

Universidad Nacional
Federico Villarreal

Vicerrectorado de
INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

VALORACIÓN ECONÓMICA A LA SALUD PÚBLICA, Y AL AMBIENTE GENERADA POR LA CONTAMINACIÓN DE PLANTAS TÉRMICAS DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

TESIS PARA OPTAR EL GRADO:

DOCTORA EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

AUTORA:

Arminda Tirado Rengifo

ASESOR:

Dr. Justo Pastor SOLIS FONSECA

JURADO:

DR. ROMMEL MALPARTIDA CANTA

DR. HIGINIO EXEQUIEL FLORES VIDAL

DR. LUIS HUMBERTO MANRIQUE SUÁREZ

LIMA- PERÚ

2019

DEDICATORIA

A la memoria de mis adorados padres SANTITOS y AGUSTÍN, a quienes adoro, los adoro y adoraré desde lo más profundo de mi corazón por sus concejos, valores que sembraron en todos sus hijos, apoyo económico, el impulso que nos dieron para salir adelante y así mismo haber sido artífices para que todos sus hijos llegemos a ser profesionales.

Mamita y papito, ya son casi 4 y 19 años respectivamente que físicamente ya no están con nosotros, pero es como si fuese hoy. Mi último recuerdo de ustedes es su tranquilo y bello rostro dormidos en su cama, rogando a Dios en aquel momento que abrieron los ojos que fueron la ventana que me enseñó la vida, pero ya no se abrieron más. Podría creer que el destino ha sido cruel, pero a pesar de mi egoísmo doy gracias a Dios por haberles tenido como ejemplo y apoyo durante todos estos años. Mis lágrimas brotan y brotarán siempre mezcladas de amor y tristeza; bendito sentimiento que los impulsa porque van arropadas con el agradecimiento de haber tenido unos padres como ustedes. Sé que no están lejos, aún les siento más cerca. Tenían 94 y 87 años que han dejado en los que los han conocido profundas huellas en sus almas y su memoria. Mi fuerza brota de ustedes, lo que en mi vida hay de triunfo y virtudes es gracias a ustedes.

A la memoria de mis hermanitos MANFREDO, WILDER, RODOLFO, LEOPOLDO, LORGIO y a mi amada ZILIA NIRMA quienes muy jóvenes partieron junto al Señor.

A mi VIDITA, es así como te llamo, por haberme enseñado lo que es vivir llena de emociones, lo que es seguir firme ante las adversidades que nos trae la vida, siempre daré gracias a Dios por haberte puesto en mi camino.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios por llevarme a su lado a lo largo de mi vida, siempre llenándome de alegría y salud, vocación profesional para seguir adelante.

A mi asesor de tesis Dr. Justo Pastor Solís, por su invaluable apoyo, dedicación, sugerencias, correcciones y recomendaciones hechas durante el desarrollo del presente trabajo de tesis, sin el cual hubiese sido imposible terminar en el tiempo programado. Así mismo le doy gracias por su exigencia para exponer los conocimientos de modo preciso y aportes muy importantes.

Al Mg. Juan Avila López, quien me brindó su apoyo profesional e incondicional con su aporte de conocimientos científicos y sugerencias de modo preciso y aportes muy importantes en toda la elaboración de mi tesis para la calidad del presente trabajo; deseo recalcar que sin este apoyo quizá no hubiese sido posible la culminación de la tesis

A mis hermanos por apoyarme sin condiciones y de modo permanente.

A mis colegas de profesión que me apoyaron en todo momento con sus recomendaciones y conocimientos para la elaboración de este trabajo de tesis, sin los cuales hubiese sido más difícil terminar mi trabajo de tesis.

Gracias a todas y cada una de las personas que sin esperar nada a cambio participaron de una u otra forma en esta investigación realizada, con quienes compartí conversaciones, conocimientos, información y apoyo moral en todo momento para la culminación de mi tesis.

ÍNDICE

| | Página |
|---|--------|
| Dedicatoria | ii |
| Agradecimientos | iii |
| Resumen | iv |
| Abastrac | v |
| Índice | vi |
| Lista de figuras | vii |
| Lista de tablas | ix |
| | |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| | |
| CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DE LOBLEMA | 5 |
| 1. Antecedentes | 5 |
| 2. Planteamiento del problema | 9 |
| 3. Objetivos | 11 |
| Objetivo general | 11 |
| Objetivos específicos | 11 |
| 4. Justificación | 11 |
| 5. Alcances y limitaciones | 13 |
| 6. Definición de variables | 14 |
| | |
| CAPITULO II MARCO TEORICO | 20 |
| | |
| Teorías generales relacionados con el tema | 20 |
| Bases teóricas especializadas sobre el tema | 21 |
| Marco conceptual | 22 |
| Hipótesis | 28 |
| | |
| CAPITULO III MÉTODO | 29 |
| 1. Tipo de investigación | 29 |
| 2. Diseño de investigación | 29 |
| 3. Estrategia de prueba de hipótesis | 30 |
| 4. Variables | 31 |
| 5. Población | 34 |
| 6. Muestra | 34 |
| 7. Técnicas de investigación | 38 |
| Instrumentos de recolección de datos | 46 |
| Procedimientos y análisis de datos | 75 |

| | | |
|--------------------|--|-----|
| CAPITULO IV | PRESENTACION DE RESULTADOS | 95 |
| | Contrastación de hipótesis | 95 |
| | Análisis e interpretación | 95 |
| CAPITULO V | DISCUSION | 108 |
| | Discusión | 108 |
| | Conclusiones | 109 |
| | Recomendaciones | 110 |
| | Referencias bibliográficas | 111 |
| ANEXOS | | 116 |
| | Matriz de consistencia | 117 |
| Listado de figuras | | |
| | Figura 1.1 Evolución de la producción de electricidad para el periodo 2006-2016 | 12 |
| | Figura 1.2 Proyección de la demanda de electricidad para el periodo 2013-2014 | 13 |
| | Figura 1.3 Esquema de una central térmica de carbón de ciclo convencional | 18 |
| | Figura 1.4 Central hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo | 19 |
| | Figura 2.1 Aspectos fundamentales a considerar en la generación de electricidad con plantas térmicas | 22 |
| | Figura 3.1 Esquema de diseño metodológico del presente trabajo de tesis | 30 |
| | Figura 3.2 Aporte porcentual de la generación eléctrica para el 25 de octubre del 2018 | 34 |
| | Figura 3.3 Sistema Eléctrico Interconectado Nacional | 37 |
| | Figura 3.4 Central térmica Kallpa | 39 |
| | Figura 3.5 Central térmica Chilca UNO | 40 |
| | Figura 3.6 Centrales térmicas Chilca1, Chilca 2 y Kallpa | 41 |
| | Figura 3.7 Central térmica las Flores | 42 |
| | Figura 3.8 Central térmica Fenix Power | 43 |
| | Figura 3.9 Central térmica Santo Domingo de los Olleros | 44 |
| | Figura 3.10 Participación porcentual de potencia instalada por empresa en el complejo Chilca | 46 |
| | Figura 3.11 Etapas de ejecución del método | 47 |
| | Figura 3.12 Capas de la atmosfera terrestre | 49 |

| | |
|---|-----|
| Figura 3.13 Variación de la presión con la altura | 51 |
| Figura 3.14 Comportamiento de la atmosfera en la PBL | 52 |
| Figura 3.15 Escala de distribución temporal y espacial de contaminantes en la atmosfera | 54 |
| Figura 3.16 Pluma espiral | 56 |
| Figura 3.17 Pluma abanico | 57 |
| Figura 3.18 Pluma cono | 57 |
| Figura 3.19 Pluma fumigación | 58 |
| Figura 3.20 Pluma balcón | 59 |
| Figura 3.21 Altura efectiva de la pluma | 60 |
| Figura 3.22 Representación esquemática del fenómeno de la dispersión de la contaminación atmosférica liberada por las centrales térmicas | 63 |
| Figura 3.23 Dispersión σ_y | 64 |
| Figura 3.24 Dispersión σ_z | 64 |
| Figura 3.25 Partículas contaminantes | 71 |
| Figura 3.26 Ingreso de partículas a los pulmones | 71 |
| Figura 3.27 Mecanismos a través de los cuales las partículas afectan la función cardiovascular a través de la generación de estrés oxidativo | 72 |
| Figura 3.28 Función exposición | 74 |
| Figura 3.29 Ubicación del complejo térmico de chilca | 76 |
| Figura 3.30 Sistema de gasoducto que alimenta a las centrales térmicas de Chilca..... | 77 |
| Figura 3.31 Potencia instalada en el SEIN para los años 2014,2015 y 2016 | 78 |
| Figura 3.32 Generación por el SEIN para el año 2016 | 79 |
| Figura 3.33 Área de evaluación de los impactos ambientales producidos por las centrales térmicas de Chilca | 80 |
| Figura 3.34 Cuadrícula unitaria considerada para el estudio | 81 |
| Figura 3.35 Ubicación de las centrales térmicas de Chilca | 82 |
| Figura 3.36 Distancia entre las centrales eléctricas del complejo térmico de Chilca | 82 |
| Figura 3.37 Distancia entre las Chimeneas de la central térmica Kallpa | 83 |
| Figura 3.38 Coordenadas geográficas de las chimeneas de la central térmica Kallpa | 83 |
| Figura 3.39 Malla de la región de interés | 83 |
| Figura 3.40 Zona de interés para para la evaluación del impacto ambiental | 85 |
| Figura 3.41 Codificación de la región de interés | 86 |
| Figura 4.1 Zona de estudio en este trabajo de tesis | 96 |
| Figura 4.2 Direcciones de viento en la región de estudio | 97 |
| Figura 4.3 Temperatura en la región de evaluación de esta tesis | 98 |
| Figura 4.4 Altura de las celdas unitarias en la región de estudio | 98 |
| Figura 4.5 Concentración de NOx en la zona donde está ubicada la ciudad de Lima .. | 103 |

Figura 4.6 Concentración de PM₁₀ en zona donde está ubicada la ciudad de Lima103

Listado de tablas

| | |
|--|-----|
| Tabla 3.1 Generación de electricidad por empresa | 36 |
| Tabla 3.2 Datos de las centrales del complejo térmico de Chilca | 45 |
| Tabla 3.3 Concentración de contaminantes en la atmosfera | 53 |
| Tabla 3.4 Condiciones de Pasquill | 65 |
| Tabla 3.5 Límites máximos permisibles | 68 |
| Tabla 3.6 Límites permisibles para material particulado | 69 |
| Tabla 3.7 Estándares de calidad nacional para contaminantes | 73 |
| Tabla 3.8 Potencia instalada en el SEIN para el periodo 1995-2016 | 73 |
| Tabla 3.9 Generación de electricidad para los años 2015-2016 en el SEIN..... | 79 |
| Tabla 3.10 Potencia instalada en el complejo térmico de Chilca | 84 |
| Tabla 3.11 Códigos asignados a los distritos para su identificación en la malla de la región de evaluación en la presente tesis | 87 |
| Tabla 3.12 Área de los distritos de Lima Capital | 88 |
| Tabla 3.13 Población, área efectiva y densidad poblacional de los Distritos Capital | 89 |
| Tabla 3.14 Densidad poblacional para los distritos de Lima Departamento | 90 |
| Tabla 3.15 Densidad poblacional de los distritos de cañete | 91 |
| Tabla 3.16 Distribución de la población la ciudad de lima y Callao | 92 |
| Tabla 3.17 Distribución de la población en todos los distritos considerados en la evaluación | 93 |
| Tabla 3.18 Datos de centrales térmicas para el cálculo de la contaminación atmosférica | 94 |
| Tabla 4.1 Resultados de la distribución de la contaminación por NO _x dado en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los cuadrantes 1 y 2 | 100 |
| Tabla 4.2 Resultados de la distribución de la contaminación por NO _x dado en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los cuadrantes 3 y 4 | 101 |
| Tabla 4.3 Resultados de la distribución de la contaminación por PM ₁₀ dado en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los cuadrantes 1 y 2 | 102 |
| Tabla 4.4 Resultados de la distribución de la contaminación por PM ₁₀ dado en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los cuadrantes 3 y 4 | 103 |
| Tabla 4.5 Valoración económica (US\$/Año) de los daños causados por las centrales térmicas | 104 |

RESUMEN

En el presente trabajo de tesis se ha determinado la valoración económica que causa a la salud pública y al medio ambiente la contaminación generada por las plantas termoeléctricas para el espacio circundante de un área cuadrada de 200 km de lado con la fuente emisora ubicada en el centro del área. Fijada la ubicación geográfica de las centrales termoeléctricas, en este caso las centrales termoeléctricas del complejo térmico ubicado en el distrito de Chilca de la provincia de cañete departamento de Lima y las poblaciones afectadas circundantes a las centrales termoeléctricas en un rango de un área cuadrada de 40000 km², que incluye la ciudad de Lima, se elaboró una malla cuadrada con celdas unitarias cuadradas de 5 km de lado y 25 km² de área dando una malla de 40 celdas por lado y un total de 1600 celdas en toda el área del estudio, en las cuales se ha especificado la cantidad de habitantes por km² en el área efectivamente poblada de cada celda unitaria. Con la caracterización de la ubicación de las centrales termoeléctricas y las poblaciones se ha aplicado el modelo de dispersión atmosférica para determinar la concentración de los contaminantes (contaminante/m³) en toda el área de estudio y haciendo uso las denominadas curvas dosis-respuesta, que relacionan las enfermedades frente a las concentraciones de los contaminantes en el aire, se ha determinado los daños que causan a la salud pública los gases contaminantes. Con los daños (enfermedades) causados por la contaminación de las centrales eléctricas térmicas se ha determinado la valoración económica de la contaminación a la salud pública en la región que se ha considerado para el presente trabajo de tesis. Encontrándose una valoración total de 7298.78 dólares americanos para el año 2015, cantidad que se distribuye entre la población de los distritos de la zona evaluada. Los hallazgos encontrados de las concentraciones máximas de 1,4863 µg/m³ para los NOx y 0.2097 µg/m³ para las partículas PM₁₀ son valores bajos con respecto a los límites máximos de la OMS que son de 40 µg/m³ para los NOx y 20 µg/m³ para las PM₁₀, siendo la valoración económica también un valor bajo para el año evaluado.

Palabras Clave: Valoración económica de la contaminación a la salud pública, salud pública, contaminación ambiental, centrales termoeléctricas, dispersión atmosférica de contaminantes.

ABSTRAC

In this thesis work has determined the economic valuation that causes public health and the environment pollution generated by thermoelectric plants for the surrounding space of a square area of 200 km side with the source located in the center of the area. Fixed the geographical location of the thermoelectric plants, in this case the thermoelectric plants of the thermal complex located in the district of Chilca of the province of Cañete department of Lima and the affected populations surrounding the thermoelectric plants in a range of a square area of 40000 km², which includes Lima city, a square mesh was developed with square unit cells of 5 km on each side and 25 km² of area giving a grid of 40 cells per side and a total of 1,600 cells in the entire study area, in which has been specified the number of inhabitants per km² in the area actually populated in each unit cell. With the characterization of the location of the thermoelectric plants and the populations, the atmospheric dispersion model has been applied to determine the concentration of pollutants (contaminant/m³) in the whole study area and using the so called dose-response curves, which they relate the diseases to the concentrations of the pollutants in the air, it has been determined the damages caused to the public health by the polluting gases. With the damages (illnesses) caused by the contamination of thermal power plants, the economic assessment of the contamination to public health in the region that has been considered for the present thesis work has been determined. Finding a total valuation of 7298.78 US dollars for the year 2015, amount that is distributed among the population of the districts of the evaluated area. The found findings of the maximum concentrations of 1.4863 µg/m³ for NO_x and 0.2097 µg/m³ for PM₁₀ particles are low values with respect to WHO maximum limits that are 40 µg/m³ for NO_x and 20 µg/m³ for PM₁₀, with the economic valuation also being a low value for the year evaluated.

Key word: Economic valuation of pollution to public health, public health, environmental pollution, thermoelectric plants, atmospheric dispersion of pollutants.

INTRODUCCIÓN

Las primeras observaciones sobre la existencia de la electricidad se remontan al siglo VII A.C. cuando Tales de Mileto observó que al frotar con un paño un trozo de resina fósil (hoy día conocido como ámbar) atraía hojas secas, plumas etc. Tales de Mileto como explicación, dijo que se debía al “**Espíritu**” de la resina al que denominó “**elektron**” de allí el nombre de electricidad. A pesar de estas observaciones tempranas, el apogeo de Grecia, el esplendor de Roma ni el feudalismo de Europa hicieron contribuciones importantes al respecto, hasta que en 1660 Otto Von de Medeburgo, inventor de la máquina Neumática, construyó una bola de azufre atravesada por un eje y con una manivela, observó que al hacer rotar la bola se generaba carga eléctrica. En 1707 Francis Hawkesbee cambió la bola de azufre por una de vidrio y en una noche de experimento produjo una chispa que iluminó la habitación donde realizó el experimento. Después Van der Graff mejoró la máquina construyendo lo que hoy en día se conoce como Generador de Van der Graff ((Historia de la electricidad en el Perú, 2018).

En 1752 en EE. UU Benjamín Franklin con su cometa famosa en una tormenta logra captar la descarga eléctrica de las nubes y lo transporta a la tierra mediante el hilo de su cometa. Importante descubrimiento de lograr transportar carga eléctrica a través de un hilo. En 1786 Alessandro Volta inventó la conocida “**Pila de Volta**” que producía cargas eléctricas con una reacción química con dos placas de Zinc inmersas en ácido sulfúrico. En honor a Alessandro Volta se denominó a la diferencia de potencial como la diferencia suficiente para producir una corriente eléctrica de un amperio. En 1820 Hans Christian Oersted, descubrió que la corriente que circula por un alambre desvía agujas magnéticas de su posición original, lo cual reveló que la corriente generaba un campo magnético el que interaccionaba con el campo magnético de las agujas. En 1831 Miguel Faraday descubrió el generador eléctrico, cuando se dio cuenta que un imán en movimiento dentro de un disco de cobre era capaz de generar electricidad y quedaba demostrado que no solo se podía producir electricidad por electrólisis sino también

mediante la interacción de campos electromagnéticos. Este descubrimiento tiene vigencia plena en la actualidad dado que la mayor cantidad de generación de electricidad se genera en base a la interacción electromagnética. Faraday acuñó los términos de electrolito, electrólisis, cátodo, ion y ánodo (Electricity Forum, 2017).

En 1878 cuando todavía trabajaba la primera lámpara incandescente (Invento fechado en 1879 como la primera lámpara incandescente) Tomas Alva Edison empezó a avizorar sobre un sistema eléctrico que debería suministrar energía eléctrica de un centro de producción y mediante un sistema de transmisión a los hogares. En 1879 se formó en USA, la compañía "**The Edison Electric Light Co.**" (Thomas, 1885) con la finalidad de producir, operar y licenciar aparatos que produzcan luz, calor y potencia con electricidad. El 4 de Setiembre de 1882 la "**Edison Pearl Street Station**" empezó a operar en New York, para 85 clientes con 400 lámparas incandescentes, iniciándose el negocio de la electricidad.

En 1889 tanto en América como en Europa se instalaron muchas fábricas y se comenzó a optimizar el consumo de energía eléctrica tendiéndose líneas de transmisión; iniciándose así la importancia de la interconexión. En 1889 la Westinghouse inicia la utilización del sistema polifásico, descubierto un año antes por Nicolás Tesla, sistemas de varias corrientes, pero desfasadas unas de otras.

Según la Historia de la electricidad de Lima (2011) el 15 de mayo de 1886 se inauguró el alumbrado público en la Plaza de Armas y los jirones de la Unión y Carabaya de Lima. En 1903 se inauguró la primera central hidroeléctrica (CH) de Chosica con 400 HP de potencia, en 1907 la CH de Yanacoto, en 1927 la central térmica de Santa Rosa de 5000 KW, el 30 de marzo de 1960 se inauguró la central de Huampaní con 31 MW de potencia y el 6 de octubre de 1973 se inauguró la central más importante del país

Santiago Antúnez de Mayolo con una potencia de 342 MW. Hoy en día tiene una capacidad de 700 MW y sigue siendo la más importante de nuestro sistema eléctrico interconectado.

Se puede decir que, con el descubrimiento de la conducción de la electricidad por Benjamín Franklin en 1752 y uno de los inventos más trascendentales como la lámpara incandescente para iluminación de Thomas Alva Edison en 1879 (The Franklin Institute, 2017), y con la caracterización de los componentes de la electricidad (electrones) por Joseph John Thomson en 1897 (American Institute Physics, 2004) la humanidad ha tenido uno de los más grandes beneficios y lo seguirá siendo en el futuro; hecho que invoca continuar investigando en el contexto científico, económico, tecnológico y desarrollo sostenible.

En las últimas décadas la humanidad se ha preocupado por el deterioro del medio ambiente debido a las emisiones de productos que son perjudiciales para el medio ambiente, como resultado de la generación de electricidad (entre otras actividades), por el consumo de combustibles de origen fósil. El "Intergovernmental Panel on Climate Change" IPCC (1995) ha elaborado metodologías para realizar los inventarios de gases contaminantes y de efecto invernadero para los sectores energético y no energético, dichas metodologías el IPCC (1996) lo ha actualizado con la versión 1996.

La energía eléctrica es un servicio muy útil e importante para la calidad de vida de la humanidad, y el desarrollo tecnológico, sin embargo, este servicio muy importante, útil y necesario, las tecnologías y recursos energéticos que se utilizan para generarlo deterioran el medio ambiente y la salud de las personas, debido a los productos contaminantes y de efecto invernadero que producen dichas tecnologías. Estos daños no están cuantificados en el país por lo cual se requiere realizar investigaciones al respecto para cuantificarlos y efectuar acciones necesarias para solucionar el problema.

De modo general la situación se presenta, que las fuentes emisoras de contaminantes liberan sus productos a la atmosfera, la cual sirve de medio dispersor llevando estos productos a los receptores como son las poblaciones humanas y el medio ambiente, y de modo particular las emisiones producidas por las centrales eléctricas, las mismas que no son valoradas en nuestro país, por lo tanto se desconoce la magnitud que puede estar causando la contaminación a la salud pública y el medio ambiente las centrales térmicas de generación de electricidad.

Según la OMSa (2018) nueve de cada 10 personas en todo el mundo respiran aire contaminado, y en el año 2016, se produjo 4,2 millones de muertes prematuras de personas por la contaminación del aire y el 91 % de la población no cumplen con las directrices de la OMS. Según la OMSa (2018) afirma:

Que cerca de siete millones de personas mueren cada año por la exposición a las partículas finas contenidas en el aire contaminado, las cuales penetran profundamente en los pulmones y el sistema cardiovascular y provocan enfermedades como accidentes cerebrovasculares, cardiopatías, cáncer de pulmón, neumopatía obstructiva crónica e infecciones respiratorias, por ejemplo, neumonía.

(p.1)

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1. Antecedentes.

La contaminación atmosférica se inicia cuando el ser humano descubre el fuego y comienza a manejarlo para su beneficio. Antes, sólo se producía la contaminación natural durante episodios de erupciones volcánicas o de incendios espontáneos en su ambiente próximo. Desde el origen de la vida hasta la primera evidencia de fotosíntesis, algas fósiles y fragmentos moleculares de clorofila en sedimentos de hace 2700 millones de años de antigüedad, transcurrió en un lapso de 1000 a 1500 millones de años. Otros 1500 millones de años transcurrieron antes de la aparición de una atmósfera de oxígeno sobre la tierra, semejante al aire de la actualidad. Los organismos vivientes tuvieron alrededor de 2500 millones de años para adaptarse a ella, pero bien podrían no haber existido o sobrevivido en la atmósfera oxidante actual. Para las primeras formas de vida, el oxígeno podría haber constituido un gas venenoso; pero lo más importante es que la vida se adaptó, prosperó y evolucionó, a pesar de la alteración drástica de la atmósfera, lo cual ocurrió en una extensión muy larga de tiempo. Lo que ocurre hoy a nuestra atmósfera urbana debido a las actividades tecnológicas de nuestra especie no es relevante en comparación con las transformaciones geológicas de la antigüedad, pero, dado que la escala de tiempo corriente es mínima minúscula, la velocidad de transformación resulta ser enorme. La combustión de combustibles fósiles, carbón y petróleo es la principal fuente de cambios presentes en la atmósfera; el carbón sólo se comenzó a utilizar en el siglo XIII y el petróleo en el siglo XX (Santa Cruz, 2000).

Contaminación ambiental.

La contaminación ambiental se refiere a la presencia en el medio ambiente de cualquier agente físico, químico, biológico o una combinación de estos en formas y concentraciones tales que sean nocivos para la salud humana y el medio ambiente. La contaminación ambiental también se refiere a la incorporación a los cuerpos receptores de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, o mezclas de ellas, que alteran desfavorablemente las condiciones naturales de los mismos (Vera, 2018).

Cuando nos referimos a la atmosfera limpia, se está considerando a la mezcla en la que el ser humano se siente fisiológicamente bien. Para tales condiciones la composición debe ser nitrógeno (N₂) 78,1%, oxígeno (O₂) 21%, argón (Ar) 0,9%, dióxido de carbono (CO₂) 330 ppmv (partes por millón en volumen), neón (Ne) 18 ppmv, helio (He) 5 ppmv, metano (CH₄) 1,5 ppmv Otros en concentraciones menores que 1,0 ppmv, estos porcentajes corresponden a los componentes principales del aire seco al nivel de superficie de la tierra. Generalmente, la atmósfera también contiene cantidades variables de agua (H₂O) en gotitas de distintos tamaños y estados. A la mezcla de todos estos componentes en las cantidades indicadas se tiene una atmosfera limpia e inocua para el ser humano. Sin embargo, con el tiempo y la evolución del ser humano en la actualidad son pocos los lugares de la Tierra que tienen ese aire puro. Por el contrario, al aire se le ha adicionado elementos (contaminantes) que son perjudiciales para la salud y el medio ambiente, teniéndose una atmosfera contaminada.

En consecuencia, la contaminación es la alteración del estado natural del medio como consecuencia de la introducción de agentes nocivos y totalmente ajenos al medio natural. A medida que el ser humano aumenta su poder sobre la naturaleza y aparecen nuevas necesidades como consecuencia de la vida en sociedad, el medio ambiente que

lo rodea se deteriora cada vez más como consecuencia de las actividades que la humanidad realiza para satisfacer sus necesidades.

La contaminación es uno de los problemas ambientales más importantes que afectan a nuestro medio ambiente y se produce como resultado de la adición de cualquier sustancia nociva al medio ambiente, en una cantidad tal, que causa efectos dañinos al ser humano, a los animales, a los vegetales y/o materiales.

La contaminación surge a partir de ciertas manifestaciones de la naturaleza (fuentes naturales) o debido a las diferentes actividades humanas (fuentes antropogénicas). Las fuentes que generan contaminación de origen antropogénico más importantes son: las actividades industriales, las actividades comerciales, agrícolas, domésticas y fuentes móviles (gases de combustión de vehículos).

Tipos de contaminación

La contaminación se tipifica según el medio de contaminación por lo cual se tiene la contaminación del agua que viene a ser la incorporación al medio agua de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales, aguas residuales etc. que deterioran la calidad del agua. La contaminación del suelo, que consiste en la incorporación al suelo de agentes nocivos, como basura, desechos tóxicos, productos químicos, y desechos industriales. La contaminación del aire que consiste en la adición de agentes perjudiciales para la vida y materiales, a la atmósfera, perjudicando el normal desarrollo de plantas, animales y afectan negativamente la salud de los humanos.

Según el origen de generación se puede especificar los tipos de contaminación, como la contaminación natural y la contaminación artificial y según el tipo de contaminante se puede tipificar como contaminación química, referida a los compuestos

químicos que se adicionan al medio ambiente, contaminación radiactiva aquella proveniente de materiales radiactivos, como las provenientes de las cadenas o series radiactivas naturales, y las provenientes de las actividades humanas como las instalaciones o equipos médicos o de investigación, reactores nucleares, submarinos nucleares, explosiones nucleares, accidentes nucleares etc., la contaminación térmica referida a la emisión de fluidos a elevada temperatura que afectan a la vida y el medio ambiente, la contaminación acústica debida al ruido provocado por las actividades industriales, sociales y del transporte, la contaminación electromagnética producida por las radiaciones del espectro electromagnético.

Contaminación Natural

En lo referente a la contaminación natural, es la contaminación por las radiaciones la que ha existido siempre desde la formación de la tierra, en tanto que la contaminación no radiactiva ha existido debido al polen de las plantas y las erupciones volcánicas.

Contaminación artificial

La contaminación artificial es la producida por el ser humano, las fuentes que generan contaminación de origen antropogénico más importantes son: las industriales (frigoríficos, mataderos y curtiembres, actividad minera y petrolera), comerciales (envolturas y empaques), agrícolas (agroquímicos), domiciliarias (envases, pañales, restos de jardinería) y fuentes móviles (gases de combustión de vehículos).

El progreso tecnológico, crecimiento demográfico, incrementan la producción de agentes dañinos para la salud humana animal y deterioro de la vida vegetal y los materiales, llegando en algunos casos a atentar contra el equilibrio biológico de la Tierra. El mantenimiento del equilibrio ecológico, es muy importante, por lo cual el

hombre debe armonizar el desarrollo, la calidad de vida y la conservación del medio ambiente.

Contaminación térmica

La contaminación térmica es la más importante por su gran magnitud de generación en casi todas las actividades humanas. Se liberan gases contaminantes en los hogares, por el transporte, por las fábricas, en la generación de electricidad, en la minería en la pesca, etc. Las emisiones más importantes que deterioran el medio ambiente y la vida son el NOx que contribuye a la formación de smog, lo que ocasiona problemas respiratorios en humanos y daños a las cosechas. Las emisiones de NOx se forman como un subproducto de la quema de combustibles a altas temperaturas y se producen durante la quema de todos los combustibles. Las tecnologías usadas para generar electricidad emiten gases contaminantes y de efecto invernadero, Los principales contaminantes primarios de preocupación producidos por las centrales eléctricas que usan combustibles fósiles incluyen SO₂, NOx, CO₂, CO, partículas sólidas (PS) y mercurio. El carbón y el petróleo contienen concentraciones de azufre, por lo cual da lugar a que las centrales eléctricas produzcan SO₂ cuando queman estos combustibles.

2. Planteamiento del problema.

Breve descripción del problema

Desde los inicios del uso de la electricidad ha existido la preocupación permanente por abaratar costos y mejorar el servicio eléctrico para los usuarios por parte de las entidades responsables de dicho servicio. Sin embargo, por la complejidad del problema, aun no se cuantifican los impactos, costos en la salud pública y el deterioro del medio ambiente por la generación de electricidad de plantas eléctricas térmicas.

Con el propósito de ayudar a resolver los problemas mencionados y hacer frente a los problemas de la salud y el medio ambiente, he realizado este trabajo de Tesis basado en la cuantificación de las emisiones por centrales eléctricas, la dispersión atmosférica y los daños causados en la salud pública y el medio ambiente, dando una valoración económica al daño causado.

Existen aspectos importantes y complicados en la operación de plantas eléctricas que lo convierten en un problema complejo a resolver. Entre los principales aspectos se tiene la necesidad del uso eficiente de recursos energéticos (Carbón, gas, petróleo, uranio, etc.) que utilizan los diferentes tipos de centrales, la confiabilidad del suministro (no debe haber cortes de fluido eléctrico), la calidad del servicio (debe ser estable sin oscilaciones), la variedad de tecnologías (costos, eficiencias, etc.), tamaños de las centrales (diferentes potencias y generación de energía), costos de construcción, costos de mantenimiento, interés de capital, costos de combustibles, la contaminación ambiental y calentamiento global, debido a las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero.

En tal sentido para el presente trabajo de tesis se ha enfocado el problema considerando de modo conjunto, todo lo relacionado a las emisiones de contaminantes, dispersión, efectos y costos en la salud pública y medio ambiente. Costos hasta ahora no considerados ni estimados en la operación de las centrales térmicas, en lo referente al daño causado a la salud pública y deterioro del medio ambiente.

Problema General

¿En qué medida la contaminación producida por las Centrales Térmicas se relaciona con la valoración económica de la salud pública y al medio ambiente?

Problemas específicos

¿Cómo se distribuye la contaminación en el aire en la zona de evaluación?

¿Cómo afecta la contaminación de las centrales térmicas a la población circundante de las centrales térmicas?

¿Afecta la contaminación de las centrales térmicas a los sembríos circundantes a las centrales térmicas?

3. Objetivos

Objetivo General.

Determinar la valoración económica a la salud pública y medio ambiente generado por la contaminación de plantas térmicas de generación de electricidad mediante la estimación de la contaminación atmosférica y sus efectos sobre la salud y el medio ambiente con la finalidad de valorar económicamente los daños causados por la contaminación del aire debido a las plantas en mención.

Objetivos Específicos

- Calcular la distribución de los gases contaminantes en el medio ambiente circundante a las plantas eléctricas térmicas.
- Calcular la valoración económica que causa a la población que vive circundante a las centrales térmicas.
- Calcular el daño causado al medio ambiente (sembríos) circundantes a las plantas eléctricas térmicas.

4. Justificación

Con la indagación bibliográfica queda claramente demostrado que la contaminación generada por las centrales térmicas, causa daños al medio ambiente y la salud pública, por consiguiente, es muy importante cuantificar los efectos y costos correspondientes con la finalidad de tomar acciones para evitar dichos daños. Con respecto a la

producción y consumo de electricidad en el Perú se muestra en la figura 1, observándose que para el periodo 2006-2016 la tasa promedio de crecimiento fue de 6.6%. Lo cual indica un crecimiento importante y dicha tasa se mantendrá en el futuro para ampliar el servicio eléctrico a toda la población y mantener un desarrollo sostenido del país. Se observa que el aporte de generación de origen térmico es importante en nuestro país por consiguiente es muy necesario cuantificar la contaminación generada por las centrales térmicas y los daños que causan a la población y medio ambiente circundante a las plantas eléctricas. En la figura 1.1 se muestra según MINEM (2017) la evolución de la generación de electricidad período 2006–2016.

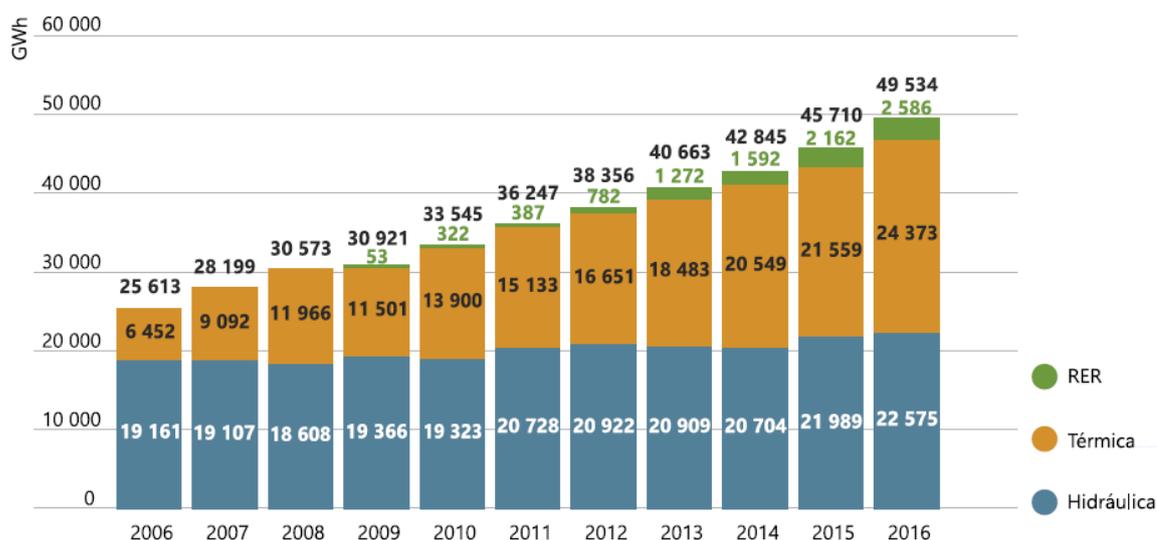


Figura 1.1: Evolución de la producción de electricidad para el periodo 2006-2016
Fuente: (MINEM, 2017)

En la figura 1.2 se muestra la demanda de electricidad proyectada para el periodo 2013-2024, donde se observa el crecimiento de la demanda de electricidad de 5575 MW en el año 2013 se incrementará a 10677 MW en el año 2024. Es decir, un incremento de 5102 MW que equivale a un 92% respecto al año 2013 y una necesidad de 464 MW por año y una tasa promedio de 8.4 %.

De las figuras 1.1 y 1.2 se tiene que las tasas de crecimiento de la generación de

electricidad y la potencia proyectada para el Perú la componente térmica es de mayor magnitud, con lo cual justifica la necesidad de valorar el costo económico a la salud humana y el medio ambiente por la liberación de los contaminantes producidos por las centrales eléctrica térmicas.

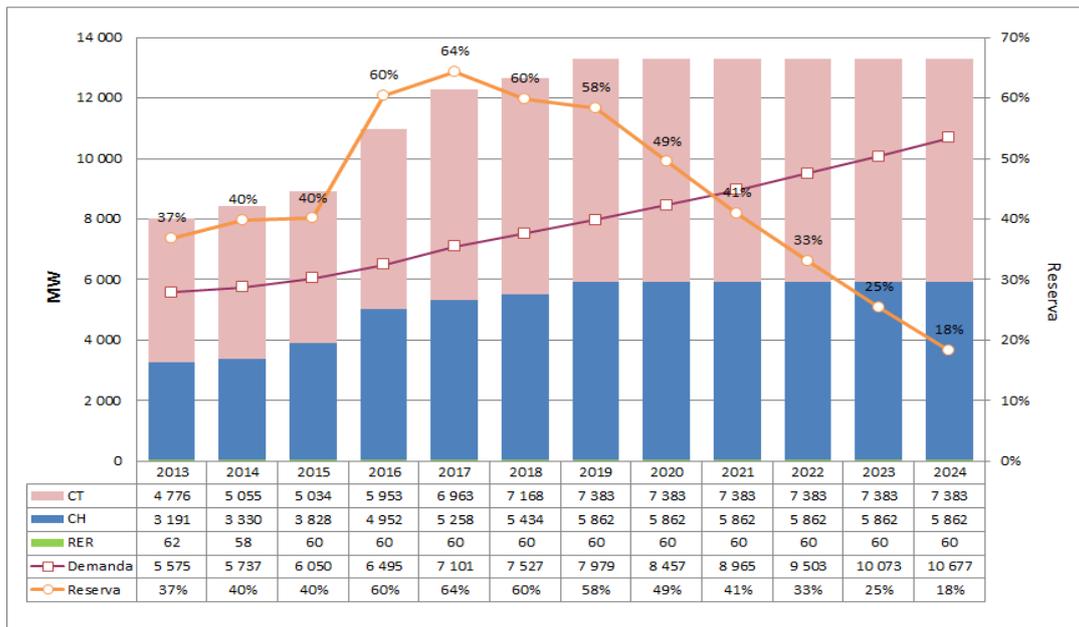


Figura 1.2: Proyección de la demanda de electricidad para el periodo 2013-2024
Fuente: (MINEM, 2014).

5. Alcances y limitaciones.

Este trabajo está realizado para las centrales térmicas del sistema eléctrico nacional, el método es aplicable a cualquier central térmica, con la consideración particular de los datos específicos de cada central y las características del medio en la cual está instalada la central. No es aplicable a centrales hidroeléctricas ni otro tipo de central eléctrica. En este trabajo se ha considerado la evaluación ambiental hasta 50 km de distancia de la fuente.

6. Definiciones de variables.

Para tener una precisión real de todo lo relacionado a la generación de electricidad y su costo a la salud pública e impacto en el medio ambiente es necesario explicitar variables y definiciones que permitan entender mejor el problema y la importancia para aplicar soluciones adecuadas.

Según el Ministerio de Agricultura y del Medio Ambiente (2014) hace una descripción general de los procesos de combustión y sistemas de generación se comprende mejor con el conocimiento de las variables y definiciones.

Caldera: cualquier dispositivo técnico en el que los combustibles utilizados se oxidan para aprovechar el calor producido en el proceso de combustión.

Central térmica (convencional): planta de generación de electricidad que utiliza la energía de combustibles fósiles en un proceso de combustión, principalmente calderas.

Ciclo combinado de turbina de gas y gasificador de carbón: mecanismo que combina una turbina de gas con un gasificador de carbón.

Ciclo combinado de turbinas de gas y vapor: mecanismo que combina para la producción de energía la fuerza mecánica del eje de la turbina de gas con la fuerza generada en la turbina de vapor que utiliza la energía térmica de los gases de combustión resultantes de la primera.

Instalación de cogeneración: dispositivo técnico de producción de vapor para su uso combinado en la generación de electricidad y de calor.

Modalidad agregada/individual de calderas en una planta: existen diversas modalidades de tratamiento de las calderas de una planta. Entre estas modalidades merecen destacar las siguientes:

- a) Modalidad en que se agregan todas las calderas que están conectadas físicamente a una misma chimenea.
- b) Modalidad de agregación virtual de calderas “similares” aunque físicamente no estén conectadas a una misma chimenea física, se introduce aquí el concepto de chimenea virtual para representar la chimenea ideal a la que estarían conectadas todas las calderas consideradas en esta modalidad de agregación.

Técnicas de combustión.

Las técnicas de combustión más frecuentes clasificadas por tipo (básicamente estado físico) del combustible.

Combustible carbón

- **Caldera de fondo seco -CFS- (Dry bottom boiler -DBB-)**

Las CFS se caracterizan por la descarga de ceniza seca al situarse las temperaturas de combustión entre 900 °C y 1.200 °C. Esta técnica se utiliza principalmente para la combustión de hullas, antracitas y lignitos y se aplica prácticamente en toda Europa.

- **Caldera de fondo húmedo -CFH- (Wet bottom boiler -WBB-)**

Las temperaturas típicas de combustión superiores a 1.400°C conllevan una descarga fluida de escoria. Este tipo de caldera se emplea para los carbones, especialmente hullas y antracitas, con un contenido bajo en volátiles y se aplica principalmente en Alemania.

- **Combustión en lecho fluidificado -CLF- (Fluidised bed combustion – FBC-)**

La combustión del carbón pulverizado tiene lugar por inyección desde el fondo de aire de combustión en un lecho turbulento. Se consiguen con esta técnica bajas emisiones mediante inyección del aire en etapas, adición de caliza y bajas temperaturas de combustión que oscilan entre 750 °C y 950 °C. La CLF se adapta particularmente bien a los carbones ricos en ceniza. Pocas plantas de combustión

están equipadas con la técnica de CLF y de ellas, dentro del segmento PTN ≥ 300 MWt (capacidad térmica), la mayoría corresponden a la versión de Lecho Fluidificado Circulante -CLFC- (*Circulating Fluidised Bed Combustion*. CFBC).

- **Parrilla (Grate firing – GF)**

Los combustibles sólidos se colocan en masa sobre una parrilla fija o de movimiento lento. Las temperaturas de combustión oscilan entre 1.000 °C y 1.300 °C.

- **Combustible biomasa**

La combustión de biomasa (turba, paja, madera) es relevante, en estas instalaciones, sólo en algunos países (por ejemplo, Finlandia, Dinamarca). Las plantas que utilizan este combustible suelen utilizar las CLF (mayoritariamente CLFC) y CFS como técnicas de combustión.

- **Combustión de residuos**

Para la combustión de residuos, el tipo de instalación más comúnmente utilizado es la parrilla. Aunque la generación de energía mediante la combustión de residuos puede incluirse en este grupo 1 cuando el fin principal de la planta sea precisamente la generación de energía, en la mayoría de los casos este tipo de unidades se encuadran, en la presente edición del Inventario, en el grupo 9 dedicado al tratamiento de residuos, ya que en la mayoría de los casos éste es el objetivo principal de la planta, y secundariamente el de valorizar el residuo (producción de energía).

- **Combustibles líquidos y gaseosos**

En la combustión en este tipo de instalaciones, tanto si se utilizan combustibles líquidos derivados del petróleo (principalmente fuelóleo y gasóleo) como gaseosos, los propios combustibles, así como los agentes oxidantes se encuentran, en las condiciones normales de la combustión, en estado gaseoso. Así mismo los quemadores con mezcla previa (*pre-mixing burners*) se caracterizan por una llama

corta homogénea y una alta tasa de conversión de nitrógeno contenido en el combustible; mientras que los quemadores sin la mezcla previa se caracterizan por llamas no homogéneas con zonas de reacción subestequiométrica y una tasa inferior de conversión del nitrógeno incorporado en el combustible.

Según, Xiao, Jiong, Yiguo, & Kwang (2015), un esquema detallado de una central térmica típica se puede mostrar como la figura 1.3.

| | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| 1. Torre de refrigeración | 10. Válvula de control de gases | 19. Supercalentador |
| 2. Bomba hidráulica | 11. Turbina de vapor de alta presión | 20. Ventilador de tiro forzado |
| 3. Línea de transmisión (trifásica) | 12. Desgasificador | 21. Recalentador |
| 4. Transformador (trifásico) | 13. Calentador | 22. Toma de aire de combustión |
| 5. Generador eléctrico (trifásico) | 14. Cinta transportadora de carbón | 23. Economizador |
| 6. Turbina de vapor de baja presión | 15. Tolva de carbón | 24. Precalentador de aire |
| 7. Bomba de condensación | 16. Pulverizador de carbón | 25. Precipitador electrostático |
| 8. Condensador de superficie | 17. Tambor de vapor | 26. Ventilador de tiro inducido |
| 9. Turbina de media presión | 18. Tolva de cenizas | 27. Chimenea de emisiones |

● **Fuentes renovables.**

Las fuentes energéticas renovables lo constituyen la hidrogenaría, la energía solar, la energía eólica, la energía mareomotriz, la biomasa, desechos municipales entre otras. Estas fuentes se renuevan continuamente cada ciclo anual, sin embargo, no son infinitas los volúmenes anuales permanecen constantes en un determinado rango. La virtud de estas fuentes es que son menos contaminantes que la tecnología térmica, sin embargo, están sujetas a los cambios climáticos, su ubicación geográfica es fija y generalmente están alejadas de los grandes centros de consumo, por lo cual requieren líneas de transmisión.



Figura 1.4: Central Hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo
Fuente:(OSINERGMIN; 2005)

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

Teorías generales relacionadas con el problema

Elementos que fundamentan la investigación del presente trabajo de tesis.

En esta sección se exponen los elementos teóricos más importantes que fundamentan los daños y costos a la salud pública y el medio ambiente por la contaminación de la atmosfera por centrales termoeléctricas.

Según EcuRed (2017) la primera central termoeléctrica fue construida por Sigmund Schuckert en la ciudad de Ettal en Baviera República Federal de Alemania y entró en funcionamiento en 1878. Las primeras centrales comerciales fueron la Central de Pearl Street en Nueva York y la Edison Electric Light Station, en Londres, que entraron en funcionamiento en 1882. Estas primeras centrales utilizaban motores de vapor de pistones. Con el descubrimiento de la Turbina a Vapor por Parsons (2018) en el año 1884 permitió construir centrales más grandes y eficientes por lo cual en el año 1905 la turbina de vapor había reemplazado completamente a los motores de vapor de pistones en las grandes centrales eléctricas. De allí en adelante la tecnología para generar electricidad a evolucionado en un espectro muy amplio y ha permitido el gran desarrollo tecnológico y social de la humanidad en el sentido que a la electricidad se le ha dado un sinnúmero de aplicaciones en todos los ámbitos de la vida tal como: la industria, el comercio, el transporte, la Ciencia, lo académico, las comunicaciones la sociedad, minería, etc.

Con la electricidad han surgido o se han creado nuevas tecnologías trascendentes para el desarrollo de la humanidad tal como el teléfono, la radio, los sistemas de refrigeración,

el transporte, las telecomunicaciones y servicios diversos, que permiten el progreso y mejora de la calidad de vida del ser humano. Se puede aseverar que en la actualidad es prácticamente imposible cuantificar en majestuoso impacto que este tipo de energía aporta al desarrollo científico, tecnológico y bienestar de la sociedad, sin embargo, tiene una incidencia directa en la salud y el medio ambiente debido a liberación de productos contaminantes y gases de efecto invernadero a la atmosfera.

Bases teóricas especializadas sobre el tema.

Enfoques teóricos sobre las tendencias de generación de electricidad para satisfacer necesidades actuales y de futuro.

La electricidad está ligada a la calidad de vida de la población, al desarrollo científico y tecnológico, de modo que no hay desarrollo sin electricidad ni electricidad sin desarrollo, hecho demostrado desde su descubrimiento y múltiples usos actuales. Sin embargo, desde hace algunas décadas atrás hay una preocupación permanente por la implicancia que tiene en el medio ambiente y la contaminación atmosférica.

Enfoque de optimización en la generación de electricidad en Sistemas

Eléctricos Interconectados.

La electricidad como servicio para la población de un país, región, provincia o ciudad, requiere de elementos operacionales bien definidos, como la generación, la transmisión y distribución, es decir se requiere construir sistemas de transmisión para interconectar plantas de generación de diferentes tipos, tecnologías, eficiencias, costos, etc., distribuir la electricidad a los usuarios con diferentes requerimientos, involucrando variables que necesitan ser optimizadas.

Métodos y técnicas elaboradas para la optimización de funcionamiento de sistemas eléctricos.

En la figura 2.1 se muestra los objetivos fundamentales que se persiguen con los sistemas eléctricos con centrales eléctricas térmicas, es decir los modelos y métodos deben maximizar la generación considerando costos mínimos y mínimas emisiones de productos contaminantes y de efecto invernadero.

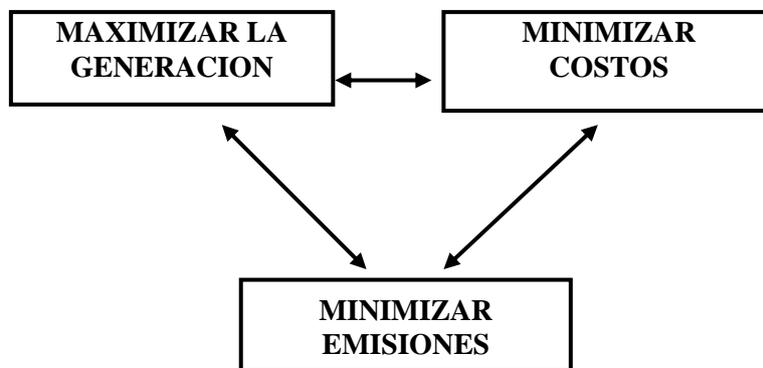


Figura 2.1: Aspectos fundamentales a considerar en la generación de electricidad con plantas térmicas.

Marco Conceptual

Considerando que la epistemología se conceptúa como la **teoría del conocimiento** y estudia la aparición y el desarrollo del conocimiento humano, así como la generalización de los resultados más importantes del conocimiento científico, en el presente trabajo de tesis se propone desarrollar una investigación innovadora, en el ámbito de proteger la salud humana y conservación del medio ambiente. Aquí se hace un breve resumen en el marco de situar epistemológicamente el presente trabajo de tesis.

El avance de la Ciencia a lo largo de la historia está marcado por grandes revoluciones, producidas principalmente por el hallazgo o explicación de sucesos naturales, la formulación de teorías y el desarrollo de nuevas tecnologías. Normalmente, estos grandes saltos están asociados a nombres como Aristóteles, Pitágoras, Galileo, Newton, etc., pero hay que reconocer que, sin menosprecio de estos genios de la humanidad, sus descubrimientos o teorías fueron también fruto de la cultura y del ambiente científico de su época. Asimismo, no podemos olvidar la influencia que han tenido y tienen las corrientes filosóficas y religiones en las distintas civilizaciones; por otra parte, muchas personas piensan que cada paso dado por la ciencia sitúa al ser humano más cerca de dichas ideas filosóficas.

A partir del siglo XVI el desarrollo de la ciencia genera grandes controversias al interior de la misma y avanza hasta la actualidad que se plantea el desarrollo del conocimiento en el contexto de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS). **Augusto Comte** (1798-1857) Filósofo francés, fundador de la escuela positivista. La aversión a las especulaciones metafísicas y a la búsqueda de las causas primeras, permitió concebir al mundo como un sistema rigurosamente sometido a leyes, y quiso hacer de la ciencia una religión. A partir de Descartes, el mundo de los fenómenos exteriores había comenzado a ser objeto de una rigurosa disciplina científica; pero el mundo del hombre mismo y de las relaciones con sus semejantes seguía abandonado a las especulaciones metafísicas y teológicas. Comte se propuso hacer comprender que hay leyes tan precisas para la evolución de la especie humana como para la caída de una piedra. En esa forma se daría una tercera etapa del desarrollo del pensamiento humano. La primera había sido la teología; la segunda la metafísica que recurría a nociones abstractas, olvidando la realidad misma de los hechos; la tercera la positiva, superaría esos dos estadios, y daría

a los hombres el conocimiento científico de los hechos. La filosofía positiva se proponía estudiar la índole de las ciencias teórica abstracta, clasificada en el orden; matemática, astronomía, física, química, biología, sociología. Era un orden cronológico, de generalidad decreciente y de complicación creciente; cada una de ellas exigía la anterior. Se advertía de ese orden un progreso, nociones que según Comte la antigüedad había considerado inconciliables y que la civilización moderna ha convertido en condiciones de todo el sistema, en particular político; esa es la única manera de superar en todos los órdenes la anarquía y la reacción. Esas dos nociones que constituyen el lema del positivismo, traducen los aspectos estático y dinámico de todos los hechos. Estos dos tipos de leyes también rigen para la humanidad, hay una estática social y una dinámica social, que son como la anatomía y la fisiología de los seres vivos. Los métodos del positivismo estuvieron en auge hasta bien entrado el siglo XX; tanto en Europa como en América.

Según Augusto Comte, fundador del positivismo, toda evolución del espíritu humano logra alcanzar una fase que él llama estado positivo o científico.

Karl Raimund Popper: Filósofo Austriaco, ha sido vinculado al neopositivismo. Popper estremeció muchos de los conceptos acerca de ciencia propuestos por el círculo de Viena; substituyó el principio de verificación, que es el principio de significación, por el principio de falsación, que es un criterio de demarcación entre ciencia y no ciencia. Remplazó a la criticable teoría de la inducción por el método deductivo de la prueba. Reinterpreto la probabilidad y sostuvo que las mejores teorías científicas en la medida que explican más y puedan controlarse mejor, son las menos probables.

Thomas S. Kuhn: Divide claramente la historia de la epistemología en dos períodos diametralmente diferentes, es necesario reconocer que con sus ideas se consagra en el escenario intelectual la tesis de que la ciencia es un hecho social y que resulta incomprensible sin el manejo de categorías de esa índole. El propio Kuhn cuenta que, de haber re-escrito "La Estructura de las Revoluciones Científicas" (Su obra más famosa), no se habría centrado en el concepto de "paradigma" sino en el de "comunidad científica" de Sánchez-Cerezo de la Fuente (2017).

Imre Lakatos, a juicio de Lakatos, en toda investigación científica se encuentran anomalías, pero la actitud del científico, normalmente es pasarlas por alto concentrándose en las posibilidades que le ofrece la heurística positiva de su investigación, confiando que más adelante, a la luz de nuevos descubrimientos, las incongruencias se aclararán. En consecuencia, aceptando la evidencia histórica, Lakatos se propone construir un modelo de evaluación de la ciencia que sea compatible con la ciencia real, la exigencia de elaborar un modelo de ciencia que debe ser congruente con la práctica real, al mismo tiempo ofrezca una solución racionalmente consistente al problema, esto es; proporcione un criterio para dirimir cuando se está en presencia de una teoría científica y cuando es sólo pseudociencia. (Lakatos, 1989)

La **epistemología contemporánea** se consolidó al inicio del siglo XX con la formación del Círculo de Viena. Ello significó un primer desarrollo unitario de la disciplina en torno a la hegemonía de la categoría lógica como análisis filosófico de la ciencia. A partir de la década de 1960, aquel primer consenso se vio en alguna medida agotado tanto por sus propios problemas como por la crítica a la que lo sometió la emergente filosofía generada por Toulmin, Hanson y Kuhn, la que se constituyó como un nuevo

consenso, menos nítido que el primero, pero de consecuencias más vastas.

Hoy en día la disciplina epistemológica no es sustentada por ningún consenso sino más bien consiste en una especie de red heterogénea de temas problemas, enfoques, métodos y autores que conviven sin que exista hegemonía por parte de alguno de ellos. Esta nueva situación constituye un estado de dispersión, de fuerza y de liberalización. La imagen académica y social de la ciencia y la tecnología ha sufrido profundos cambios a lo largo del siglo pasado. La concepción clásica de la ciencia como conocimiento verdadero y libre de valores sobre la naturaleza quebró con las tesis de Kuhn, a partir de las cuales se instauró una tradición que rompe no sólo con la filosofía positivista, sino con la sociología mertoniana centrada en el análisis de la comunidad científica.

A partir de la crítica filosófica y cultural, se desemboca en las actuales propuestas de evaluación constructiva de tecnologías, con su énfasis en la necesidad de diseñar estrategias políticas que permitan el control democrático de la innovación, y en el aprendizaje social que admita la discusión de los supuestos implícitos en cada alternativa, de modo que las tecnologías sean un reflejo de decisiones conscientes al servicio de valores sociales y ambientales ampliamente compartidos.

A modo de primera aproximación, los estudios sobre ciencia, tecnología y sociedad (CTS), constituyen hoy un vigoroso campo de trabajo donde se trata de entender el fenómeno científico-tecnológico en contexto social, tanto en relación con sus condicionantes sociales como en lo que atañe a sus consecuencias sociales y ambientales.

El enfoque general CTS se origina hace tres décadas a partir de nuevas corrientes de investigación empírica en filosofía y sociología, y de un incremento en la sensibilidad social e institucional sobre la necesidad de una regulación pública del cambio científico-

tecnológico. La CTS define hoy un campo de trabajo bien consolidado institucionalmente en universidades, administraciones públicas y centros educativos de numerosos países.

La concepción clásica de las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad, todavía presente en buena medida en diversos ámbitos del mundo académico y en medios de divulgación, es una concepción esencialista y triunfalista. Puede resumirse en una simple ecuación:

$$+ \text{Ciencia} = + \text{tecnología} = + \text{riqueza} = + \text{bienestar social}$$

La ciencia sólo puede contribuir al mayor bienestar social si se olvida de la sociedad para buscar exclusivamente la verdad. Análogamente, sólo es posible que la tecnología pueda actuar de cadena transmisora en la mejora social si se respeta su autonomía, si se olvida de la sociedad para atender únicamente a un criterio interno de eficacia técnica. Ciencia y tecnología son presentadas, así como formas autónomas de la cultura, como actividades valorativamente neutrales, como una alianza heroica de conquista de la naturaleza.

El cambio académico de la imagen de la ciencia y la tecnología es un proceso que comienza en los años 70 y que hoy se halla en fase de intenso desarrollo. Se trata de los estudios CTS. La clave se encuentra en presentar la ciencia-tecnología no como un proceso o actividad autónoma que sigue una lógica interna de desarrollo en su funcionamiento óptimo, sino como un proceso o producto inherentemente social donde los elementos no técnicos (por ejemplo, valores morales, convicciones religiosas, intereses profesionales, presiones económicas, etc.) desempeñan un papel decisivo en su génesis y consolidación. La complejidad de los problemas abordados y su flexibilidad interpretativa desde distintos marcos teóricos, hacen necesaria la presencia de esos

elementos no técnicos bajo la forma de valores o de intereses contextuales. En otras palabras, el cambio científico-tecnológico no es visto como resultado de algo tan simple como una fuerza endógena, un método universal que garantice la objetividad de la ciencia y su acercamiento a la verdad, sino que constituye una compleja actividad humana, sin duda con un tremendo poder explicativo e instrumental, pero que tiene lugar en contextos sociopolíticos dados. En este sentido, el desarrollo científico-tecnológico no puede decirse que responda simplemente a cómo sea el mundo externo y el mundo de las necesidades sociales, pues esos mundos son en buena parte creados o interpretados mediante ese mismo desarrollo (López-Cerezo, 1999).

En el contexto epistemológico descrito este proyecto de tesis se sitúa en el marco de la Ciencia, Tecnología y Sociedad por cuanto se propone desarrollar un método para el manejo adecuado referente a los daños que causan la generación de electricidad con centrales térmicas, a la salud pública y el medio ambiente.

Hipótesis

La liberación de productos contaminantes y gases de efecto invernadero por las centrales eléctricas térmicas causan daños a la salud pública y el medio ambiente.

CAPITULO III

MÉTODO

1. Tipo

Según el propósito de la investigación, del análisis y el alcance de los resultados, la investigación es cuantitativo-descriptiva por cuanto las variables causales serán observadas cuantificadas y se evaluará el efecto en la salud pública y el medio ambiente, con la finalidad de velar por la salud humana y conservación del medio ambiente. La investigación también tiene parte explicativa por cuanto busca explicar por qué ocurre el efecto en función de la causa (Variación de la contaminación y concentración de contaminantes), así como su correlación entre las variables independientes y dependientes.

Según el tiempo de ocurrencia se tipifica como una investigación horizontal en el sentido que se tomarán datos existentes de las centrales eléctricas y en base a estos datos se realizará la cuantificación de la dispersión de contaminantes en la atmosfera y su concentración en la misma.

2. Diseño de investigación.

En esta sección se describe la manera de cómo se ha realizado el trabajo de investigación para verificar o negar la hipótesis. El diseño metodológico a seguido en el presente trabajo se muestra en la figura 3.1, cuyos contenidos y descripciones de lo

realizado se muestran en las secciones siguientes.

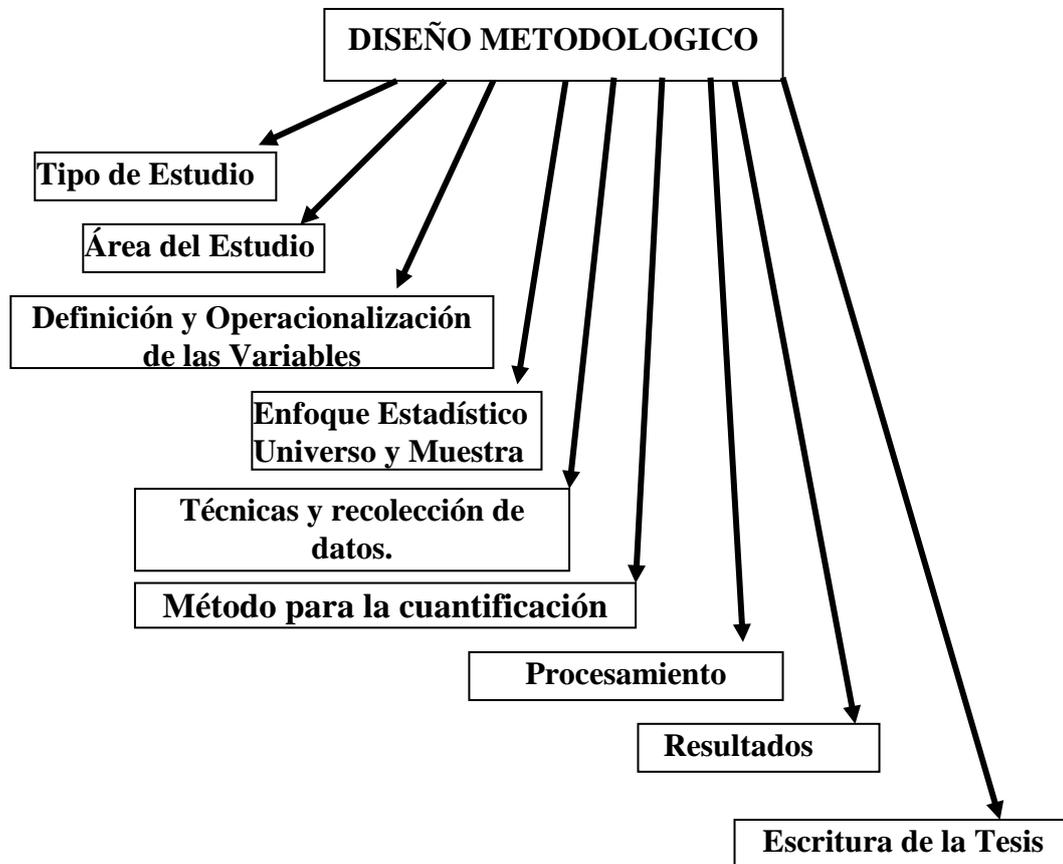


Figura 3.1: Esquema del diseño metodológico del presente trabajo de tesis

3. Estrategias de prueba de hipótesis

En este trabajo de tesis se verifica la hipótesis con datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), quien verifica que un número importante de personas que mueren anualmente de modo prematuro por efecto de la contaminación ambiental. Las emisiones de los gases liberados por las centrales térmicas de Chilca, están comprendidos en los gases que considera la OMS para determinar el daño de la contaminación a la salud pública.

4. Variables.

Variables independientes

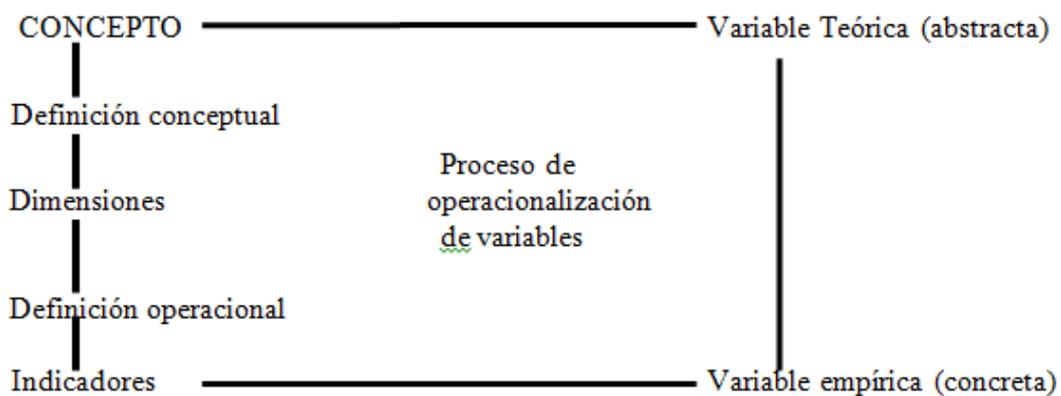
Gases contaminantes liberados por las centrales térmicas: NO_x, CO, SO₂, CH₄, CODM.

Variables dependientes.

- Costos a la salud pública producida por los gases contaminantes.
- Daños al medio ambiente por los gases contaminantes liberados por las centrales eléctricas térmicas.

Definición y operacionalización de las variables.

Considerando que la operacionalización de una variable, es el proceso de llevar una variable de un nivel abstracto a un plano más concreto, cuyo objetivo es precisar al máximo el significado que se le otorga a cada variable en un determinado estudio y a la vez explicar cómo se van a medir. Esquemáticamente el proceso de operacionalización de las variables para el presente trabajo de tesis se hace mediante el siguiente diagrama.



Variables intervinientes

Son variables que están relacionadas con las variables independientes y dependientes, para el presente trabajo de tesis, y son:

Condiciones meteorológicas: Velocidad del viento, temperatura, humedad.

Recurso energético: Tipo de materia prima o procesada capaz de liberar energía calórica en grandes cantidades por unidad de masa o volumen.

Consumo de combustible: Combustible que se quema para generar electricidad.

Costo a la salud pública: gasto generado a las personas para tratarse de enfermedades producidas por la contaminación del aire.

Daños al medio ambiente, daños a los sembríos y vegetación debido a la contaminación ambiental.

Unidad de energía eléctrica: cantidad de electricidad en una unidad de tiempo (KWh).

Contaminación ambiental: Alteración de la composición del medio ambiente con agentes que lo deterioran y es perjudicial para la salud humana.

Gases de efecto invernadero: Son gases que producen el calentamiento global de la Tierra. **Software de cálculo para cuantificar las emisiones y difusión de los gases contaminantes en la atmosfera:** Conjunto de programas de computadora basados en teorías y modelos teóricos que permita realizar la cuantificación de gases contaminantes por unidad de masa o volumen en la atmosfera

Programa: Conjunto de argumentos o instrucciones para la computadora, almacenados en la memoria primaria de la computadora junto con los datos requeridos para ser ejecutados.

Algoritmo: Conjunto de instrucciones para resolver un problema.

Modelos Computacionales: Modelos elaborados para ser procesados por una computadora con fines de optimizar sistemas eléctricos interconectados.

Operacionalización de las variables dependientes.

En el cuadro 3.1 se muestra la operacionalización de las variables dependientes. Se ha considerado la variable, definición conceptual, definición operacional y los indicadores

para medir las variables.

Cuadro 3.1

Operacionalización de las variables dependientes

| VARIABLE | Definición Conceptual | Definición operacional | Indicadores |
|--|--|---|--|
| Costos a la salud pública por la contaminación atmosférica | Valor monetario que cuesta a las personas para curar enfermedades debido a la contaminación atmosférica. | Costos de consultas, medicamentos tiempo, entre otros, incurridos para obtener el costo total causado a la salud de las personas. | Soles gastados por persona para cuidar su salud (Soles/Persona) |
| Daños al medio ambiente | Deterioro de la vegetación, sembríos etc. debido a la contaminación del medio ambiente. | Disminución en las cosechas, forrajes en mal estado para el ganado. | Número de Kg. perdidos en las cosechas, pérdida de ganado (Soles /hectárea de sembrío) |

Operacionalización de la variable independiente

En el cuadro 3.2 se muestra la operacionalización de la variable independiente con las mismas consideraciones que se ha tenido para las variables dependientes.

Cuadro 3.2

Operacionalización de la variable independiente.

| VARIABLE | Definición Conceptual | Definición operacional | Indicadores |
|---|--|--|--|
| Liberación de gases contaminantes por las centrales eléctricas térmicas | Proceso de producción de los gases contaminantes en la combustión de combustibles en las centrales eléctricas para generar electricidad. | Producción de gases contaminantes en las centrales eléctricas térmicas | Kg de contaminantes producidos por las centrales eléctricas térmicas |

5. Población.

Se ha seleccionado centrales térmicas que funcionan con combustible Gas natural. En este aspecto el comportamiento estadístico no es determinante debido a que las emisiones dependen fundamentalmente de la central y tipo de combustible más no de un comportamiento aleatorio de las centrales.

6. Muestra.

El Perú tiene su sistema eléctrico compuesto por centrales hidroeléctricas, centrales térmicas, centrales eólicas, centrales solares y centrales de biomasa. Así mismo estas centrales pertenecen a diferentes empresas estatales y privadas. En la figura 3.2 se muestra la generación de electricidad por empresa (COES; 2018). De la generación total para octubre del año 2018 fue de 294095,19 MWh, en la figura 3.2 se muestra la generación en tanto por ciento por empresa, siendo la empresa estatal ELECTROPERU con mayor generación.

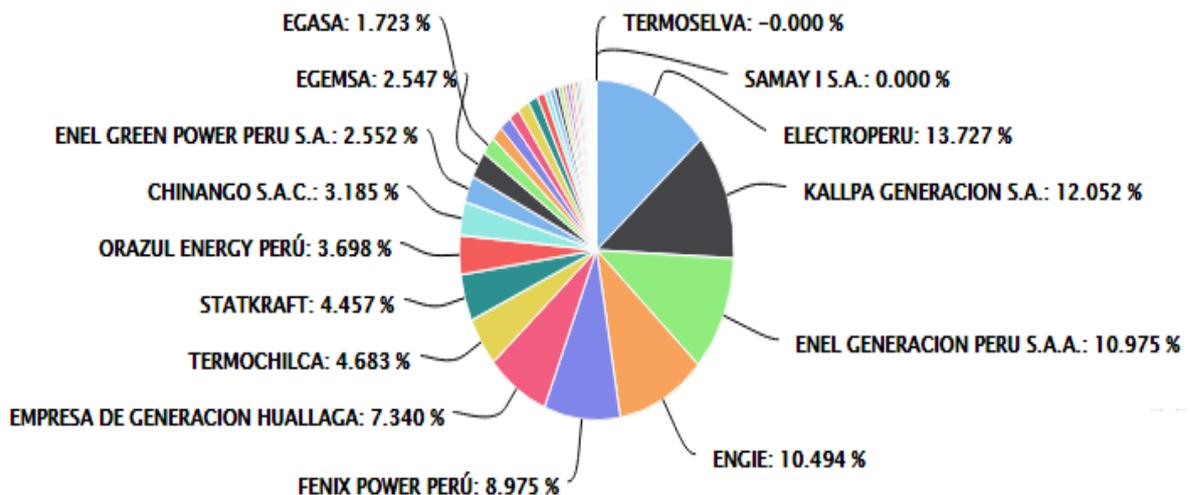


Figura 3.2: Aporte porcentual de la generación eléctrica para el 25 de octubre de 2018
Fuente: (COES; 2018)

En la tabla 3.1 se muestran las centrales eléctricas del sistema eléctrico nacional por empresa y la generación que produce cada una de las empresas que alcanzó un total nacional de **280626,68 MWh** para el 25 de octubre de 2018 (COES, 2018).

En la figura 3.3 se muestra el mapa peruano con el sistema eléctrico interconectado, se aprecia que las centrales hidroeléctricas y las centrales térmicas están distribuidas en todo el país ya sea en el sistema interconectado o en los sistemas aislados. Para la valoración económica sobre los impactos en la salud humana y el medio ambiente se ha seleccionado las centrales térmicas más grandes del sistema las cuales están ubicadas en el Distrito de Chila a una distancia aproximada de 60 Km al sur de la Ciudad de Lima.

Por las condiciones meteorológicas las emisiones de las centrales térmicas del complejo Chilca en la mayor parte de tiempo se dirige a la ciudad de Lima afectando a la población Limeña, hecho por el cual se ha considerado dichas centrales para la evaluación económica a la salud pública y daño al medio ambiente en un área cuadrada de 200 Km de lado, teniendo como centro el complejo térmico de Chilca.

Tabla 3.1
Generación de electricidad por empresa (COES; 2018).

| Nº | Empresa | MWh |
|--------------|--|------------------|
| 1 | ENGIE | 45125,31 |
| 2 | ENEL GENERACION PERU S.A.A. | 37052,14 |
| 3 | ELECTROPERU | 33945,02 |
| 4 | FENIX POWER PERÚ | 26275,94 |
| 5 | EMPRESA DE GENERACION HUALLAGA | 12208,43 |
| 6 | KALLPA GENERACION S.A. | 15703,85 |
| 7 | ORAZUL ENERGY PERÚ | 14535,23 |
| 8 | TERMOCHILCA | 13934,74 |
| 9 | STATKRAFT S.A | 10024,69 |
| 10 | TERMOSELVA | 3976,09 |
| 11 | EGASA | 6850,37 |
| 12 | SAN GABAN | 7140,99 |
| 13 | EGEMSA | 6317,91 |
| 14 | CHINANGO S.A.C. | 5959,26 |
| 15 | ENEL GREEN POWER PERU S.A. | 5544,50 |
| 16 | ENEL GENERACION PIURA S.A. | 3646,93 |
| 17 | INLAND ENERGY SAC | 3339,44 |
| 18 | CELEPSA | 3156,86 |
| 19 | ENERGÍA EÓLICA S.A. | 2380,12 |
| 20 | PARQUE EOLICO TRES HERMANAS S.A.C. | 1965,40 |
| 21 | EMPRESA DE GENERACION HUANZA | 2234,21 |
| 22 | EGESUR | 1576,16 |
| 23 | GENERADORA ENERGÍA DEL PERÚ | 1559,05 |
| 24 | EMPRESA DE GENERACION ELECTRICA DE JUNIN | 1457,91 |
| 25 | SDE PIURA | 1325,75 |
| 26 | SDF ENERGIA | 1271,27 |
| 27 | UNION ANDINA DE CEMENTO | 930,54 |
| 28 | EMPRESA DE GENERACION ELECTRICA SANTA ANA | 956,05 |
| 29 | CELEPSA RENOVABLES S.R.L. | 912,09 |
| 30 | HIDROELECTRICA SANTA CRUZ | 810,53 |
| 31 | HUAURA POWER GROUP S.A. | 841,06 |
| 32 | HIDROELECTRICA HUANHOR S.A.C. | 808,66 |
| 33 | EMPRESA ELECTRICA RIO DOBLE | 751,07 |
| 34 | PARQUE EOLICO MARCONA S.R.L. | 614,23 |
| 35 | SHOUGESA | 53901,00 |
| 36 | SINERSA | 503,41 |
| 37 | AGRO INDUSTRIAL PARAMONGA | 378,90 |
| 38 | ANDEAN POWER S.A.C. | 509,56 |
| 39 | AGUAS Y ENERGIA PERU | 485,52 |
| 40 | EMPRESA ELECTRICA AGUA AZUL | 465,92 |
| 41 | PANAMERICANA SOLAR SAC. | 316,68 |
| 42 | PETRAMAS | 353,63 |
| 43 | MOQUEGUA FV S.A.C. | 275,23 |
| 44 | ELECTRO ORIENTE | 296,34 |
| 45 | GTS MAJES S.A.C | 260,01 |
| 46 | GTS REPARTICION S.A.C. | 254,21 |
| 47 | TACNA SOLAR SAC. | 235,01 |
| 48 | EMPRESA DE GENERACION ELECTRICA CANCHAYLLO SAC | 179,56 |
| 49 | ELECTRICA YANAPAMPA SAC | 168,05 |
| 50 | HIDROCAÑETE S.A. | 150,27 |
| 51 | MAJA ENERGIA S.A.C. | 91,67 |
| 52 | ELECTRICA SANTA ROSA | 17,50 |
| 53 | HYDRO PATAPO S.A.C. | 14,40 |
| TOTAL | | 280626,68 |

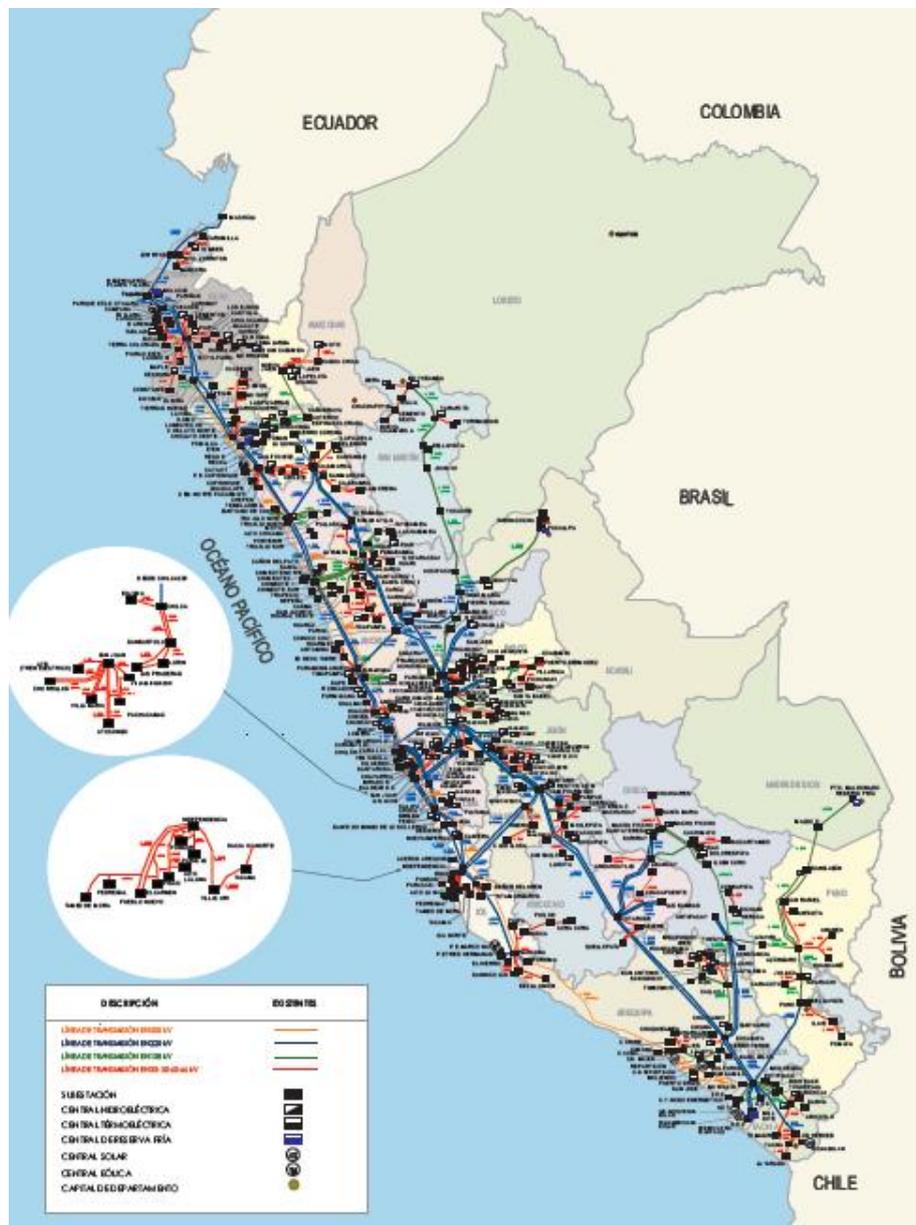


Figura 3.3: Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.
Fuente: (MINEM; 2016)

La **muestra** representativa se ha seleccionado considerando ciertos criterios sobre el universo y las características de las centrales eléctricas, como potencia, combustible que utilizan, eficiencia propia de la central, costos de la central, con la finalidad de encontrar las más representativas del Sistema. No se tomará el criterio aleatorio por cuanto puede

sesgar la investigación al salir centrales más pequeñas y no sean representativas desde el punto de vista de emisiones de contaminantes.

7. Técnicas de la investigación.

La investigación se basa en la información existente en las instituciones públicas, validadas por las mismas, no se ha sido necesario recolectar información de campo para realizar este trabajo.

Datos de las centrales eléctricas.

Los datos se han recolectados de las fuentes originales, de las empresas propietarias de las centrales, empresas publicadas y privadas, así como de las instituciones de competencia funcional del sector energía y medio ambiente.

Para el presente trabajo de tesis se ha seleccionado las centrales térmicas más grandes y de mayor aporte eléctrico al Sistema Interconectado Nacional como son las centrales térmicas a gas natural del complejo térmico de Chilca.

A continuación, se presentan las características más importantes de las centrales térmicas del complejo térmico de chilca que influyen en la valoración económica de la salud pública y daño al medio ambiente.

Central térmica KALLPA.

La central Térmica Kallpa tiene una potencia instalada total de 292.8 MW, se encuentra ubicada a 63.5 kilómetros al sur de Lima, en el distrito de Chilca, provincia de Cañete; sobre un área de 13.5 hectáreas, cerca al gasoducto que viene desde Camisea y llega hasta la ciudad de Lima, también está cerca de las líneas de transmisión del Sistema Eléctrico Interconectado (SEIN), en la figura 3.4 se muestra una fotografía de la central térmica de Kallpa



Figura 3.4: Central térmica Kallpa.
Fuente; (OSINERGMINa, 2018)

Central térmica Chilca UNO y Chila DOS.

La central térmica Chilca UNO está conformado por tres turbinas a gas con una potencia nominal de 185.0 MW. 185.0 MW, 193.0 MW respectivamente y una turbina a vapor ciclo combinado de potencia nominal 299.2 MW haciendo un total de 862.2 MW. La central usa el gas proveniente de Camisea para la generación eléctrica y mediante el aprovechamiento de la energía térmica remanente de los gases de combustión de las turbinas a gas de la CT Chilca 1 se utiliza para la turbina a vapor.

En la figura 3.5 se muestra la central térmica Chilca UNO, claramente se observan las tres chimeneas correspondientes a las turbinas de gas natural.



Figura 3.5: Central térmica Chilca UNO.

En la figura 3.6 se muestra las centrales térmicas Chila 1, Chilca 2 y Kallpa del complejo térmico Chilca. Estas centrales están muy próximas entre ellas. La C.T. Chilca 2 está compuesta por 2 unidades de 112,8 MW y se ubica al lado este de la C.T. Chilca 1. Con carta COES/D/DP-1285-2016 del 14.12.2016, el COES aprobó la puesta en operación de la central y desde las 00:00 horas del 16.12.2016 con una potencia efectiva total de 114,04 MW, la central Chilca 2 viene operando con regularidad hasta la actualidad.



Figura 3.6: Centrales térmicas Chilca 1, Chilca 2 y Kallpa
Fuente: (Engie Perú, 2018).

Central térmica las Flores.

En la figura 3.7 se presenta la central térmica Flores, la cual tiene una potencia de 195.5 MW. Esta central térmica está ubicada a una distancia de 2.5 Km de la Central Kallpa.

El 9 de mayo de 2008 se aprobó en junta general de socios de la construcción de la central térmica de generación a ciclo simple “Las Flores”, ubicada al sur de Lima en la provincia de Cañete (Chilca). En junio de 2008, EGENOR celebró un contrato llave en mano con la empresa Siemens, para la construcción de dicha central. El 12 de enero del 2009 se dio inicio a su construcción y fue inaugurada en mayo de 2010. La empresa generadora de electricidad Duke Energy, invirtió US\$ 110 millones en la construcción de la Central Térmica Las Flores, ubicada en la localidad de Chilca al sur de la ciudad de Lima. La central tiene una capacidad de 192.5 megavatios (MW) con gas natural y

permitirá proporcionar energía a un promedio de dos millones 248,400 peruanos (Duke Energy invirtió US\$ 110 millones en central termoeléctrica Las Flores, 2018).



Figura 3.7: Central térmica las Flores.

Fuente: (Duke Energy invirtió US\$ 110 millones en central termoeléctrica Las Flores, 2018)

Central térmica Fénix Power.

La central térmica Fénix viene apostando por una nueva estrategia comercial. La compañía, que fue adquirida en diciembre del 2015 por el consorcio energético chileno **Colbún**, buscará diversificar su matriz de generación eléctrica y ampliar su cartera de clientes libres (Fénix, 2018). Colbún, que tiene una fuerte presencia en el negocio de generación eléctrica en el centro y sur de Chile, adquirió junto a socios minoritarios una planta a gas natural de 570 megavatios a la sociedad peruana Fénix.

La eléctrica chilena tiene el control del 51 por ciento de la propiedad, en la zona de Chilca y que inició su operación comercial en diciembre del año pasado.

Además de Colbún, en la compra participaron una subsidiaria del fondo Abu Dhabi Investment Authority (ADIA), con el 36 por ciento de la propiedad, y el fondo de inversión de infraestructura peruano SIGMA, dueño del porcentaje restante. En la figura 3.8 se presenta la central térmica Fénix Power.



Figura 3.8: Central térmica Fénix Power.
Fuente: (Fénix, 2018)

Central térmica Santo Domingo de los Olleros.

Ubicada en el distrito de Chilca, 60 kilómetros al sur de Lima. El proyecto comprendió la instalación de una turbina a gas en ciclo simple de 197,6 MW de potencia instalada que opera con gas natural de Camisea. El Estudio de Impacto Ambiental fue aprobado por el Ministerio de Energía y Minas con R.D. N° 222- 2009-MEM/AAE. La conexión de la central al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) se realizó por medio de la Línea de alta tensión de 500 kV. Según OSINERGMINb (2018) el 19 de octubre de 2013 la Central Termoeléctrica Santo Domingo de los Olleros ingresó en Operación Comercial después de una inversión de 128,5 MM U\$. En mayo del año 2018 inauguró, como parte de su segunda etapa, y con una inversión de US\$ 180.5 millones, una nueva turbina Siemens, pero esta vez de vapor ciclo combinado de 100 MW.



Figura 3.9: Central térmica Santo Domingo de los Olleros.
Fuente: (OSINERGMINb; 2018)

Datos de las centrales del Complejo térmico Chilca

En la tabla 3.2 se muestran los datos de las centrales térmicas del complejo térmico de Chilca, que pertenecen a las empresas ENERSUR con un aporte de, 862 MW, KALLPA GENERACION con una potencia total de 1067 MW, FENIX POWER PERU con una potencia de 535 MW y la empresa TERMOCHILCA con una potencia total de 193 MW. En total el complejo Chilca tiene una potencia instalada de 2662.0 MW.

Tabla 3.2

Datos de las centrales del complejo térmico Chilca (OSIMERGMINc, 2018)

**GENERACIÓN TERMOELÉCTRICA INSTALADA EN LA LOCALIDAD DE CHILCA (NODO ENERGÉTICO DE CHILCA)
(CON GAS NATURAL)**

| Central | Empresa | Situación | Tipo | Unidades | Potencia Instalada (MW) | Participación en Potencia Inst. (%) | Puesta en Operación Comercial |
|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| C.T. CHILCA 1 | ENERSUR | En operación | Ciclo Simple | TG1: 185 MW | 862 | 32.4% | 11.12.2006 |
| | | En operación | | TG2: 185 MW | | | 09.07.2007 |
| | | En operación | | TG3: 193 MW | | | 02.08.2009 |
| | | En operación | Ciclo Combinado | TV: 299 MW | | | 15.11.2012 |
| C.T. KALLPA | KALLPA GENERACION | En operación | Ciclo Simple | TG1: 190 MW | 874 | 32.8% | 01.07.2007 |
| | | En operación | | TG2: 194 MW | | | 25.06.2009 |
| | | En operación | | TG3: 198 MW | | | 24.03.2010 |
| | | En operación | Ciclo Combinado | TV: 293 MW | | | 08.08.2012 |
| C.T. LAS FLORES | KALLPA GENERACIÓN (DUKE ENERGY) (*) | En operación | Ciclo Simple | TG1: 193 MW | 193 | 7.3% | 27.05.2010 |
| C.T. CHILCA (FÉNIX) | FENIX POWER PERU | Suspendido temporalmente (**) | Ciclo Simple | TG GT11: 173 MW | 535 | 20.1% | 03.04.2014(**) |
| | | En operación | | TG GT12: 173 MW | | | 03.04.2014 |
| | | En operación | Ciclo Combinado | TV10: 189 MW | | | 16.05.2014 |
| C.T. SANTO DOMINGO DE LOS OLLEROS | TERMOCHILCA | En operación | Ciclo Simple | TG1: 198 MW | 198 | 7.4% | 19.10.2013 |
| TOTAL | | | | | 2,662 | | |

Donde:

T.G. : Turbina a Gas

T.V : Turbina a Vapor

C.T. : Central Termoeléctrica

(*) KALLPA en el mes de diciembre 2013 comunicó que ha adquirido la C.T. Las Flores

(**) El COES suspendió la Operación Comercial de la Turbina a Gas GT11 hasta que opere el transformador de potencia respectivo (200 MVA - 18/500 kV)

En la figura 3.10 se muestra la proporción porcentual de potencia instalada de cada una de las empresas que constituyen el complejo térmico de Chilca. Siendo la empresa Kallpa la más grande con un aporte de 40.1 % de los 2662 MW. La empresa ENERSUR tiene un aporte de 32 %, la empresa Fénix Power Perú tiene un aporte de 20.1 % y finalmente la empresa Termo chilca tiene un aporte de 7.4 % (OSINERGMINc, 2018). Las centrales térmicas de Chila son las que generan el mayor de energía eléctrica para el Sistema Interconectado Nacional (SEIN) y la ubicación de 60 Km al sur de la ciudad de Lima hace que sea necesario la evaluación de la valoración económica que causan a la

población limeña, debido que las condiciones meteorológicas hacen que la mayor parte de los gases contaminantes lleguen a la ciudad de Lima.

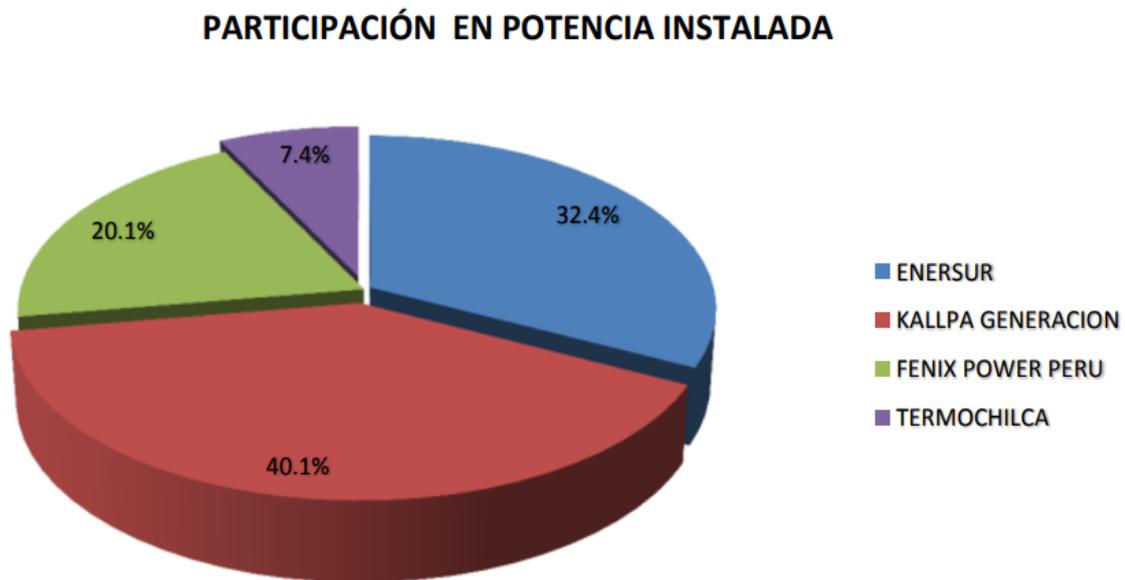


Figura 3.10: Participación porcentual de potencia instalada por empresa en el complejo Chilca.

Instrumentos de recolección de datos

Instrumentos y materiales.

Los instrumentos y materiales utilizados son:

- Las centrales eléctricas del Sistema Eléctrico Nacional.
- Centrales eléctricas térmicas del Sistema Interconectado Nacional (SEIN)
- Datos técnicos y específicos de las centrales térmicas del SEIN.
- Formatos para los datos específicos de las centrales térmicas del Complejo térmico del distrito de Chilca.
- Formatos o fichas para la consolidación de datos
- Tecnologías de la información Computarizada (TIC) para visión satelital de los mapas de interés.

- Medios magnéticos para el acopio de información
- Computadora con sus periféricos correspondientes.
- Software validado, teorías analizadas para el presente trabajo
- Software elaborado por otros autores u organizaciones internacionales.

Modelo computacional.

El modelo computación a ser utilizado tiene validez internacional y contiene curvas validadas de cuantificación de daños a la salud humana para diferentes edades y para diferentes grados de contaminación, así como tiempos de exposición. También considera los daños a las plantaciones, sembríos de diferentes variedades. En la figura 3.11 se presenta las etapas a seguir en proceso del trabajo de la presente investigación.

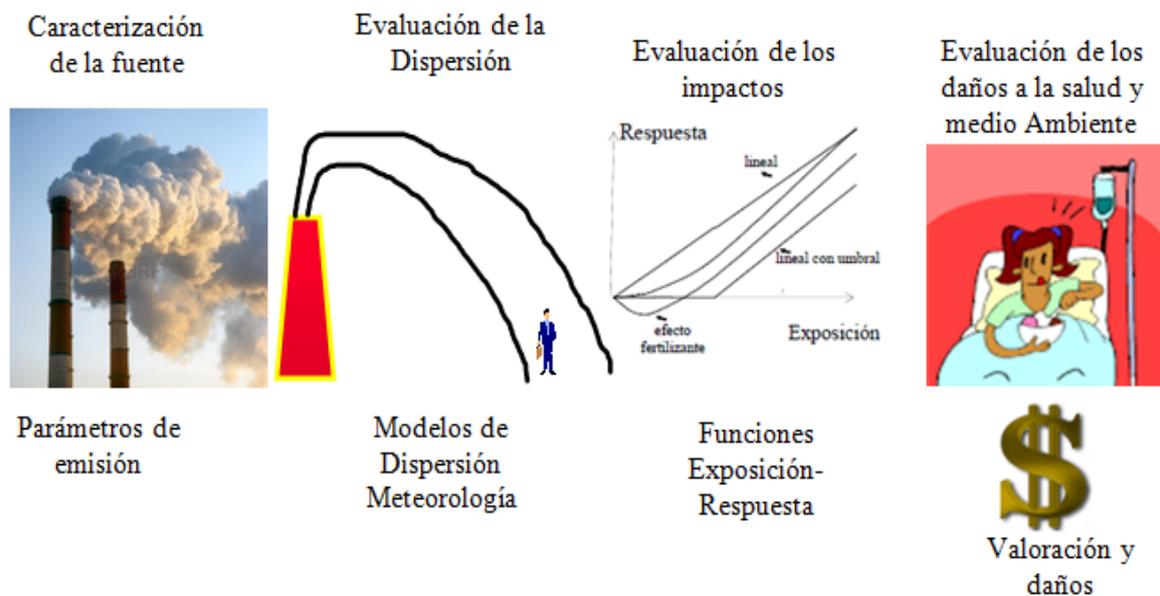


Figura 3.11: Etapas de ejecución del método

En la primera etapa consiste en obtener la información relativa a la fuente de emisión, como ubicación, sus coordenadas geográficas, características físicas y un inventario detallado de los contaminantes emitidos. Los parámetros de la fuente incluyen: el diámetro y la altura de la chimenea por la que se emiten los contaminantes, la temperatura, velocidad y flujo de los gases

de escape, así como el volumen de emisiones, que depende de la tecnología y del tipo de combustible empleado (Octaviano, 2011).

Modelo Físico-Matemático de Evaluación

Atmosfera

Capas y temperatura

La atmosfera terrestre en función de la altura se clasifica por capas como se muestra en la figura 3.12, la capa de la troposfera es en la cual se realizan las actividades humanas y está en contacto con la tierra alcanza una altura de 10 km luego le siguen las capas de la estratosfera, mesosfera y termosfera, así mismo en la figura 3.12 se observa el comportamiento de la temperatura en función de la altura, en la troposfera la temperatura decrece de modo continuo desde un promedio de 20 °C hasta – 40 °C en el límite superior de la troposfera.

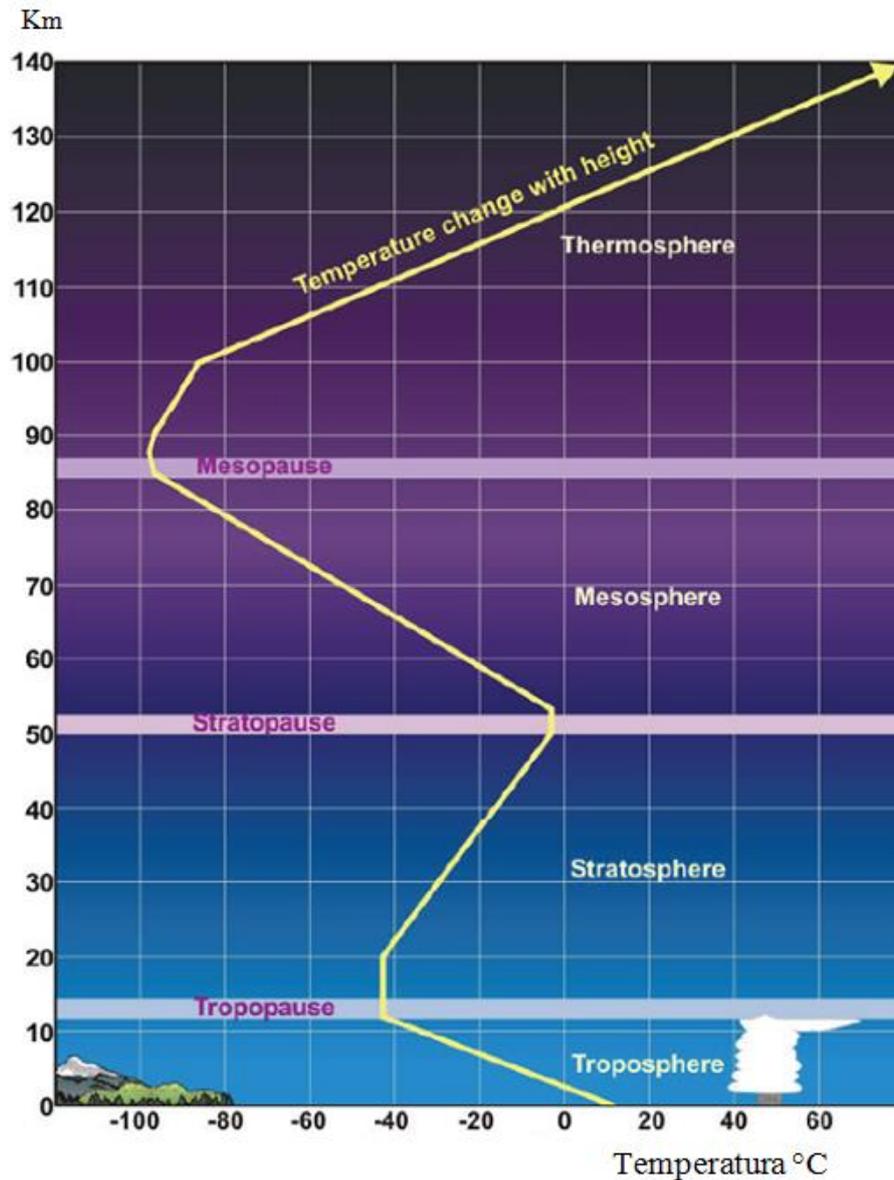


Figura 3.12: Capas de la atmósfera terrestre.
Fuente: (Nathan, 2001)

Presión

La atmósfera se considera generalmente como un gas ideal y por consiguiente obedece a la ley de los gases.

$$pV = nRT \quad (3.1)$$

Dónde:

V : volumen

N : número de moles

R : constante de los gases ($8,134 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$)

T : temperatura

P : presión

La densidad del aire está dada por; $\rho = \frac{M_{air} p}{RT}$ (3.2)

Dónde:

M_{air} : masa del aire (0.029 Kg Mol⁻¹)

ρ : densidad del aire (Kg m⁻³)

Del balance de fuerzas de masa en una capa de aire, el cambio de presión con la altura es dado por la ecuación (3.3)

$$\frac{dp(z)}{dz} = -\rho(z)g = -\frac{M_{air} g p(z)}{RT(z)} \quad (3.3)$$

Considerando que el cambio de temperatura es despreciable frente al cambio de la presión, se integra la expresión de la ecuación (3.3) obteniéndose la ecuación (3.4)

$$p(z) = p_0 \exp(-M_{air} gz/RT) = p_0 \exp(-z/H) \quad (3.4)$$

Dónde:

p_0 : presión a nivel de suelo.

H : $RT/M_{air} g$ es la escala de presión atmosférica de altura

(Varía entre 7 y 8 km)

Con la ecuación 3.4 se obtiene la variación de la presión con la altura. En la figura 3.13 se muestra la variación de la presión con la altura. La presión disminuye rápidamente con la altura, para una altura de 10 km, para presión es de 265 mb.

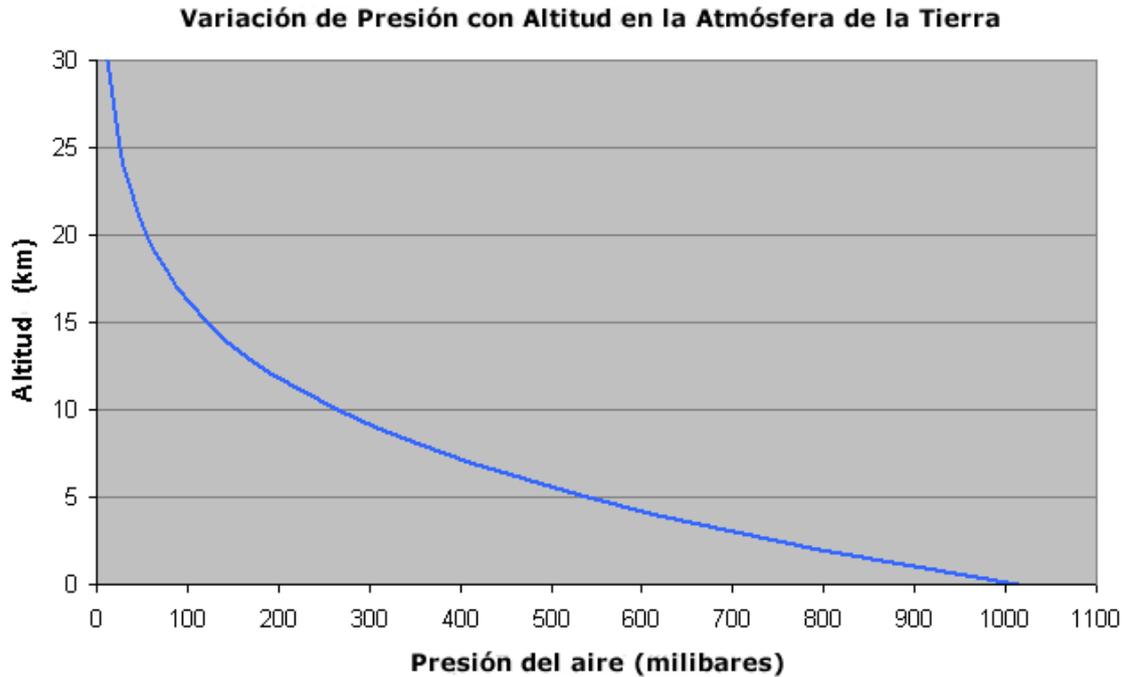


Figura 3.13: Variación de la presión con la altura.

Fuente: (Russell, 2018)

Modelo de dispersión atmosférica

Para formular el modelo de la dispersión atmosférica es necesario saber fundamentalmente la variación de la temperatura y la presión en función de la altura, tal como se puede observar en la figura 3.13 la temperatura disminuye en toda la troposfera a un mínimo en la tropopausa a un valor aproximado de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Siendo la tropopausa la capa en la cual deja de disminuir la temperatura ni aumenta en un espesor de capa aproximado de 2 Km, por encima de dicha altitud, la absorción de energía solar por el ozono estratosférico calienta la atmosfera, haciendo que la temperatura se incremente en la estratosfera, en tanto el ozono disminuye por encima de los 40 Km, la temperatura nuevamente disminuye.

Capa planetaria límite: Los cambios más importantes que afectan al medio ambiente y a la salud humana se realizan en la capa denominada, **Capa planetaria Limite** (“Planetary

Boundary Layer”: PBL), por ser la capa que está en contacto con la superficie de la Tierra y es en donde las emisiones gaseosas se dispersan. Por encima de la PBL se encuentra la troposfera casi libre de los procesos que ocurren cerca de la superficie de la Tierra y por consiguiente tiene efectos mínimos sobre el medio ambiente y la salud humana. La altura de la PBL está aproximadamente entre 1 a 2 km sobre la superficie de la tierra, dependiendo de la geografía de la superficie de la tierra. La altura de PBL cambia drásticamente durante las 24 horas del día, en concordancia con diferentes estaciones del año. En la figura 3.14 se muestra el comportamiento típico de la atmosfera en la capa PBL (PSU, 2018). Cuando la calefacción y la convección solar se hacen fuertes en las tardes la PBL está en su altura máxima. Cerca de la puesta del sol, la convección disminuye y la mezcla sobre la altura de la capa mixta convectiva cesa, por tanto, a medida que la superficie de la tierra se enfría, se forma una capa estable. La capa límite nocturna estable es típicamente de 5 a 10 veces más pequeña que la capa mixta convectiva. Por tanto, la capa nocturna estable es pequeña como se observa en la figura 3.14, la capa superior a la capa estable nocturna se denomina capa residual. Después de la salida del sol, la calefacción solar vuelve a incrementar la temperatura y nuevamente se forma la capa mixta.

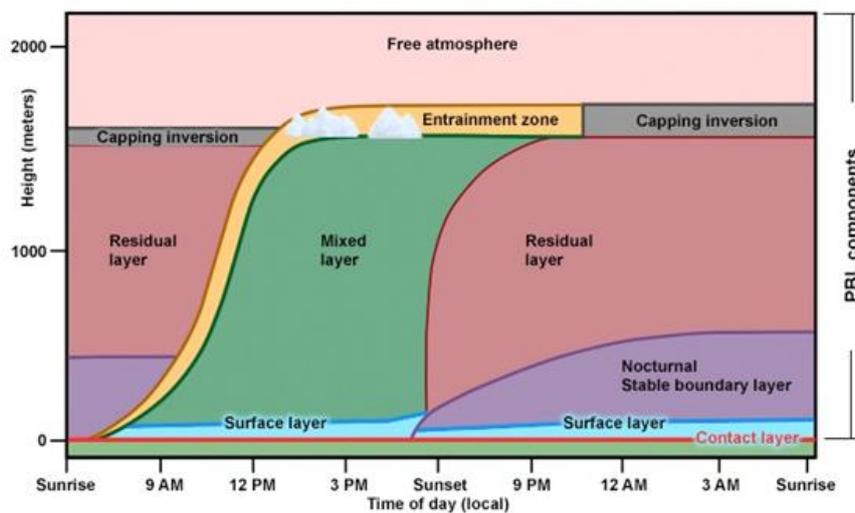


Figura 3.14: Comportamiento de la atmosfera en la PBL. Fuente: (PSU; 2018).

Distribución espacial-temporal de los gases contaminantes en la atmosfera: Los gases contaminantes de la atmosfera se muestran en tabla N° 3.4 (Gallardo, 2012). Se presenta datos con concentración a nivel de trazas en la atmosfera, la cual tiene una masa de aproximadamente $5.0 \cdot 10^{21}$ g y está constituida por los elementos que se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3

Concentración de contaminantes en la atmosfera (Gallardo, 2012)

| Constituyente atmosférico | Fórmula química | Razón de mezcla en volumen de aire seco |
|----------------------------|----------------------------------|---|
| Nitrógeno | N ₂ | 78.084% |
| Oxígeno | O ₂ | 20.948% |
| Argón | Ar | 0.934% |
| Dióxido de carbono | CO ₂ | 360 ppm |
| Neón | Ne | 18.18 ppm |
| Helio | He | 5.24 ppm |
| Metano | CH ₄ | 1.7 ppm |
| Hidrógeno | H ₂ | 0.55 ppm |
| Óxido nitroso | N ₂ O | 310 ppb |
| Monóxido de carbono | CO | 50-200 ppb |
| Ozono (Tropósfera) | O ₃ | 10-500 ppb |
| Ozono (Estratósfera) | | 0.5-10 ppm |
| Hidrocarburos no metánicos | | 5-20 ppb |
| Halocarbonos | | 3.8 ppb |
| Óxidos de nitrógeno | NO _x | 10 ppt-1 ppm |
| Amonio | NH ₃ | 10 ppt-1ppb |
| Nitrato particulado | NO ₃ ⁻ | 10 ppt-10 ppb |
| Amoniaco particulado | NH ₄ ⁺ | 10 ppt-1ppb |
| Hidroxiilo | OH | 0.1 ppt- 10 ppt |
| Peróxiilo | HO ₂ | 0.1 ppt- 10 ppt |
| Peróxido de hidrógeno | H ₂ O ₂ | 0.1 ppb- 10 ppb |
| Formaldehido | CH ₂ O | 0.1-1 ppb |
| Dióxido de azufre | SO ₂ | 10 ppt-1 ppb |
| Dimetil sulfuro | CH ₃ SCH ₃ | 10-100 ppt |
| Carbonildisulfuro | CS ₂ | 1-300 ppt |
| Carbonil sulfuro | OCS | 500 ppt |
| Ácido sulfhídrico | H ₂ S | 5-500 ppt |
| Sulfato particulado | SO ₄ ⁻² | 10 ppt-10 ppb |

Datos: ppm= 10^{-6} ; ppb = 10^{-9} ; ppt = 10^{-12} .

En la figura 3.15 se muestran las escalas de tiempo y espacio para algunos elementos contaminantes de la atmosfera, en general los elementos contaminantes tienen variadas vidas o tiempos de duración en la atmosfera, en función del tiempo de duración se distribuyen en la atmosfera los elementos con tiempos de duración larga se distribuyen más homogéneamente en la atmosfera, en tanto que los elementos con tiempo de duración corto se distribuyen de modo heterogéneo y desaparecen más pronto. Situación hace más complicado su modelación y determinación de la concentración en la atmosfera.

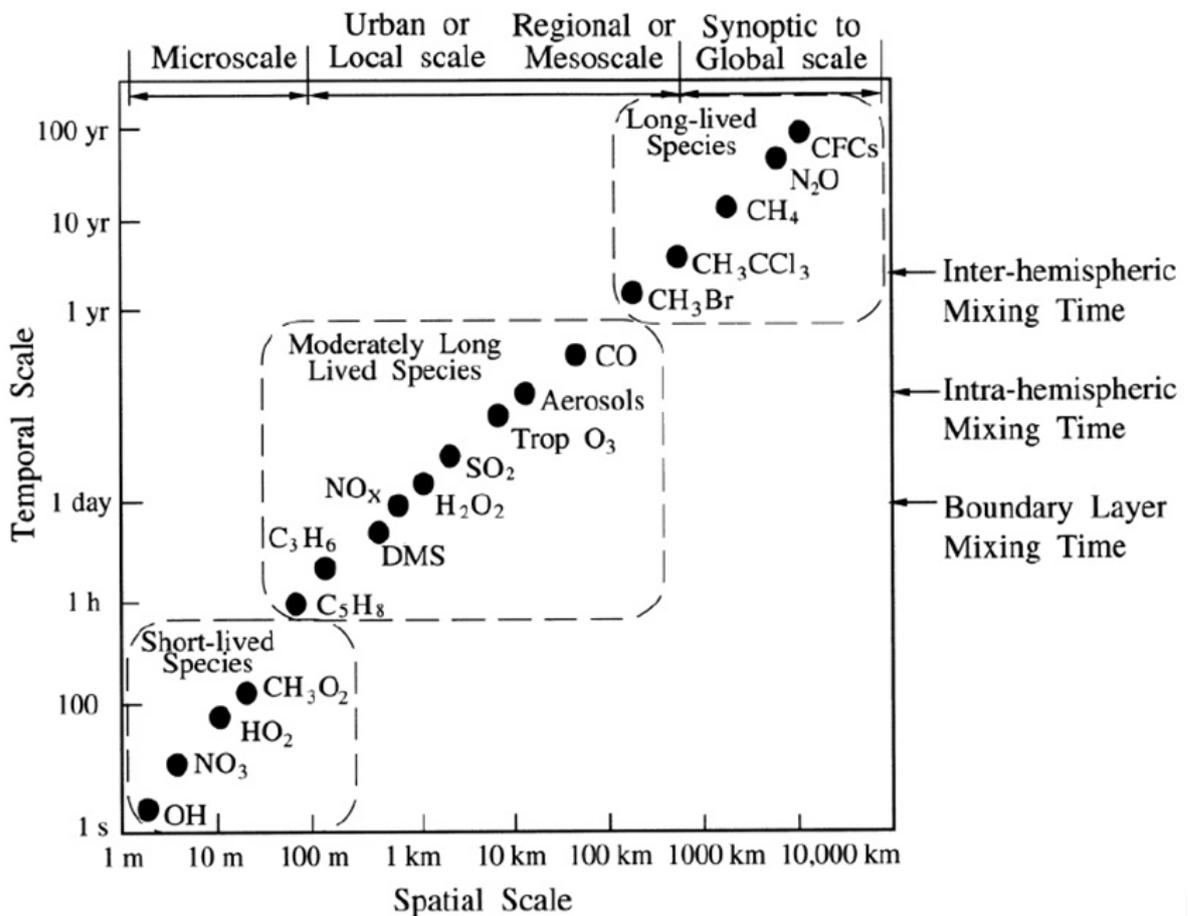


Figura 3.15: Escalas de distribución temporal y espacial de contaminantes en la atmosfera.

Fuente: (Gallardo, 2012)

Datos requeridos

Todos los modelos que evalúan la contaminación del aire persiguen el mismo objetivo, que es predecir la concentración de los contaminantes en la región de interés. Para ello los modelos requieren información meteorológica y de emisiones de las fuentes que se evalúan. Las especificaciones de las fuentes, como las centrales eléctricas térmicas se requieren conocer las características físicas de la chimenea y las condiciones termodinámicas de la salida de los gases por la chimenea.

La meteorología es una información fundamental para calcular la dispersión de los contaminantes en el aire, es un factor primario que determina el efecto de dispersión en la atmósfera. La concentración de contaminantes a niveles bajos próximos a la superficie de la superficie terrestre es esencialmente controlada por dos elementos meteorológicos: la dirección y velocidad del viento (transporte por advección), la turbulencia y la altura de mezclado (difusión turbulenta).

Para las emisiones de fuentes fijas es recomendable la medición directa en las chimeneas para conocer con precisión el tipo y la cantidad de emisiones contaminantes de la fuente a ser evaluada. Estos datos permiten calcular las emisiones totales del contaminante por hora y así obtener el inventario de las emisiones que refleje la variación de las emisiones a lo largo de un día, un mes o un año.

Modelo físico-matemático de la dispersión de contaminantes en la Atmósfera

En la atmósfera neutral y estable la dispersión se produce por difusión, mientras que en condiciones inestables predomina el proceso de transporte turbulento. Las condiciones de estabilidad de la atmósfera y la altura de mezcla tienen un importante efecto en las concentraciones de los contaminantes en la atmósfera. Los movimientos verticales y

horizontales del aire influyen en el comportamiento de las plumas de fuentes fijas que liberan contaminantes por las chimeneas.

Tipos de Plumas: Los diferentes tipos de plumas se producen por las condiciones meteorológicas en la atmosfera, las que se clasifican como: pluma de espiral de la figura 3.16 se produce en condiciones muy inestables debido a la turbulencia causada por el acelerado movimiento del aire.

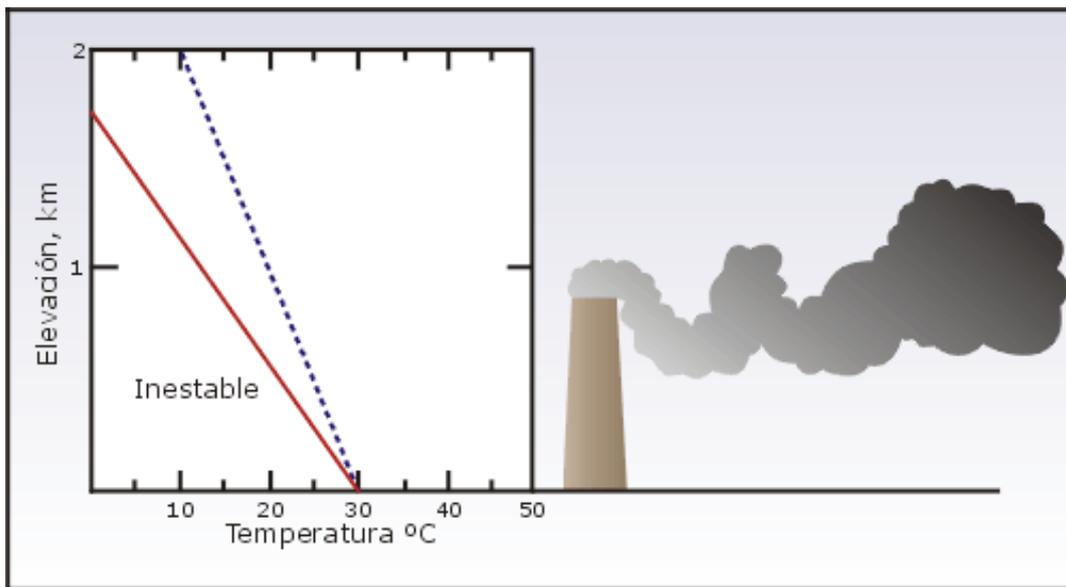


Figura 3.16: Pluma espiral
Fuente: (PAHO, 2018).

En la figura 3.17 se muestra la pluma de abanico, la cual se produce en condiciones estables de la atmosfera. El gradiente de inversión térmica inhibe el movimiento vertical de la masa atmosférica sin impedir el movimiento horizontal, por tanto y la pluma se puede extender horizontalmente por varios kilómetros de la fuente. Las plumas de abanico ocurren con frecuencia en las primeras horas de la mañana durante la inversión térmica.

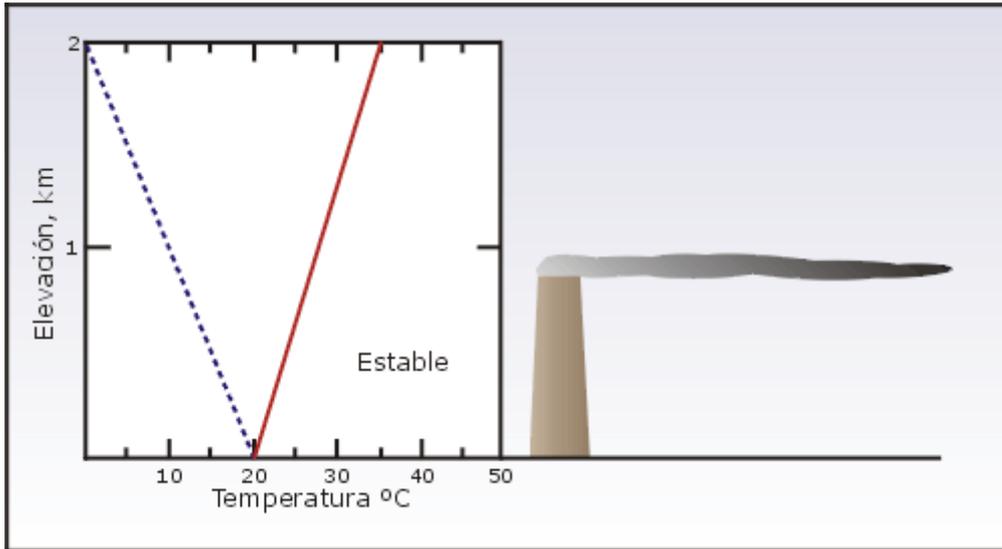


Figura 3.17: Pluma abanico
Fuente: (PAHO, 2018).

En la figura 3.18 se muestra la pluma cono, la cual se forma cuando las condiciones atmosféricas son neutrales o ligeramente estables. Este tipo de pluma se produce en días nublados entre la interrupción de una inversión térmica por radiación y el desarrollo de condiciones inestables.

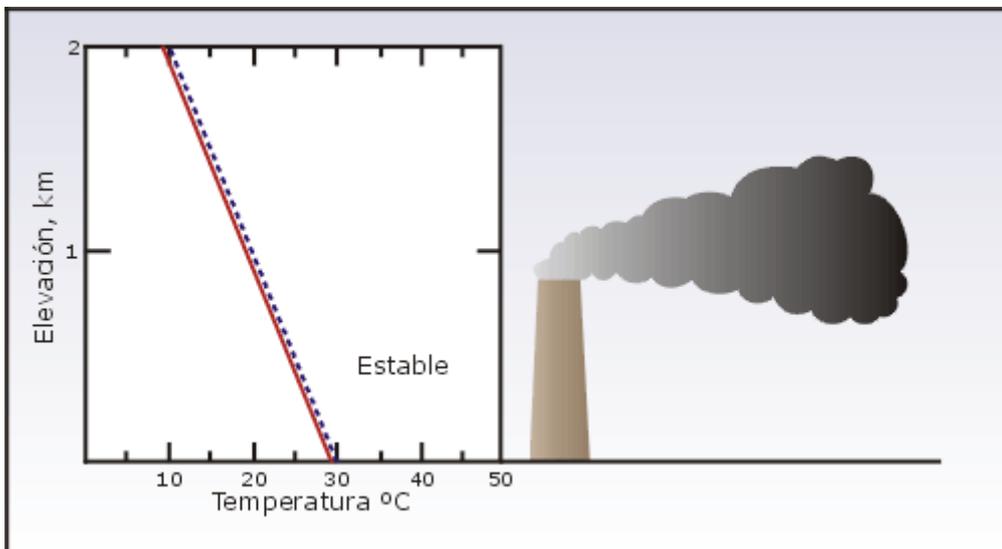


Figura 3.18 Pluma cono.
Fuente: (PAHO, 2018).

En la figura 3.19 se presenta la pluma tipo fumigación, la cual se produce debajo de una capa atmosférica de inversión, es un tipo de pluma de grave situación para los vivientes en el espacio bajo dicha pluma. Los contaminantes se transportan hacia abajo hasta llegar al suelo, por lo tanto, las concentraciones de contaminantes en el nivel del suelo pueden ser muy altas cuando se produce este tipo de fumigación.

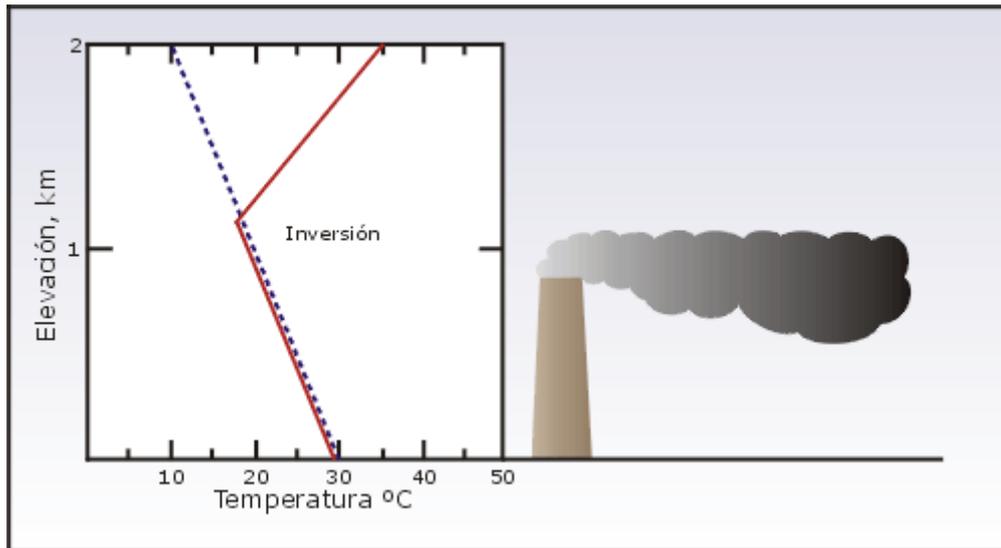


Figura 3.19: Pluma fumigación.

Fuente: (PAHO, 2018).

En la figura 3.20 se muestra la pluma tipo balcón, la cual se produce cuando las condiciones son inestables por sobre una inversión térmica, la contaminación de la pluma se produce a distancias muy largas de la fuente o en lugares geográficos elevados sobre el nivel mar, pero en proximidades de la fuente no se produce una concentración notoria de contaminantes.

Los elementos contaminantes debido a las centrales eléctricas térmicas liderados por las chimeneas ingresan a la atmósfera de diversas maneras, como se puede observar en las diferentes plumas. Haciendo notar si bien es cierto todas las chimeneas son iguales, sin embargo, las chimeneas más altas dispersan mejor los contaminantes que las chimeneas

más pequeñas debido a que la pluma tiene que viajar a través de la atmosférica más alta antes de llegar al suelo.

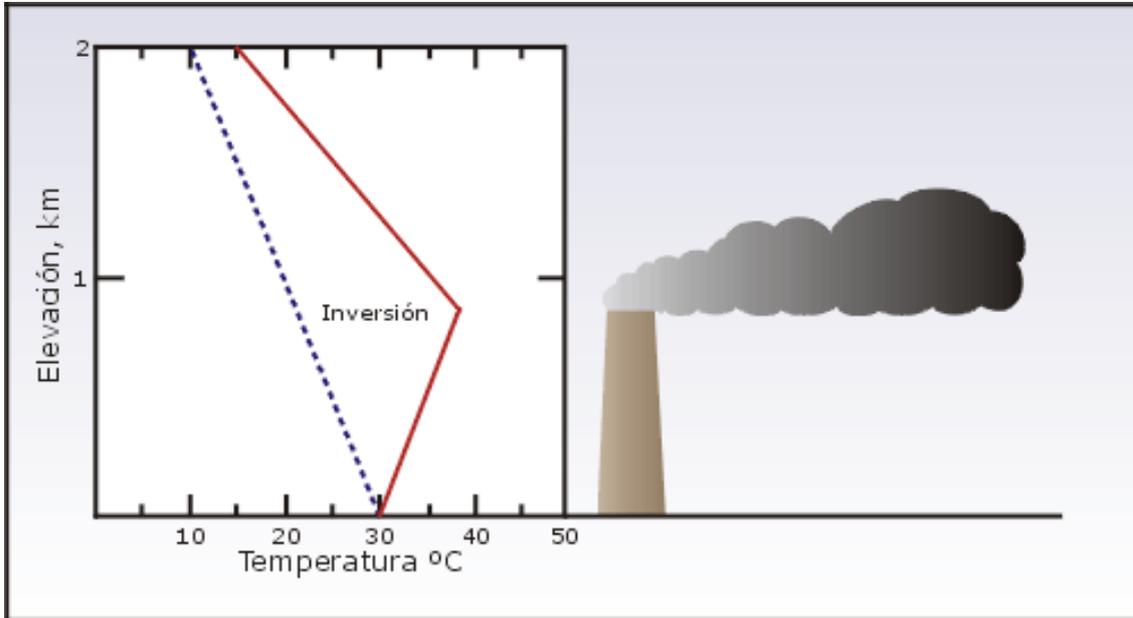


Figura 3.20: Pluma Balcón.

Fuente: (PAHO, 2018).

La altura de la pluma, conocida como altura efectiva de chimenea (H), es la suma de la altura física de la chimenea (h_s) y la elevación de la pluma (D_h). En consecuencia, la elevación efectiva de la pluma se determina a partir de la superficie del suelo hasta la línea central imaginaria de la pluma. En la figura 3.21 se muestra la elevación de la pluma. La diferencia de temperatura entre el gas a la salida de la chimenea (T_s) y la temperatura del aire ambiental (T_a) determina la densidad de la pluma, que influye en su elevación de la pluma. Así mismo la velocidad de los gases a la salida por la chimenea y el diámetro de la chimenea y de la tasa volumétrica del flujo de los gases liberados por la chimenea determina el momentum de la pluma.

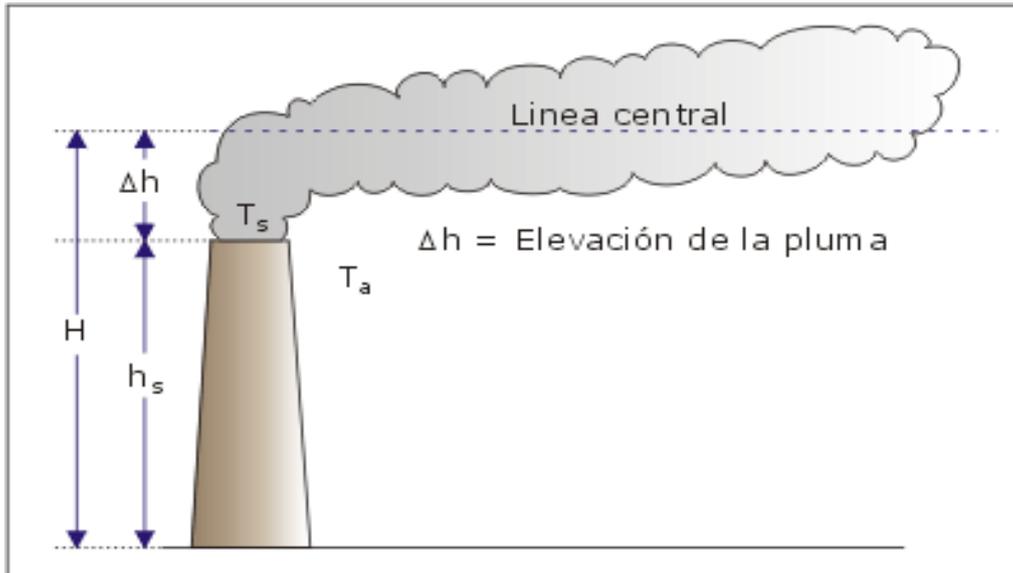


Figura 3.21: Altura efectiva de la pluma.
Fuente: (PAHO, 2018).

La elevación de las plumas ha sido tema de estudio durante muchos años. Una fórmula muy utilizada para calcular elevación de la pluma es la ecuación 3.5 y la flotabilidad de la pluma por la ecuación 3.6. (PAHO, 2018).

$$\Delta h = \frac{1,6 F^{1/3} x^{2/3}}{\bar{u}} \quad (3.5)$$

$$\text{Flujo de flotabilidad} = F = \frac{g}{\pi} V \left(\frac{T_s - T_a}{T_s} \right) \quad (3.6)$$

Dónde:

Δh : Elevación de la pluma

F : Flujo de flotabilidad

\bar{u} : Velocidad promedio del viento

x : Distancia a sotavento de la chimenea/fuente

g : Aceleración debido a la gravedad (9,8 m/s²)

V : Tasa volumétrica del flujo del gas de la chimenea

T_s : Temperatura del gas de la chimenea

T_a : Temperatura del aire ambiental

Modelos de dispersión: Los modelos de dispersión del aire consisten en un grupo de ecuaciones matemáticas que permiten interpretar y predecir las concentraciones de contaminantes liberados por las chimeneas de las fuentes fijas. Estos modelos responden a las diferentes condiciones meteorológicas, incluidos los factores relacionados con la temperatura, la velocidad del viento, la estabilidad y la topografía geográfica. Según PAHO (2018), existen cuatro tipos de modelos genéricos principales para evaluar la dispersión atmosférica: Modelo gaussiano, modelo numérico, modelo estadístico y modelo físico. Los modelos gaussianos emplean la ecuación de distribución gaussiana y son ampliamente usados para estimar el impacto de contaminantes no reactivos. Para fuentes de áreas urbanas y con contaminantes reactivos, los modelos numéricos son más apropiados, pero requieren una información muy detallada sobre las fuentes y los contaminantes. Los modelos estadísticos se emplean cuando la información científica sobre los procesos químicos y físicos no son muy conocidos o incompletos o vagos. Finalmente están los modelos físicos, que requieren estudios de modelos del fluido aerodinámicos del viento, este tipo de modelo es muy complejo.

Para el presente trabajo de tesis se ha utilizado el modelo gaussiano, cuya formulación es simple y pueden modelarse para las fuentes fijas como las centrales térmicas de generación eléctrica.

Según, Scire, Strimaitis, y Yamartino (2000) el modelo físico matemático para la cuantificación de la concentración de los gases contaminantes en función de la distancia de las centrales térmicas de generación de electricidad; basado en la teoría de difusión se resume en la ecuación de difusión, expresada mediante la ecuación 3.7.

$$\frac{\partial \langle c \rangle}{\partial t} = d_x \frac{\partial^2 \langle c \rangle}{\partial x^2} + d_y \frac{\partial^2 \langle c \rangle}{\partial y^2} + d_z \frac{\partial^2 \langle c \rangle}{\partial z^2} \quad (3.7)$$

Dónde:

$\langle C \rangle$: representa la concentración media de la contaminación

d_x, d_y, d_z : coeficientes de difusión en cada dirección (x, y, z).

Siendo la solución simplificada de la ecuación 3.7, la ecuación 3.8 (Scire, Strimaitis, y Yamartino, 2000)

$$C = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{\sigma_y^2}\right] \left[\exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right] \quad (3.8)$$

Dónde:

C: Concentración (g/m³)

Q: Masa del contaminante liberado por la chimenea (g)

σ_y : Coeficiente de dispersión en dirección perpendicular al viento (m)

σ_z : Coeficiente de dispersión vertical (m)

H: Altura efectiva de la chimenea (m)

h: Altura de elevación de la pluma respecto al punto de emisión de la chimenea (m)

g: Altura de la ecuación gaussiana (m) que se calcula con la ecuación 3.9.

z : altura de la de la dispersión atmosférica (m)

$$g = \frac{2}{(2\pi)^{1/2} \sigma_z} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp\left[-(H_e + 2nh)^2 / (2\sigma_z^2)\right] \quad (3.9)$$

Esquemáticamente el fenómeno de la dispersión atmosférica de la contaminación se representa mediante la figura 3.22 (Masanja, 2011).

Para calcular los coeficientes de dispersión: σ_y (Coeficiente de dispersión en dirección perpendicular al viento) y σ_z (coeficiente de dispersión vertical) se obtienen de los monogramas de Pasquill (Turner, 1970).

La figura 3.22 se muestra las curvas para obtener la dispersión σ_y en función de la distancia de la fuente y para diferentes condiciones atmosféricas de Pasquill.

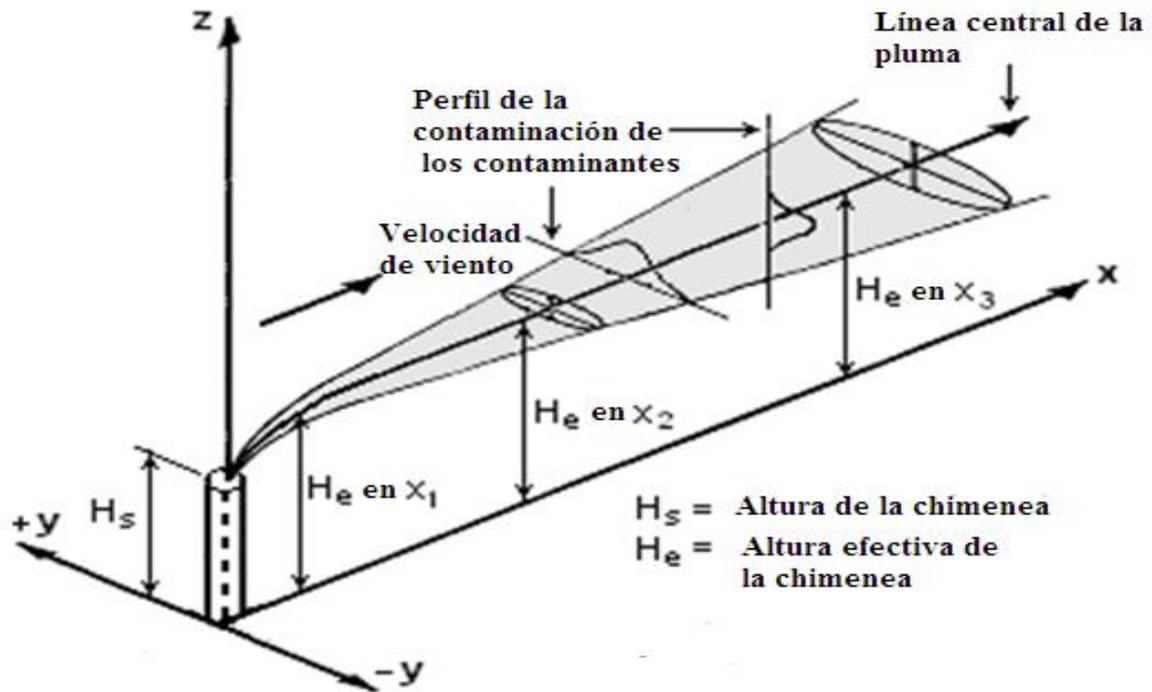


Figura 3.22: Representación esquemática del fenómeno de la dispersión de la contaminación Atmosférica liberada por las centrales térmicas.

Fuente: (Masanja, 2011).

La figura 3.23 se muestra las curvas para obtener la dispersión σ_z en función de la distancia de la fuente y para diferentes condiciones atmosféricas de Pasquill.

Algunas condiciones de Pasquill se presentan en la tabla 3.4 para diferentes velocidades y 10 m de altura, y la radiación incidente durante el día y para la noche (Turner, 1970).

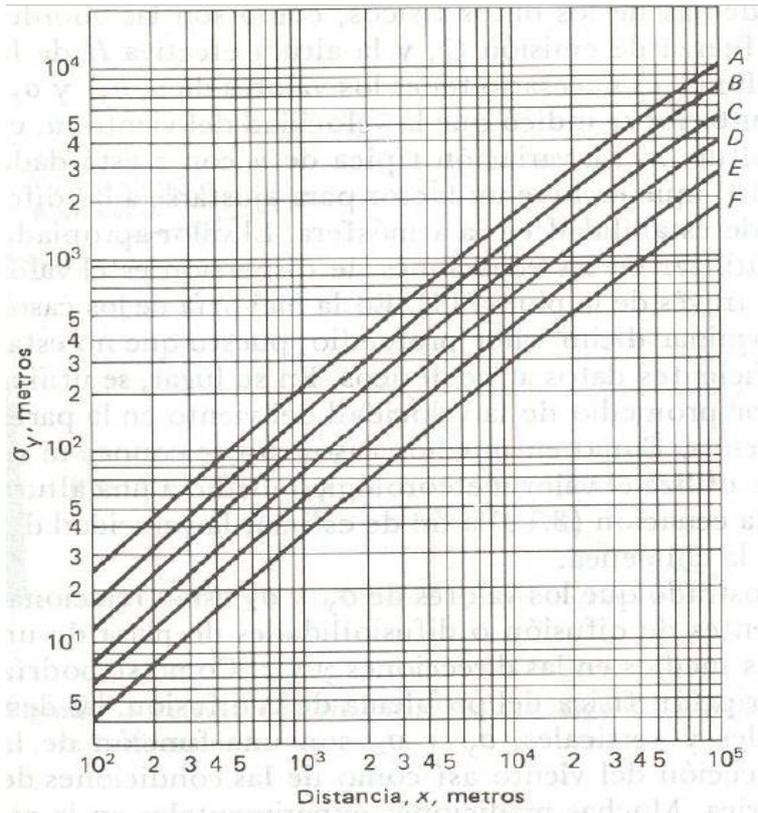


Figura 3.23: Dispersión σ_y .

Fuente: (Turner, 1970)

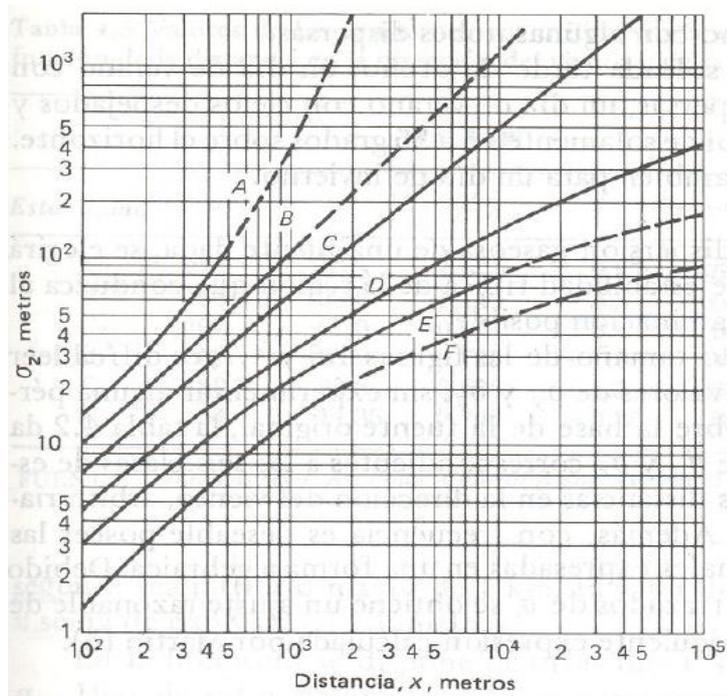


Figura 3.24: Dispersión σ_z .

Fuente: (Turner, 1970)

Tabla 3.4
Condiciones de Pasquill (Turner, 1970).

| Velocidad del viento (m/s) a nivel de suelo a 10 m de altura | Día | | | Noche | |
|--|---|--|--|--------------------|--------------------|
| | Radiación solar incidente | | | Nubosidad = 4/8 | Nubosidad = 3/8 |
| | Fuerte (mayor que 50 cal/cm ² h) | Moderada (entre 25 y 50 cal/cm ² h) | Débil (menor que 25 cal/cm ² h) | | |
| < 2 | A | A – B | B | F | F |
| 2 – 3 | A – B | B | C | E | F |
| 3 – 5 | B | B – C | C | D | E |
| 5 – 6 | C | C – D | D | D | D |
| > 6 | C | D | D | D | D |

Dónde:

A: Muy inestable

B: Moderadamente inestable

C: Ligeramente inestable

D: Neutral

E: Ligeramente estable

F: Muy estable

Haciendo uso de la teoría de difusión para todas las etapas de ejecución del proceso de evaluación y la representación mediante la figura 3.22 contenido en el modelo computacional validado internacionalmente como es el SIMPACTS (OIEA 2017), se realizó el cálculo de la concentración de los contaminantes y valoración económica de la contaminación a la salud pública y el medio ambiente.

Contaminación y daños a la Salud y el medio ambiente

La contaminación atmosférica ejerce una amplia gama de efectos adversos para la salud humana, que pueden ser agudos y, más frecuentemente, crónicos. Entre ellos es posible mencionar: la disminución del flujo de aire en las vías respiratorias a nivel subclínico en los

niños y en la población general el deterioro del rendimiento físico aun en personas sanas; irritación de las mucosas oculares y del tracto respiratorio superior; disminución de la resistencia a las infecciones del aparato respiratorio; menoscabo de la función pulmonar en los niños y en la población sana.

Según la OMS (OMSb, 2018) la contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud. En 2016, el 91% de la población vivía en lugares donde no se respetaban las directrices de la OMS sobre la calidad del aire, dando lugar a que alrededor de 4,2 millones de personas mueren anualmente de modo prematuro debido a la contaminación atmosférica. Así mismo la contaminación del aire y el humo en interiores de las casas representa un grave riesgo sanitario para unos 3000 millones de personas que cocinan y calientan sus hogares con combustibles de biomasa y carbón. La OMS estima que, en 2016, aproximadamente el 58% de las muertes prematuras relacionadas con la contaminación atmosférica se debieron a cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares, mientras que el 18% de las muertes se debieron a enfermedad pulmonar obstructiva crónica e infecciones respiratorias agudas, y el 6% de las muertes se debieron al cáncer de pulmón. Algunas muertes también pueden atribuirse a más de un factor de riesgo al mismo tiempo. Por ejemplo, tanto el consumo de tabaco como la contaminación del aire ambiente pueden provocar cáncer de pulmón. Algunas de las muertes por cáncer de pulmón podrían haberse evitado con la mejora de la calidad del aire o con la reducción del consumo de tabaco. También se ha observado una relación entre la contaminación del aire exterior y el aumento del cáncer de vías urinarias y vejiga. Esta situación me ha invitado a hacer la presente investigación para tratar de contribuir a encarar el problema y aportar con opciones de solución.

NO₂ y NO_x

Los óxidos de nitrógeno se forman en combustión a partir del nitrógeno y el oxígeno del aire a altas temperaturas. Por lo tanto, se producen en las plantas térmicas de generación de electricidad en el proceso de combustión interna. Los principales óxidos formados son el monóxido de nitrógeno (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂) y los óxidos de nitrógeno (NO_x). A los compuestos NO₂ y NO que son constituyentes los dos óxidos de nitrógeno (NO_x) son los más importantes desde el punto de vista toxicológico, siendo el primero de ellos el más nocivo. Diversos estudios muestran que el NO₂ provoca lesiones en las vías respiratorias y en los pulmones.

Exposiciones prolongadas a los NO_x provocan cambios irreversibles en la estructura y función de los pulmones, especialmente en los niños y en las personas que padecen alguna patología respiratoria como las personas que padecen de asma. Además de sus efectos en la salud, los óxidos de nitrógeno causan danos al medio ambiente. Por ejemplo, dióxido de nitrógeno se oxida con el vapor de agua en las nubes y forma el ácido nítrico (HNO₃), que es un componente la lluvia ácida. Los ácidos son altamente corrosivos y muy peligrosos para el medio ambiente. También el NO₂ es un gas de efecto invernadero, siendo considerado, el tercer gas que contribuye al calentamiento global por detrás del dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄).

Para controlar las emisiones de los NO_x se puede actuar en la combustión para reducir la formación de los NO_x o en el tratamiento de los efluentes para eliminar los NO_x.

Los NO_x presentes en los gases de salida de una central térmica pueden ser eliminados con distintos agentes reductores en presencia o no de un catalizador. El catalizador está formado por un material de sustrato metálico o cerámico recubierto por un metal como

platino, rodio o iridio y convierte alrededor del 90 por ciento de los contaminantes en dióxido de carbono (CO₂), nitrógeno (N₂) y agua (H₂O).

En la tabla 3.5 se muestra los límites máximos permisibles establecido por la OMS (WHO, 2017), para cualquier tiempo corto y un tiempo de 24 horas. Se observa que para los gases de óxidos de nitrógeno (NO_x) los límites son para cualquier tiempo corto es de 0.5 mg./m³ y para 24 horas es de 0.15 mg./m³.

Tabla 3.5
Límites máximos permisibles (WHO, 2017)

| Pollutant | Maximum permissible concentration (mg/m ³) | |
|---|--|-----------------|
| | At any on time | 24-Hour average |
| Sulfur dioxide | 0.5 | 0.15 |
| Chlorine | 0.1 | 0.03 |
| Hydrogen sulfide | 0.03 | 0.01 |
| Carbon disulfide | 0.5 | 0.15 |
| Carbon dioxide | 6 | 2 |
| Oxides of nitrogen | 0.5 | 0.15 |
| Non-toxic dusts | 0.5 | 0.15 |
| Soot | 0.15 | 0.05 |
| Phosphorus pentoxide | 0.15 | 0.05 |
| Manganese and compounds | 0.03 | 0.01 |
| Fluorine compounds | 0.03 | 0.01 |
| Sulfuric acid | 0.3 | 0.1 |
| Phenol | 0.3 | 0.1 |
| Arsenic (non-organic compounds, with the exception of arsine) | - | 0.003 |
| Lead and compounds (with the exception of lead tetraethyl) | - | 0.0007 |
| Metallic mercury | - | 0.0003 |

Material particulado

La agencia de protección del medio ambiente (EPA) de los Estados Unidos de Norte América tiene un conjunto de estándares nacionales de calidad del aire. Para el caso de

material particulado se muestra en la tabla 3.6 en unidades de microgramos por metro cubico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (EPA, 1990). Considerando que contaminantes primarios son los que se emiten directamente de la fuente y los contaminantes secundarios so los se forman mediante procesos físicos y/o químicos atmosféricos que actúan sobre los contaminantes primarios.

Tabla 3.6

Límites permisibles para material particulado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (EPA, 1990)

| Contaminante | | Primario/ Secundario | Tiempo promedio | Nivel | Límites |
|--------------------|-------------------|--------------------------|--------------------|---------------------------------|---------------------------|
| Partículas (PM) | PM _{2.5} | primaria | 1 año | 12.0 | Promedio |
| | | secundaria | 1 año | 15.0 | Promedio |
| | | primario y | 24 horas | 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Promedio |
| | PM ₁₀ | Primario y secundario | 24 horas | 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | No debe exceder de una |

Las partículas pequeñas son inhaladas por las personas y tiene un efecto agresivo para la salud debido a que se impregnan en los pulmones causando serios daños a los pulmones y el corazón produciendo enfermedades crónicas peligrosas.

Las partículas PM lo constituyen los sulfatos, los nitratos, el amoníaco, el cloruro de sodio, el hollín, y los polvos de los minerales. Son una mezcla de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas que se pueden suspender en el aire. Las partículas con diámetro de 10 micrones o menos ($\leq \text{PM}_{10}$) penetran y se alojan en los

pulmones, las partículas más dañinas para la salud, son las que tienen un diámetro de 2,5 micrones o menos (\leq PM_{2.5}).

Las PM_{2.5} atraviesan la barrera pulmonar y entran en la sangre con el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como cáncer de pulmón.

Hay una estrecha relación entre la exposición a altas concentraciones de las partículas PM₁₀ y PM_{2.5} y la mortalidad o morbilidad diaria y a largo plazo de los seres humanos.

A la inversa, cuando las concentraciones de partículas PM₁₀ y PM_{2.5} es pequeña, la mortalidad conexas también desciende. La OMS ha fijado los límites de concentración que se muestran en la tabla 3.6 y estima por ejemplo que una reducción anual de las concentraciones de partículas (PM₁₀) de 35 μ /m³, que es común en muchas ciudades de los países en vías de desarrollo, a 10 μ /m³, permitiría reducir el número de muertes relacionadas con la contaminación en aproximadamente un 15%. Sin embargo, aun siendo las concentraciones de PM en niveles mucho más bajos la esperanza de vida se reduce, debido a que el riesgo de infecciones de las vías respiratorias, así como el riesgo de cardiopatías, neumopatía obstructiva crónica y cáncer de pulmón persiste.

En la figura 3.25 se presentan las partículas contaminantes PM₁₀ cuyas dimensiones son aproximadamente de 10 micrómetros de diámetro, y las partículas PM_{2.5} cuyas dimensiones son aproximadamente de 2.5 micrómetros. Estas partículas son muy pequeñas tal como se observa al comparar sus dimensiones con las dimensiones de la arena y un cabello (diámetro entre 50-70 micrómetros). Estas partículas son fácilmente inhaladas por los seres humanos.

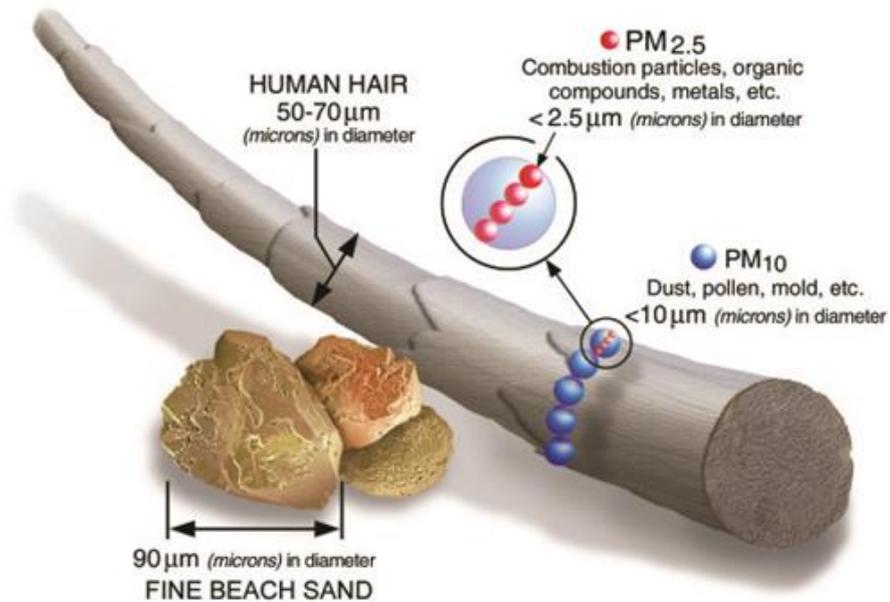


Figura 3.25: Partículas contaminantes.
Fuente: (EPA; 2018)

En la figura 3.26 se muestra como ingresan las partículas a los pulmones al ser inhaladas, las partículas más grandes son eliminadas pero las más pequeñas (PM2.5) se adhieren a los pulmones causando serios problemas de salud en las personas.

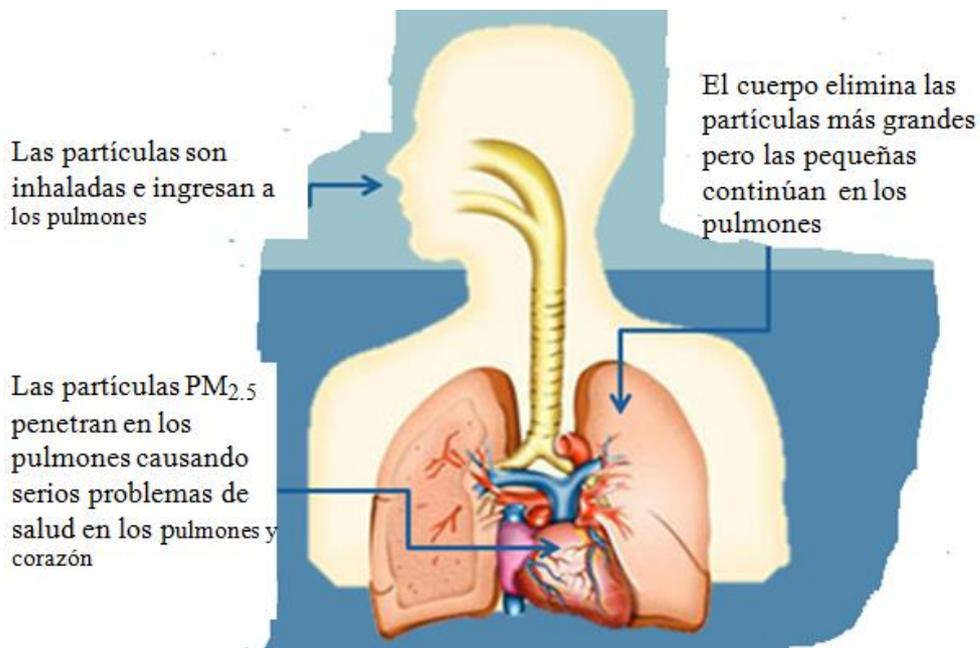


Figura 3.26: Ingreso de partículas a los pulmones.
Fuente: (Utah Department of health, 2018)

En la figura 3.27 se muestra los efectos que causan la inhalación de partículas en los seres humanos; en su inicio causan inflamaciones pulmonarias, cuyos mediadores entran en circulación en la sangre afectando el sistema cardiovascular, estas partículas estimulan los receptores sensoriales en la superficie alveolar, lo que provoca cambios en la función cardiaca por deterioro de la función endotelial y la constricción coronaria, también se produce la exacerbación aterosclerosis produciendo oclusión de la arteria coronaria del corazón, lo cual incrementa la susceptibilidad de produciéndose lesiones (isquemia) en el corazón’

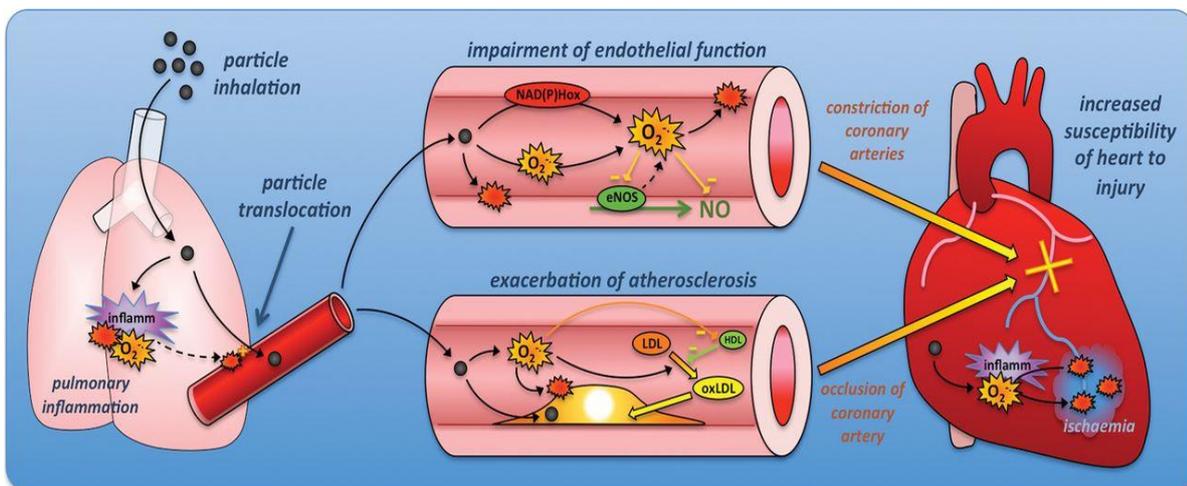


Figura 3.27: Mecanismos a través de los cuales las partículas afectan la función cardiovascular a través de la generación de estrés oxidativo.

Fuente: (Miller, 2014)

En la tabla 3.6 se muestran los límites máximos permisibles nacionales aprobado mediante el decreto supremo N° 003-2017-MINAM (MINAM, 2017). Puede observarse que la norma considera 10 agentes contaminantes, aún faltan para otros elementos contaminantes.

Tabla 3.7

Estándares de calidad nacional para contaminantes (MINAN, 2017)

| Parámetros | Periodo | Valor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Criterios de evaluación |
|--|----------------|--|---|
| Benceno (C_6H_6) | Anual | 2 | Media aritmética anual |
| Dióxido de azufre (SO_2) | 24 horas | 250 | NE más de 7 veces al año |
| Dióxido de Nitrógeno (NO_2) | 1 hora | 200 | NE más de 24 veces al año |
| | Anual | 100 | Media aritmética anual |
| Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras ($\text{PM}_{2.5}$) | 24 horas | 50 | NE más de 7 veces al año |
| | Anual | 25 | Media aritmética anual |
| Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM_{10}) | 24 horas | 100 | NE más de 7 veces al año |
| | Anual | 50 | Media aritmética anual |
| Mercurio Gaseoso Total (HG) | 24 horas | 2 | No exceder |
| Monóxido de carbono (CO) | 1 hora | 30000 | NE más de 1 vez al año |
| | 8 horas | 10000 | Media aritmética anual |
| Ozono (O_3) | 8 horas | 100 | Máxima media diaria NE más de 24 veces al año |
| Plomo (Pb) en PM_{10} | Mensual | 1.5 | NE más de 4 veces al año |
| | Anual | 0.5 | Media aritmética de los valores mensuales |
| Sulfuro de Hidrogeno (H_2S) | 24 horas | 150 | Media aritmética anual |

NE: No Exceder

Función exposición-respuesta

Ante los daños que causa la contaminación a la salud y el medio ambiente se ha elaborado las funciones exposición-repuesta para evaluar los daños causados que la contaminación atmosférica a la población y el medio ambiente. En consecuencia, en lo que respecta a los ecosistemas, la contaminación afecta a la vegetación, ya que lesiona cada hoja, reduce la fotosíntesis, y contribuye a la acidificación del suelo con las consecuentes pérdidas de la agricultura. Es especialmente dañina para los ecosistemas acuáticos, al contribuir a la acidificación de los cuerpos de agua, así como mermar los recursos pesqueros. Por otra parte, genera pérdidas económicas por su efecto en los

materiales, ya que corroe los metales, deteriora cables eléctricos, el papel, los textiles, las pinturas, los materiales de construcción y los monumentos históricos etc. (SEMARNAT, 2004).

Una vez determinada la concentración de los contaminantes, se procede a calcular los impactos en la salud mediante las funciones **exposición-respuesta**. Estas funciones se determinan mediante estudios clínicos o epidemiológicos, que relacionan un efecto físico observado o síntoma en la salud (por ejemplo, número de ataques de asma, visitas a hospitales, ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias, reducción en la esperanza de vida, y otros), con una exposición dada a un contaminante, en términos de su concentración.

En la figura 3.28 se muestra curvas de exposición-respuesta para diferentes condiciones.

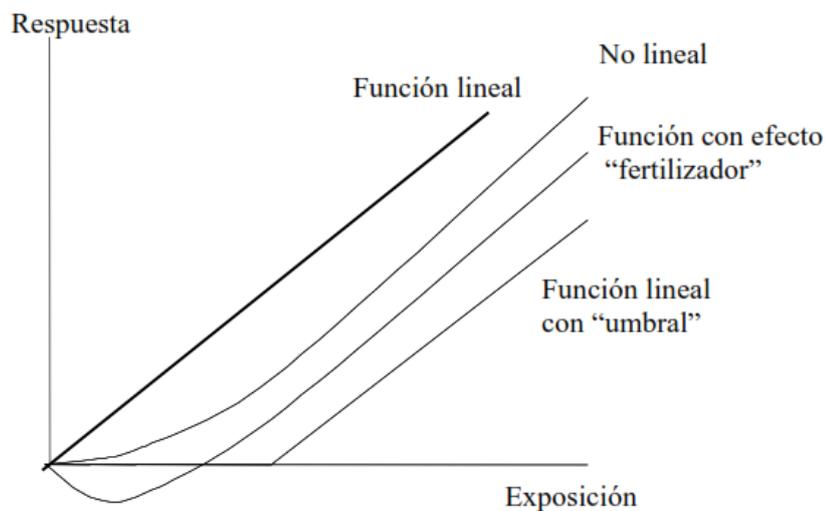


Figura 3.28: Función Exposición – Respuesta.
Fuente: (SMARNAT, 2004)

La función Exposición-Respuesta permite evaluar y cuantificar los daños de la contaminación a la salud humana y el medio ambiente. En la Figura 10 se muestra algunas funciones Exposición – Respuesta. En este trabajo de Tesis se ha realizado evaluaciones de dosis respuesta para la contaminación generada por centrales eléctricas

térmicas.

El impacto en la salud por el tipo de impacto k en la salud y especie tipo i (casos por año) se calcula con la relación 3.10 (Rabl y Spadaro, 2000).

$$I_{i,k} = G^2 \cdot \sum_{x=1}^{41} \sum_{y=1}^{41} \rho_{x,y} \cdot erf_{i,k} \cdot C_{i,x,y} \quad (3.10)$$

G : es el tamaño de la cuadrícula para cada área de exposición A_{xy} dentro del Dominio de impacto (km).

$\rho_{x,y}$: es la densidad de población dentro del área de exposición A_{xy} (Habitantes por km^2).

$erf_{i,k}$: impacto unitario en la salud, impacto en la salud tipo k y especie tipo i (casos por año por persona por $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Los costos externos anuales a la Salud Pública debido al impacto tipo k y especie i (dólar por año) se calcula mediante la ecuación 3.11 (CEPAL, 2007).

$$ECY_{i,k} = I_{i,k} \cdot U_k \quad (3.11)$$

$I_{i,k}$, es el impacto en la salud por tipo de impacto k y especie i (casos por año)

U_k , es el costo unitario por impacto en la salud k (dólar por caso).

Procedimientos y análisis de datos.

En base a los datos recopilados, depurados, analizados e interpretados se introducen a un modelo computacional para su procesamiento bajo las condiciones meteorológicas y geográficas del medio para cuantificar la valoración económica de las emisiones de NO_x , SO_2 partículas liberadas por las centrales térmicas de generación de electricidad.

Fuentes

Para el presente trabajo de tesis se considerado las centrales eléctricas del complejo térmico de Chilca donde están las centrales térmicas más grandes del país. En la figura 3.28 se muestra la ubicación de complejo de chilca en la parte del mapa del Perú en donde están ubicadas y son integrantes del Sistema Interconectado Nacional (SEIN).

En la figura 3.29 se muestra el sistema de gasoductos de gas natural que alimenta a las centrales térmicas del complejo de Chilca.



Figura 3.29: Ubicación del Complejo térmico de Chilca.



Figura 3.30: Sistema de gasoductos que alimenta a las centrales térmicas de Chilca.

En la tabla 3.8 se muestra la potencia instalada a nivel nacional para el periodo 1995–2016, para el año 2016 la potencia instalada total fue de 14517,72 MW correspondiendo 5189,25 MW para centrales hidroeléctricas, 8988,52 MW para centrales térmicas, 100.00 MW para centrales solares y 239.95 para centrales eólicas. En la figura 3.31 se muestra la potencia instalada para el Sistema Interconectado Nacional, notoriamente se observa que la potencia térmica es mayor en el Sistema Eléctrico Nacional (MINEM, 2017).

Tabla 3.8

Potencia instalada en el SEIN para el periodo 1995-2016 (MINEM, 2017)

| Año | Total | Generación | | | | Mercado eléctrico | | | | | Uso propio | | |
|-----------------------|-----------|------------|----------|--------|--------|-------------------|------------|----------|--------|--------|------------|------------|----------|
| | | Hidráulica | Térmica | Solar | Eólica | Total | Hidráulica | Térmica | Solar | Eólica | Total | Hidráulica | Térmica |
| 1995 | 4 461,70 | 2 479,40 | 1 982,30 | | | 3 185,70 | 2 190,00 | 995,70 | | | 1 276,00 | 289,40 | 986,60 |
| 1996 | 4 662,61 | 2 492,72 | 2 169,63 | | 0,25 | 3 352,88 | 2 200,18 | 1 152,45 | | 0,25 | 1 309,72 | 292,54 | 1 017,18 |
| 1997 | 5 192,50 | 2 512,99 | 2 679,25 | | 0,25 | 4 325,02 | 2 411,52 | 1 913,25 | | 0,25 | 867,48 | 101,48 | 766,00 |
| 1998 | 5 515,29 | 2 572,06 | 2 942,98 | | 0,25 | 4 632,28 | 2 467,42 | 2 164,61 | | 0,25 | 883,01 | 104,65 | 778,37 |
| 1999 | 5 742,43 | 2 673,28 | 3 068,45 | | 0,70 | 4 828,24 | 2 587,13 | 2 240,41 | | 0,70 | 914,19 | 86,15 | 828,03 |
| 2000 | 6 066,19 | 2 856,83 | 3 208,66 | | 0,70 | 5 148,85 | 2 779,26 | 2 368,89 | | 0,70 | 917,34 | 77,57 | 839,77 |
| 2001 | 5 906,69 | 2 966,33 | 2 939,67 | | 0,70 | 5 050,81 | 2 889,43 | 2 160,68 | | 0,70 | 855,88 | 76,90 | 778,98 |
| 2002 | 5 935,53 | 2 996,47 | 2 938,36 | | 0,70 | 5 068,05 | 2 917,60 | 2 149,75 | | 0,70 | 867,48 | 78,87 | 788,61 |
| 2003 | 5 970,06 | 3 032,31 | 2 937,06 | | 0,70 | 5 095,10 | 2 946,82 | 2 147,58 | | 0,70 | 874,96 | 85,49 | 789,47 |
| 2004 | 6 016,32 | 3 055,87 | 2 959,75 | | 0,70 | 5 096,02 | 2 969,06 | 2 126,26 | | 0,70 | 920,30 | 86,81 | 833,49 |
| 2005 | 6 200,53 | 3 207,06 | 2 992,76 | | 0,70 | 5 220,63 | 3 119,20 | 2 100,73 | | 0,70 | 979,89 | 87,86 | 892,03 |
| 2006 | 6 658,14 | 3 216,00 | 3 441,44 | | 0,70 | 5 625,14 | 3 127,80 | 2 496,64 | | 0,70 | 1 033,00 | 88,20 | 944,80 |
| 2007 | 7 027,52 | 3 233,60 | 3 793,22 | | 0,70 | 5 989,73 | 3 145,14 | 2 843,88 | | 0,70 | 1 037,79 | 88,46 | 949,34 |
| 2008 | 7 157,94 | 3 242,03 | 3 915,21 | | 0,70 | 5 996,98 | 3 152,04 | 2 844,25 | | 0,70 | 1 160,95 | 89,99 | 1 070,96 |
| 2009 | 7 986,50 | 3 277,46 | 4 708,33 | | 0,70 | 6 723,52 | 3 183,13 | 3 539,69 | | 0,70 | 1 262,98 | 94,34 | 1 168,64 |
| 2010 | 8 612,56 | 3 437,60 | 5 174,26 | | 0,70 | 7 309,17 | 3 344,80 | 3 963,67 | | 0,70 | 1 303,39 | 92,81 | 1 210,58 |
| 2011 | 8 691,32 | 3 450,95 | 5 239,67 | | 0,70 | 7 314,24 | 3 357,06 | 3 956,48 | | 0,70 | 1 377,09 | 93,89 | 1 283,19 |
| 2012 | 9 699,10 | 3 483,97 | 6 134,42 | 80,00 | 0,70 | 8 267,17 | 3 380,83 | 4 805,64 | 80,00 | 0,70 | 1 431,93 | 103,14 | 1 328,78 |
| 2013 | 11 050,72 | 3 556,18 | 7 413,84 | 80,00 | 0,70 | 9 634,63 | 3 450,55 | 6 103,38 | 80,00 | 0,70 | 1 416,09 | 105,64 | 1 310,45 |
| 2014 | 11 202,62 | 3 661,87 | 7 302,05 | 96,00 | 142,70 | 9 739,25 | 3 558,27 | 5 942,28 | 96,00 | 142,70 | 1 463,37 | 103,60 | 1 359,78 |
| 2015 | 12 188,63 | 4 151,84 | 7 700,98 | 96,00 | 239,80 | 10 717,71 | 4 047,87 | 6 334,05 | 96,00 | 239,80 | 1 470,91 | 103,98 | 1 366,94 |
| 2016 | 14 517,72 | 5 189,25 | 8 988,52 | 100,00 | 239,95 | 13 044,47 | 5 072,47 | 7 632,06 | 100,00 | 239,95 | 1 473,24 | 116,78 | 1 356,47 |
| Incremento 16/15 | 19% | 25% | 17% | | | 22% | 25% | 20% | | | 0% | 12% | -1% |
| Variación media 16/11 | 11% | 9% | 11% | | | 12% | 9% | 14% | | | 1% | 4% | 1% |
| Incremento 16/06 | 118% | 61% | 161% | | | 132% | 62% | 206% | | | 43% | 32% | 44% |
| Variación media 16/06 | 8% | 5% | 10% | | | 9% | 5% | 12% | | | 4% | 3% | 4% |

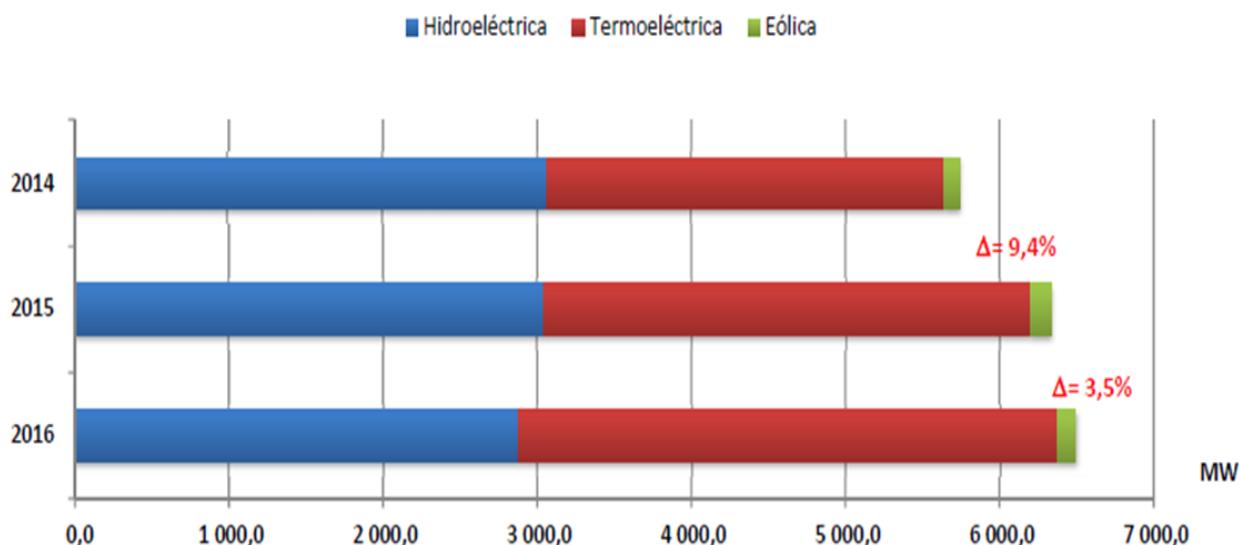


Figura 3.31: Potencia instalada en el SEIN para los años 2014, 2015 y 2016.

Fuente: (MINEM,2017)

En la tabla 3.9 se muestra la energía generada a nivel nacional para los años 2015 y 2016, para el año 2016 fue de 48326.4 GWh (MINEM, 2017).

Tabla 3.9

Generación electricidad para los años 2015 2016 en el SEIN (MINEM; 2017).

| Recurso Energético | últimos 3 meses | | | Acumulado Anual | | | Hace 2 años | |
|---|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| | Oct-16 | Nov-16 | Dic-16 | 2016 | 2015 | Var (%) | 2014 | Var (%) |
| Hidro | 1 959,3 | 1 659,9 | 2 083,5 | 23 009,6 | 22 456,2 | 2,5% | 21 002,9 | 6,9% |
| Gas Natural de Camisea | 1 804,6 | 2 071,1 | 1 876,4 | 21 324,5 | 19 523,1 | 9,2% | 19 012,9 | 2,7% |
| Gas Natural de Aguaytia | 27,0 | 16,2 | 0,0 | 368,5 | 440,7 | -16,4% | 380,0 | 16,0% |
| Gas Natural de Malacas | 65,9 | 55,6 | 58,6 | 651,7 | 565,7 | 15,2% | 437,1 | 29,4% |
| Gas Natural de Las Isla | 7,5 | 7,8 | 6,5 | 112,5 | 143,2 | -21,5% | 80,0 | 79,0% |
| Carbón | 66,5 | 69,1 | 55,3 | 772,9 | 248,1 | 211,5% | 163,2 | 52,0% |
| Residual 500 | 5,7 | 10,6 | 3,1 | 191,0 | 41,4 | 361,8% | 29,8 | 38,8% |
| Residual 6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 3,2 | 1,9 | 65,7% | 2,8 | -30,8% |
| Diesel 2 | 27,7 | 26,1 | 18,4 | 458,9 | 170,8 | 168,7% | 55,1 | 210,1% |
| Bagazo | 8,0 | 6,6 | 3,2 | 86,5 | 90,5 | -4,5% | 146,1 | -38,0% |
| Biogás | 5,0 | 4,8 | 4,8 | 51,2 | 36,7 | 39,4% | 30,3 | 21,1% |
| Solar | 22,1 | 23,1 | 22,5 | 241,8 | 231,0 | 4,7% | 199,3 | 15,9% |
| Eólica | 102,3 | 96,4 | 103,5 | 1 054,1 | 590,7 | 78,4% | 256,3 | 130,5% |
| Producción Total del SEIN | 4 101,4 | 4 047,2 | 4 235,9 | 48 326,4 | 44 540,0 | 8,5% | 41 795,9 | 6,6% |
| Importación | | | | 22,4 | 0,5 | 4780,5% | | |
| Exportación | | | | 37,9 | 54,7 | -31% | 12,7 | 329,5% |
| Intercambios Internacionales | 0,0 | 0,0 | 0,0 | - 15,5 | -5426,3% | -71,5% | - 12,7 | 325,9% |
| Producción Total Sin Incluir Exportación | 4 101,4 | 4 047,2 | 4 235,9 | 48 288,5 | 44 485,3 | 8,5% | 41 783,2 | 6,5% |

En la figura 3.32 se muestra la generación de electricidad por fuente energética para el 2016. Se observa que un 46 % de generación fue utilizando gas natural, razón por la cual para el presente trabajo se ha considerado las centrales más grandes de generación a gas natural. La generación total para el año 2016 fue de 48326 GWh (COES, 2018).

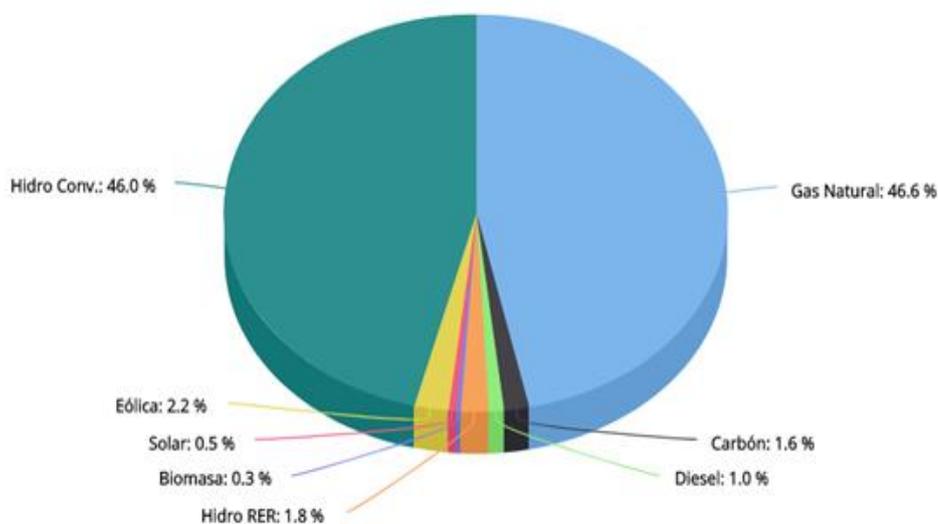


Figura 3.32: Generación por el SEIN para el año 2016.
Fuente: (COES; 2018)

En la figura 3.33 se muestra el área delimitada considerada para este estudio de tesis que consiste en un área cuadra con un área de 200 Km por lado. Esta área incluye toda la ciudad de Lima y una amplia área por el Sur y Este a partir de la Fuente emisora (centrales de térmicas de Chilca).

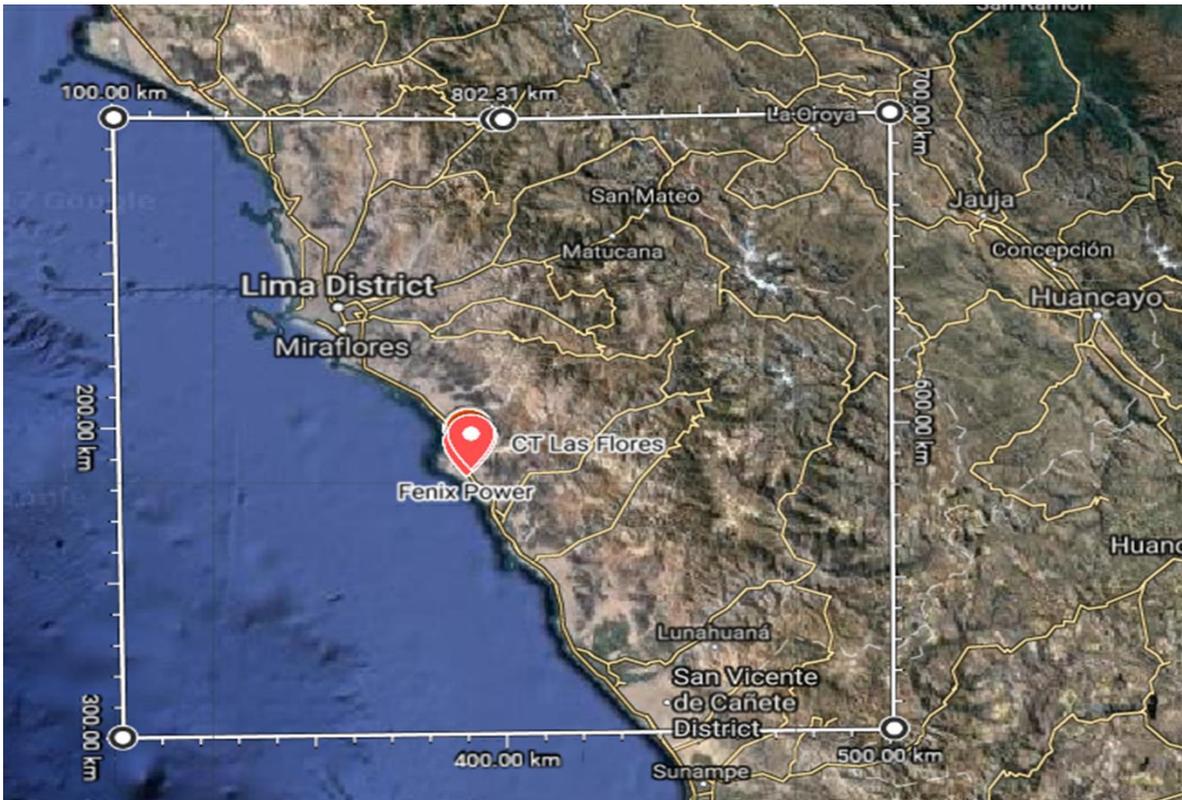


Figura 3.33: Área de evaluación de los impactos ambientales producido por las centrales térmicas de Chilca.

En la figura 3.34 se muestra la celda unitaria considerada para el estudio, para la cual se ha considerado un lado de 5 Km dando un área de 25 Km² para cada cuadrícula. En total se ha considerado un área cuadra de 40000 Km² para la evaluación en el presente trabajo de tesis.

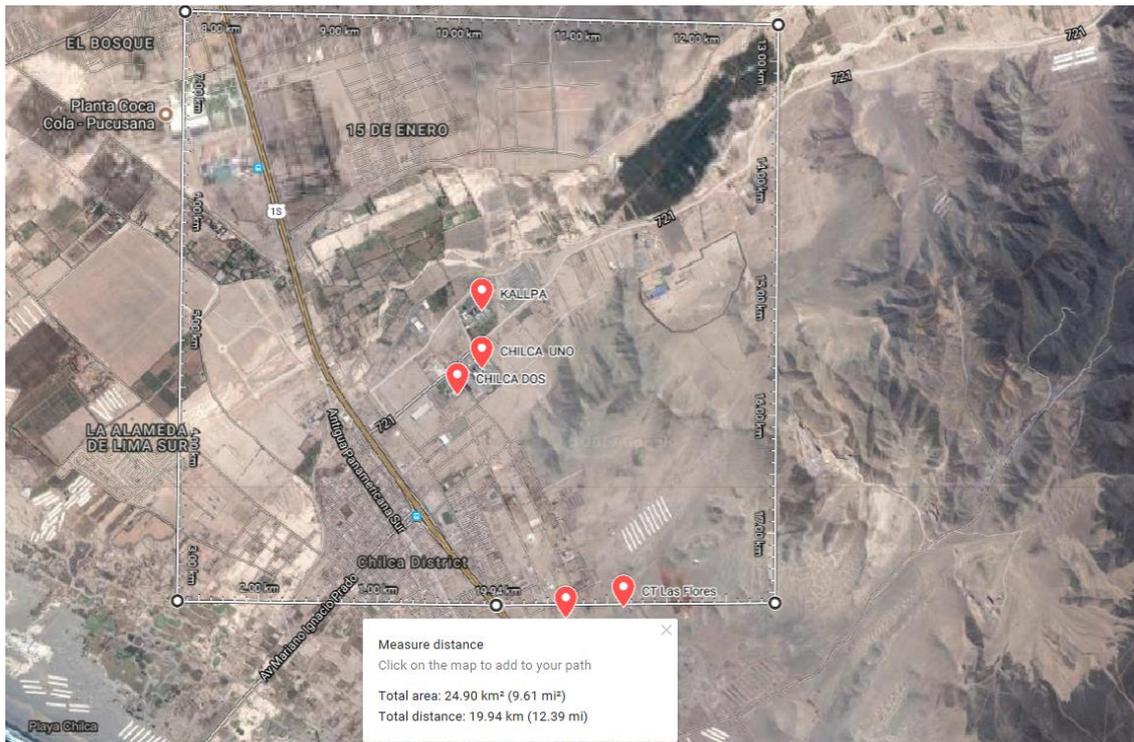


Figura 3.34: Cuadrícula unitaria considerada para el estudio.

En la figura 3.35 se muestra la ubicación de las centrales térmicas a gas natural del complejo térmico de Chilca. El complejo térmico de Chilca está conformado por las centrales térmicas de Kallpa, Chilca uno, Chilca dos, Olleros, las Flores, Pacifico y Sur Fenix Power, con una potencia total de 2662.0 MW.

La razón de su ubicación de las centrales térmicas en el distrito de Chilca se debe a la facilidad de suministro de gas natural, en el sentido que a Chilca llega el Gasoducto de Camisea, el cual llega también a la ciudad de Lima. En la figura 3.36 se muestra la ubicación y la distancia de las centrales térmicas a gas natural del complejo térmico de Chilca. Todas las centrales quedan dentro de la celda unitaria elegida para la evaluación de la valoración económica y daño ambiental en el presente trabajo de tesis.



Figura 3.35: Ubicación de las centrales térmicas de Chilca.



Figura 3.36: Distancia entre las centrales eléctricas del complejo térmico de Chilca.

En la figura 3.37 se muestra la distancia entre las chimeneas de la central térmica de Kallpa.



Figura 3.37: Distancia entre las chimeneas de la central térmica Kallpa.

En la figura 3.38 se muestra las coordenadas geográficas de las chimeneas de la central Kallpa, estas coordenadas son necesarias para hacer la distribución geográfica de las emisiones liberadas por las chimeneas de las centrales térmicas.

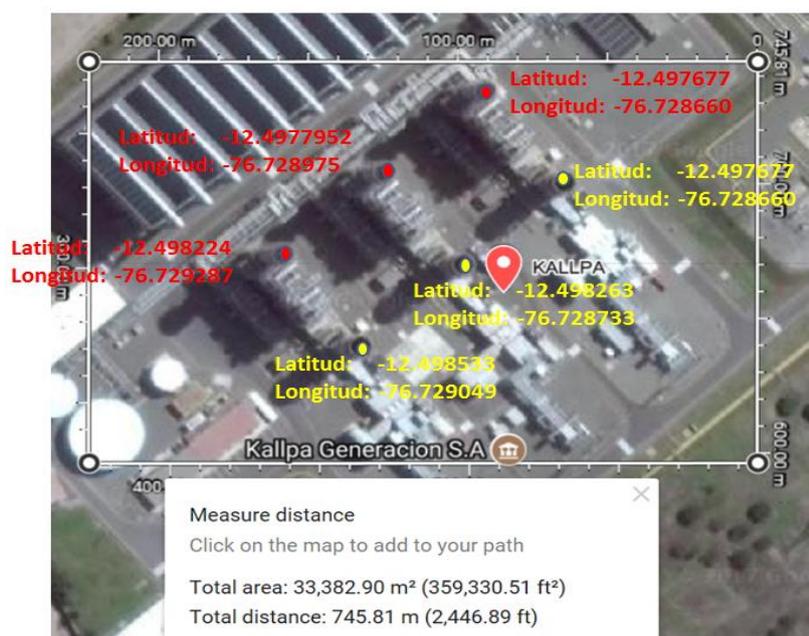


Figura 3.38: Coordenadas geográficas de las Chimeneas de la central térmica Kallpa.

En la tabla 3.10 se muestra la potencia instalada en el complejo térmico de Chilca que es un total de 2662 MW.

Tabla 3.10
Potencia instalada en el complejo térmico de Chilca (OSINERGMIN, 2018)

GENERACIÓN TERMOELÉCTRICA INSTALADA EN LA LOCALIDAD DE CHILCA (NODO ENERGÉTICO DE CHILCA)
(CON GAS NATURAL)

| Central | Empresa | Situación | Tipo | Unidades | Potencia Instalada (MW) | Participación en Potencia Inst. (%) | Puesta en Operación Comercial |
|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| C.T. CHILCA 1 | ENERSUR | En operación | Ciclo Simple | TG1: 185 MW | 862 | 32.4% | 11.12.2006 |
| | | En operación | | TG2: 185 MW | | | 09.07.2007 |
| | | En operación | | TG3: 193 MW | | | 02.08.2009 |
| | | En operación | Ciclo Combinado | TV: 299 MW | | | 15.11.2012 |
| C.T. KALLPA | KALLPA GENERACION | En operación | Ciclo Simple | TG1: 190 MW | 874 | 32.8% | 01.07.2007 |
| | | En operación | | TG2: 194 MW | | | 25.06.2009 |
| | | En operación | | TG3: 198 MW | | | 24.03.2010 |
| | | En operación | Ciclo Combinado | TV: 293 MW | | | 08.08.2012 |
| C.T. LAS FLORES | KALLPA GENERACIÓN (DUKE ENERGY) (*) | En operación | Ciclo Simple | TG1: 193 MW | 193 | 7.3% | 27.05.2010 |
| C.T. CHILCA (FÉNIX) | FENIX POWER PERU | Suspendido temporalmente (**) | Ciclo Simple | TG GT11: 173 MW | 535 | 20.1% | 03.04.2014 ^(**) |
| | | En operación | | TG GT12: 173 MW | | | 03.04.2014 |
| | | En operación | Ciclo Combinado | TV10: 189 MW | | | 16.05.2014 |
| C.T. SANTO DOMINGO DE LOS OLLEROS | TERMOCHILCA | En operación | Ciclo Simple | TG1: 198 MW | 198 | 7.4% | 19.10.2013 |
| TOTAL | | | | | 2,662 | | |

Donde:

T.G. : Turbina a Gas

T.V : Turbina a Vapor

C.T. : Central Termoeléctrica

(*) KALLPA en el mes de diciembre 2013 comunicó que ha adquirido la C.T. Las Flores

(**) El COES suspendió la Operación Comercial de la Turbina a Gas GT11 hasta que opere el transformador de potencia respectivo (200 MVA - 18/500 kV)

En la figura 3.39 se muestra la malla completa de la región de interés para evaluación de la valoración económica de la salud pública y el daño al medio ambiente por las emisiones del Complejo térmico de Chilca. En la figura 3.40 se muestra la zona de evaluación de la valoración económica de la contaminación por las centrales térmicas de Chilca.

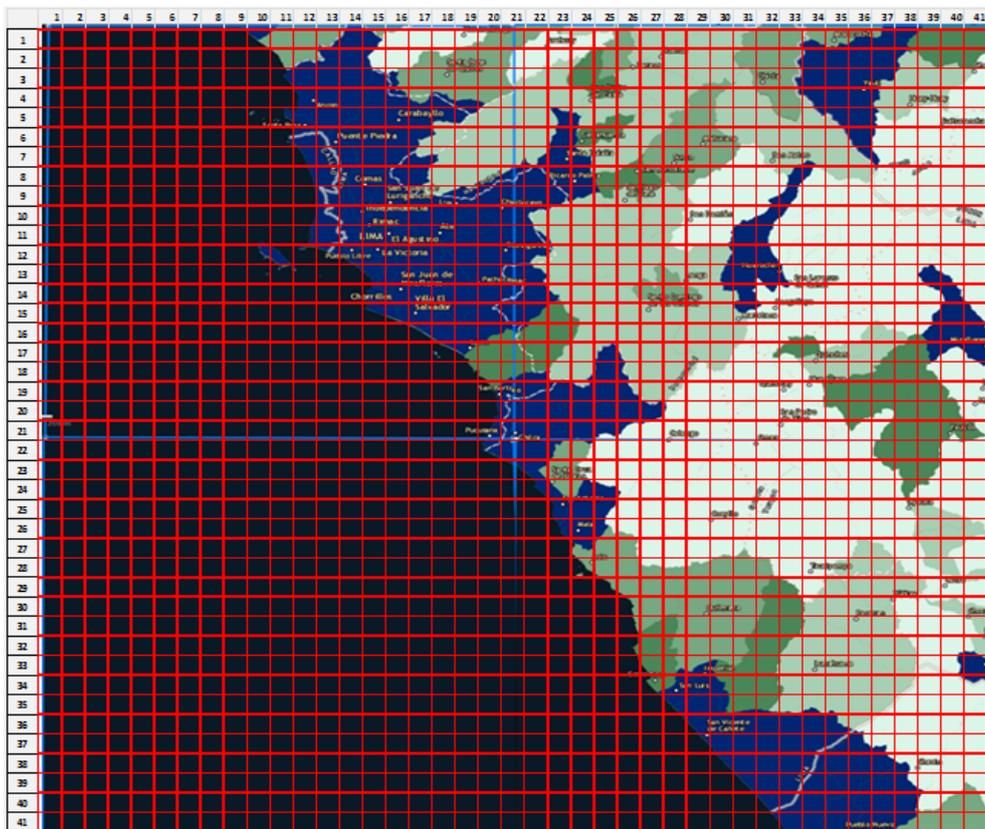


Figura 3.39: Malla de la Región de interés

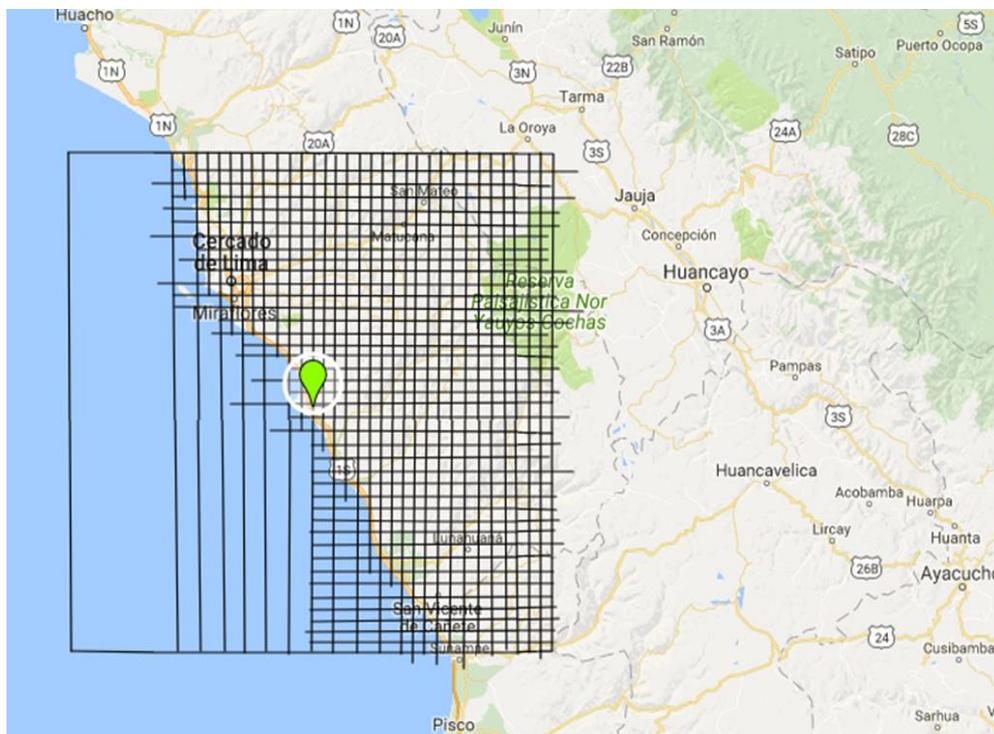


Figura 3.40: Zona de interés para la evaluación del impacto ambiental.

Tabla 3.11

Códigos asignados a los distritos para su identificación en la malla de la región de evaluación en la presente tesis.

| | | | |
|--------------|------------------------|--------------|-------------------------|
| Ros | Santa Rosa | Sur | Surco |
| PP | Puente Piedra | Mira | Miraflores |
| Cara | Carabaylo | CHor | Chorrillos |
| Ven | Ventanilla | SJM | San Juan de Miraflores |
| Anc | Ancon | VM | VillaMaría del Triunfo |
| Oli | Olivos | VS | Villa el Salvador |
| Isid | San Isidro | Huro | Huachochiri |
| Com | Comas | CHIL | Chilca |
| SJ | San Juan de Lurigancho | Cala | Calango |
| Ind | Independencia | Oma | Omas |
| SM | San Martín de Porres | Andr | San Andrés |
| RIM | Rimac | Azpi | Azpitita |
| Agu | Agustino | Sand | San Antonio |
| Anit | santa Anita | Aya | Ayacucho |
| Ate | Ate | Colo | Colonia |
| Slu | San Luís | Mala | Mala |
| CLL | Callao | Buja | Bujama |
| Jma | Jesús María | Co a | Coaillo |
| Linc | Lince | Lore | San Lorenzo |
| VIC | La Victoria | Capi | Capillucas |
| SB | San Borja | Asia | Asia |
| Mol | La Molina | Cata | Catahuasi |
| Plib | Pueblo Libre | Paca | Pacaran |
| Puc | Pucusana | Huang | Huangascar |
| Sbar | San Bartolo | Quil | Quilmaná |
| Stmar | Santa María | Imp | Imperial |
| Pneg | Punta Negra | Azan | Azangaro |
| Pherm | Punta Hermosa | Chin | Chincha |
| Pacha | Pachacamac | CNH | Centro Nuclear Hurangal |
| | | JCH | Aeropuerto Jorge Chavez |
| | | Mel | Melchorita: LGN |
| | | Sem | Sembrós |

NA: no aplicable

Población Afectada

Para este trabajo de tesis se consideró la población circundante hasta 100 km de distancia a partir de fuente emisora de los contaminantes, en una configuración cuadra de 200 km de lado, con celdas unitarias de 5 km de lado configurando un total 1600

celdas. En la tabla N° 3.12 se presenta los distritos con la superficie en km², que se encuentran en la ciudad de Lima Capital (Lima Como Vamos, 2015).

Tabla 3.12
Área de los distritos de Lima Capital

| N° | Distritos de Lima Capital | Area (km ²) |
|----|---------------------------|-------------------------|
| 1 | Carabaylo | 346.9 |
| 2 | Ancón | 299.2 |
| 3 | Cieneguilla | 240.3 |
| 4 | Lurigancho-Ch | 236.5 |
| 5 | Lurín | 181.1 |
| 6 | Pachacámac | 160.2 |
| 7 | San Juan de Lu | 131.3 |
| 8 | Punta Negra | 130.5 |
| 9 | Punta Hermosa | 119.5 |
| 10 | Ate | 77.7 |
| 11 | Puente Piedra | 71.2 |
| 12 | Villa María del | 70.6 |
| 13 | La Molina | 65.8 |
| 14 | Comas | 48.8 |
| 15 | San Bartolo | 45.0 |
| 16 | Chaclacayo | 39.5 |
| 17 | Chorrillos | 38.9 |
| 18 | Pucusana | 37.8 |
| 19 | San Martín de I | 36.9 |
| 20 | Villa El Salvado | 35.5 |
| 21 | Santiago de Sur | 34.8 |
| 22 | San Juan de Mi | 24.0 |
| 23 | LIMA | 22.0 |
| 24 | Santa Rosa | 21.5 |
| 25 | Los Olivos | 18.3 |
| 26 | Independencia | 14.6 |
| 27 | El Agustino | 12.5 |
| 28 | Rímac | 11.9 |
| 29 | San Isidro | 11.1 |
| 30 | Santa Anita | 10.7 |
| 31 | San Miguel | 10.7 |
| 32 | San Borja | 10.0 |
| 33 | Santa María de | 9.8 |
| 34 | Miraflores | 9.6 |
| 35 | La Victoria | 8.7 |
| 36 | Jesús María | 4.6 |
| 37 | Pueblo Libre | 4.4 |
| 38 | Magdalena del | 3.6 |
| 39 | Surquillo | 3.5 |
| 40 | San Luis | 3.5 |
| 41 | Barranco | 3.3 |
| 42 | Breña | 3.2 |
| 43 | Lince | 3.0 |
| | JMPMB (SMJMP) | 26.5 |
| | SIMILI (SIMiraL) | 23.7 |
| | VISULU (VicSur) | 15.7 |

En la tabla 3.13 se presenta los distritos de la ciudad capital con sus poblaciones tomadas del Compendio de Estadística Perú 2015, (INEI, 2015) la cual ha sido modificada en formato y área para presentar el área efectivamente poblada y obtener la densidad población en habitantes/km².

Tabla 3.13.

Población, área efectiva y densidad poblacional de los Distritos de Lima Capital

| No | Distritos de Lima Capital | Población total (Habitantes) | Area efectiva Poblada | Densidad Poblacional (Habitantes/Km ²) |
|----|---------------------------|------------------------------|-----------------------|--|
| 1 | San Juan de Lurigancho | 1091303 | 150 | 7275.35 |
| 2 | San Martín de Porres | 700178 | 50 | 14003.56 |
| 3 | Ate | 630085 | 25 | 25203.40 |
| 4 | Comas | 524894 | 50 | 10497.88 |
| 5 | Villa El Salvador | 463014 | 25 | 18520.56 |
| 6 | Villa María del Triunfo | 448545 | 25 | 17941.80 |
| 7 | San Juan de Miraflores | 404001 | 25 | 16160.04 |
| 8 | Los Olivos | 371229 | 25 | 14849.16 |
| 9 | Puente Piedra | 353327 | 75 | 4711.03 |
| 10 | Santiago de Surco | 344242 | 25 | 13769.68 |
| 11 | Chorrillos | 325547 | 25 | 13021.88 |
| 12 | Carabaylo | 301978 | 75 | 4026.37 |
| 13 | Cercado de Lima | 271814 | 25 | 10872.56 |
| 14 | Santa Anita | 228422 | 25 | 9136.88 |
| 15 | Lurigancho-Chosica | 218976 | 25 | 8759.04 |
| 16 | Independencia | 216822 | 25 | 8672.88 |
| 17 | El Agustino | 191365 | 25 | 7654.60 |
| 18 | La Molina | 171646 | 25 | 6865.84 |
| 19 | Rímac | 164911 | 25 | 6596.44 |
| 20 | San Borja | 111928 | 25 | 4477.12 |
| 21 | Ancón | 43382 | 100 | 433.82 |
| 22 | Santa Rosa | 18751 | 50 | 375.02 |
| 23 | JMPMB | 278284 | 25 | 11131.36 |
| 24 | SIMILI | 186366 | 25 | 7454.64 |
| 25 | VISULU | 320725 | 25 | 12829.00 |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | JMPMB: Jesus María, Pueblo Libre, Magdalena, Breña | | |
| | SIMILI: San Isidro, Miraflores, Lince | | |
| | VISULU: Victoria, Surquillo, San Luis | | |

Las celdas definidas para el software de cálculo son de 5 km de lado y 25 km² de área, en tal sentido los distritos pequeños se han unido las áreas para tener celdas regulares y modelar con el software. Así por ejemplo el distrito de Miraflores se ha unido al distrito de San Isidro, Barranco y Lince. Los distritos de La Victoria, Surquillo y San Luis también han sido unidos en una sola zona, promediando las poblaciones para homogenizar las celdas. Así mismo en los distritos que tienen áreas sin poblar solo se ha considerado las zonas efectivamente pobladas para una distribución correcta de la

población y calcular el real daño a las poblaciones por la contaminación. En la tabla 3.14 se presenta la población, el área efectiva y la densidad poblacional para los distritos de Lima Departamento que están en la zona de evaluación. De modo virtual la población ha sido obtenida de Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018)

Tabla 3.14

Densidad poblacional para los distritos de Lima Departamento.

| No | Distritos de Lima Departamento | Población total (Habitantes) | Area efectiva Poblada (Km ²) | Densida Poblacional (Habitantes/Km ²) |
|----|--------------------------------|------------------------------|--|---|
| 1 | LURIN | 85132 | 50.0 | 1702.64 |
| 2 | PACHACAMAC | 129653 | 25.0 | 5186.12 |
| 3 | PUCUSANA | 17044 | 25.0 | 681.76 |
| 4 | PUENTE PIEDRA | 353489 | 25.0 | 14139.56 |
| 5 | PUNTA HERMOSA | 7609 | 25.0 | 304.36 |
| 6 | PUNTA NEGRA | 7934 | 25.0 | 317.36 |
| 7 | SAN BARTOLO | 7699 | 25.0 | 307.96 |
| 8 | Santa María del Mar | 1608 | 25 | 64.32 |

Puc : Pucusana

Sbar: San Bartolo

Stmar: Santa María de Mar

Pneg: Punta Negra

Pherm: Punta Hermosa

Pacha: Pachacamac

En la tabla 3.14 se presenta la población, el área efectiva y la densidad poblacional para los distritos de la provincia de Cañete que están incluidos en el área de evaluación.

Tabla 3.15
Densidad poblacional de los distritos de Cañete.

| Nº | Distrito | Habitantes | AREA (km²) | Habitantes/km² |
|-----------|-----------------------|-------------------|------------------------------|----------------------------------|
| 1 | SAN VICENTE DE CANETE | 55824 | 25 | 2232.96 |
| 2 | ASIA | 9321 | 50 | 186.42 |
| 3 | CALANGO | 2377 | 25 | 95.08 |
| 4 | CERRO AZUL | 8053 | 25 | 322.12 |
| 5 | CHILCA | 15801 | 25 | 632.04 |
| 6 | COAYLLO | 1077 | 25 | 43.08 |
| 7 | IMPERIAL | 39628 | 25 | 1585.12 |
| 8 | LUNAHUANA | 4812 | 25 | 192.48 |
| 9 | MALA | 34386 | 25 | 1375.44 |
| 10 | NUEVO IMPERIAL | 23130 | 25 | 925.2 |
| 11 | PACARAN | 1791 | 25 | 71.64 |
| 12 | QUILMANA | 15200 | 25 | 608 |
| 13 | SAN ANTONIO | 4169 | 25 | 166.76 |
| 14 | SAN LUIS | 12971 | 25 | 518.84 |
| 15 | SANTA CRUZ DE FLORES | 2793 | 25 | 111.72 |
| 16 | ZUNIGA | 1818 | 25 | 72.72 |
| 17 | Chincha | 75994 | 50 | 1519.88 |
| 18 | AZANGARO | 532 | 25 | 21.28 |
| 19 | OMAS | 578 | 25 | 23.12 |
| 20 | AYAUCA | 2203 | 25 | 88.12 |
| 21 | COLONIA | 1315 | 25 | 52.6 |
| 22 | SAN LORENZO | 1820 | 25 | 72.8 |
| 23 | CAPILLUCAS | 1450 | 25 | 58 |
| 24 | HUANGASCARAN | 570 | 25 | 22.8 |
| 25 | HUAROCHIRI | 81696 | 25 | 3267.84 |
| 26 | CATAHUASI | 951 | 25 | 38.04 |
| 27 | SAN ANDRES | 1240 | 25 | 49.6 |
| 28 | AZPITA | 890 | 25 | 35.6 |
| 29 | BUJAMA | 1200 | 25 | 48 |
| 30 | CALLAO | 982406 | 75 | 13098.75 |
| 31 | VENTANILLA | 27809 | 50 | 556.18 |

Para la ubicación y codificación de los distritos se ha considerado las centrales eléctricas ubicadas en el complejo térmico del distrito de Chila, como el centro del área de evaluación.

El área efectiva, se ha obtenido utilizando Google maps (Google Maps, 2018) para visualizar las áreas verdaderamente pobladas y tomando las dimensiones respectivas para cada uno de los distritos. De igual modo se ha identificado las áreas cultivadas para evaluar los daños a los sembríos, las áreas desérticas o rústicas sin cultivos no han sido consideradas en la evaluación.

En la tabla 3.16 se muestra la población promedio (habitantes/km²) distribuida en ciudad de Lima en la malla elaborada para la evaluación de la valoración económica causado por la contaminación producida por las centrales térmicas del complejo térmico de Chilca.

Tabla 3.16

Distribución de la población en la ciudad de Lima y Callao (habitantes/km²)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|--------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|------|--------|-------|----|----|----|------|------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 433.82 | 433.82 | 433.8 | 4026.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 433.82 | 4711 | 4026.4 | CNH | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 375.02 | 4711 | 10498 | 4026 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 556.18 | 4711 | 10498 | 7275 | 7275 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 556.18 | 14849 | 8672.9 | 7275 | 7275 | 8759 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | JCH | 14004 | 6596.4 | 7275 | 7275 | 25203 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13099 | 14004 | 10873 | 7655 | 9137 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13099 | 13099 | 13099 | 11131 | 12829 | 6866 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3268 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7454.6 | 4477 | 13770 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16160 | 17942 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13022 | 18521 | 0 | 5186 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1702.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1703 | 304.36 | 317.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 308 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 164 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 681.8 | CT | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 632 | 0 | 0 | 0 | 95.1 | 0 |

En la tabla 3.17 se muestra la distribución de la población para todos los distritos considerados para la evaluación de la valoración económica del presente trabajo de tesis. La avaluación considera por el norte hasta la provincia de Chancay, por el sur hasta Pueblo Nuevo, por el este hasta Yauyos, por el noreste hasta Chacapalpa, por el sureste hasta San Juan de Yanac y por el oeste está el Océano Pacífico.

Tabla 3.17

Distribución de la población en todos los distritos considerados en la evaluación (habitantes/km²).

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | | | | |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|----|----|----|----|----|-------|------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------|----|----|----|------|------|-------|---|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 433.82 | 433.82 | 433.8 | 4026.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 433.82 | 4711 | 4026.4 | CNH | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 375.02 | 4711 | 10498 | 4026 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 556.18 | 4711 | 10498 | 7275 | 7275 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 556.18 | 14849 | 8672.9 | 7275 | 7275 | 8759 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | JCH | 14004 | 6596.4 | 7275 | 7275 | 25203 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13099 | 14004 | 10873 | 7655 | 9137 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13099 | 13099 | 13099 | 11131 | 12829 | 6866 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3268 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7454.6 | 4477 | 13770 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16160 | 17942 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13022 | 18521 | 0 | 5186 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1702.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1703 | 304.36 | 317.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 164 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 681.8 | CT | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 632 | 0 | 95.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 49.6 | 35.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 88.1 | 0 | 0 | 0 | 52.6 | 0 | 0 | |
| 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 166.8 | 1375 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 72.8 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 48 | 43.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 58 | 0 | 0 | |
| 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 186 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 186 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 38 | 0 | |
| 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22.8 | 0 | |
| 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21.28 | 0 |
| 33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 34 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 36 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 37 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 38 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

En la tabla 3.18 se presentan los datos de entrada de las centrales térmicas que se ha considerado para el cálculo de las emisiones y su distribución geográfica en la región considerada para el presente trabajo de tesis. Se muestra las coordenadas geográficas, altura sobre el nivel del mar, diámetro de las turbinas, temperatura de salida por chimenea, caudales promedio y velocidades de salida de los caudales por las chimeneas.

Tabla 3.18

Datos de centrales térmicas para cálculo de contaminación atmosférica.

| CENTRAL TERMoeLECTRICA | | | |
|--|--|------------------|------------------------|
| DATOS | | | |
| UBICACION | TG1 | Latitud | -12.497677 |
| | | Longitud | -76.728660 |
| | TG2 | Latitud | -12.497795 |
| | | Longitud | -76.728975 |
| | TG3 | Latitud | -12.498224 |
| | | Longitud | -76.729287 |
| Altura sobre el nivel del mar | msnm | 60 | m |
| Altura de la chimenea | Las tres chimeneas tienen la misma altura | 60 | m |
| Diametro | Iguales TG1,TG2,TG3 | 6 | m |
| Temperatura del gas de salida | 92 °C | 365.15 | °K |
| Flujo promedio por las Chimeneas | TG1 | 1377351.9 | m³/h |
| | TG2 | 1414263.6 | m³/h |
| | TG3 | 1302830 | m³/h |
| Emisiones de Nox | TG1 | 60.8 | Kg/h |
| | TG2 | 53.93 | Kg/h |
| | TG3 | 42.98 | Kg/h |
| Emisiones de PM10 | TG1 | 5.57 | Kg/h |
| | TG2 | 5.31 | Kg/h |
| | TG3 | 5.66 | Kg/h |
| Consumo de combustibles | Carga | MPC/h | KWh/MPC |
| | 100% | 5416.94 | 158.89 |
| | 93% | 4976.65 | 157.93 |
| | 86% | 4653.21 | 157.26 |
| | 79% | 4312.55 | 156.83 |
| | 72% | 4009.13 | 155.38 |
| Velocidad de salida del gas por la chimenea | TG1 | 17.95 | m/s |
| | TG2 | 17.07 | m/s |
| | TG3 | 15.34 | m/s |

CAPITULO IV

RESULTADOS

Contrastación de hipótesis.

Según la OMS la contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud. La OMS estima que, en 2016, aproximadamente el 58% de las muertes prematuras relacionadas con la contaminación atmosférica se debieron a cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares, mientras que el 18% de las muertes se debieron a enfermedad pulmonar obstructiva crónica e infecciones respiratorias agudas, y el 6% de las muertes se debieron al cáncer de pulmón. Estos datos dan significancia positiva a la liberación de productos contaminantes y gases de efecto invernadero por las centrales eléctricas térmicas causan daños a la salud pública y el medio ambiente.

Análisis e interpretación

En esta sección se presentan e interpretan los resultados encontrados en este trabajo de tesis de doctorado, respecto a la contaminación ambiental por las centrales eléctricas térmicas del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), para este caso de estudio se seleccionó las centrales térmicas de Chilca por estar cerca de la ciudad de Lima, solo a 60 Km de distancia hacia la dirección sur y debido a las condiciones meteorológicas de la región los gases contaminantes en la mayor parte de tiempo son dispersadas con dirección a la ciudad de Lima. Se ha encontrado que la mayor cantidad de las emisiones del complejo térmico de Chilca se dirigen y se acumulan en la ciudad de Lima, hecho que perjudica a salud pública de la población limeña y cobra mayor

importancia el presente trabajo de tesis. Para mostrar los resultados se ha dividido la región en cuadrantes como se muestra en la figura 4.1.

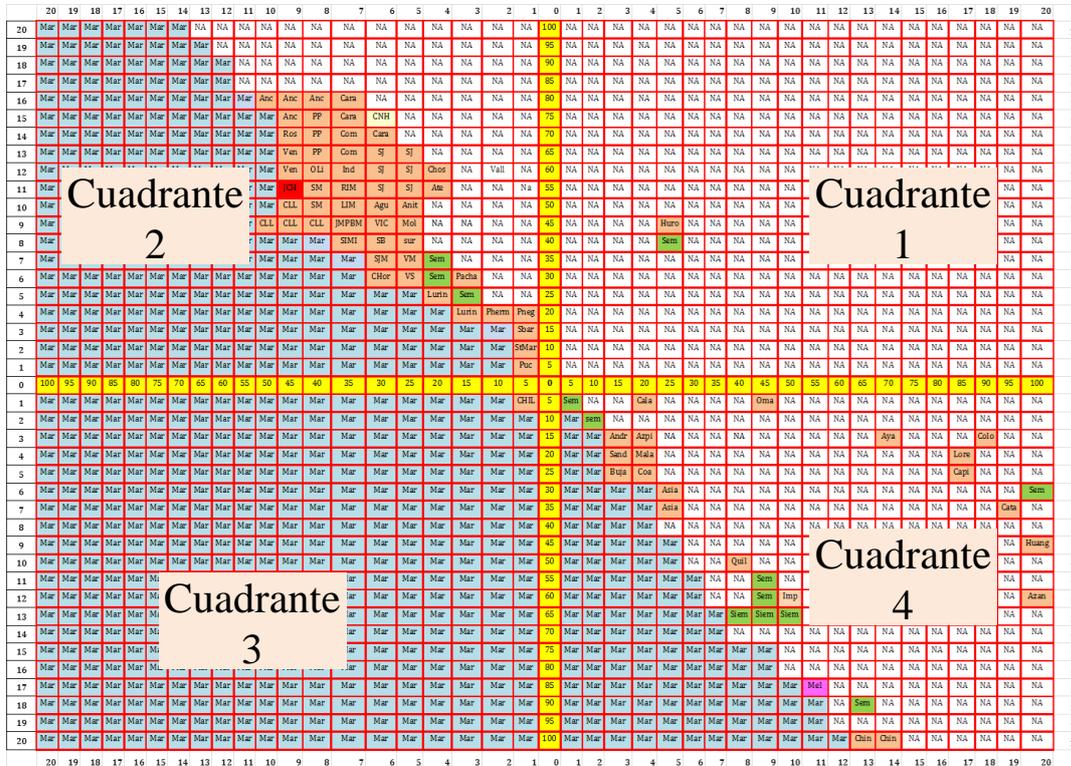


Figura 4.1: Zona de estudio en este trabajo de tesis.

En la figura 4.2 se presenta las direcciones de viento en promedio anual (m/s) en la zona de estudio. Se puede ver que la velocidad del viento está en promedio por debajo de 5.5 m/s y claramente se observa que la dirección del viento en la región es de sur a noroeste por lo cual la ubicación de las centrales, la dirección del viento es hacia la ciudad de Lima.

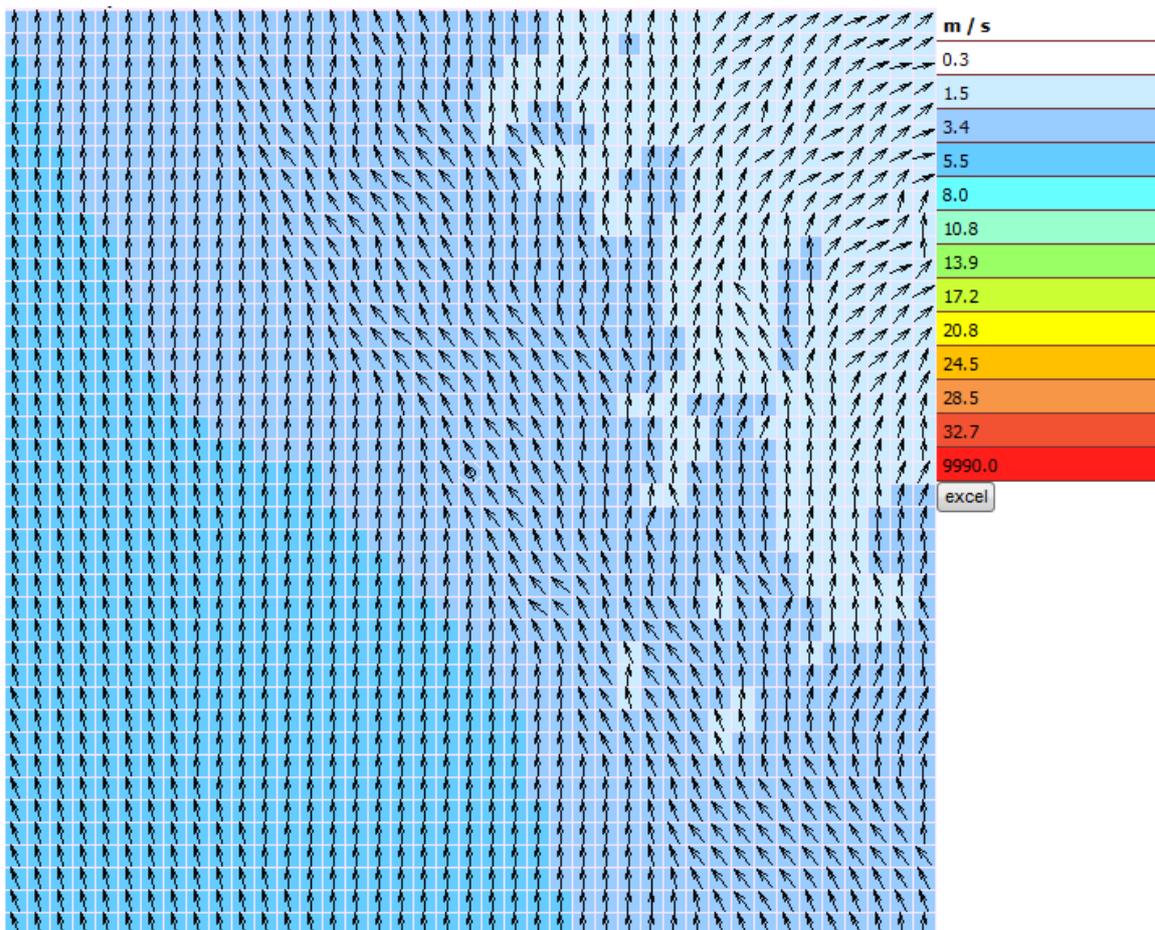


Figura 4.2: Direcciones de viento en la región de estudio.

En la figura 4.3 se muestra la variación de la temperatura en grados kelvin para la región de evaluación del presente estudio. Como se puede observar en la figura 4.3 y considerando la relación: $Y \text{ } ^\circ\text{K} - 273.15 = X \text{ } ^\circ\text{C}$ (Y, valor en grados kelvin y X en grados Celsius) a nivel de mar la temperatura en promedio es de $24.85 \text{ } ^\circ\text{C}$ en la estación de verano y en la sierra en los lugares más altos llega a un valor de $8.26 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Concentración de emisiones.

Para el presente trabajo se ha considerado la región de interés de la figura 4.1, que incluye toda la ciudad de Lima y una región de 40000 km² que alcanza hasta el distrito de Chancay por el norte, hasta Pueblo Nuevo por el sur y por el este hasta el distrito de Yauyos y por el oeste está el mar. Para la dispersión de los gases contaminantes se ha aplicado modelo físico-matemático de dispersión descrito en la sección 3.5.4. En la tabla N° 4.1 se presenta la distribución de contaminante NO_x para los cuadrantes 1 y 2 de la figura 4.1, en la tabla N° 4.2 se presenta la distribución del contaminante NO_x para los cuadrantes 3 y 4 de la figura 4.1., resultados obtenidos mediante el software SIMFACTS (OIEA, 2017).

Las concentraciones de NO_x es mayor magnitud en el cuadrante 2 debido a la dirección del viento que arrastra a los contaminantes hacia la ciudad de Lima, sin embargo, los niveles de concentración son pequeños y están por debajo de los límites permisibles de la OMS.

En figura 4.5 se ha graficado los datos de concentración de mayor magnitud para el cuadrante 2, observándose claramente que en la dirección hacia la ciudad de Lima los niveles de concentración de NO_x es más alto y por las direcciones del viento (fig. 4.2) y geografía (fig.4.4) hace que en ciertas partes geográficas las concentraciones se eleven más que en otras.

En la figura 4,6 se muestra las concentraciones de las partículas PM₁₀ en las celdas de más alta concentración, de modo similar a la distribución del contaminante NO_x, se concentra en mayor cantidad en la zona de la ciudad de Lima.

Tabla 4.1

Resultados de la distribución de la contaminación por NOx dado en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los cuadrantes 1 y 2 de la figura 4.1.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
|----|-------------|-------------|------------|-------------|----------|----------|----------|------------|----------|-----------|-----------|----------|------------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 0.0014699 | 0.00211 | 0.002947 | 0.003978 | 0.005167 | 0.006423 | 0.007581 | 0.00843931 | 0.008922 | 0.008815 | 0.0116212 | 0.021423 | 0.017715 | 0.01378 | 0.010203 | 0.007155 | 0.0046887 | 0.002887 | 0.001648 | 0.000899 | 0.000471 |
| 2 | 0.00156773 | 0.002287 | 0.003249 | 0.004469 | 0.005926 | 0.007523 | 0.009063 | 0.0102964 | 0.010953 | 0.010952 | 0.0325125 | 0.029179 | 0.024342 | 0.018966 | 0.013974 | 0.009684 | 0.0062538 | 0.003734 | 0.002075 | 0.001106 | 0.000587 |
| 3 | 0.00158783 | 0.002347 | 0.003389 | 0.004754 | 0.006446 | 0.00836 | 0.010315 | 0.0119905 | 0.013047 | 0.013195 | 0.0345529 | 0.038994 | 0.033006 | 0.025813 | 0.018761 | 0.012664 | 0.0078824 | 0.004535 | 0.002447 | 0.001284 | 0.000711 |
| 4 | 0.00152434 | 0.002281 | 0.003344 | 0.004777 | 0.006607 | 0.008783 | 0.011122 | 0.0132988 | 0.01486 | 0.015424 | 0.0151353 | 0.014833 | 0.044596 | 0.035174 | 0.025271 | 0.01648 | 0.0097228 | 0.005337 | 0.002824 | 0.001508 | 0.000867 |
| 5 | 0.00138122 | 0.002088 | 0.003101 | 0.004508 | 0.00637 | 0.008682 | 0.011312 | 0.0139603 | 0.016162 | 0.017393 | 0.0173358 | 0.019408 | 0.060435 | 0.048496 | 0.03456 | 0.021908 | 0.012365 | 0.006438 | 0.003354 | 0.001854 | 0.001123 |
| 6 | 0.00118248 | 0.001801 | 0.002703 | 0.003992 | 0.005761 | 0.008063 | 0.010844 | 0.0138771 | 0.016735 | 0.018796 | 0.0198075 | 0.02258 | 0.081752 | 0.067496 | 0.048344 | 0.03006 | 0.0164493 | 0.008249 | 0.004166 | 0.002357 | 0.001525 |
| 7 | 0.00096119 | 0.001468 | 0.002222 | 0.003323 | 0.004889 | 0.007022 | 0.009762 | 0.0130081 | 0.016426 | 0.019401 | 0.0212515 | 0.022161 | 0.040437 | 0.02316 | 0.069023 | 0.042989 | 0.0230099 | 0.011089 | 0.005432 | 0.003088 | 0.002078 |
| 8 | 0.00073751 | 0.001132 | 0.001725 | 0.002607 | 0.003898 | 0.005737 | 0.008244 | 0.0114475 | 0.015178 | 0.018985 | 0.0220555 | 0.024074 | 0.031825 | 0.075357 | 0.10077 | 0.064124 | 0.034077 | 0.01575 | 0.007302 | 0.004118 | 0.002734 |
| 9 | 0.00054759 | 0.00083 | 0.001269 | 0.001933 | 0.002929 | 0.004399 | 0.006505 | 0.00942047 | 0.013163 | 0.017491 | 0.0217921 | 0.025154 | 0.02656 | 0.158295 | 0.149775 | 0.098582 | 0.0525925 | 0.02345 | 0.010154 | 0.005405 | 0.00338 |
| 10 | 0.00040044 | 0.000597 | 0.000897 | 0.001364 | 0.002083 | 0.003182 | 0.004482 | 0.00721879 | 0.010578 | 0.014937 | 0.0200294 | 0.025097 | 0.029133 | 0.210409 | 0.223268 | 0.15458 | 0.0839567 | 0.03635 | 0.014687 | 0.007226 | 0.004194 |
| 11 | 0.0002868 | 0.000426 | 0.000627 | 0.000941 | 0.001424 | 0.002182 | 0.003359 | 0.00515802 | 0.007852 | 0.011708 | 0.0168394 | 0.022895 | 0.028989 | 0.035472 | 0.051769 | 0.223472 | 0.140287 | 0.060754 | 0.022461 | 0.01045 | 0.005629 |
| 12 | 0.00020384 | 0.000303 | 0.000448 | 0.00065 | 0.000968 | 0.001461 | 0.00224 | 0.00346092 | 0.005415 | 0.008476 | 0.0126562 | 0.01854 | 0.025661 | 0.033357 | 0.074149 | 0.382621 | 0.24932 | 0.114106 | 0.03942 | 0.016626 | 0.008083 |
| 13 | 0.00014193 | 0.00021 | 0.000309 | 0.000457 | 0.000664 | 0.000976 | 0.001465 | 0.00223812 | 0.003456 | 0.005394 | 0.0084513 | 0.013085 | 0.019775 | 0.028769 | 0.039173 | 0.572052 | 0.459746 | 0.242158 | 0.084784 | 0.028642 | 0.012135 |
| 14 | 0.00010383 | 0.00015 | 0.000216 | 0.000315 | 0.000458 | 0.00066 | 0.000957 | 0.00141014 | 0.002112 | 0.003245 | 0.0050621 | 0.008196 | 0.013457 | 0.021648 | 0.033799 | 0.059846 | 0.756539 | 0.20714 | 0.207096 | 0.054419 | 0.018713 |
| 15 | 8.1252E-05 | 0.000115 | 0.00016 | 0.000225 | 0.000318 | 0.000447 | 0.000624 | 0.00088548 | 0.001268 | 0.001874 | 0.0028978 | 0.00466 | 0.007685 | 0.013185 | 0.02288 | 0.040639 | 0.0655046 | 0.075886 | 0.501066 | 0.121972 | 0.030175 |
| 16 | 6.0568E-05 | 8.58E-05 | 0.000119 | 0.000163 | 0.00022 | 0.000295 | 0.000402 | 0.00054879 | 0.000764 | 0.00108 | 0.001574 | 0.0024 | 0.003893 | 0.006642 | 0.011663 | 0.02197 | 0.0429148 | 0.077216 | 0.124252 | 0.293472 | 0.055326 |
| 17 | 4.1264E-05 | 6E-05 | 8.18E-05 | 0.000111 | 0.000149 | 0.000195 | 0.000252 | 0.00032661 | 0.000433 | 0.000585 | 0.0008168 | 0.0012 | 0.001805 | 0.002847 | 0.004686 | 0.008309 | 0.0181392 | 0.052792 | 0.132988 | 0.180198 | 0.111492 |
| 18 | 2.6925E-05 | 3.86E-05 | 5.19E-05 | 6.93E-05 | 9.04E-05 | 0.000116 | 0.000147 | 0.00018397 | 0.000229 | 0.000298 | 0.000408 | 0.000551 | 0.000769 | 0.001086 | 0.001533 | 0.00236 | 0.004981 | 0.017627 | 0.093218 | 0.256283 | 0.218167 |
| 19 | 1.5943E-05 | 2.31E-05 | 3.08E-05 | 3.98E-05 | 5.12E-05 | 6.29E-05 | 7.53E-05 | 9.301E-05 | 0.000111 | 0.000141 | 0.0001782 | 0.000223 | 0.000281 | 0.000339 | 0.000401 | 0.0005 | 0.0007564 | 0.002786 | 0.027922 | 0.356228 | 0.464191 |
| 20 | 5.9348E-06 | 1.21E-05 | 1.6E-05 | 2.02E-05 | 2.51E-05 | 3.16E-05 | 3.76E-05 | 4.4564E-05 | 5.09E-05 | 6.473E-05 | 7.48E-05 | 8.37E-05 | 8.24E-05 | 8.00439 | 6.86E-05 | 4.57E-05 | 3.417E-05 | 0.000297 | 0.002986 | 0.108131 | 1.48632 |
| 21 | 2.0083E-06 | 3.95E-06 | 6.58E-06 | 8.64E-06 | 1.02E-05 | 1.29E-05 | 1.63E-05 | 1.9394E-05 | 2.14E-05 | 2.11E-05 | 2.064E-05 | 2.70E-05 | 2.03E-05 | 1.6E-05 | 1.13E-05 | 8.61E-06 | 9.14E-06 | 1.83E-05 | 2.45E-05 | 0.000192 | 0.00021 |
| C | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | |
| 1 | 0.000251247 | 0.000132925 | 7.8445E-05 | 4.45258E-05 | 2.26E-05 | 9.93E-06 | 3.68E-06 | 9.1072E-07 | 2.38E-07 | 9.56E-08 | 4.06E-08 | 1.8E-08 | 8.0939E-09 | 3.24E-09 | 1.62E-09 | 1.04E-09 | 7.01E-10 | 5.43E-10 | 4.22E-10 | 3.31E-10 | 1 |
| 2 | 0.00032268 | 0.000180102 | 0.0001043 | 5.48223E-05 | 2.58E-05 | 1.04E-05 | 3.55E-06 | 7.6033E-07 | 2.59E-07 | 1.01E-07 | 4.09E-08 | 1.81E-08 | 7.8547E-09 | 3.27E-09 | 1.71E-09 | 1.09E-09 | 7.48E-10 | 5.72E-10 | 4.52E-10 | 3.49E-10 | 2 |
| 3 | 0.00041131 | 0.000239216 | 0.00013193 | 6.17277E-05 | 2.68E-05 | 9.89E-06 | 2.91E-06 | 7.4372E-07 | 2.71E-07 | 1.11E-07 | 3.92E-08 | 1.68E-08 | 7.2851E-09 | 3.33E-09 | 1.77E-09 | 1.12E-09 | 7.76E-10 | 5.97E-10 | 4.73E-10 | 3.61E-10 | 3 |
| 4 | 0.000530456 | 0.000313996 | 0.00016315 | 6.82041E-05 | 2.56E-05 | 8.47E-06 | 2.15E-06 | 7.2242E-07 | 2.79E-07 | 1.1E-07 | 3.76E-08 | 1.5E-08 | 6.4253E-09 | 3.14E-09 | 1.77E-09 | 1.13E-09 | 7.98E-10 | 6.08E-10 | 4.82E-10 | 3.66E-10 | 4 |
| 5 | 0.000707719 | 0.000412551 | 0.00020095 | 7.40709E-05 | 2.36E-05 | 6.68E-06 | 1.77E-06 | 6.9412E-07 | 2.85E-07 | 1E-07 | 3.31E-08 | 1.34E-08 | 5.8537E-09 | 3.03E-09 | 1.74E-09 | 1.11E-09 | 8.04E-10 | 6.07E-10 | 4.79E-10 | 3.65E-10 | 5 |
| 6 | 0.00097794 | 0.000537235 | 0.00024589 | 8.65152E-05 | 2.46E-05 | 5.19E-06 | 1.67E-06 | 6.6561E-07 | 2.73E-07 | 9.05E-08 | 2.81E-08 | 1.17E-08 | 5.5477E-09 | 2.83E-09 | 1.63E-09 | 1.05E-09 | 7.79E-10 | 5.97E-10 | 4.65E-10 | 3.53E-10 | 6 |
| 7 | 0.00131882 | 0.00070839 | 0.00030191 | 0.000109478 | 2.37E-05 | 5.22E-06 | 1.62E-06 | 6.1706E-07 | 2.49E-07 | 7.5E-08 | 2.38E-08 | 1.08E-08 | 5.0702E-09 | 2.51E-09 | 1.47E-09 | 9.98E-10 | 7.36E-10 | 5.67E-10 | 4.41E-10 | 3.33E-10 | 7 |
| 8 | 0.00168223 | 0.000884705 | 0.0003855 | 0.000124241 | 3.03E-05 | 6.34E-06 | 1.28E-06 | 5.7941E-07 | 2.2E-07 | 6.56E-08 | 2.33E-08 | 9.27E-09 | 4.4819E-09 | 2.21E-09 | 1.26E-09 | 8.94E-10 | 6.79E-10 | 5.24E-10 | 4.08E-10 | 3.06E-10 | 8 |
| 9 | 0.00207313 | 0.00109433 | 0.00046516 | 0.000163843 | 3.62E-05 | 5.75E-06 | 9.79E-07 | 5.1228E-07 | 1.92E-07 | 6.6E-08 | 2.3E-08 | 8.41E-09 | 3.3864E-09 | 1.73E-09 | 1.09E-09 | 7.78E-10 | 6.02E-10 | 4.7E-10 | 3.67E-10 | 2.73E-10 | 9 |
| 10 | 0.00263881 | 0.00135468 | 0.00053585 | 0.000189816 | 4.14E-05 | 7.77E-06 | 9.58E-07 | 4.3932E-07 | 1.8E-07 | 5.36E-08 | 2.11E-08 | 6.35E-09 | 2.6866E-09 | 1.35E-09 | 8.71E-10 | 6.5E-10 | 5.12E-10 | 4.07E-10 | 3.2E-10 | 2.3E-10 | 10 |
| 11 | 0.00343361 | 0.0016225 | 0.00056571 | 0.000179069 | 4.2E-05 | 7.86E-06 | 8.11E-07 | 3.7245E-07 | 1.59E-07 | 4.16E-08 | 1.71E-08 | 4.65E-09 | 1.782E-09 | 9.53E-10 | 6.72E-10 | 5.26E-10 | 4.17E-10 | 3.36E-10 | 2.68E-10 | 1.89E-10 | 11 |
| 12 | 0.00447234 | 0.00179908 | 0.00050654 | 0.000138388 | 3.25E-05 | 6.25E-06 | 7.7E-07 | 3.4773E-07 | 1.37E-07 | 3.35E-08 | 1.27E-08 | 3.08E-09 | 1.0915E-09 | 6.58E-10 | 4.99E-10 | 4.04E-10 | 3.29E-10 | 2.67E-10 | 2.11E-10 | 1.52E-10 | 12 |
| 13 | 0.00588942 | 0.00184411 | 0.00035471 | 6.87171E-05 | 1.32E-05 | 4.39E-06 | 8.05E-07 | 3.1775E-07 | 1.14E-07 | 2.38E-08 | 7.68E-09 | 1.86E-09 | 6.582E-10 | 4.39E-10 | 3.57E-10 | 2.97E-10 | 2.48E-10 | 2.06E-10 | 1.55E-10 | 1.14E-10 | 13 |
| 14 | 0.00818289 | 0.00182092 | 0.00021626 | 3.13197E-05 | 8.08E-06 | 3.68E-06 | 8.7E-07 | 2.95E-07 | 9.26E-08 | 1.71E-08 | 3.26E-09 | 1.02E-09 | 3.4552E-10 | 2.87E-10 | 2.45E-10 | 2.07E-10 | 1.77E-10 | 1.46E-10 | 1.09E-10 | 8.09E-11 | 14 |
| 15 | 0.0128264 | 0.00200463 | 0.00020401 | 3.41952E-05 | 1.11E-05 | 3.96E-06 | 8.49E-07 | 2.1921E-07 | 4.05E-08 | 1.1E-08 | 1.81E-09 | 4.07E-10 | 2.0142E-10 | 1.77E-10 | 1.56E-10 | 1.37E-10 | 1.17E-10 | 9.64E-11 | 7.18E-11 | 5.33E-11 | 15 |
| 16 | 0.0210915 | 0.00255272 | 0.00028692 | 5.91877E-05 | 1.64E-05 | 3.9E-06 | 7.27E-07 | 1.4721E-07 | 2.15E-08 | 4.49E-09 | 8.12E-10 | 1.31E-10 | 1.1481E-10 | 1.03E-10 | 9.16E-11 | 8.16E-11 | 7.33E-11 | 5.97E-11 | 4.39E-11 | 3.12E-11 | 16 |
| 17 | 0.0324736 | 0.00339263 | 0.00048721 | 9.92896E-05 | 1.96E-05 | 2.74E-06 | 3.29E-07 | 5.4324E-08 | 1.01E-08 | 2.99E-09 | 3.06E-10 | 7.39E-11 | 6.6224E-11 | 5.97E-11 | 5.41E-11 | 4.86E-11 | 4.28E-11 | 3.26E-11 | 2.36E-11 | 1.62E-11 | 17 |
| 18 | 0.0453269 | 0.00458278 | 0.00072517 | 0.000103644 | 1.02E-05 | 6.06E-07 | 7.89E-08 | 1.413E-08 | 4.14E-09 | 6.37E-10 | 4.24E-11 | 3.66E-11 | 3.471E-11 | 3.26E-11 | 3.05E-11 | 2.78E-11 | 2.16E-11 | 1.72E-11 | 1.19E-11 | 8.05E-12 | 18 |
| 19 | 0.0491746 | 0.00510907 | 0.00042675 | 2.44784E-05 | 7.17E-07 | 9.7E-08 | 2.09E-08 | 4.6459E-09 | 1.13E-09 | 1.61E-10 | 2.09E-11 | 1.38E-11 | 9.6159E-12 | 9.06E-12 | 7.43E-12 | 7.09E-12 | 5.72E-12 | 2.23E-12 | 5.71E-14 | 3.6E-14 | 19 |
| 20 | 0.0334388 | 0.000441372 | 7.192E-06 | 3.47281E-07 | 9.38E-08 | 2.34E-08 | 4.54E-09 | 7.6974E-10 | 2.53E-10 | 1.56E-11 | 1.04E-11 | 7.11E-12 | 4.3851E-12 | 3E-12 | 1.37E-12 | 1.3E-14 | 7.34E-15 | 4.23E-15 | 3.45E-15 | 2.56E-15 | 20 |
| 21 | 2.85442E-05 | 4.19258E-06 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 4.2

Resultados de la distribución de la contaminación por NOx dado en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los cuadrantes 3 y 4 de la figura 4.1

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
| 21 | 7.76E-07 | 1.58E-06 | 2.68E-06 | 3.48E-06 | 4.24E-06 | 5.17E-06 | 6.41E-06 | 7.63E-06 | 8.37E-06 | 8.01E-06 | 8.1E-06 | 8.06E-06 | 7.94E-06 | 6.42E-06 | 4.86E-06 | 3.86E-06 | 4.59E-06 | 1.07E-05 | 1.41E-05 | 9.31E-05 | 0.000102 | C u a d r a n t e 3 |
| 22 | 2.15E-07 | 4.59E-07 | 7.29E-07 | 1.29E-06 | 1.78E-06 | 2.05E-06 | 2.11E-06 | 2.04E-06 | 2.09E-06 | 1.93E-06 | 1.81E-06 | 2.09E-06 | 1.83E-06 | 1.89E-06 | 1.86E-06 | 1.8E-06 | 1.99E-06 | 2.6E-06 | 3.8E-06 | 5.97E-06 | 7.04E-06 | |
| 23 | 1.33E-09 | 5.79E-08 | 5.82E-08 | 5.85E-08 | 2.62E-07 | 3.97E-07 | 5.67E-07 | 6.94E-07 | 8.08E-07 | 8.88E-07 | 9.35E-07 | 9.45E-07 | 9.09E-07 | 9.32E-07 | 9.05E-07 | 8.37E-07 | 7.28E-07 | 7.78E-07 | 8.83E-07 | 8.59E-07 | 7.46E-07 | |
| 24 | 1.57E-10 | 3.37E-10 | 6.18E-10 | 1.12E-09 | 1.72E-09 | 2.8E-09 | 1.53E-07 | 3E-07 | 3.64E-07 | 4.02E-07 | 4.49E-07 | 4.37E-07 | 4.09E-07 | 3.69E-07 | 3.22E-07 | 2.59E-07 | 1.05E-07 | 2.11E-08 | 2.7E-08 | 2.91E-08 | 2.54E-08 | |
| 25 | 1.78E-11 | 3.04E-11 | 4.11E-11 | 1.16E-10 | 2.67E-10 | 4.42E-10 | 5.41E-10 | 1.03E-09 | 1.14E-09 | 1.17E-09 | 9.68E-08 | 9.79E-08 | 9.45E-08 | 7.92E-10 | 7.54E-10 | 5.31E-10 | 4.5E-10 | 3.81E-10 | 3.45E-10 | 1.8E-10 | 6.24E-11 | |
| 26 | 1.01E-12 | 4.39E-12 | 2E-11 | 2.31E-11 | 2.76E-11 | 4.75E-11 | 5.99E-11 | 7.71E-11 | 1.25E-10 | 1.17E-10 | 1.18E-10 | 1.15E-10 | 8.1E-11 | 7.28E-11 | 7.03E-11 | 7.79E-11 | 7.29E-11 | 6.28E-11 | 3.76E-11 | 1.77E-11 | 1.38E-11 | |
| 27 | 4.75E-13 | 8.18E-13 | 1.6E-12 | 6.44E-12 | 1.86E-11 | 2.1E-11 | 2.31E-11 | 2.98E-11 | 3.46E-11 | 3.58E-11 | 3.98E-11 | 3.91E-11 | 3.74E-11 | 3.51E-11 | 3.36E-11 | 2.89E-11 | 2.48E-11 | 1.86E-11 | 1.13E-11 | 7.83E-12 | 6.27E-12 | |
| 28 | 1.55E-13 | 1.98E-13 | 4.71E-13 | 6.14E-13 | 1.54E-12 | 4.77E-12 | 7.24E-12 | 9.16E-12 | 1.67E-11 | 1.75E-11 | 1.95E-11 | 2.17E-11 | 2.14E-11 | 2.3E-11 | 2.16E-11 | 1.17E-11 | 9.64E-12 | 7.53E-12 | 6.68E-12 | 5.89E-12 | 5.18E-12 | |
| 29 | 4.51E-14 | 8.88E-14 | 1.28E-13 | 1.53E-13 | 2.32E-13 | 4.93E-13 | 7.27E-13 | 1.52E-12 | 2.77E-12 | 4.16E-12 | 6.02E-12 | 6.08E-12 | 6.09E-12 | 6.04E-12 | 6E-12 | 5.9E-12 | 5.76E-12 | 3.78E-12 | 2.32E-12 | 1.21E-12 | 3.77E-13 | |
| 30 | 5.28E-15 | 6.59E-15 | 2.85E-14 | 4.99E-14 | 8.7E-14 | 1.03E-13 | 1.36E-13 | 1.84E-13 | 1.92E-13 | 2.39E-13 | 3.64E-13 | 6.92E-13 | 7.65E-13 | 7.67E-13 | 6.93E-13 | 6.52E-13 | 3E-13 | 2.13E-13 | 7.85E-14 | 2.67E-14 | 6.07E-15 | |
| 31 | 1.43E-17 | 1.95E-17 | 2.16E-17 | 3.9E-15 | 5.29E-15 | 6.01E-15 | 3.35E-14 | 3.6E-14 | 4.14E-14 | 6.74E-14 | 6.97E-14 | 6.89E-14 | 6.78E-14 | 4.16E-14 | 3.87E-14 | 3.01E-14 | 5.89E-15 | 1.11E-17 | 8.26E-18 | 4.29E-18 | 3.32E-18 | |
| 32 | 3.94E-18 | 6.68E-18 | 8.42E-18 | 9.35E-18 | 1.31E-17 | 1.35E-17 | 1.37E-17 | 1.39E-17 | 1.4E-17 | 1.48E-17 | 1.37E-17 | 1.34E-17 | 1.18E-17 | 8.78E-18 | 8.37E-18 | 6.61E-18 | 4.21E-18 | 3.34E-18 | 1.81E-18 | 7.56E-19 | 0 | |
| 33 | 0 | 1.48E-18 | 1.79E-18 | 3.02E-18 | 3.36E-18 | 3.46E-18 | 3.54E-18 | 3.58E-18 | 4.2E-18 | 4.18E-18 | 3.54E-18 | 3.47E-18 | 3.36E-18 | 3.02E-18 | 1.81E-18 | 1.5E-18 | 7.32E-19 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 34 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 36 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 37 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 38 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| C u a d r a n t e 4 | 1.47E-05 | 2.26E-06 | 4.84E-07 | 4.78E-08 | 7.61E-09 | 9.04E-10 | 2.35E-10 | 1.28E-10 | 3.88E-11 | 1.03E-12 | 1.65E-13 | 1.88E-14 | 7.08E-15 | 3.56E-15 | 1.09E-15 | 2.45E-16 | 6.18E-17 | 1.2E-17 | 0 | 0 | 0 | |
| | 1.95E-06 | 6.74E-07 | 1.34E-07 | 1.18E-08 | 3.03E-10 | 5.94E-11 | 6.65E-12 | 3.91E-12 | 1.18E-12 | 2.79E-13 | 1.25E-14 | 1.25E-15 | 8.32E-16 | 5.46E-16 | 1.01E-16 | 1.22E-17 | 3.82E-18 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 3.84E-07 | 1.28E-07 | 1.13E-08 | 5.66E-11 | 3.38E-11 | 6.42E-12 | 2.77E-12 | 1.22E-12 | 3.09E-13 | 6.82E-14 | 2.77E-16 | 1.48E-16 | 4.69E-17 | 3.43E-17 | 3.75E-18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 1.57E-08 | 7.08E-09 | 4.85E-11 | 1.92E-11 | 6E-12 | 1.77E-12 | 1.21E-12 | 3.15E-13 | 8.17E-14 | 9.79E-18 | 6.28E-18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 4.87E-11 | 2.29E-11 | 8.34E-12 | 4.04E-12 | 1.92E-12 | 1.26E-12 | 3.02E-13 | 6.65E-14 | 4.79E-18 | 1.86E-18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 1.02E-11 | 6.12E-12 | 3.83E-12 | 2.36E-12 | 1.33E-12 | 2.73E-13 | 7.05E-15 | 4.27E-18 | 1.81E-18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 5.31E-12 | 4.24E-12 | 1.93E-12 | 7.7E-13 | 9.99E-14 | 6.21E-15 | 4.06E-18 | 1.73E-18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 2.2E-12 | 8.8E-13 | 1.59E-13 | 6.97E-15 | 4.74E-18 | 1.89E-18 | 7.49E-19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 1.29E-13 | 6.63E-15 | 6.23E-18 | 3.39E-18 | 1.74E-18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 6.19E-18 | 4.03E-18 | 1.78E-18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 1.76E-18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla 4.3

Resultados de la distribución de la contaminación por PM_{10} dado en $\mu g/m^3$ para los cuadrantes 1 y 2 de la figura 4.1

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | |
|----|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----|
| 1 | 0.0005175 | 0.000717 | 0.000991 | 0.001357 | 0.001829 | 0.002379 | 0.003001 | 0.00366 | 0.004323 | 0.004897 | 0.005874 | 0.007393 | 0.007221 | 0.006924 | 0.006564 | 0.00614 | 0.005642 | 0.005065 | 0.004413 | 0.00373 | |
| 2 | 0.0005366 | 0.000758 | 0.001061 | 0.001472 | 0.002016 | 0.002668 | 0.003426 | 0.004249 | 0.00503 | 0.005788 | 0.009111 | 0.00914 | 0.008939 | 0.008587 | 0.008148 | 0.007642 | 0.007033 | 0.006313 | 0.005493 | 0.004627 | |
| 3 | 0.000536 | 0.000763 | 0.001081 | 0.001528 | 0.002127 | 0.002859 | 0.003776 | 0.004698 | 0.005731 | 0.006639 | 0.010088 | 0.011078 | 0.010885 | 0.010427 | 0.009877 | 0.009242 | 0.008506 | 0.007636 | 0.006643 | 0.005584 | |
| 4 | 0.0005168 | 0.000738 | 0.001059 | 0.001508 | 0.002115 | 0.00291 | 0.003877 | 0.004995 | 0.00615 | 0.007288 | 0.008352 | 0.009243 | 0.012933 | 0.012418 | 0.011718 | 0.010902 | 0.009998 | 0.008971 | 0.007821 | 0.006576 | |
| 5 | 0.0004772 | 0.000683 | 0.000981 | 0.001416 | 0.00202 | 0.002813 | 0.003831 | 0.005066 | 0.006414 | 0.007761 | 0.008996 | 0.010519 | 0.015233 | 0.014614 | 0.0137 | 0.012617 | 0.011494 | 0.010325 | 0.009048 | 0.007644 | |
| 6 | 0.0004279 | 0.000608 | 0.000875 | 0.001265 | 0.001823 | 0.002586 | 0.0036 | 0.00486 | 0.006368 | 0.007936 | 0.009546 | 0.01129 | 0.017887 | 0.017214 | 0.015981 | 0.014507 | 0.013102 | 0.011776 | 0.010394 | 0.008839 | |
| 7 | 0.0003728 | 0.000522 | 0.000745 | 0.001078 | 0.001565 | 0.002262 | 0.003232 | 0.004486 | 0.006051 | 0.007786 | 0.009608 | 0.011427 | 0.01475 | 0.014099 | 0.018753 | 0.016745 | 0.014908 | 0.013383 | 0.011908 | 0.01022 | |
| 8 | 0.0003183 | 0.000439 | 0.000618 | 0.000888 | 0.00129 | 0.001884 | 0.002742 | 0.003945 | 0.005497 | 0.00735 | 0.009381 | 0.01152 | 0.014094 | 0.019755 | 0.022391 | 0.019609 | 0.017078 | 0.015174 | 0.013569 | 0.011727 | |
| 9 | 0.0002685 | 0.000364 | 0.000504 | 0.000712 | 0.001028 | 0.001512 | 0.002234 | 0.003303 | 0.004761 | 0.006675 | 0.008899 | 0.011309 | 0.013511 | 0.027551 | 0.027337 | 0.023497 | 0.019845 | 0.017229 | 0.015338 | 0.013256 | |
| 10 | 0.0002276 | 0.000302 | 0.000407 | 0.000564 | 0.000805 | 0.001177 | 0.001752 | 0.00263 | 0.003926 | 0.005707 | 0.008018 | 0.010712 | 0.013471 | 0.032738 | 0.034098 | 0.029033 | 0.023639 | 0.019785 | 0.017301 | 0.014783 | |
| 11 | 0.0001935 | 0.00025 | 0.00033 | 0.000445 | 0.000617 | 0.000891 | 0.001321 | 0.001989 | 0.003053 | 0.004607 | 0.006796 | 0.009484 | 0.012556 | 0.015696 | 0.019274 | 0.035729 | 0.029406 | 0.023445 | 0.019829 | 0.016691 | |
| 12 | 0.0001656 | 0.000211 | 0.000269 | 0.000352 | 0.000472 | 0.000664 | 0.000958 | 0.00144 | 0.00223 | 0.003518 | 0.00525 | 0.007673 | 0.01066 | 0.014057 | 0.020652 | 0.048867 | 0.039449 | 0.029753 | 0.023612 | 0.019464 | |
| 13 | 0.0001412 | 0.000177 | 0.000223 | 0.000282 | 0.000365 | 0.000487 | 0.00068 | 0.000987 | 0.001499 | 0.002319 | 0.003638 | 0.005514 | 0.007984 | 0.011507 | 0.01585 | 0.064758 | 0.057369 | 0.042274 | 0.030398 | 0.023557 | |
| 14 | 0.0001186 | 0.000147 | 0.000184 | 0.000228 | 0.000285 | 0.000365 | 0.000476 | 0.000648 | 0.000929 | 0.001424 | 0.002217 | 0.003602 | 0.005764 | 0.008848 | 0.013224 | 0.019855 | 0.082819 | 0.041214 | 0.044185 | 0.029812 | |
| 15 | 9.745E-05 | 0.000121 | 0.000148 | 0.000182 | 0.000223 | 0.000273 | 0.00034 | 0.000431 | 0.000569 | 0.000815 | 0.001247 | 0.002011 | 0.003296 | 0.005504 | 0.009008 | 0.014572 | 0.021919 | 0.028728 | 0.027269 | 0.040738 | |
| 16 | 7.788E-05 | 9.57E-05 | 0.000116 | 0.000141 | 0.00017 | 0.000202 | 0.000242 | 0.000291 | 0.000362 | 0.000474 | 0.000665 | 0.001013 | 0.001661 | 0.002829 | 0.004731 | 0.008215 | 0.014107 | 0.02413 | 0.038698 | 0.061582 | |
| 17 | 6.032E-05 | 7.4E-05 | 8.91E-05 | 0.000106 | 0.000126 | 0.000147 | 0.000171 | 0.000197 | 0.00023 | 0.000278 | 0.000349 | 0.000482 | 0.000721 | 0.001147 | 0.001898 | 0.003362 | 0.006419 | 0.014886 | 0.03426 | 0.052587 | |
| 18 | 4.515E-05 | 5.49E-05 | 6.57E-05 | 7.73E-05 | 8.93E-05 | 0.000102 | 0.000116 | 0.000129 | 0.000144 | 0.000165 | 0.000193 | 0.000238 | 0.000306 | 0.000426 | 0.000602 | 0.000987 | 0.001953 | 0.005309 | 0.020776 | 0.057727 | |
| 19 | 3.261E-05 | 3.93E-05 | 4.65E-05 | 5.41E-05 | 6.2E-05 | 6.97E-05 | 7.68E-05 | 8.41E-05 | 9.17E-05 | 0.000101 | 0.000112 | 0.000121 | 0.000136 | 0.000151 | 0.000168 | 0.000223 | 0.000377 | 0.00088 | 0.005967 | 0.059666 | |
| 20 | 2.204E-05 | 2.73E-05 | 3.19E-05 | 3.67E-05 | 4.16E-05 | 4.65E-05 | 5.12E-05 | 5.55E-05 | 5.91E-05 | 6.17E-05 | 6.45E-05 | 6.66E-05 | 6.67E-05 | 6.38E-05 | 6.18E-05 | 5.88E-05 | 5.98E-05 | 0.00011 | 0.000495 | 0.014492 | |
| C | 0.00306 | 0.00243 | 0.00188 | 0.00142 | 0.00105 | 0.00077 | 0.00056 | 0.00042 | 0.00031 | 0.00023 | 0.00018 | 0.00013 | 0.0001 | 8E-05 | 6.1E-05 | 4.7E-05 | 3.7E-05 | 2.8E-05 | 2.1E-05 | 1.6E-05 | 1 |
| | 0.00377 | 0.00298 | 0.00228 | 0.0017 | 0.00123 | 0.00089 | 0.00064 | 0.00046 | 0.00034 | 0.00025 | 0.00019 | 0.00014 | 0.00011 | 8.2E-05 | 6.3E-05 | 4.9E-05 | 3.7E-05 | 2.8E-05 | 2.2E-05 | 1.6E-05 | 2 |
| | 0.00453 | 0.00355 | 0.00269 | 0.00198 | 0.00141 | 0.001 | 0.00071 | 0.00051 | 0.00036 | 0.00027 | 0.0002 | 0.00015 | 0.00011 | 8.4E-05 | 6.4E-05 | 4.9E-05 | 3.7E-05 | 2.8E-05 | 2.1E-05 | 1.6E-05 | 3 |
| | 0.00533 | 0.00415 | 0.00311 | 0.00225 | 0.00158 | 0.0011 | 0.00076 | 0.00054 | 0.00038 | 0.00027 | 0.0002 | 0.00015 | 0.00011 | 8.4E-05 | 6.4E-05 | 4.8E-05 | 3.6E-05 | 2.7E-05 | 2E-05 | 1.5E-05 | 4 |
| | 0.00619 | 0.00481 | 0.00356 | 0.00252 | 0.00173 | 0.00118 | 0.0008 | 0.00055 | 0.00039 | 0.00027 | 0.0002 | 0.00015 | 0.00011 | 8.2E-05 | 6.1E-05 | 4.6E-05 | 3.4E-05 | 2.6E-05 | 1.9E-05 | 1.4E-05 | 5 |
| | 0.00718 | 0.00554 | 0.00404 | 0.00279 | 0.00186 | 0.00123 | 0.00082 | 0.00055 | 0.00038 | 0.00027 | 0.0002 | 0.00014 | 0.00011 | 7.8E-05 | 5.7E-05 | 4.3E-05 | 3.2E-05 | 2.3E-05 | 1.7E-05 | 1.3E-05 | 6 |
| | 0.0083 | 0.00633 | 0.00451 | 0.00302 | 0.00196 | 0.00125 | 0.00081 | 0.00054 | 0.00037 | 0.00026 | 0.00019 | 0.00013 | 9.8E-05 | 7.1E-05 | 5.2E-05 | 3.8E-05 | 2.8E-05 | 2.1E-05 | 1.5E-05 | 1.1E-05 | 7 |
| | 0.00948 | 0.00709 | 0.0049 | 0.00316 | 0.00197 | 0.00122 | 0.00078 | 0.00051 | 0.00035 | 0.00024 | 0.00017 | 0.00012 | 8.8E-05 | 6.3E-05 | 4.6E-05 | 3.3E-05 | 2.4E-05 | 1.8E-05 | 1.3E-05 | 9.8E-06 | 8 |
| | 0.01055 | 0.00766 | 0.00509 | 0.00314 | 0.00188 | 0.00115 | 0.00073 | 0.00048 | 0.00032 | 0.00022 | 0.00015 | 0.00011 | 7.6E-05 | 5.4E-05 | 3.8E-05 | 2.8E-05 | 2E-05 | 1.5E-05 | 1.1E-05 | 8.1E-06 | 9 |
| | 0.01149 | 0.00803 | 0.00506 | 0.00297 | 0.00174 | 0.00107 | 0.00068 | 0.00044 | 0.00029 | 0.00019 | 0.00013 | 9.1E-05 | 6.3E-05 | 4.3E-05 | 3E-05 | 2.2E-05 | 1.6E-05 | 1.2E-05 | 8.7E-06 | 6.4E-06 | 10 |
| | 0.01258 | 0.00836 | 0.00494 | 0.00276 | 0.0016 | 0.00099 | 0.00063 | 0.00041 | 0.00026 | 0.00017 | 0.00011 | 7.2E-05 | 4.8E-05 | 3.2E-05 | 2.3E-05 | 1.6E-05 | 1.2E-05 | 8.8E-06 | 6.7E-06 | 4.9E-06 | 11 |
| | 0.01415 | 0.00883 | 0.00482 | 0.00256 | 0.00149 | 0.00093 | 0.00059 | 0.00036 | 0.00022 | 0.00013 | 8.1E-05 | 5.1E-05 | 3.3E-05 | 2.2E-05 | 1.6E-05 | 1.1E-05 | 8.5E-06 | 6.5E-06 | 4.9E-06 | 3.7E-06 | 12 |
| | 0.01643 | 0.00952 | 0.0047 | 0.0024 | 0.00143 | 0.0009 | 0.00055 | 0.00031 | 0.00017 | 9.4E-05 | 5.5E-05 | 3.3E-05 | 2.2E-05 | 1.5E-05 | 1E-05 | 7.6E-06 | 5.8E-06 | 4.5E-06 | 3.4E-06 | 2.5E-06 | 13 |
| | 0.01985 | 0.01067 | 0.00469 | 0.00237 | 0.00144 | 0.00089 | 0.0005 | 0.00025 | 0.00012 | 6.2E-05 | 3.3E-05 | 2E-05 | 1.3E-05 | 8.7E-06 | 6.3E-06 | 4.8E-06 | 3.8E-06 | 2.9E-06 | 2.3E-06 | 1.6E-06 | 14 |
| | 0.02507 | 0.01271 | 0.00496 | 0.00251 | 0.00151 | 0.00085 | 0.00042 | 0.00018 | 7.7E-05 | 3.5E-05 | 1.8E-05 | 1.1E-05 | 7.1E-06 | 5.2E-06 | 3.9E-06 | 3E-06 | 2.4E-06 | 1.9E-06 | 1.5E-06 | 1E-06 | 15 |
| | 0.03281 | 0.01569 | 0.00549 | 0.0028 | 0.00154 | 0.00073 | 0.00029 | 0.0001 | 3.9E-05 | 1.7E-05 | 8.6E-06 | 5.8E-06 | 4.2E-06 | 3.1E-06 | 2.3E-06 | 1.8E-06 | 1.4E-06 | 1.1E-06 | 8.5E-07 | 5.8E-07 | 16 |
| | 0.04405 | 0.01815 | 0.00569 | 0.00283 | 0.00128 | 0.00044 | 0.00013 | 4.1E-05 | 1.5E-05 | 7E-06 | 4.7E-06 | 3.5E-06 | 2.6E-06 | 1.9E-06 | 1.4E-06 | 1.1E-06 | 8.6E-07 | 6.5E-07 | 4.3E-07 | 2.8E-07 | 17 |
| | 0.06018 | 0.01802 | 0.00506 | 0.0021 | 0.00061 | 0.00013 | 3.1E-05 | 1.3E-05 | 6.7E-06 | 4.1E-06 | 3.1E-06 | 2.3E-06 | 1.6E-06 | 1.2E-06 | 8.6E-07 | 6.5E-07 | 5E-07 | 3.3E-07 | 1.9E-07 | 1.1E-07 | 18 |
| | 0.09 | 0.01422 | 0.00339 | 0.00065 | 9.8E-05 | 2.2E-05 | 1.2E-05 | 6.6E-06 | 3.9E-06 | 2.8E-06 | 2.1E-06 | 1.5E-06 | 1.1E-06 | 7.2E-07 | 4.9E-07 | 3.5E-07 | 2.3E-07 | 1.3E-07 | 6.5E-08 | 2.9E-08 | 19 |
| | 0.20974 | 0.00703 | 0.00022 | 2.4E-05 | 1.3E-05 | 1.1E-05 | 6E-06 | 3.9E-06 | 2.7E-06 | 2E-06 | 1.4E-06 | 9.6E-07 | 6.4E-07 | 3.9E-07 | 2.6E-07 | 1.7E-07 | 1.1E-07 | 4.4E-08 | 1.5E-08 | 6.8E-09 | 20 |

Tabla 4.4

Resultados de la distribución de la contaminación por PM_{10} dado en $\mu g/m^3$ para los cuadrantes 3 y 4 de la figura 4.1

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|--|---|
| 21 | 1.49E-05 | 1.8E-05 | 2.2E-05 | 2.5E-05 | 2.7E-05 | 3.1E-05 | 3.4E-05 | 3.6E-05 | 3.8E-05 | 3.8E-05 | 3.8E-05 | 3.8E-05 | 3.7E-05 | 3.5E-05 | 3.3E-05 | 3E-05 | 2.8E-05 | 2.6E-05 | 2.3E-05 | 3.3E-05 | C u a d r a n t e 3 | |
| 22 | 1.04E-05 | 1.2E-05 | 1.4E-05 | 1.7E-05 | 1.8E-05 | 2E-05 | 2.2E-05 | 2.3E-05 | 2.4E-05 | 2.5E-05 | 2.5E-05 | 2.4E-05 | 2.3E-05 | 2.2E-05 | 2.1E-05 | 1.9E-05 | 1.8E-05 | 1.6E-05 | 1.4E-05 | 1.2E-05 | | 0 |
| 23 | 6.95E-06 | 8.5E-06 | 9.8E-06 | 1.1E-05 | 1.3E-05 | 1.4E-05 | 1.5E-05 | 1.6E-05 | 1.7E-05 | 1.7E-05 | 1.7E-05 | 1.7E-05 | 1.6E-05 | 1.5E-05 | 1.4E-05 | 1.3E-05 | 1.2E-05 | 1.1E-05 | 9.3E-06 | 7.8E-06 | | 0 |
| 24 | 4.85E-06 | 5.7E-06 | 6.9E-06 | 7.8E-06 | 8.7E-06 | 9.5E-06 | 1.1E-05 | 1.1E-05 | 1.2E-05 | 1.2E-05 | 1.2E-05 | 1.2E-05 | 1.1E-05 | 1E-05 | 9.8E-06 | 9E-06 | 8.2E-06 | 7.3E-06 | 6.5E-06 | 5.7E-06 | | 0 |
| 25 | 3.25E-06 | 4E-06 | 4.6E-06 | 5.4E-06 | 6.3E-06 | 6.8E-06 | 7.4E-06 | 7.8E-06 | 8.2E-06 | 8.4E-06 | 8.4E-06 | 8.2E-06 | 7.9E-06 | 7.5E-06 | 7E-06 | 6.5E-06 | 6E-06 | 5.4E-06 | 4.9E-06 | 4.3E-06 | | 0 |
| 26 | 1.93E-06 | 2.5E-06 | 3.2E-06 | 3.7E-06 | 4.2E-06 | 4.7E-06 | 5.2E-06 | 5.5E-06 | 5.8E-06 | 6E-06 | 6E-06 | 6E-06 | 5.8E-06 | 5.5E-06 | 5.2E-06 | 4.8E-06 | 4.5E-06 | 4E-06 | 3.6E-06 | 3.1E-06 | | 0 |
| 27 | 1.17E-06 | 1.5E-06 | 1.8E-06 | 2.3E-06 | 2.8E-06 | 3.1E-06 | 3.4E-06 | 3.8E-06 | 4.1E-06 | 4.2E-06 | 4.3E-06 | 4.3E-06 | 4.2E-06 | 4E-06 | 3.8E-06 | 3.6E-06 | 3.3E-06 | 2.9E-06 | 2.6E-06 | 2.2E-06 | | 0 |
| 28 | 5.9E-07 | 7.6E-07 | 1E-06 | 1.2E-06 | 1.5E-06 | 1.9E-06 | 2.3E-06 | 2.5E-06 | 2.6E-06 | 2.8E-06 | 2.9E-06 | 3E-06 | 3E-06 | 2.9E-06 | 2.8E-06 | 2.5E-06 | 2.3E-06 | 2.1E-06 | 1.8E-06 | 1.5E-06 | | 0 |
| 29 | 2.56E-07 | 3.2E-07 | 4.3E-07 | 5.5E-07 | 7.1E-07 | 8.8E-07 | 1E-06 | 1.2E-06 | 1.4E-06 | 1.6E-06 | 1.8E-06 | 1.8E-06 | 1.7E-06 | 1.7E-06 | 1.7E-06 | 1.5E-06 | 1.4E-06 | 1.2E-06 | 1E-06 | 7.9E-07 | | 0 |
| 30 | 1.3E-07 | 1.5E-07 | 1.8E-07 | 2.3E-07 | 2.8E-07 | 3.2E-07 | 3.8E-07 | 4.8E-07 | 5.3E-07 | 5.7E-07 | 6.7E-07 | 7.1E-07 | 7.6E-07 | 7.4E-07 | 7.1E-07 | 6.4E-07 | 5.1E-07 | 4.2E-07 | 2.2E-07 | 1.3E-07 | | 0 |
| 31 | 6.8E-08 | 8.7E-08 | 9.6E-08 | 1.1E-07 | 1.2E-07 | 1.4E-07 | 1.6E-07 | 1.7E-07 | 1.8E-07 | 1.8E-07 | 1.9E-07 | 1.8E-07 | 1.8E-07 | 1.7E-07 | 1.5E-07 | 1.3E-07 | 9.8E-08 | 7.6E-08 | 5.4E-08 | 3.9E-08 | | 0 |
| 32 | 2.95E-08 | 3.9E-08 | 4.6E-08 | 4.9E-08 | 6E-08 | 6.2E-08 | 6.6E-08 | 7E-08 | 7E-08 | 7.8E-08 | 7.6E-08 | 7.4E-08 | 6.8E-08 | 5.5E-08 | 5.3E-08 | 4.4E-08 | 2.8E-08 | 2.3E-08 | 1.2E-08 | 7.5E-09 | | 0 |
| 33 | 4.73E-09 | 8.4E-09 | 1.1E-08 | 1.7E-08 | 2E-08 | 2.3E-08 | 2.6E-08 | 3E-08 | 3.1E-08 | 3.1E-08 | 2.6E-08 | 2.3E-08 | 2.3E-08 | 1.9E-08 | 1.2E-08 | 9.9E-09 | 7.3E-09 | 4.7E-09 | 0 | 0 | | 0 |
| 34 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.6E-09 | 4.7E-09 | 4.8E-09 | 4.8E-09 | 4.8E-09 | 4.8E-09 | 4.7E-09 | 4.6E-09 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 |
| 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 |
| 36 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 |
| 37 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 |
| 38 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 |
| 39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 |
| 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 |
| | 2.92E-05 | 1.48E-05 | 1.07E-05 | 9.13E-06 | 7.77E-06 | 5.06E-06 | 3.33E-06 | 2.52E-06 | 1.89E-06 | 1.36E-06 | 9.22E-07 | 5.91E-07 | 3.38E-07 | 1.89E-07 | 1.15E-07 | 5.24E-08 | 2.21E-08 | 8.59E-09 | 5.73E-09 | 0 | 21 | |
| | 1.01E-05 | 7.69E-06 | 6.33E-06 | 5.64E-06 | 4.47E-06 | 3.17E-06 | 2.38E-06 | 1.76E-06 | 1.28E-06 | 8.52E-07 | 5.26E-07 | 2.7E-07 | 1.21E-07 | 5.53E-08 | 3.26E-08 | 1.6E-08 | 5.83E-09 | 2.59E-09 | 0 | 0 | 22 | |
| | 6.68E-06 | 5.66E-06 | 4.73E-06 | 3.85E-06 | 3.03E-06 | 2.31E-06 | 1.68E-06 | 1.15E-06 | 7.51E-07 | 4.39E-07 | 2.3E-07 | 8.57E-08 | 3.66E-08 | 1.72E-08 | 7.24E-09 | 8.87E-10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 | |
| | 4.94E-06 | 4.21E-06 | 3.52E-06 | 2.84E-06 | 2.19E-06 | 1.61E-06 | 1.12E-06 | 6.85E-07 | 3.89E-07 | 2.09E-07 | 5.71E-08 | 1.97E-08 | 6.03E-09 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24 | |
| | 3.62E-06 | 3.09E-06 | 2.54E-06 | 2E-06 | 1.51E-06 | 1.06E-06 | 6.92E-07 | 3.76E-07 | 1.82E-07 | 4.72E-08 | 1.65E-08 | 6.01E-09 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25 | |
| | 2.6E-06 | 2.18E-06 | 1.78E-06 | 1.39E-06 | 1.01E-06 | 6.73E-07 | 3.74E-07 | 1.34E-07 | 3.98E-08 | 1.25E-08 | 4.78E-09 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26 | |
| | 1.82E-06 | 1.52E-06 | 1.21E-06 | 8.76E-07 | 5.69E-07 | 2.53E-07 | 7.96E-08 | 3.44E-08 | 1.19E-08 | 2.54E-09 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27 | |
| | 1.23E-06 | 9.5E-07 | 6.65E-07 | 3.91E-07 | 1.23E-07 | 5.03E-08 | 2.31E-08 | 7.46E-09 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 | |
| | 5.34E-07 | 2.86E-07 | 1.19E-07 | 5.32E-08 | 3.25E-08 | 1.2E-08 | 4.75E-09 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 29 | |
| | 8.18E-08 | 5.23E-08 | 3.39E-08 | 1.22E-08 | 6.07E-09 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | |
| | 2.25E-08 | 1.2E-08 | 4.93E-09 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 31 | |
| | 4.72E-09 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32 | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 33 | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34 | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 35 | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 36 | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 37 | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 38 | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 39 | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40 | |

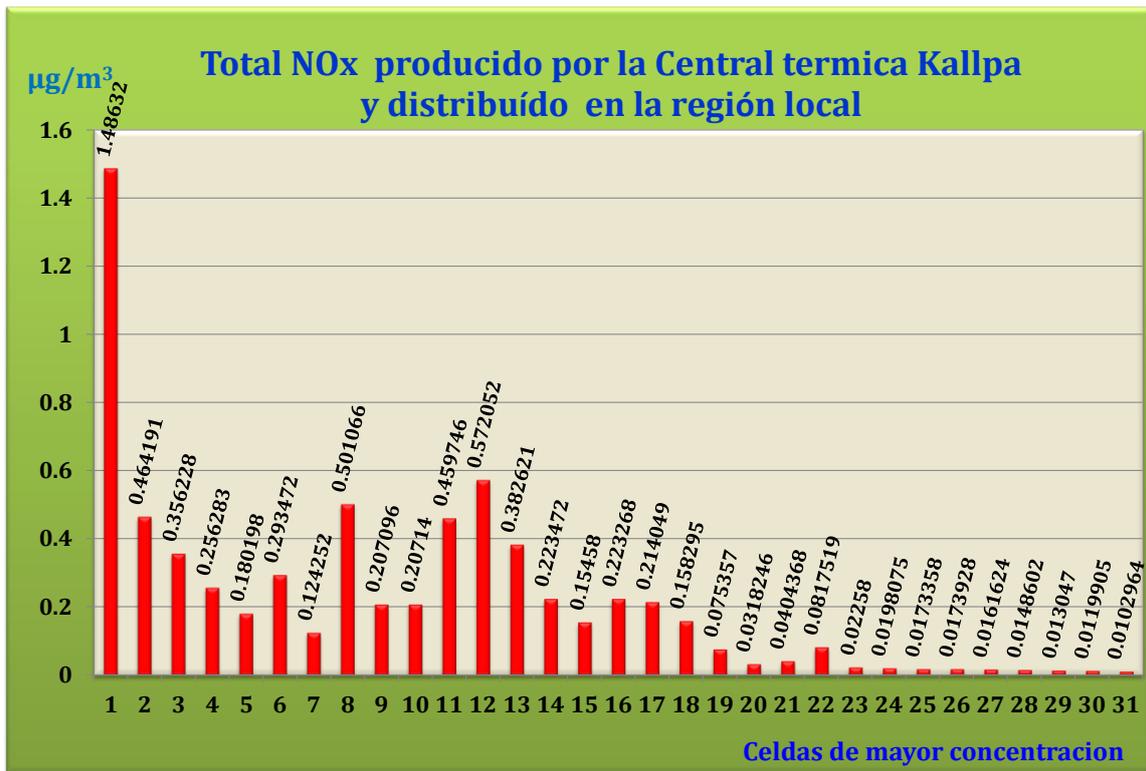


Figura 4.5: Concentración del NOx en la zona donde está ubicada la ciudad de Lima.

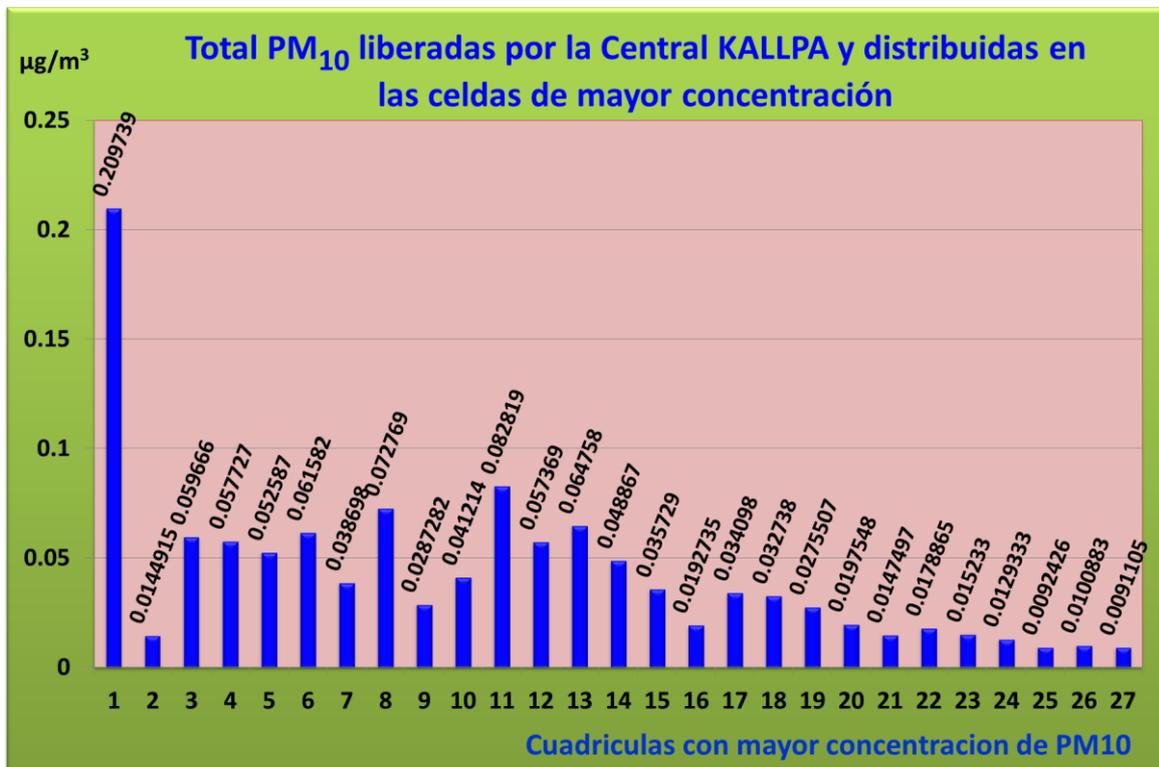


Figura 4.6: Concentración del PM₁₀ en la zona donde está ubicada la ciudad de Lima.

Valoración económica a la salud pública.

La valoración económica en unidades monetarias (USA dólares) a la salud pública para los casos de bronquitis en la población en general se muestra en la tabla N° 4.5. Se presentan los costos promedio por celda, lo cual se refiere el costo que las personas deben incurrir anualmente para cuidar su salud. La valoración económica corresponde para los niveles de concentración de contaminación por NOx y PM₁₀ para los distritos de la ciudad de Lima. Los resultados son estimaciones en el sentido que a nivel nacional no se dispone de las curvas o relaciones de exposición-respuesta frente a la contaminación y el costo también es variado para los diferentes estratos sociales que se tiene en cada distrito por lo cual se requiere hacer otros estudios al respecto.

Tabla 4.5

Valoración económica (US\$/Año) de los daños causados por las centrales térmicas a la salud pública.

| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
|----|--------|----------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|----|--------|--------|--------|----|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 5.8063 | 6.9314 | 8.5535 | 84.8569 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 7.0677 | 97.2789 | 89.4099 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 5.9768 | 90.7565 | 221.2343 | 97.285 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 8.4281 | 86.6704 | 230.3623 | 179.31 | 185.77 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 7.8040 | 254.6392 | 197.3390 | 180.46 | 188.11 | 231.87 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 221.9349 | 147.168 | 180.56 | 189.32 | 675.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 139.9115 | 194.3335 | 188.168 | 158.3 | 235.81 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 79.096 | 110.0915 | 148.4323 | 164.733 | 243.53 | 178.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.1386 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 86.1717 | 70.257 | 353.81 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 199.31 | 312.87 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 108.21 | 238.3 | 0 | 127.34 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20.918 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20.348 | 6.9167 | 9.2515 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8.1314 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.3838 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.9552 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0397 | 0 | 0 | 0 | 0.0021 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0006 | 0.0004 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0016 | 0.0106 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0003 | 0.0002 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0005 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0002 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Valoración total: 7298.78 (\$/año)

La contaminación atmosférica es un problema global para la humanidad que incide directamente en la salud humana y en el medio ambiente, claramente dependiente de los niveles de concentración de los elementos contaminantes en la atmósfera, pero que preocupantemente esta se incrementa día a día debido fundamentalmente a las múltiples actividades de la humanidad. Hecho que convoca a realizar investigaciones para acercarse al conocimiento del problema, sus causas y efectos de modo integral para tomar decisiones y realizar acciones con el fin de mitigar el problema.

Según la OMSa (2018) en el 2016 alrededor de 4,2 millones de personas murieron de modo prematuro debido a la contaminación atmosférica y según los nuevos datos de la OMSb (2018) nueve de cada diez personas respiran aire con altos niveles de contaminación y 7 millones de personas mueren por contaminación del aire de ambiente externo e interno doméstico (coccción de alimentos en los hogares). Son cifras alarmantes que deteriora peligrosamente la salud humana y la esperanza de vida se acorta.

En este trabajo de tesis se ha considerado la evaluación de las centrales térmicas del complejo térmico de Chilca debido a que es el complejo térmico más grande del Perú con una potencia instalada de 2662 MW y a una distancia de 60 km al sur de la ciudad de Lima y por la dirección del viento hacia Lima como se puede observar en la figura 4.2, la contaminación liberada por las centrales térmicas de chilca es arrastrada justamente a la ciudad capital.

Para incluir la ciudad de Lima en este trabajo de tesis se ha delimitado el área de evaluación en un cuadrado de 200 km de lado con las centrales eléctricas en el centro y para cuantificar la contaminación se ha construido celdas unitarias de 5 km de lado por requerimiento del software utilizado. Con el aplicativo google maps (2018) se ubicó las coordenadas de las centrales, de los distritos y las dimensiones respectivas configurando la

mallá completa de evaluación que se muestra en la figura 4.1.

Los resultados para la concentración para los óxidos de nitrógeno (NO_x) en el aire se muestra en las tablas 4.1 y 4.2, y para la concentración en el aire de partículas (PM₁₀) se muestra en las tablas 4.3 y 4.4, en ambos casos se observa que las concentraciones son bajas respecto a los límites permisibles fijados por la Organización, sin embargo es necesario mencionar que los resultados por valores promedio para el año 2015 pero la los gases se van acumulando en la atmosfera año a año y es necesario calcular para periodos largos durante la vida útil de cada central con la finalidad de tener la concentración acumulada y evaluar los efectos a la salud valorando económicamente y social.

Para la valoración económica a la salud pública se tomó la población del área de evaluación para el año 2015 del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018). Para determinar el área efectivamente poblada de cada distrito se utilizó google maps con el cual se determinó el área efectiva poblada para cada distrito. Con el área y la población se determinó el número de habitantes por km² que se muestran en las tablas 3.11 para los distritos de Lima capital, en la tabla 3.12 para los distritos de Lima departamento y en la tabla 3.13 para los distritos de cañete.

Con los resultados previos y paso seguidos que se han descrito se calculó el costo económico para la población de los distritos que se muestran en la tabla 4.5. Para la valoración económica es relativamente compleja, en el sentido que no solo es el costo de la medicina para determinada enfermedad, sino también se valora, los días dejados de trabajar los cuales dependen del salario de la persona y los prejuicios causados a las empresas y/o instituciones por la ausencia del trabajador y tener que contratar a otra persona por enfermedad o muerte prematura del trabajador, también tiene vital importancia señalas para

que tipo de persona se evalúa referente a estratos sociales y la edad de las personas, en el sentido que el daño es diferente para niños, jóvenes y adultos.

Para el presente trabajo se ha considerado bronquitis aguda (sin muerte) a población en general para lo cual se ha obtenido una valoración total de 7298.78 dólares para el año 2015, un costo relativamente bajo debido a la baja emisión de las centrales térmicas que utilizan gas natural, un combustible considerado relativamente limpio.

CAPITULO V

DISCUSION

Discusión

Los resultados del presente trabajo indican que las emisiones de los gases NOx y material particulado están por debajo de los límites permisibles por la Organización mundial de la Salud (OMS) la cual fija en un valor promedio anual de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el N_2O y NOx (en tanto las emisiones encontradas en las proximidades de la central en un área de 25 km^2 alrededor de la central fue de $1,4863 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el NOx y en menores cantidades a medida que la distancia es mayor de la planta térmica como puede observarse en la tabla N° 6 y para el material particulado PM_{10} la OMS ha establecido un valor de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ media anual y de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para una exposición de 24 horas. En el presente trabajo se ha encontrado el valor más alto para el material particulado PM_{10} en las proximidades de la central térmica en un área de 25 km^2 , el valor de $0.2097 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que está muy por debajo de los límites permisibles fijados por el OMS. Haciendo notar que las emisiones encontradas son para un año de funcionamiento y cuando la central opera a su máxima potencia, sin embargo, dichas emisiones se van acumulando en el medio ambiente e incrementando su concentración en conjunto con las emisiones de otro tipo de fuentes emisoras como fábricas, parque automotor etc. Lo cual invoca continuar haciendo más estudios para los otros tipos de fuentes y consolidar las emisiones totales para determinar la concentración total de los gases contaminantes en la atmosfera y evaluar sus efectos.

Para el presente trabajo se ha considerado bronquitis aguda (sin muertes) a la población en general, obteniéndose una valoración total de 7298.78 dólares americanos para el año 2015, un costo relativamente bajo debido a la baja emisión de las centrales térmicas que utilizan

gas natural, un combustible considerado relativamente limpio.

Conclusiones

Se ha dado la valoración económica a la contaminación atmosférica causada por las emisiones de NO_x y PM₁₀ emitidas por las centrales termoeléctricas de Chilca durante el año 2015.

Se determinó la densidad poblacional elaborando una malla de 20 filas por 20 columnas con celdas unitarias de 25 km², cubriendo un área total de 40000 km², en la cual se incluye la ciudad de Lima.

El método elaborado consiste en fijar la ubicación de las centrales mediante sus coordenadas geográficas, latitud y longitud, las características de la central, las emisiones liberadas por la chimenea, las condiciones meteorológicas y utilizando la teoría de la dispersión atmosférica se ha calcula la concentración de contaminantes; NO_x y PM₁₀ a partir de la fuente hasta 100 km de distancia en un área de 40000 km², lo cual abarcado por el noroeste hasta las proximidades del distrito de Chancay, por el norte hasta la proximidades de la Oroya por el este, hasta Yauyos y por el sur este hasta Pueblo Nuevo, por el oeste hasta 90 km en el Océano Pacífico.

Las concentraciones más altas de los contaminantes; NO_x, y PM₁₀ se encontraron en las proximidades de la central térmica Kallpa con valores de 1,4863 µg/m³ y 0.2097 µg/m³ respectivamente, pero por debajo de los límites permisibles de la OMS.

Para los niveles de contaminación encontrada se ha obtenido una valoración económica total de 7298.78 dólares americanos para el año 2015 y en forma distribuida puede verse en la tabla N° 4.5, en donde claramente se observa que los distritos más poblados tienen un

costo mayor, sin embargo, es un costo bajo debido a la baja emisión que tienen las centrales térmicas de Chilca por el uso de gas natural un combustible denominado limpio.

Recomendaciones

Para el presente trabajo de tesis se ha calculado para un periodo corto de un año, sin embargo, la contaminación se acumula con el tiempo por lo cual es conveniente continuar con otras investigaciones para determinar la acumulación de la contaminación en la región durante el tiempo de vida de las centrales eléctricas térmicas. Ello permitirá calcular la concentración acumulada de la contaminación para valorar en el tiempo los costos que causa la contaminación a la salud pública.

En la región considerada no existe grandes extensiones de cultivos por lo cual no se ha calculado los daños a las pequeñas parcelas cultivadas sin embargo el modelo y método desarrollado se puede aplicar para zonas en donde existe grandes extensiones de cultivo y si en las proximidades hay instaladas centrales térmicas.

También se puede valorar económicamente para otras fuentes fijas de emisión de contaminantes como, fundiciones, refinerías y otros tipos de fábricas.

Siendo la salud de la población muy importante, es necesario continuar con este tipo de investigaciones de modo permanente para mejorar la salud de la población y el desarrollo del país.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- American Institute of Physics. (2004). *A look Inside the Atom*. Recuperado de <https://history.aip.org/history/exhibits/electron/jjhome.htm>
- CEPAL (2007). *Evaluación de Externalidades Ambientales del Sector Energía en las zonas críticas de Tula y Salamanca*. México. DF. CEPAL.
- COES (2018). *Producción por tipo de fuente, para el 25 de octubre de 2018*. Recuperado de <http://www.coes.org.pe/Portal/portalinformacion/generacion>
- Duke Energy invirtió US\$ 110 millones en central termoeléctrica Las Flores. (2018). Recuperado de <https://andina.pe/agencia/noticia-duke-energy-invirtio-110-millones-central-termoelectrica-las-flores-293835.aspx>
- Electricity Forum. (2018). Electricityforum.com: *History of electricity*. Recuperado (19 de agosto del 2018) de <https://www.electricityforum.com/history-of-electricity.html>
- EcuRed. (2017). *Central Térmica*. Recuperado de https://www.ecured.cu/Central_termoel%C3%A9ctrica
- Engie Perú pone en operación planta termoeléctrica de ciclo combinado en Chilca. (2018). Recuperado de <https://gestion.pe/economia/empresas/engie-peru-pone-operacion-planta-termoelectrica-ciclo-combinado-chilca-123806>
- EPA. (1990). *Acta de aire limpio. Particulate Matter (PM) National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)*. Washington, EU. USA Environmental Protection Agency.
- EPA. (2018). *Particulate Matter (PM) Basics*. Recuperado de <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#reducing>
- Central térmica Fénix Power. (2018). Recuperado de <http://www.fenixpower.com.pe/>
- Gallardo L. (2012). *Trazas atmosféricas y su modelación*. En Morales, R.G.E. (Ed.), Contaminación atmosférica urbana: episodios críticos de contaminación ambiental en la ciudad de Santiago. (pp. 89-120). Santiago de Chile. Editorial Universitaria.
- Google Maps. (2018). Recuperado de <https://www.google.com.pe/maps/@-12.1020416,-77.0277376,15z?hl=es>

- Historia de la electricidad en el Perú (2018). Recuperado de <http://electricidadhistoria.blogspot.com/2018/05/origen-de-la-electricidad.html>
- Historia de la electricidad en Lima. (2011). Recuperado de <http://museodelaelectricidad.blogspot.com/2011/09/historia-de-la-electricidad-en-lima.html>
- IPCC. (1995). *Greenhouse Gas Inventory Reporting Instructions*. Vol. 1, Vol. 2 y Vol. 3. London, UK. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (1996). *Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. London. UK. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- INEI. (2015). *Compendio Estadístico Perú 2015*. Lima. Perú.
- INEI. (2018). *Población 2000 al 2015*. Recuperado de <http://proyectos.inei.gob.pe/web/poblacion>
- Lakatos I. (1989). *La metodología de los programas de investigación científica*. Alianza Editorial. Recuperado de <https://epistemologiaufro.files.wordpress.com/2010/10/lakatos.pdf>
- Lima Como Vamos. (2015). *Como vamos en demografía*. Sexto informe de resultados sobre calidad de vida. Lima 2015.
- López-Cerezo J. (1999). *Los estudios de ciencia, tecnología y sociedad*. Revista Iberoamericana de Educación. Número 20. Recuperado de <https://rieoei.org/historico/documentos/rie20a10.htm>.
- Miller M. (2014). *The role of oxidative stress in the cardiovascular actions of particulate air pollution*. Biochemical Society Transactions 42(4) 1006-1011.
- Masanja E. (2011). *Dispersion Modelling of gaseous pollutants from the proposed power station in Tanga Municipality*. Bureau of Industrial Cooperation (BICO). College of Engineering and Technology. Department of Chemical and Mining Engineering. University of Dar es Salaam. Tanzania.
- MINEM. (2014). *Plan Energético Nacional 2013-2024*. Dirección General de Eficiencia Energética. Lima. Perú.

- MINEM. (2016). *Anuario Ejecutivo de Electricidad 2016*. Dirección General de Electricidad. Dirección de estudios y promoción eléctrica. Lima Perú.
- MINEM. (2017). *Evoluciones en el Sub Sector Eléctrico*. Dirección General de Electricidad (DGE). Capítulo 10. Lima. Perú.
- Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente. (2014). *Inventario anual de Emisiones Contaminantes a la Atmósfera 1990-2012*. Volumen 2. España.
- MINAM. (2017). *Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM*. Normas legales. Diario el Peruano. (miércoles 7 de junio de 2017). Pp. 6-9.
- Nathan I. (2001). *Atmospheric Chemistry and Physics*. Department of Chemistry & Biochemistry. University of Mississippi.
- OIEA. (2017). *Simplified Approach for Estimating Impacts of Electricity Generation* Recuperado de <https://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/PESSenergymodels.html>
- OSINERGMIN. (2005). *Compendio de centrales hidráulicas y térmicas mayores*. Gerencia de Fiscalización eléctrica.
- OSINERGMINA. (2018). *Central termoeléctrica ciclo combinado Kallpa*. Recuperado de https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/PROYECTOS%20GFE/Acorde%C3%B3n/Generaci%C3%B3n/1.4.1.pdf
- OSINERGMINb. (2018). *Central Térmica Santo Domingo de los Olleros*. Recuperado de https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/PROYECTOS%20GFE/Acorde%C3%B3n/Generaci%C3%B3n/1.4.3.pdf
- OSINERGMINc. (2018). *Generación Termoeléctrica instalada en la localidad de Chilca*. Recuperado de https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/14-GAS-NATURAL-CHILCA.pdf
- Octaviano C. (2011). *Análisis general de las externalidades ambientales derivadas de la utilización de combustibles fósiles en la industria eléctrica centroamericana*. México.

- OMSa. (2018). *Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado*. Recuperado de <http://www.who.int/es/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>
- OMSb. (2018). *Calidad del aire y salud*. Recuperado de [http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Parsons Ch. (2018). *La turbina de vapor de Parsons*. Recuperado de <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/concentraciones-humanas-del-tercer-mundo-169/la-turbina-de-vapor-de-parsons-1991>
- PSU. (2018). *A Day in the Life of the Boundary Layer*. Pennsylvania State University. John A. Dutton e-Education Institute is the learning design unit of the College of Earth and Mineral Sciences at The Pennsylvania State University. Recuperado de <https://www.e-education.psu.edu/meteo300/node/712>
- PAHO. (2018). *Circulación vertical y estabilidad de la atmósfera*. Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental (BVSDE). Recuperado de http://www.bvsde.paho.org/cursoa_meteoro/lecc4/lecc4_3.html
- Russell R. (2018). *Variación de la presión con la altitud de la atmósfera de la Tierra*. España. Ventanas al universo. Asociación Nacional de Maestros de Ciencias de la Tierra. Recuperado de https://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/pressure_vs_altitude.html&lang=sp&edu=high
- Rabl, A. y Spadaro, J. (2000). *Public Health Impact of air pollution and implications for the energy system*. Annual Review of Energy and the Environment, vol. 25, 601-627.
- Sánchez-Cerezo de la Fuente J. (2017). *El Debate Ético-Político en Sócrates y los Sofistas*. España. Cuadernos de filosofía. Recuperado de http://www.filosofos.net/temas/tema_48/index.htm
- Santa Cruz A. (2000). *Difusión de Contaminantes gaseosos en la atmósfera*. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Rosario - Departamento de Ingeniería Química.
- Scire J. Strimaitis D. y Yamartino R. (2000). *A user`s guide for the Calpuff dispersion model (Version 5)*. Maryland, EU. Earth Tech. Inc.

- SEMARNAT. (2004). *Evaluación de las externalidades ambientales de la generación termoeléctrica en México*. México. CEPAL.
- Turner D. (1970). *Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates*. Washington, EU. USA Environmental Protection Agency.
- Thomas A. (1885). *A warning from the Edison Electric Light Co.* New York, May 24, 1885.
- The Franklin Institute. (2016). *The Franklin Inventor*. Recuperado (24 de Setiembre del 2017) de <http://www.fi.edu/franklin/inventor>.
- Utah Department of health. (2018). *Particulate Matter health effects*. Utah. EU. Utah Government. Recuperado de <http://www.health.utah.gov/utahair/pollutants/PM/#Health>
- Vera J. (2018). *La Contaminación Ambiental*. Universidad Interamericana de Recinto de Bayamón. Recuperado de <http://studylib.es/doc/6349655/la-contaminaci%C3%B3n-ambiental---universidad-interamericana>.
- WHO. (2017). *Evolution of WHO air quality guidelines: past, present and future*. WHO. Regional Office for Europe. UN City Marmorvej 51 DK-2100. Copenhagen Ø, Denmark.
- Xiao W., Jiong S., Yiguo L., & Kwang Y. (2015). *Steam power plant configuration, design, and control*. Recuperado de http://web.ecs.baylor.edu/faculty/lee/papers/journal/2015/2015TPS_Review_Kwang.pdf

ANEXOS

Matriz de Consistencia

Se presenta la **Matriz de Consistencia** para el presente trabajo de tesis, la que contiene el problema, los objetivos, las hipótesis y las variables con sus indicadores, instrumentos y fuente.

A.1 Matriz de Consistencia.

| PROBLEMA | OBJETIVOS | HIPÓTESIS | VARIABLES | INDICADOR ESCALA | INSTRUMENTO | FUENTE |
|--|---|---|--|--|--|-------------------------------|
| ¿En qué medida la contaminación producida por las Centrales Térmicas se relaciona con la valoración económica de la salud pública y al medio ambiente? | <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la valoración económica a la salud pública y al medio ambiente generado por la contaminación de plantas térmicas de generación de electricidad. • Determinar los costos que causa a la salud pública y al medio ambiente la contaminación producida por centrales eléctricas térmicas. • Calcular las emisiones liberadas por las chimeneas de las centrales eléctricas térmicas. • Calcular la distribución de los gases contaminantes en el medio ambiente circundante a las plantas eléctricas térmicas. • Calcular la valoración económica que causa a la población que vive circundante a las centrales térmicas. • Calcular el daño causado al medio ambiente (sembríos) circundantes a las plantas eléctricas. | La liberación de productos contaminantes y gases de efecto invernadero por las centrales eléctricas térmicas causan daños a la salud pública y el medio ambiente. | X = Liberación de gases contaminantes por centrales térmicas | Kg de contaminantes producidos por las centrales eléctricas térmicas | Software para el cálculo y distribución de la contaminación | Centrales eléctricas térmicas |
| | | | Y1 = Costo a la salud pública por la contaminación atmosférica | Soles gastados por persona para cuidar su salud (Soles/Persona) | Cálculo de costos a la salud pública | Gastos en salud pública |
| | | | Y2 = Daños al medio ambiente (sembríos, forrajes etc.) | Número de Kg. perdidos en las cosechas, pérdida de ganado (Soles /hectárea de sembrío) | Calculo de los danos a los sembríos, forrajes y vegetación por la contaminación. | Deterioro del medio ambiente |