, mientras que la

inmisión es la concentración de contaminantes a nivel del suelo. Hoy se emplea más el término «calidad de aire ambiente».

Los niveles de inmisión o de calidad del aire determinan el efecto de un contaminante sobre la salud o el medio ambiente. Además, la cantidad de contaminantes en la atmósfera vendrá determinada por la diferencia entre los emitidos y producidos en la misma y los que se eliminan a través de los procesos de autodepuración por deposición, precipitación y absorción por el suelo, el agua y la vegetación. Por lo tanto, para minimizar la contaminación atmosférica es necesario controlar tanto las emisiones atmosféricas (niveles de emisión) como la presencia de los contaminantes en el aire en distintos puntos receptores (niveles de inmisión). OMS<sup>1</sup>

### **Fuentes de contaminantes del aire**

Las fuentes de contaminantes del aire se pueden dividir en antropogénicas y naturales. No obstante, esta distinción puede tornarse borrosa debido a que la actividad humana causa estragos en los sistemas naturales. Las fuentes naturales incluyen las tormentas de polvo, la acción volcánica, los incendios forestales y la formación de partículas radiactivas de gases como el radón. Las incursiones provenientes de la estratósfera aumentan las concentraciones del nivel inferior (troposférico) de O<sub>3</sub>. En el caso de algunos contaminantes, como el SO<sub>2</sub>, las fuentes naturales exceden las fuentes antropogénicas en una escala global. Sin embargo, al considerar los efectos de los contaminantes del aire en la salud, principalmente en las zonas urbanas con alta densidad demográfica, las fuentes antropogénicas son muy importantes y generalmente son las que se observan para el control.

Las fuentes que emiten contaminantes a la atmósfera no son las mismas en todos los sitios y la contaminación que soporta la atmósfera varía mucho en función de las características de cada zona.

**Fuente** Sitio, sistema o vehículo desde el cual se emiten contaminantes.

**Fuente Móvil** Máquina, aparato o dispositivo emisor de contaminantes que no tiene un lugar fijo (automóviles, barcos, aviones, etc).

**Hidrocarburos** Compuestos orgánicos constituidos principalmente por Carbono e Hidrógeno en cantidades variables. Forman parte de los combustibles y lubricantes más usuales.

**Inventario de emisiones** Un listado, por fuente, de la cantidad de contaminantes descargados al aire en una comunidad; se utiliza para establecer normas o niveles de emisión.

**Inversión Térmica** La inversión térmica es un proceso natural que afecta a la circulación del aire en las capas bajas de la atmósfera. Aunque por sí sola no representa un riesgo para la salud, aumenta los efectos de la contaminación atmosférica.

El aire se mueve constantemente y las capas que lo forman suelen ordenarse por su temperatura, con las más frías circulando en la parte alta de la atmósfera y las más calientes, abajo

Cuando ese ciclo de movimiento se interrumpe, se forma una capa de aire frío que queda inmóvil sobre el suelo e impide la circulación atmosférica. Este fenómeno –llamado inversión térmica– se produce con más frecuencia en las noches despejadas de invierno, cuando el suelo ha perdido calor por radiación y las capas de aire cercanas a él se enfrían más rápido que las capas superiores.

Cuando el aire se mueve con normalidad hace circular grandes cantidades de polvo, humo y partículas suspendidas, eliminando la contaminación y limpiando la atmósfera de manera natural. Por eso, cuando la inversión térmica inmoviliza las capas inferiores cercanas al suelo sobre una ciudad, quedan atrapados los contaminantes suspendidos y la población se expone a respirar un aire más contaminado de lo normal. OMS<sup>1</sup>

**Monóxido de Carbono** Gas tóxico, incoloro e inodoro, producido por la oxidación incompleta de combustibles de origen fósil.

**Óxidos** Compuestos formados por Oxígeno y otro elemento exclusivamente. (ej. Monóxido de Carbono, Bióxido de Azufre etc.).

**Parque Vehicular** Cantidad de vehículos automotores que circulan en un asentamiento humano.

**Partículas** Contaminante suspendido en el aire generado por los procesos de combustión, calentamiento, transporte, producción y manipulación de materiales pulverizados o líquidos, formado de cenizas, hollín, humos, polvos, nieblas y aerosoles.

#### 2.4. Bases epistemológicas

La ecología profunda –desarrollada por Bill Devall y George Sessions, continuadores de Næss–, por el contrario, y desde la perspectiva de un igualitarismo biosférico Devall, Sessions<sup>23</sup>, Citado por Raúl Villarroel<sup>24</sup> se centra –cuando sus implicancias han sido ampliamente exploradas e internalizadas– en un nuevo modo de experimentar la naturaleza; literalmente, en una nueva visión de mundo, que rescata las preguntas básicas acerca de la naturaleza de lo natural, de lo que significa ser un ser humano y de cómo un ser humano debe vivir en su medio natural. En su opinión, sería la profunda cercanía que tendríamos que mantener con otras formas de vida en la naturaleza lo que contribuiría significativamente a nuestra propia calidad de vida. La ecología profunda buscaría así respetar un supuesto valor intrínseco de la naturaleza, independientemente de todo provecho o propósito humano, defendiendo la idea de que todos los seres vivos tienen absolutamente el mismo derecho de vivir y prosperar. Así, las relaciones entre los organismos y sus ambientes son experimentadas, de acuerdo con la formulación clásica de Næss, como “nudos en la red biosférica”, o dicho más filosóficamente, como un campo de relaciones identitarias, intrínsecas e indisolubles. Por ello es que cuidar de uno mismo sería, a la vez, respetar y cuidar el medioambiente natural con el que uno se identifica. La “autorrealización” (Self-realization) postulada por el filósofo noruego, entonces, no sería otra cosa que un re-anexión del individuo humano al medio natural y significaría la alternativa de solución para la crisis

medioambiental desatada por el egoísmo del hombre moderno y su explotación desenfadada de la naturaleza.

El filósofo estadounidense Bryan Norton señala que las políticas medioambientales basadas en un amplio y extenso antropocentrismo – donde los valores humanos de la generación presente y los de las generaciones futuras estén igualmente considerados, debieran ser indistinguibles de las políticas basadas en esa controversial y problemática noción de “valor intrínseco” que algunos han pretendido atribuir a la naturaleza. Esto es lo que él denomina “hipótesis de la convergencia” y urge a los filósofos ambientalistas para que adhieran a un antropocentrismo conservador, aunque “débil” y basen las políticas ambientales en el espectro total del material humano, científico, estético, y en los valores espirituales, tanto de las generaciones actuales como de las próximas Norton<sup>24</sup>. Planteamientos como los de Norton implican, de este modo, que todos nuestros deberes hacia el medioambiente natural, en realidad se derivan de los deberes que debemos reconocer hacia sus habitantes humanos. En este sentido, una perspectiva antropocéntrica refinada sería más que suficiente para objetivos prácticos, e incluso mucho más eficaz que cualquier teoría no antropocéntrica en cuanto al logro de resultados pragmáticos; sobre todo en términos de la formulación de políticas, dada la pesada carga de la prueba que recae sobre estas últimas cuando tienen que fundamentar su opinión de que el ambiente no humano también tiene valor intrínseco Norton<sup>24</sup>. Esta dificultad conduciría, incluso, a declarar una suerte de antropocentrismo cínico (*cynical anthropocentrism*), en cuanto se admite que, efectivamente, sí existen poderosas razones para disponerse de manera favorable al medioambiente no humano, pero solo porque ellas estarían directamente relacionadas con las implicancias favorables que finalmente éste tiene para el bienestar del hombre.



CAPÍTULO III  
MARCO METODOLÓGICO

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. **Ámbito**

El ámbito de estudio estuvo conformado por el área urbana de la ciudad de Huánuco específicamente en los distritos de Huánuco, Amarilis, y Pillcomarca, teniendo como fundamento la realización de una investigación cuantitativa.

#### 3.2. **Población**

La población la representó todas las fuentes de emisiones de gases contaminantes. Considerando fuentes de área, fuentes puntuales, así como fuentes móviles formales presentes en la ciudad de Huánuco.

#### 3.3. **Muestra**

La toma de muestra utilizada fue, no probabilística e intencionada a conveniencia, y se tomaron todas las unidades que representan las fuentes de la población, según datos del Instituto nacional de estadística e informática del Perú, dirección de producción de Huánuco, y superintendencia nacional de los registros públicos de Huánuco.

#### 3.4. **Nivel y tipo de estudio**

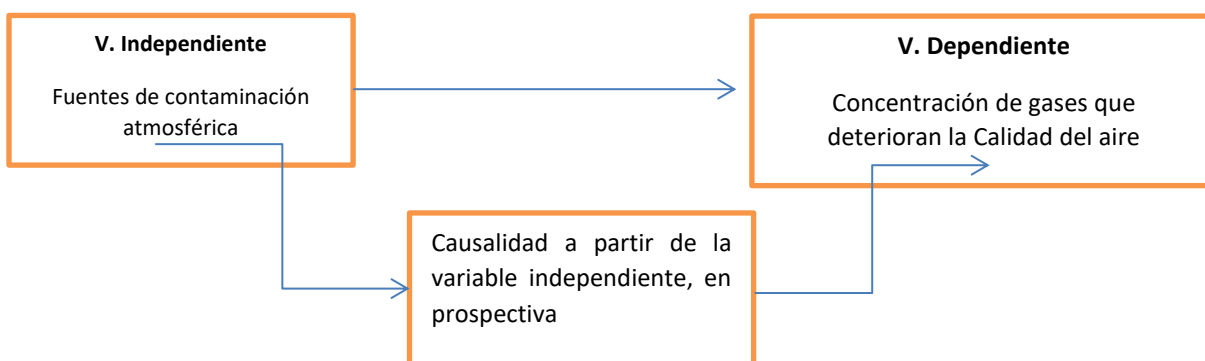
El tipo de investigación desarrollada fue aplicada, con un nivel de investigación descriptivo causal prospectiva, ya que se describieron los resultados en las condiciones de la calidad del aire de la ciudad en un escenario propuesto tal como se da en su contexto natural para posteriormente analizarlos.

Causal prospectiva porque permitió la exploración de posibilidades futuras basadas en indicios presentes, mediante el conjunto de análisis y estudios realizados con el fin de explorar o predecir el futuro de la calidad del aire de la ciudad.

Transversal porque el estudio midió a la vez la prevalencia de la exposición y el efecto en una muestra, en un solo momento temporal; es decir, permitió estimar la magnitud y distribución de las emisiones en un momento dado.

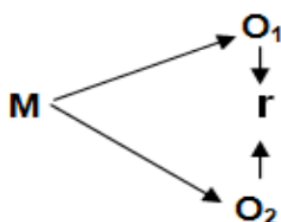
### 3.5. Diseño de investigación

Se tuvo una relación de causalidad, ya que se recolectaron datos y se describió la relación de causalidad a la vez que se reconstruyó las relaciones sobre la base de variabilidad amplia de las variables independientes y dependientes. Además de que no se partió de una variable en especial ni de grupos, sino que se evaluó la estructura causal completa (las relaciones en su conjunto) ya que todos los estudios transeccionales causales nos brindan la oportunidad de predecir el comportamiento de un fenómeno de una o más variables, una vez que se establece la causalidad.



De lo cual se desprende una investigación descriptiva correlacional según la siguiente simbología:

Correlacional



Donde:

M: Muestra

O1: Observación de la variable crecimiento o proyección de actividades antropogénicas.

O2: Observación de generación de gases contaminantes.

r: Correlación entre las mencionadas variables.



### **3.6. Técnicas e Instrumentos**

La metodología aplicada en el estudio fue a través de un inventario de emisiones de fuentes fijas, fuentes de área y emisores móviles los cuales fueron recopilados y compilados en una hoja de datos creada en Excel. Los datos fueron separados de acuerdo con su actividad comercial o industrial.

En cada hoja se compilaron los datos de la fuente y su ubicación correspondiente según las condiciones de inventario; este último con el fin de facilitar la ubicación de las fuentes en la ciudad.

### **3.7. Validación y confiabilidad del instrumento**

Inicialmente se realizó un análisis de contenido con la revisión de los archivos de la dirección de producción, SUNARP e INEI, además de recojo de información en campo con formatos elaborados en función a cada actividad.

#### **3.7.1. Base de datos**

Se realizó una lista actualizada de las fuentes de área, puntuales y móviles, mediante información obtenida de la dirección de producción, revisión bibliográfica y visitas de campo.

#### **3.7.2. Recopilación de Información**

La información se obtuvo mediante revisión bibliográfica y visitas de campo con lo cual se pudo obtener datos reales con la utilización de formatos preestablecidos en el manual de inventarios de la AP-42 EPA<sup>19</sup>.

#### **3.7.3. Estimación de emisiones**

Para la estimación de las emisiones se emplearon factores de emisión, los mismos fueron extraídos principalmente del compendio AP-42 y fueron considerados en el presente estudio de acuerdo con el tipo de actividad considerada.

### 3.8. Procedimiento

Se calcularon las concentraciones de los contaminantes a partir de ecuación 1 y se emplearon los factores de emisión publicados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) en la serie *Air Pollution* (AP-42), considerando la ecuación básica de estimación de emisiones siguiente.

$$E = A \times Fe \left[ 1 - \frac{\epsilon}{100} \right] \dots \dots \dots Ec. 1$$

Donde

E: Emisiones

A: Tasa de actividad (consumo de combustible o energía, generación de energía, producción)

Fe: Factor de emisión no controlada, es decir, sin tratamiento

ε: Eficiencia de reducción de emisiones, cuando se utiliza tecnología de reducción (%).

Como no existe tecnología de reducción de emisiones, entonces ε = 0

El Dato de actividad fue según el tipo de fuente de emisiones que se esté evaluando. Por ejemplo, para las fuentes industriales el dato de actividad puede referirse al nivel de producción anual, o el Producto Interno Bruto; para las fuentes móviles puede ser la cantidad de kilómetros recorridos por un vehículo (VKT). En muchos casos se deben aplicar factores de conversión para transformar los valores de consumo o de producción reportados en unidades que correspondan a las unidades del factor de emisión.

El Factor de Emisión se refiere a la relación existente entre la cantidad emitida de un contaminante y una unidad de actividad. Los factores de emisión por lo general se dividen en dos categorías: aquellos que están basados en procesos y los que se basan en datos censales. Los primeros son usados para la estimación de las emisiones de fuentes industriales. Los factores de emisión basados en datos censales se utilizan para la estimación de emisiones de las fuentes de área.

### 3.8.1. Proyecciones de Emisiones

Se desarrollaron las proyecciones de emisiones del inventario para Huánuco con año base el 2015 al 2025, siguiendo la siguiente secuencia.

#### 3.8.1.1. Escenarios.

Éstos se analizaron de acuerdo con las distintas variables de actividad que intervienen en la etapa de planeación considerándose el escenario Tendencial como mejor opción para el estudio.

##### **Escenario Tendencial (Línea Base)**

Refleja la situación a futuro de las emisiones de contaminantes en caso de que las actividades mantengan la misma tendencia observada en el pasado sin la aplicación de medidas que restrinjan las emisiones.

##### **Escenario Base (Escenario considerando los Factores)**

Este escenario refleja la situación a futuro más probable de una actividad determinada, en donde se asume el cumplimiento de la legislación, medidas y planes de un sector determinado.

- **Datos socioeconómicos** Variables sociales y económicas que influyen directamente en el grado de actividad de un sector determinado.
- **Tecnología** Se refiere a las opciones tecnológicas disponibles y aplicables a cada sector para la reducción de emisiones.
- **Estadísticas** Se utilizaron para conocer el comportamiento a futuro de datos históricos bajo el supuesto de que seguirán el mismo comportamiento a lo largo del periodo deseado.
- **Prospectivas** Se utilizaron para realizar las estimaciones de producción o consumo de bienes a futuro.

### **3.8.2. Consideraciones para la línea base**

#### **Consideraciones para las fuentes móviles**

Para las proyecciones de la línea base se consideró lo siguiente:

- Composición de la flota vehicular de acuerdo con la base de datos de vehículos de motor registrados en circulación.
- Tasa de crecimiento de la flota vehicular de acuerdo con la base de datos de vehículos de motor registrados en circulación
- Formulación de combustibles diésel/gasolina

### **3.8.3. Consideraciones para las fuentes de área**

Para las proyecciones de la línea base se consideró lo siguiente:

- Tendencia de crecimiento en la demanda de combustible de acuerdo con la prospectiva del mercado de gas licuado de petróleo gas natural, gasolina, y petróleo.
- Tendencia de crecimiento poblacional de acuerdo con el INEI
- Tendencia de crecimiento industrial y comercial de acuerdo con datos de censos y prospectiva lineal.

## **3.9. Plan de tabulación y análisis de datos**

El procesamiento de datos se realizó con hojas de cálculo del software Excel, Ms Word y SPSS, de los cuales los resultados se presentan en tablas y gráficos.



CAPÍTULO IV  
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

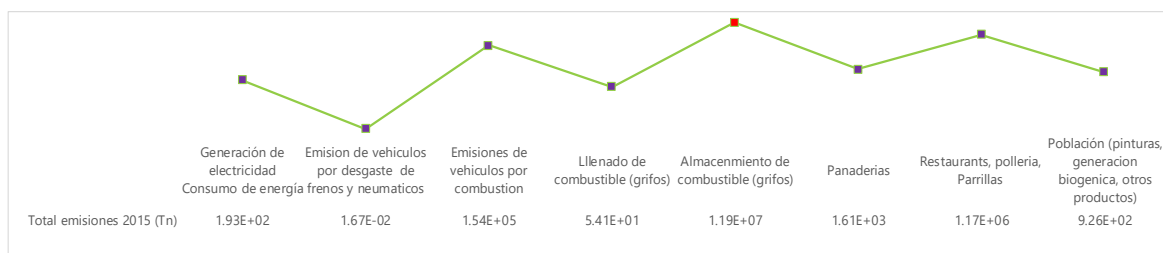
# CAPÍTULO IV

## RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1. Análisis descriptivo

Para conocer la cantidad de emisiones de gases contaminantes de fuentes fijas, móviles y área, con año base en el 2015, en los distritos de Pillco marca, Amarilis y Huánuco, se desarrolló un análisis de cada fuente en global respecto del resultado del inventario de fuentes de emisión estos resultados arrojaron los siguientes datos.

**Tabla N° 11** Inventario de emisiones totales por fuente de emisión y por categoría de gases 2015 Huánuco (Huánuco, Amarilis, Pillco marca)

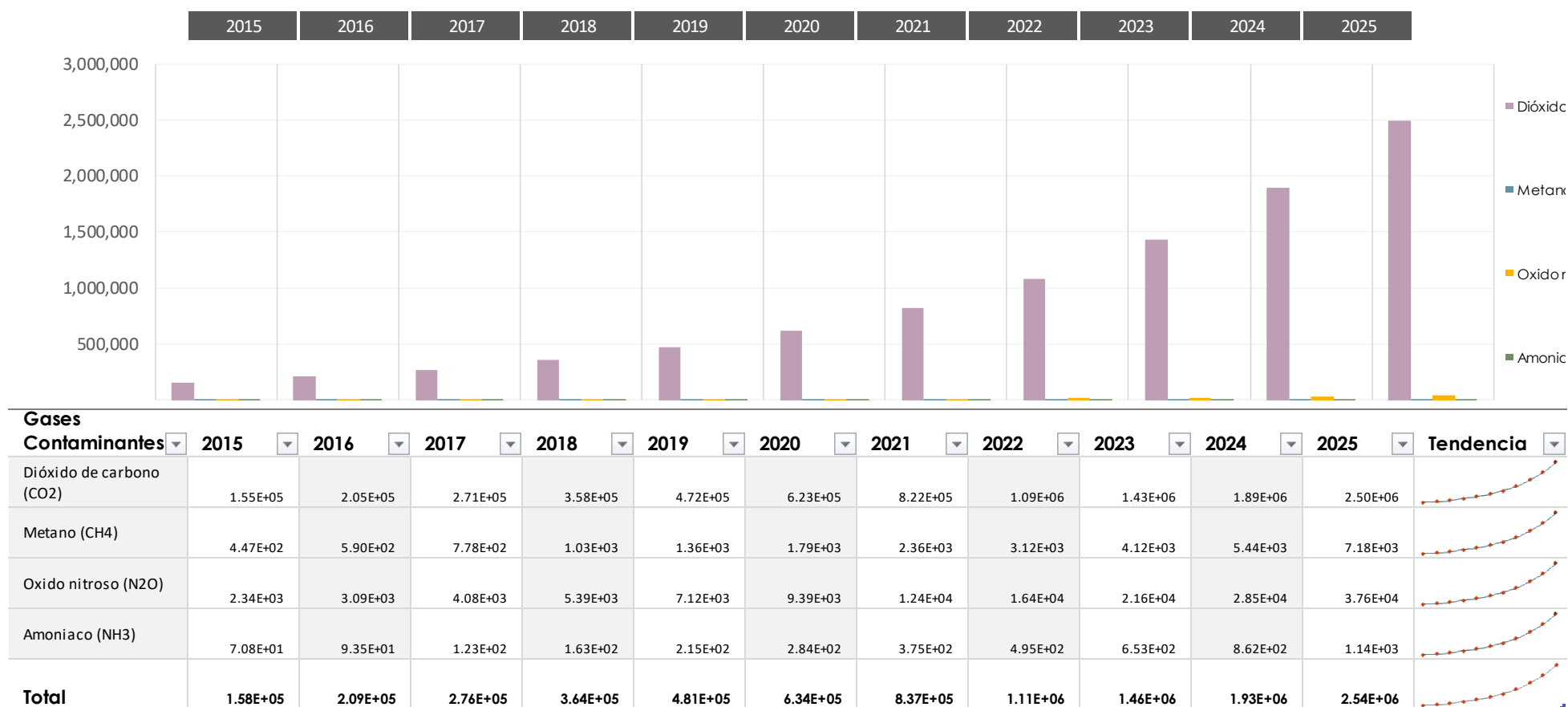


Contaminantes	Fuentes de emisión							TOTAL Tn 2015	
	Generación de electricidad Consumo de energía	Emisión de vehículos por desgaste de frenos y neumáticos	Emisiones de vehículos por combustión	Llenado de combustible (grifos)	Almacenamiento de combustible (grifos)	Panaderías	Restaurants, pollería, Parrillas		Población (pinturas, generación biogenica, otros productos)
<b>Gases Efecto Invernadero</b>									
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	1.90E+02		1.51E+05			1.57E+03	2.62E+03		1.55E+05
Metano (CH <sub>4</sub> )			4.47E+02						4.47E+02
Oxido nitroso (N <sub>2</sub> O)			2.34E+03						2.34E+03
Amoniaco (NH <sub>3</sub> )								7.08E+01	7.08E+01
<b>Calidad del Aire</b>									
Óxidos de azufre (SO <sub>x</sub> )	2.75E+00					5.61E-01			3.31E+00
Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ) (NO y NO <sub>2</sub> )	4.29E-01					5.96E-02			4.89E-01
Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)				5.41E+01	1.19E+07	1.92E+01		8.55E+02	1.51E+02
Monóxido de carbono (CO)						2.42E+01			2.42E+01
Partículas Suspendedas Totales (PST)	1.00E-02	1.12E-02							2.13E-02
Material Particulado Menor a 10 Micras (PM <sub>10</sub> )		8.54E-04				6.53E-01	1.17E+06		1.13E+02
Material Particulado Menor a 2,5 Micras (PM <sub>2.5</sub> )		4.58E-03				6.53E-01	1.17E+02		1.17E+02
	1.93E+02	1.67E-02	1.54E+05	5.41E+01	1.19E+07	1.61E+03	1.17E+06	9.26E+02	1.32E+07

Fuente: datos del estudio

De acuerdo con los resultados obtenidos, los compuestos orgánicos volátiles (COVs) constituyen el contaminante más emitido respecto de otros gases que deterioran la calidad del aire, siendo el almacenamiento de combustibles el que genera mayor emisión de este tipo. En segundo lugar, se encuentra el material particulado a 10 micrómetros  $PM_{10}$ , ocupa este lugar debido a la cantidad de fuentes móviles terrestres existentes y limitadas o deficiente infraestructura vial en la ciudad, seguidamente tenemos al material particulado menor a 2.5 micras ( $PM_{2.5}$ ), cuyo mayor aporte se genera a partir del desgaste de frenos y neumáticos de los vehículos, en cuarto lugar tenemos al monóxido de carbono (CO) cuyo mayor aportante a la contaminación por este gas es la industria de panificación, seguida por los óxidos de azufre (SOx). Después de la generación de óxidos de azufre se tiene a la generación de partículas suspendidas totales (PST)

**Tabla 12 Emisiones de gases de efecto invernadero en la ciudad de Huánuco proyectadas al 2025. (Tn)**

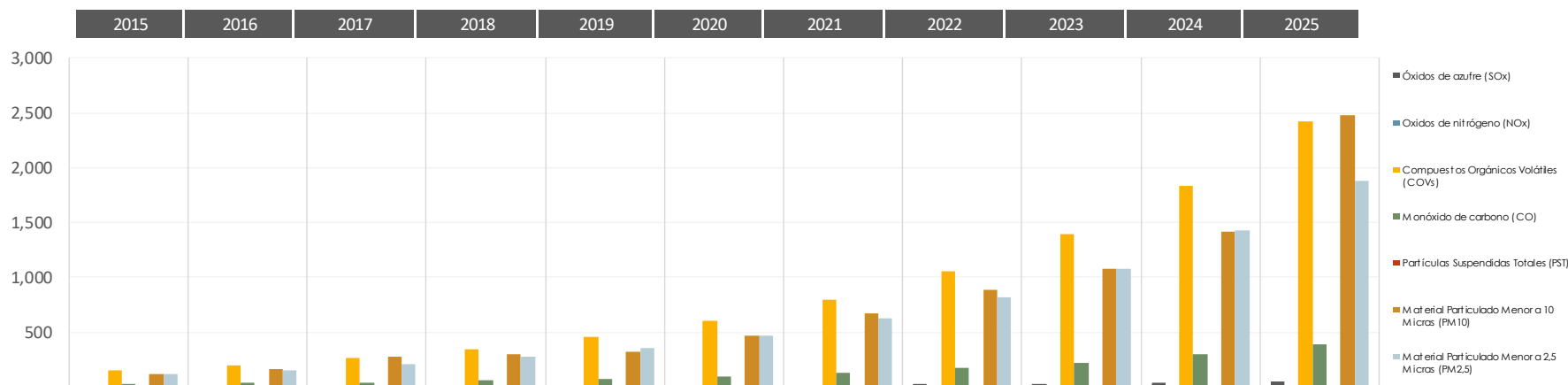


Fuente: Datos del estudio



La Tabla 12 presenta en resumen los resultados de las emisiones de gases que aportan al efecto invernadero en Huánuco, calculadas para el 2015, año base del estudio, así mismo muestra la proyección de las emisiones al 2025. Por su parte el grafico muestra claramente la ascendencia de las emisiones según crecimiento de las actividades antropogénicas, haciendo notar de una manera remarcada la prevalencia del CO<sub>2</sub> como gas precursor, de mayor emisión y mayor incremento con el paso del tiempo. Seguido en emisiones y tendencia de crecimiento por los óxidos nitrosos NxO, metano CH<sub>4</sub>, y Amoniaco NH<sub>3</sub>, respectivamente

**Tabla 13 Emisiones de gases que afectan la calidad del aire en la ciudad de Huánuco proyectadas al 2025. (Tn)**



Gases Contaminantes	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Total	Tendencia
Óxidos de azufre (SOx)	3.31E+00	4.37E+00	5.76E+00	7.61E+00	1.00E+01	1.33E+01	1.75E+01	2.31E+01	3.05E+01	4.02E+01	5.31E+01	2.09E+02	
Oxidos de nitrógeno (NOx)	4.89E-01	6.45E-01	8.52E-01	1.12E+00	1.48E+00	1.96E+00	2.59E+00	3.41E+00	4.51E+00	5.95E+00	7.85E+00	3.09E+01	
Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)	1.51E+02	2.00E+02	2.63E+02	3.48E+02	4.59E+02	6.06E+02	8.00E+02	1.06E+03	1.39E+03	1.84E+03	2.43E+03	9.54E+03	
Monóxido de carbono (CO)	2.42E+01	3.20E+01	4.22E+01	5.57E+01	7.35E+01	9.71E+01	1.28E+02	1.69E+02	2.23E+02	2.95E+02	3.89E+02	1.53E+03	
Partículas Suspensas Totales (PST)	2.13E-02	2.81E-02	3.71E-02	4.90E-02	6.46E-02	8.53E-02	1.13E-01	1.49E-01	1.96E-01	2.59E-01	3.42E-01	1.34E+00	
Material Particulado Menor a 10 Micras (PM10)	1.13E+02	1.57E+02	2.74E+02	2.92E+02	3.25E+02	4.65E+02	6.70E+02	8.81E+02	1.08E+03	1.42E+03	2.48E+03	8.15E+03	
Material Particulado Menor a 2,5 Micras (PM2,5)	1.17E+02	1.55E+02	2.05E+02	2.70E+02	3.56E+02	4.71E+02	6.21E+02	8.20E+02	1.08E+03	1.43E+03	1.89E+03	7.41E+03	
<b>Total</b>	<b>4.09E+02</b>	<b>5.48E+02</b>	<b>7.91E+02</b>	<b>9.74E+02</b>	<b>1.23E+03</b>	<b>1.65E+03</b>	<b>2.24E+03</b>	<b>2.95E+03</b>	<b>3.81E+03</b>	<b>5.03E+03</b>	<b>7.24E+03</b>	<b>2.69E+04</b>	

Fuente: Datos del estudio

La Tabla 13 presenta en resumen los resultados de las emisiones de gases que degradan la calidad del aire, calculadas para el 2015, año base del estudio, así mismo muestra la proyección de las emisiones al 2025. Por su parte el grafico muestra claramente la ascendencia de las emisiones según crecimiento de las actividades antropogénicas.

Como se puede observar en la tabla anterior los compuestos orgánicos volátiles COVs, son los gases contaminantes que más se emiten para el año base, seguido de los materiales particulados menores a 10 micrómetros  $PM_{10}$  y por los materiales particulados menores a 2.5 micrómetros  $PM_{2.5}$ .

El monóxido de carbono es otro gas que está presente por efecto de las emisiones de las actividades antropogénicas emitidos en menor proporción que los anteriores. Aun en menor proporción se emiten los óxidos de azufre, los óxidos de nitrógeno, y las partículas suspendidas totales que se emiten en menor proporción respecto de otros gases afectantes de la calidad del aire en la ciudad de Huánuco.

Los resultados también muestran que la tendencia al crecimiento es progresiva respecto del crecimiento industrial y comercial que experimenta la ciudad, mostrando un incremento gradual en las emisiones año a año.

Por otro lado, los resultados también revelan que, en el año 2025, las mayores emisiones están representadas por las partículas menores a 2.5 micrómetros  $PM_{2.5}$ , superando las emisiones de los compuestos orgánicos volátiles COVs que predominaban en emisiones en el 2015.

El Grafico también muestra que los datos observados proporcionan una evidencia definitiva que la calidad del aire se verá afectada en el 2025. Y que los compuestos orgánicos volátiles, el material particulado menor a 10 micrómetros y el material particulado menor a 2.5 micrómetros son los de mayor prevalencia.

#### 4.1.1. Dispersión de contaminantes

##### 4.1.1.1 Características meteorológicas del área de estudio

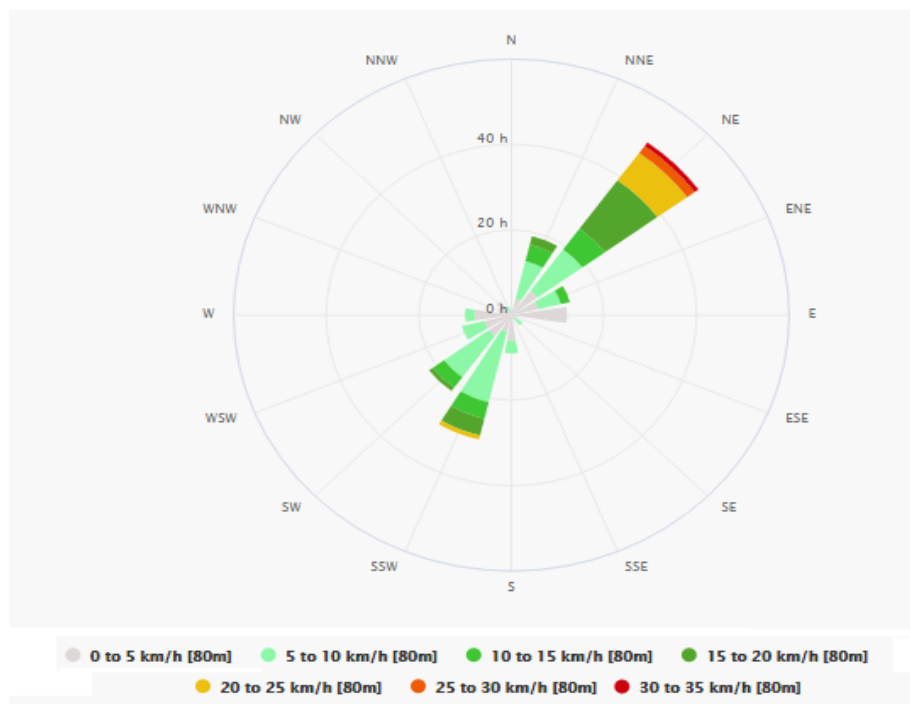
El gráfico número 2 de la rosa de los vientos promedio, muestra que la dirección predominante de los vientos es hacia el nor este con una intensidad de velocidad máxima de 20 a 25 km/h y con un mínimo de 0 a 5 km/h a 10 metros de altura



**Gráfico 02: Rosa de los vientos promedio en la ciudad de Huánuco a una altura de 10 metros.**

**Fuente:** Meteoblue

El gráfico número 3, muestra la rosa de los vientos promedio en la ciudad de Huánuco, cuya dirección predominante es hacia el nor este con una intensidad de velocidad máxima de 30 a 35 km/h y con un mínimo de 0 a 5 km/h a 80 metros de altura.



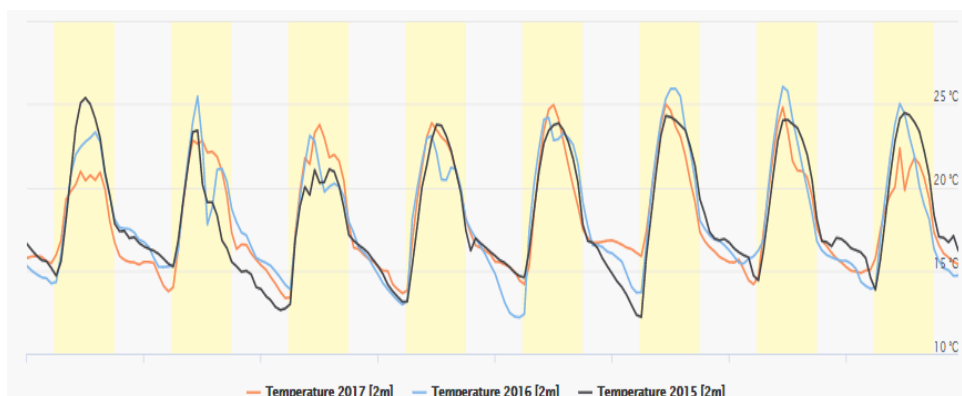
**Gráfico 03** Rosa de los vientos promedio en la ciudad de Huánuco a una altura de 80 metros.

**Fuente:** Meteoblue

#### 4.1.1.2 Variación de la temperatura

Como se puede observar en el gráfico número 4, la temperatura promedio a lo largo de los años ha sido variable llegando hasta los 25°C como máximo y como mínimo 14 °C.

También se puede apreciar que las temperaturas promedio están experimentando un descenso paulatino al pasar de los años. Se muestra por ejemplo que el mínimo promedio para el 2015 fue de 14.9 °C, 15.7 °C para el 2016, 14.3 °C, para el 2017 y 14.4 °C en lo que va del 2018 a una altura de 2 metros. Este fenómeno podría considerarse perjudicial para la calidad del aire de la ciudad ya que se dan en gran parte en horas de la mañana donde el viento alcanza un máximo de 5 k/h hasta una altura de 10 metros, limitando la dispersión de los contaminantes.

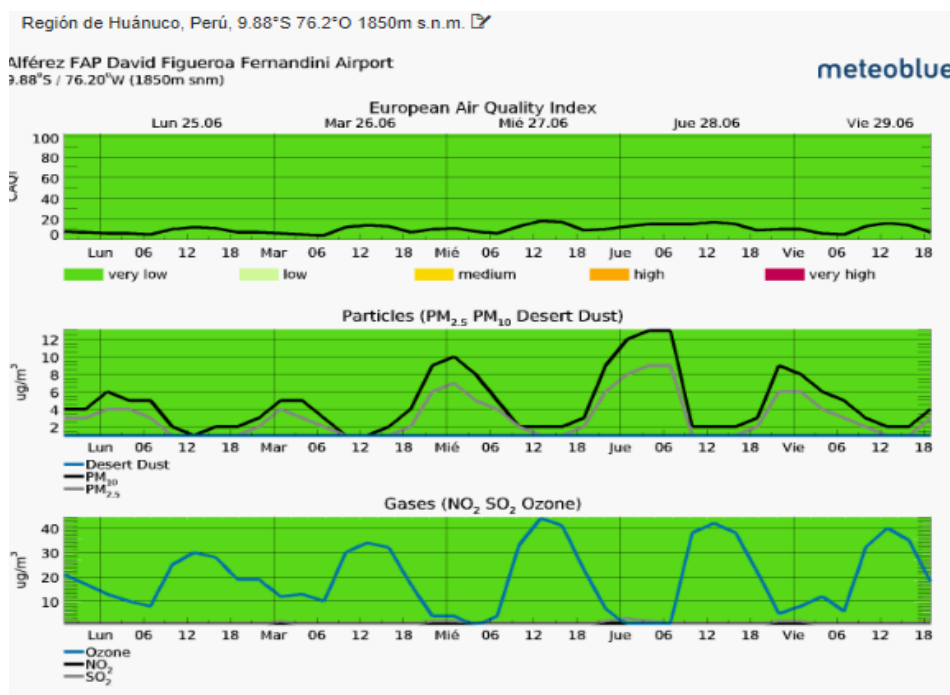


**Gráfico 4** Variación anual promedio de temperatura en la ciudad de Huánuco

Fuente: Meteoblue

#### 4.1.1.3 Estado Actual de la calidad del Aire

La contaminación atmosférica de Huánuco no supera las normas primarias de calidad del aire establecida por la OMS para los diferentes contaminantes



**Gráfico 05** Comportamiento de los principales contaminantes en cuanto a su concentración en la atmosfera de la ciudad

Fuente: Datos del estudio

La figura N° 4 muestra el comportamiento de los principales contaminantes en cuanto a su concentración en la atmosfera de la

ciudad, como se puede apreciar estos no superan los límites establecidos por la OMS, más por el contrario están por muy debajo considerando así a la ciudad con un nivel de contaminación bajo y con una calidad de aire buena

#### 4.2. Análisis Inferencial y contrastación de Hipótesis

A continuación, se presentan los resultados de los análisis estadísticos realizados mediante el programa estadístico SPSS.

##### 4.2.1. Análisis respecto de gases de efecto invernadero GEI

##### 4.1.1.4 Análisis de normalidad

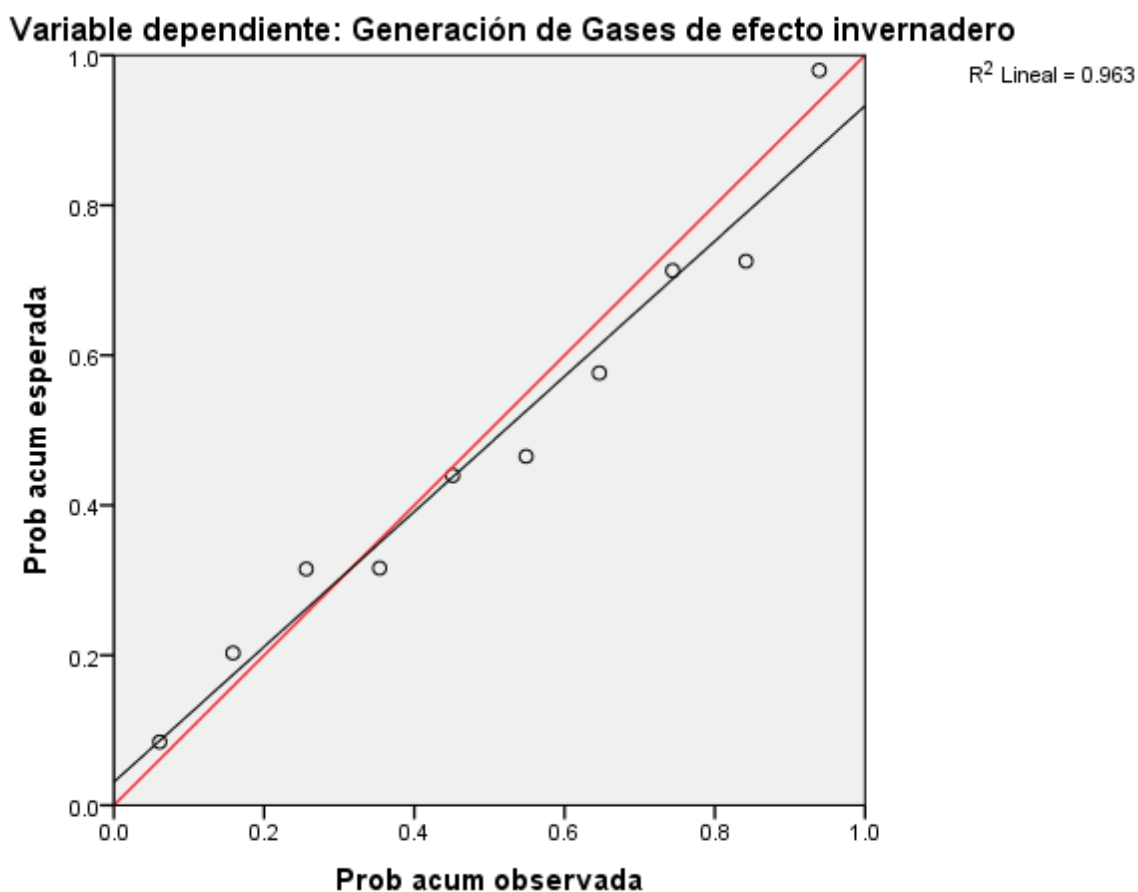


Gráfico 06 Analisis de normalidad para gases de efecto invernadero

##### 4.1.1.5 Análisis de correlación

En este análisis se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para analizar la relación entre el comportamiento tendencial de las actividades antropogénicas y las emisiones generadas que afectan la atmosfera en la ciudad de Huánuco.

**Cuadro 03 Análisis de correlaciones entre actividades antropogénicas y emisión de gases de efecto invernadero.**

Variables	Correlación de Pearson	Sig. Bilateral	Covarianza
Actividades antropogénicas			5.785
Generación de Gases de efecto invernadero	0.871	0.001	1642269.01

**Fuente:** Datos de la investigación

El cuadro muestra la relación entre las variables de estudio, interpretados de manera que altos valores de actividades antropogénicas están asociados con altos valores en la generación de gases de efecto invernadero GEI.

Los resultados del análisis correlacional entre las variables en estudio muestran una clara correlación positiva considerable = 0.878.

#### 4.1.1.6 Análisis de regresión lineal



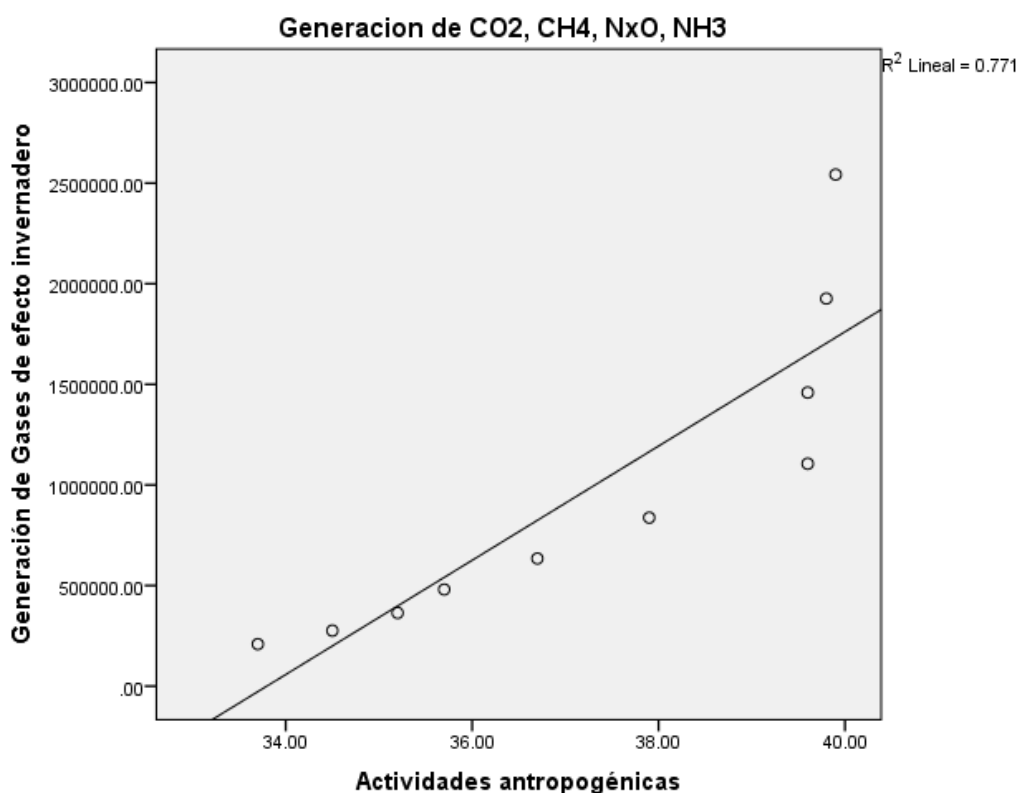
**Cuadro 04 Análisis de regresión entre actividades antropogénicas y emisión de gases de efecto invernadero.**

**Resumen del modelo<sup>b</sup>**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregido	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl 1	gl 2	Sig. Cambio en F
1	.878 <sup>a</sup>	.771	.743	394307.7592	.771	26.988	1	8	.001

Fuente: Datos de la investigación

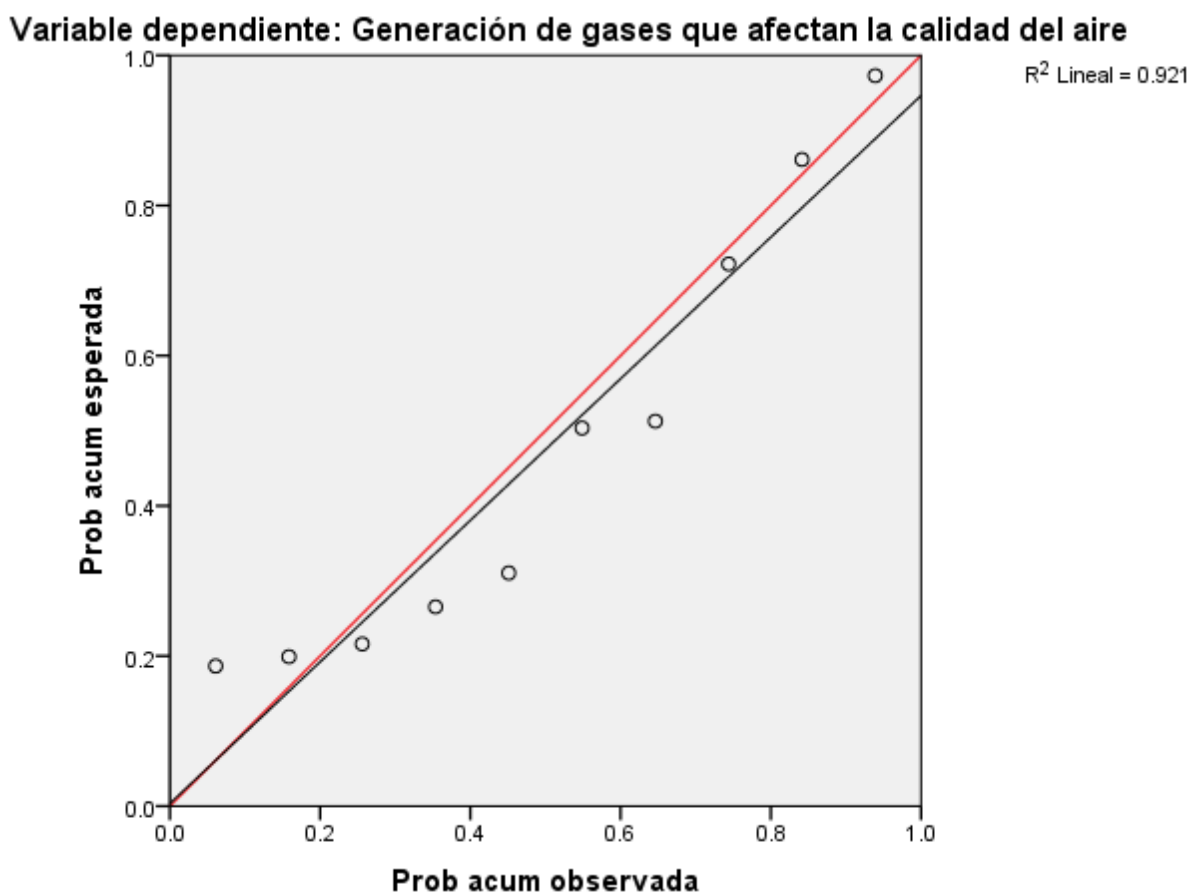
Los resultados del cuadro 4 muestran una regresión lineal entre variables cuya  $R^2 = 0.771$ , lo que supone una influencia directa de la variable independiente sobre la dependiente en 77.1 %



**Gráfico 07 Regresión Lineal entre las variables actividades antropogénicas y generación de gases de efecto invernadero.**

Fuente: Datos de la investigación

#### 4.2.2. Análisis respecto de la generación de gases que afectan la calidad del aire



**Gráfico 07 Grafico P-P normal de regresión tipificado para Gases que deterioran calidad del aire**

Fuente: Datos de la investigación

En este análisis se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para analizar la relación entre el comportamiento tendencial de las actividades antropogénicas y las emisiones generadas que afectan la atmosfera en la ciudad de Huánuco.

**Cuadro 05 Análisis de correlaciones entre actividades antropogénicas y emisión de gases que afectan la calidad del aire**

Variables	Correlación de Pearson	Sig. Bilateral	Covarianza
Actividades antropogénicas			13596425.4
Generación de Gases que afectan la calidad del aire	0.937	0	4675563.97

Fuente: Datos de la investigación

El cuadro muestra la relación entre las variables de estudio, interpretados de manera que altos valores de actividades antropogénicas están asociados con altos valores en la generación de gases que afectan la calidad del aire en la ciudad de Huánuco. Los resultados del análisis correlacional entre las variables en estudio muestran una clara correlación positiva muy fuerte = 0.937.

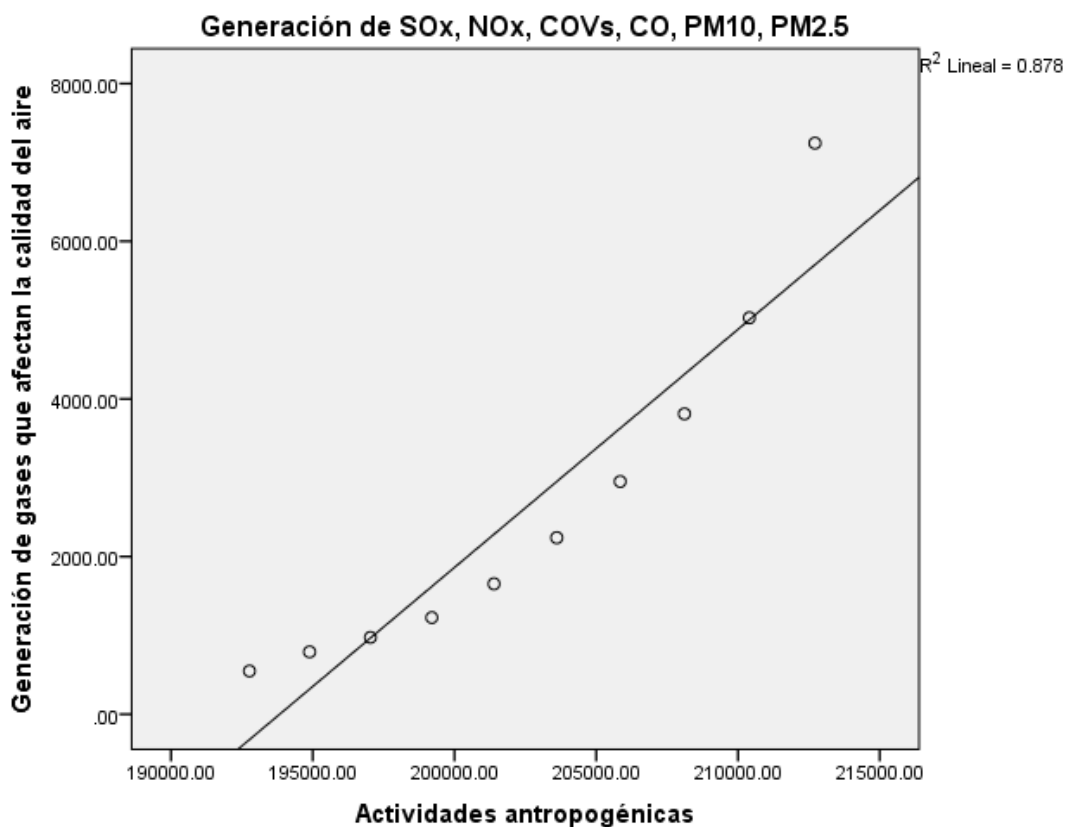
**Cuadro 06 Análisis de regresión entre actividades antropogénicas y emisión de gases de efecto invernadero.**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregido	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl 1	gl2	Sig. Cambio en F
1	.937 <sup>a</sup>	.878	.863	800.40284	.878	57.684	1	8	.000

Fuente: Datos de la investigación

#### 4.2.2.1. Análisis de correlación

Los resultados del cuadro 6 muestran una regresión lineal entre variables cuya  $R^2 = 0.878$ , lo que supone una influencia directa de la variable independiente sobre la dependiente en 87.8 %



**Gráfico 08 Regresión Lineal entre las variables actividades antropogénicas y generación de gases que afectan la calidad del aire.**

Fuente: Datos de la investigación

#### 4.3. Discusión de resultados

- La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, EPA por sus siglas en inglés, proporciona diversas herramientas para el cálculo estimado de emisiones atmosféricas, las cuales han sido utilizadas por diversos autores para calcular emisiones a bajo costo y con buenos resultados.

En la realización del presente estudio se han utilizado mucho de estos datos, dentro de los principales, los métodos para el cálculo de emisiones

con la utilización de factores de emisión, y modelo de encuestas para industrias.

- Para Năstase, G. *et al*<sup>25</sup>, La contaminación del aire es uno de los mayores factores de riesgo para la salud humana, pero también presenta riesgos para los alimentos, la seguridad, la economía y el medio ambiente. Como el modelo ha predicho, los resultados muestran un soporte concluyente que en la ciudad la cantidad de emisiones es elevada en 2025, y que estos afectarían diversos factores considerados por el autor antes citado.
- CEC.ORG menciona que el ozono troposférico se produce mediante reacciones químicas entre compuestos orgánicos volátiles (COVs), monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NOx) en presencia de la radiación solar. Y que los seres humanos contribuyen a la formación de ozono troposférico sobre todo mediante la quema de combustibles fósiles en el transporte, la industria y las centrales eléctricas. Además de que la evaporación de combustibles líquidos y solventes se incorporan a la formación de ozono.



Al analizar las emisiones proyectadas al 2025 y la combinación de resultados del estudio para COVs, CO, y NOx, ésta proporciona apoyo a la premisa de que se incrementaría considerablemente la generación de ozono troposférico en la

ciudad, lo que traería efectos adversos a la vegetación, salud de la población, y aporte considerable al cambio climático al ser un gas que provoca efecto invernadero. Apoyado en la teoría mencionado por el autor.

- CEC.ORG menciona también que el ozono troposférico, componente básico del smog, incluso en muy pequeñas cantidades en el aire tiene

efectos nocivos en la salud humana, en particular los sistemas cardiovascular y respiratorio. La exposición al ozono se ha vinculado con la mortalidad prematura y una gama de cuestiones de morbilidad, como admisiones en hospitales y síntomas de asma.

Esta afirmación es preocupante para el futuro de la población ya que al tener una gran cantidad de emisiones al 2025 de gases precursores, se genera la hipótesis de que se incrementarían considerablemente los problemas de salud básicamente en los sistemas cardiovascular y respiratorio trayendo como consecuencia pérdidas, o incrementos en los presupuestos gubernamentales destinado a combatir estos males de salud que son provocados por el fenómeno smog y ozono.

- Santurtúna A. *et al* mencionan que la enfermedad pulmonar obstructiva crónica EPOC es de alta prevalencia y una de las principales causas de muerte a nivel mundial. Además, existe una asociación directa entre los niveles de PM10 y las urgencias por EPOC. Así mismo, menciona que por cada 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de aumento del contaminante, las urgencias incrementan un 3,34% intensificándose el efecto de estas en las personas mayores de 74 años.



Teniendo en cuenta la cantidad de emisiones de PM10 en la ciudad de Huánuco para el 2025, y el número de personas de esa edad, se puede mencionar que las EPOC podrían incrementarse considerablemente reafirmando lo predicho por el autor citado

- Pérez M. *et al* menciona que la educación es el primer paso para conseguir nuestros objetivos. Se trata de educar a los más jóvenes para introducir unos hábitos de conducta duraderos que promuevan una actitud respetuosa con el medio ambiente, inculcar la necesidad de un desarrollo

sostenible a través de un consumo energético responsable y una reducción en la emisión de contaminantes. El ciudadano informado reclamará a las gobernantes políticas de salud pública dirigidas a mantener la calidad del aire que respiramos.

Lo comentado por el autor debe ser tomado en cuenta en función de los resultados del estudio, dado que los niveles de contaminación superan el 200% como mínimo para el 2025, pero cabe recalca que se requiere una serie de elementos para una explicación adicional sobre problemas a suscitarse, por lo que es necesario nuevas investigaciones sobre el particular, para explicar a los educandos sobre el particular y se cambie la mentalidad de los mismos hacia un componente sostenible ambiental.

- Según el Senahmi La troposfera se extiende hasta unos 16 km en las regiones tropicales y hasta unos 9,7 km en latitudes templadas.

Analizando el comportamiento de la variación promedio de la temperatura a una altura de 2 metros, aunada a la limitada dispersión de los gases contaminantes por el viento (0-5km/h) en horas de la mañana, se puede afirmar que actualmente se está generando en la ciudad el fenómeno de inversión térmica.



CAPÍTULO V  
CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS



## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

#### 5.1. Conclusiones

El inventario de emisiones de la ciudad de Huánuco que incluye las principales fuentes de emisión recopiladas a través de información primaria muestra que el parque automotor, el almacenamiento y despacho de combustibles son los principales emisores de los COVs, (precursor del ozono troposférico) el cual tiene mayor presencia en la atmosfera de la ciudad.

La tendencia del comportamiento de las emisiones sumado a las condiciones que limitan la dispersión de los gases como temperatura y velocidad del viento muestra claramente que a medida que se incrementan las unidades de emisión se concentra más los gases perjudiciales en la troposfera de la ciudad, generándose la hipótesis de que se generará inversión térmica en el corto plazo.

El grafico N° 13 muestra las proyecciones de concentración e incremento de gases en la atmosfera en la ciudad pudiéndose apreciar claramente que los Compuestos orgánicos volátiles COVs, son los que más incremento tienen en términos porcentuales y como se mencionó anteriormente es un precursor del ozono troposférico.

Por otro lado, también es importante mencionar la existencia de una serie de contaminantes que tienen una influencia directa en el calentamiento global, ya que poseen un potencial de calentamiento muy elevado, así como la existencia de contaminantes implicados directamente en la destrucción del ozono estratosférico. Por lo que se concluye que los valores de emisiones de gases de efecto invernadero y que afectan a calidad del aire están influenciados por las diversas actividades que se realizan en la ciudad de Huánuco teniendo una relación considerable a alta igual al 0.878 y 0.937 respectivamente.

Del análisis de regresión podemos concluir que existe influencia directa de las emisiones de gases de efecto invernadero en un 77.1% en la atmosfera de la ciudad. Por su parte las emisiones de gases que afectan la calidad del aire y son precursores de otros fenómenos influyen en 87.8% en el deterioro de la atmosfera de la ciudad.

De acuerdo con los resultados del grafico N° 13 Emisiones de gases que afectan la calidad del aire en la ciudad de Huánuco se observa un crecimiento en las emisiones mayores a 200% para el 2025, respecto del año base 2015.

Por último se puede mencionar que los resultados permitieron conocer las diversas fuentes que generan emisiones, y de qué manera estas incrementan sus emisiones respecto del crecimiento poblacional, sin embargo, son insuficientes ya que existen otras situaciones que no fueron consideradas, como la generación de emisiones por la agricultura y fuentes puntuales como ladrilleras, generación de gases contaminantes de botaderos, imprentas entre otros.

## 5.2. RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS

Debido a la variabilidad de las temperaturas observadas en el gráfico N° 04 y la velocidad del viento que oscila entre 5 y 8 km/h. observadas en el gráfico N° 02, se puede presumir que estas limitan la dispersión de gases contaminantes sobre todo en horas de la mañana, con lo que surge la hipótesis de que existe una posible generación de inversión térmica. Dicho esto, se recomienda realizar estudios sobre el particular para verificar científicamente si se está empezando a producir ese fenómeno.

De acuerdo con lo visto en los resultados, existe una razón de peso para sostener que si no se implementan políticas ambientales al corto plazo la calidad del aire se verá seriamente afectada por lo que se recomienda que las autoridades regionales implementen nuevas políticas de gestión para evitar la degradación de la calidad del aire. Como el establecimiento y aplicación de límites de emisión más estrictos para vehículos y el control de emisiones de contaminantes en el sector industrial, además de fortalecer las actividades de inspección y vigilancia en la industria.

La correlación entre el crecimiento económico reflejado en las industrias, comercios y crecimiento demográfico y la generación de gases han puesto de manifiesto que existe una relación directa entre desarrollo y degradación de la calidad del aire con generación de ozono troposférico. Es por ello por lo que se recomienda implementar normas de instalación con parámetros ambientales locales con el fin de evitar un crecimiento desordenado y perjudicial para la salud de la sociedad y el ambiente del área de estudio en el futuro.

Se recomienda realizar un análisis detallado respecto a la contaminación del aire, considerando las agrícolas, ganaderas u otra índole como la deposición de residuos sólidos que no se consideraron en este estudio ya que su contribución a la contaminación es teóricamente considerable.

La tendencia en el aumento de las emisiones a futuro hace que la exposición humana involucre problemas básicamente en la salud, causando mayor gasto en el área de salud por lo que se deben implementar métodos de registro que verifiquen las condiciones de la calidad del aire en la ciudad e implementar políticas de adecuación o exigencia de requisitos ambientales para el licenciamiento de empresas y permisos para circulación de vehículos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. OMS. ORG: Organización mundial de la salud [internet]. US: [consultado el 10 de marzo del 2015]. Disponible en: <http://www.oms.org/>
2. Manzi V, Belalcazar L, Giraldo E., Zarate E. Clappier A. Estimación de los factores de emisión de las fuentes Móviles de la ciudad de Bogotá. Revista de Ingeniería, [S.l.], n. 18, p. 18-25, may. 2014. ISSN 20110049. Disponible en: <<https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/476>>. Fecha de acceso: 10 marzo. 2015 doi:10.16924/riua.v0i18.476
3. Soret A, Jiménez P, Guerrero D, Cárdenas F, Rueda S, Baldasano JM. Estimación de futuros escenarios de emisiones para analizar el impacto de la movilidad del tráfico en una gran conurbación mediterránea en el Área Metropolitana de Barcelona (España). Investigación de la contaminación atmosférica. Volumen 4, Número 1, enero de 2013, páginas 22-32
4. Jaramillo M, Núñez M., Ocampo W, Pérez D, Portilla G. Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos por fuentes puntuales en la zona Cali-Yumbo (Colombia). Revista Científica Ingeniería y Desarrollo, No 17 2005
5. Fernández S, A., Terrón A, Biomonitorización de la calidad del aire en los alrededores de La Robla (León). Revista Ecosistemas, Norteamérica, 12, sep. 2003. Disponible en:
6. <<https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/349>>. Fecha de acceso: 05 may. 2015.
7. Rincón, G.; Cremades, L.V. Assessment of responsibility for pollution from PM10 and Sulfur dioxide. Application to an industrial area on the northeastern coast of Venezuela. Aerosol and Air Quality Research, octubre 2012, vol. 12, núm. 5, p. 722-732

8. Aponte C, Silva J, Laín S, Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos primarios de fuentes fijas puntuales en la Comuna 4 de la ciudad de Cali. *El Hombre y la Máquina* [en línea] 2010, (enero-junio) [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2015] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47817108011>> ISSN 0121-0777
  
9. Echeverri Londono, Carlos Alberto. Estimación de la emisión de gases de efecto invernadero en el municipio de Montería (Córdoba, Colombia). *Rev. ing. univ. Medellin, Medellín*, v.5, n. 9, p. 85-96, 2006. Disponible en <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-33242006000200008&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242006000200008&lng=en&nrm=iso)>. Consultado el 04 Nov. 2015.
  
10. García J. "Influencia de la meteorología en la calidad del aire en la zona metropolitana del valle de México. *Revista especializada en ciencias químico - biológicas*. Volumen 21, Número 2. 2009.
  
11. Mendoza A, García, M. Aplicación de un modelo de calidad del aire de segunda generación a la zona metropolitana de Guadalajara, México. *Rev. Int. Contam. Ambient* [online]. 2009, vol.25, n.2 [citado 2015-10-02], pp.73-85. Disponible en: <[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992009000200002&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000200002&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0188-4999.
  
12. EPA: s. f. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [internet]. US: [consultado el 9 de abril del 2015]. Disponible en: [http:// www3.epa.gov](http://www3.epa.gov)
  
13. Radian International [internet]. US: [consultado el 9 de abril del 2015]. Disponible en: <https://www3.epa.gov/ttn/catc/dir1/areainv5.pdf>
  
14. CEC. ORG: Comisión para la Cooperación Ambiental [internet]. US: [consultado el 10 de enero del 2016]. Disponible en: <http://www.cec.org/>
  
15. Emissions Estimation Technique Manual for Aggregated Emissions from Domestic/Commercial Solvent and Aerosol Use, Environment Australia. Australia; 1999; 1 (2): 99-105

16. Masini, E, Medina, J. Scenarios as seen from a human and social perspective. *Technological Forecasting and Social Change*. 2000; 65 (1): 49-66.
  
17. Mb:2006. Meteoblue weather [internet]. US: [consultado el 15 de marzo del 2018]. Disponible en: [https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/air/alf%C3%A9rez-fap-david-figueroa-fernandini-airport\\_per%C3%BA\\_6300814](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/air/alf%C3%A9rez-fap-david-figueroa-fernandini-airport_per%C3%BA_6300814)
  
18. Năstase, G., Erban, A., Năstase, A.F., Dragomir, G., Brezeanu, Alin.Ionu. Air quality, primary air pollutants and ambient concentrations inventory for Romania, *Atmospheric Environment*. 2018, doi: 10.1016/j.atmosenv. (04).034.
  
19. Linderhoff, R. *Toxicología ambiental*. Madrid: Ediciones. Limusa; 1999
  
20. Pérez M, Valenzuela M, Díaz A, González-Pienda J, Núñez J. Disposición y enfoques de aprendizaje en estudiantes universitarios de primer año. *Universitas Psychologica* [en línea] 2011, 10 (mayo-agosto): [Fecha de consulta: 22 de setiembre de 2017] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64722451010>> ISSN 1657-9267
  
21. PNUMA. *Cambio Climático Proyecto Ciudadanía Ambiental Global*. 2005
  
22. Santurtúna, A, Domingo FR, Leyre R, María T.Z. Análisis de la relación entre la enfermedad pulmonar obstructiva crónica y los contaminantes atmosféricos atendiendo al origen y trayectoria de las masas de aire en el Norte de España. *Bronconeumología*. Noviembre 2017 Vol. 53. Núm. 11. páginas 603-658 DOI: 10.1016/j.arbres.2017.03.017
  
23. Semarnat. México, Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención. Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Ine - Semarnat. 2009.
  
24. Stern, A.C., Boubl. R.W., Turner, DB. Y Fox, DL. *Fundamentals of air pollutions*. Academic Press US: 1984; 5 (1): 101-115