

**UNIVERSIDAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA UTEC**

**Carrera de Ingeniería de la Energía**



**ESTIMACIÓN DEL IMPACTO SOBRE LA  
SALUD HUMANA OCASIONADO POR EL  
DESARROLLO DEL POLO ENERGÉTICO DE  
CHILCA**

**ESTIMATION OF THE IMPACT ON HUMAN  
HEALTH CAUSED BY THE DEVELOPMENT  
OF CHILCA'S ENERGY POLE**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de la Energía

**Bill Ferrer Fabián**

**Código 201210077**

**Asesor**

Elmer Ramírez

Lima – Perú

Julio 2017

La tesis

**ESTIMACIÓN DEL IMPACTO SOBRE LA SALUD HUMANA OCASIONADO  
POR EL DESARROLLO DEL POLO ENERGÉTICO DE CHILCA**

Ha sido aprobada

-----

Julien Georges Andre Noel

-----

Elmer Hernán Ramírez Quiroz

-----

Ximena Guardia Muruguza

*Dedicatoria:*

*“Dedicado a mi familia por su confianza y apoyo incondicional”.*

*Agradecimientos:*

*Agradezco el apoyo de los profesores del departamento de Energía de la UTEC que contribuyeron a la realización del presente trabajo, en especial a los profesores: Ximena Guardia Muguruza, Elmer Ramírez Quiroz y Norvic Chicchón Ugarte.*

*Agradezco también la colaboración de profesionales del sector privado que apoyaron brindando información valiosa para el desarrollo del trabajo:  
César Cornejo (Engie Energía Perú S.A.)  
Mariella Paredes (Fénix Power Perú S.A.)  
Fernando Valencia y Gladys Argandoña (Kallpa Generación S.A.)*



## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN .....	19
CAPÍTULO I Marco Teórico.....	26
1.1 La matriz energética peruana .....	26
1.1.1 Composición del parque generador .....	26
1.1.2 Producción de electricidad en el SEIN .....	27
1.2 La industria del Gas Natural en el Perú.....	29
1.2.1 El Proyecto Camisea.....	30
1.2.2 Mercado nacional de gas natural .....	31
1.2.3 Composición del gas natural.....	33
1.3 Polo Energético de Chilca.....	34
1.3.1 Evolución de la generación de electricidad en el Polo Energético de Chilca.....	35
1.3.2 Proyecciones Futuras .....	35
1.4 Generalidades de la generación termoeléctrica.....	36
1.4.1 Tecnología de generación termoeléctrica .....	36
1.4.2 Contaminantes atmosféricos producidos por las centrales termoeléctricas a gas natural.....	38
1.4.3 Ratios de emisión de las centrales del PEC .....	39
1.5 El distrito de Chilca.....	41
1.5.1 Conformación del distrito de Chilca.....	42
1.5.2 Características demográficas de Chilca .....	43
1.5.3 Servicios en el distrito de Chilca .....	45
1.6 Externalidades de la generación eléctrica .....	50
1.6.1 Externalidades ambientales y sociales en la generación de energía.....	51
1.6.2 Clasificación de las externalidades en la generación de energía .....	52

1.7	Toxicología.....	55
1.7.1	Toxicología del Material Particulado.....	55
1.7.2	Toxicología del CO.....	56
1.7.3	Toxicología del NO <sub>2</sub> .....	57
1.7.4	Toxicología del SO <sub>2</sub> .....	58
1.8	Marco Regulatorio.....	59
1.8.1	Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental.....	59
1.8.2	Límites Máximos Permisibles .....	61
1.8.3	Estándar de Calidad Ambiental (ECA).....	61
CAPÍTULO II METODOLOGÍA.....		65
2.1	Cálculo de las emisiones atmosféricas ocasionadas por el desarrollo de las centrales termoeléctricas del PEC.....	66
2.2	Estimación de las emisiones de otros tipos de fuentes presentes en la zona. 68	
2.3	Evaluación de la evolución de la calidad del aire en receptores sensibles aledaños al PEC.....	73
2.4	Evaluación de la evolución de los indicadores de morbilidad de los pobladores del distrito de Chilca.....	75
2.5	Estimación del impacto de las emisiones atmosféricas en el PEC.....	77
CAPÍTULO III RESULTADOS .....		81
3.1	Emisiones atmosféricas ocasionadas por el desarrollo de las centrales termoeléctricas del PEC. ....	81
3.2	Emisiones de otros tipos de fuentes presentes en la zona. ....	85
3.3	Evolución de la calidad del aire en receptores sensibles aledaños al PEC.....	88
3.4	Evolución de los indicadores de morbilidad de la población del distrito de Chilca. ....	104
3.5	Estimación del impacto de las emisiones atmosféricas en el PEC.....	109
CONCLUSIONES .....		116
RECOMENDACIONES .....		118
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		119
ANEXOS.....		123

ANEXO A-1: Monitoreo de concentraciones de PM <sub>10</sub> . .....	124
ANEXO A-2: Monitoreo de concentraciones de SO <sub>2</sub> . .....	127
ANEXO A-3: Monitoreo de concentraciones de NO <sub>2</sub> .....	130
ANEXO A-4: Monitoreo de concentraciones de CO. ....	133

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Producción de electricidad según el tipo de recurso. ....	28
Tabla 2 Composición del gas natural de Camisea.....	34
Tabla 3 Características físicas de gas natural.....	34
Tabla 4 Potencia instalada en el PEC.....	35
Tabla 5 Plan de obras en el PEC. ....	35
Tabla 6 Ratios de emisión de las centrales termoeléctricas del PEC. ....	40
Tabla 7 Población del distrito de Chilca. ....	43
Tabla 8 Composición etaria del distrito de Chilca. ....	44
Tabla 9 Nivel de instrucción de los pobladores de Chilca. ....	44
Tabla 10 Características de las viviendas de Chilca. ....	45
Tabla 11 Tipo de alumbrado en las viviendas de Chilca.....	45
Tabla 12 Abastecimiento de agua en el distrito de Chilca. ....	46
Tabla 13 Servicios higiénicos en las viviendas de Chilca.....	46
Tabla 14 Combustible usado para cocinar en las viviendas de Chilca.....	47
Tabla 15 Tipo de aseguramiento de los pobladores de Chilca. ....	47
Tabla 16 Necesidades básicas insatisfechas de los pobladores de Chilca.....	48
Tabla 17 Tipos de necesidades básicas insatisfechas en el distrito de Chilca.....	48
Tabla 18 Programas sociales para los pobladores de Chilca.....	49
Tabla 19 Ocupación de los pobladores de Chilca. ....	49
Tabla 20 Actividades económicas realizadas por los pobladores de Chilca.....	50
Tabla 21 Externalidades en generación eléctrica por tipo de central.....	54
Tabla 22 Emisiones y sus efectos sobre la salud.....	55
Tabla 23 Límites Máximos Permisibles para plantas térmicas a gas natural.....	61
Tabla 24 Estándares de Calidad Ambiental. ....	62
Tabla 25 Valores internacionales de ECA para PM <sub>10</sub> . ....	62
Tabla 26 Valores internacionales de ECA para SO <sub>2</sub> . ....	63
Tabla 27 Valores internacionales de ECA para NO <sub>2</sub> . ....	63
Tabla 28 Valores internacionales de ECA para CO. ....	64

Tabla 29 Horas de Operación de las turbinas de las centrales térmicas del PEC. ...	67
Tabla 30 Factores de emisión por la combustión de gas natural en la Fundición Chilca. ....	68
Tabla 31 Factor de emisión según tipo de vehículo de acuerdo a la velocidad. ....	70
Tabla 32 Factores de emisión de vehículos para una velocidad media de marcha de 72 km/h.....	71
Tabla 33 Flujo vehicular anual en el Peaje Chilca. ....	71
Tabla 34 Composición de parque automotor por clase de vehículo en el departamento de Lima. ....	72
Tabla 35 Ubicación de los puntos de monitoreo. ....	73
Tabla 36 Ubicación de los puntos de monitoreo establecidos por OEFA.....	74
Tabla 37 Categorías de morbilidad consideradas según tipo de contaminante.....	77
Tabla 38 Valores del Índice de Calidad del Aire. ....	78
Tabla 39 Cuidados y Recomendaciones del INCA.....	78
Tabla 40 Cálculo del INCA para el PM <sub>10</sub> .....	79
Tabla 41 Cálculo del INCA para el SO <sub>2</sub> .....	79
Tabla 42 Cálculo del INCA para el NO <sub>2</sub> .....	79
Tabla 43 Cálculo del INCA para el CO. ....	80
Tabla 44 Comparación de la concentración de PM <sub>10</sub> en la línea base VS el monitoreo al año 2016.....	109
Tabla 45 Comparación de la concentración de SO <sub>2</sub> en la línea base VS el monitoreo al año 2016. ....	110
Tabla 46 Comparación de la concentración de NO <sub>2</sub> en la línea base VS el monitoreo al año 2016. ....	111
Tabla 47 Comparación de la concentración de CO en la línea base VS el monitoreo al año 2016. ....	112
Tabla 48 Comparación entre la evaluación de OEFA y el monitoreo de las empresas del PM <sub>10</sub> el año 2015.....	113
Tabla 49 Comparación entre la evaluación de OEFA y el monitoreo de las empresas del SO <sub>2</sub> el año 2015.....	113

Tabla 50 Comparación entre la evaluación de OEFA y el monitoreo de las empresas del NO <sub>2</sub> el año 2015. ....	114
Tabla 51 Comparación entre la evaluación de OEFA y el monitoreo de las empresas del CO el año 2015.....	115

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Potencia Instalada en el SEIN al año 2016.....	26
Figura 2 Evolución del despacho en el mercado eléctrico peruano. ....	28
Figura 3 Variación de la producción de electricidad según tipo de recurso. ....	29
Figura 4 Mapa del Proyecto Camisea. ....	30
Figura 5 Usos del gas natural. ....	32
Figura 6 Consumos de gas natural para la producción de electricidad. ....	33
Figura 7 Esquema de generación termoeléctrica a ciclo simple. ....	36
Figura 8 Esquema de generación a ciclo combinado. ....	37
Figura 9 Evolución de la potencia efectiva total en el PEC para el periodo 2006- 2016.....	38
Figura 10 Rosa de viento y distribución de frecuencias.....	42
Figura 11 Mapa de ubicación del distrito de Chilca.....	43
Figura 12. Curvas de costos marginales.....	51
Figura 13. Costos totales para la sociedad de una actividad productiva. ....	52
Figura 14 Categorías de Estudios de Impacto Ambiental. ....	59
Figura 15 Jerarquía de mitigación.....	60
Figura 16 Metodología empleada.....	66
Figura 17. Ubicación de las centrales termoeléctricas de Chilca. ....	68
Figura 18. Tramo de la Panamericana Sur considerada para los cálculos de emisiones vehiculares.....	72
Figura 19. Ubicación de los puntos de monitoreo de la calidad del aire.....	74
Figura 20. Mapa de ubicación de los puntos de monitoreo establecidos por OEFA	75
Figura 21 Ubicación del establecimiento de salud de Chilca.....	76
Figura 22 Emisiones de PM10 de las centrales del PEC.....	81
Figura 23 Emisiones de SO <sub>2</sub> de las centrales del PEC.....	82
Figura 24 Emisiones de NO <sub>x</sub> de las centrales del PEC.....	83
Figura 25 Emisiones de CO de las centrales del PEC.....	84

Figura 26 Factores de emisión de las C.T. del PEC por energía producida (g/MW-h).....	85
Figura 27 Emisiones de PM <sub>10</sub> de fuentes fijas y móviles en Chilca.....	86
Figura 28 Emisiones de SO <sub>2</sub> de fuentes fijas y móviles en Chilca. ....	86
Figura 29 Emisiones de NO <sub>2</sub> de fuentes fijas y móviles en Chilca.....	87
Figura 30 Emisiones de CO de fuentes fijas y móviles en Chilca. ....	88
Figura 31. Concentración de PM <sub>10</sub> en lo punto de monitoreo de la C. T. Chilca Uno.....	89
Figura 32 Concentración de PM <sub>10</sub> en lo punto de monitoreo de la C. T. Kallpa. ....	89
Figura 33 Concentración de PM <sub>10</sub> en lo punto de monitoreo de la C.T. Fénix.....	90
Figura 34 Concentración de PM <sub>10</sub> en lo punto de monitoreo de la C.T. Sto Dgo de los Olleros. ....	91
Figura 35 Concentración de SO <sub>2</sub> en lo punto de monitoreo de la C.T. Chilca Uno.	92
Figura 36 Concentración de SO <sub>2</sub> en lo punto de monitoreo de la C.T. Kallpa. ....	92
Figura 37 Concentración de SO <sub>2</sub> en lo punto de monitoreo de la C. T. Fénix.....	93
Figura 38 Concentración de SO <sub>2</sub> en lo punto de monitoreo de la C.T. Sto Dgo de los Olleros. ....	93
Figura 39 Concentración de NO <sub>2</sub> en los puntos de monitoreo de la C.T. Chilca Uno.....	94
Figura 40 Concentración de NO <sub>2</sub> en lo punto de monitoreo de la C.T. Kallpa.....	94
Figura 41 Concentración de NO <sub>2</sub> en lo punto de monitoreo de la C.T. Fénix. ....	95
Figura 42 Concentración de NO <sub>2</sub> en lo punto de monitoreo de la C. T. Sto Dgo de los Olleros. ....	96
Figura 43 Concentración de CO en lo punto de monitoreo de la C. T. Chilca Uno.	96
Figura 44 Concentración de CO en lo punto de monitoreo de la C.T. Kallpa. ....	97
Figura 45 Concentración de CO en lo punto de monitoreo de la C. T. Fénix.....	97
Figura 46 Coeficiente de variación de la concentración de los contaminantes en los puntos de monitoreo. ....	98
Figura 47 Índice de Calidad del Aire de acuerdo a las concentraciones de PM <sub>10</sub> medidas en los puntos de monitoreo. ....	99



Figura 48 Índice de Calidad del Aire de acuerdo a las concentraciones de SO <sub>2</sub> medidas en los puntos de monitoreo. ....	100
Figura 49 Índice de Calidad del Aire de acuerdo a las concentraciones de NO <sub>2</sub> medidas en los puntos de monitoreo. ....	101
Figura 50 Índice de Calidad del Aire de acuerdo a las concentraciones de CO medidas en los puntos de monitoreo. ....	102
Figura 51 Concentración media de PM <sub>10</sub> VS Atenciones por asma y estado asmático.....	105
Figura 52 Concentración media de SO <sub>2</sub> VS Atenciones por dermatitis atópica. ...	106
Figura 53 Concentración media de NO <sub>2</sub> VS Atenciones por infecciones agudas de las vías respiratorias superiores.....	107
Figura 54 Concentración media de CO VS Atenciones por infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores. ....	108

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pag.
<b>Anexo A-1:</b> Monitoreo de concentraciones de PM <sub>10</sub> .....	113
<b>Anexo A-2:</b> Monitoreo de concentraciones de SO <sub>2</sub> .....	116
<b>Anexo A-3:</b> Monitoreo de concentraciones de NO <sub>2</sub> .....	119
<b>Anexo A-4:</b> Monitoreo de concentraciones de CO.....	122

## ACRÓNIMOS

<b>CC</b>	Ciclo Combinado
<b>CS</b>	Ciclo Simple
<b>CT</b>	Central Termoeléctrica
<b>COES-SINAC</b>	Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional
<b>ECA</b>	Estándar de Calidad Ambiental
<b>EIA</b>	Estudio de Impacto Ambiental
<b>IAGA</b>	Informe Anual de Gestión Ambiental
<b>INEI</b>	Instituto Nacional de Estadística e Informática
<b>LMP</b>	Límite Máximo Permisible
<b>MINAM</b>	Ministerio del Ambiente
<b>MINEM</b>	Ministerio de Energía y Minas
<b>MINSA</b>	Ministerio de Salud
<b>MTC</b>	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
<b>OEFA</b>	Organismo de Evaluación Fiscalización Ambiental
<b>OSINERGMIN</b>	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
<b>SISFHO</b>	Sistema de Focalización de Hogares
<b>PEC</b>	Polo energético de Chilca

## RESUMEN

El presente trabajo de tesis se enfocó en la determinación del impacto del desarrollo del Polo Energético de Chilca (PEC) sobre la salud humana. En primer lugar, se realizó un inventario de los contaminantes atmosféricos ( $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$  y  $CO$ ) provenientes de las principales fuentes de emisión en el distrito de Chilca, tales como las centrales del PEC, el parque automotor y la “Fundición Chilca”. Las principales emisiones de las centrales del PEC son los óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), las cuales alcanzaron en el 2016 alrededor de 4000 toneladas, representando un 93% del total de emisiones en el área. A su vez, el contaminante atmosférico que menos emiten las centrales del PEC es el óxido de azufre ( $SO_2$ ), registrando en el año 2016 un aproximado de 34 toneladas, que representan un 52% del total.

Por otro lado, el análisis de la concentración de contaminantes atmosféricos para el periodo 2009-2016, determinó que en todos los puntos de monitoreo se cuenta con un estado de calidad del aire aceptable, cumpliendo con los estándares de calidad ambiental nacionales. En cuanto a las estadísticas de morbilidad de la microred de salud Chilca para enfermedades relacionadas a los contaminantes atmosféricos. Se observó que las atenciones por enfermedades respiratorias tuvieron una tendencia a la baja en el periodo de evaluación: las infecciones agudas de las vías respiratorias superiores disminuyeron en 3%, las infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores disminuyeron en 7% y las atenciones por asma disminuyeron en 10% en promedio anual los últimos tres años. El único caso en el que se observó un incremento fue en las atenciones por dermatitis atópica, las cuales aumentaron en un 90% pese a que las concentraciones de  $SO_2$  disminuyeron en promedio 9% anual los últimos tres años, por lo que no se puede establecer una relación entre ambas. Por último, de la comparación entre las concentraciones de contaminantes en el año 2016 con las concentraciones en la línea base (realizadas de manera previa a la ejecución de los proyectos), se concluye que no hay un impacto significativo en la calidad del aire por la implementación del PEC, puesto que se conserva la calificación de “buena” para los Índices de Calidad del Aire.

**Palabras Clave:** Polo Energético de Chilca, Emisiones atmosféricas, calidad del aire.

## ABSTRACT

This assessment was focused on determining the impact of the development of the Chilca Energy Pole (PEC) on human health. First, an inventory of the atmospheric pollutants (PM10, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and CO) from the main emission sources in Chilca district, such as the PEC plants, vehicular traffic and the “Chilca Smelter” was made. The main emissions of the PEC plants are nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), which reached 4000 tons in 2016, representing 93% of total emissions in the area. At the same time, the atmospheric pollutant emitted in less quantity by the PEC plants is sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), registering an approximate of 34 tons in 2016, representing 52% of the total.

On the other hand, the analysis of the concentration of atmospheric pollutants for the period 2009-2016, determined that in all the monitoring points there is an acceptable quality of the air, complying with the national environmental quality standards. Regarding the morbidity statistics of the Chilca Health Microred, for diseases related to atmospheric pollutants it was observed that medical attentions for respiratory diseases showed a downward trend in the evaluation period: acute infections of the upper respiratory tract decreased by 3%, acute lower respiratory tract infections decreased by 7% and asthma care declined by 10% on average annually in the last three years. The only case that showed an increase was observed was in attentions for atopic dermatitis, which increased by 90% despite the fact that SO<sub>2</sub> concentrations decreased by an average of 9% per year in the last three years, so it cannot be established a relationship between them. Finally, a comparison of pollutant concentrations in 2016 with baseline concentrations (carried out prior to the implementation of the projects) concludes that there is no significant impact on implementation of the PEC, since the "good" rating for the Air Quality Index is maintained.

**Keywords:** Chilca Energy Pole, Atmospheric emissions, Air quality.

# INTRODUCCIÓN

Históricamente el Perú ha sido un país hidroeléctrico, representando el 85% del total de energía eléctrica generada en el país hasta el año 2002 [1]. Sin embargo, la actual configuración de la matriz energética eléctrica peruana se encuentra casi igualmente dividida entre generación de origen hidráulico y térmico (47.6% y 49.7% respectivamente), con una pequeña participación de energía solar y eólica [2].

El crecimiento de la participación de la energía térmica se debe al inicio de la explotación del gas natural de Camisea (Cusco) el año 2004. Los yacimientos del gas natural de Camisea fueron descubiertos por la compañía Shell en el año 1984, pero no llegaron a ser explotados por dicha empresa debido a que no era rentable en ese entonces, por lo que la concesión fue retornada al Estado Peruano.

Tras el retiro de Shell, se licitaron los yacimientos con recursos ya probados (Lote 88) en el año 2000, lo cual permitió al Estado peruano poder regular los precios y establecer topes máximos para los mismos. El Consorcio Camisea (liderado por PlusPetrol y Hunt Oil) ganó el contrato para la explotación de los yacimientos por un periodo de 40 años. Por su parte, el transporte del gas hasta la costa estaría a cargo del consorcio Transportadora de Gas del Perú (TGP). Tras el otorgamiento de las concesiones de explotación y transporte, el Estado Peruano inició la promoción de la industria del gas natural a través de la instalación de plantas termoeléctricas en el Polo Energético de Chilca (64 km. al sur de Lima), al mismo tiempo que se dio una moratoria a la inversión en proyectos hidroeléctricos [3].

El Polo Energético de Chilca (PEC) actualmente está conformado por 6 centrales termoeléctricas (C.T.), 3 a ciclo combinado y 3 a ciclo simple, las cuales utilizan como combustible al gas natural y por ende, generan emisiones atmosféricas contaminantes producto de la combustión en sus turbinas. La compañía Engie Energía Perú S.A. opera las centrales Chilca Uno y Dos, mientras Kallpa Generación S.A. tiene a las centrales

Kallpa y Las Flores; por su parte Fénix Power Perú S.A. y Termochilca S.A. tienen a las centrales Fénix Power y Santo Domingo de los Olleros, respectivamente.

La presente investigación tiene por objetivo determinar la relación que existe entre las emisiones atmosféricas generadas por el desarrollo del PEC con respecto a la variación de las condiciones de salud de las poblaciones aledañas a las operaciones de las centrales termoeléctricas. Las emisiones atmosféricas son producidas por la combustión de las moléculas de gas natural utilizado por las centrales termoeléctricas, lo cual genera emisiones derivadas de material particulado, dióxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), Monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

Debido a la acción del viento, estos contaminantes son disipados en la atmósfera, elevando sus concentraciones en el ambiente y cerca de receptores sensibles como son las poblaciones cercanas, pudiendo traer repercusiones a la salud de las personas. Por este motivo, las concentraciones de material particulado y gases son monitoreadas por las empresas como parte de su gestión ambiental y la información generada es puesta a disposición del Estado. Dicha data será procesada como parte de la presente tesis, para evaluar la evolución de la concentración del material particulado y gases en el tiempo.

Por otro lado, para corroborar la relación entre las concentraciones de material particulado y gases reportados por las centrales termoeléctricas y la calidad de salud de la población, se recurrirá a las estadísticas de morbilidad general de la Micro-red de Salud del distrito de Chilca, las cuales cuentan con información sobre los tipos de enfermedades más frecuentes en la zona y que son motivo de consulta en los establecimientos de salud ubicados en el distrito.

La metodología a seguir para el presente trabajo de investigación, consiste en primer lugar en estimar las emisiones de las centrales termoeléctricas del PEC, así como las emisiones de otras fuentes fijas y móviles, como la Fundación Chilca y los vehículos que se desplazan por la Panamericana Sur y evaluar su evolución en el tiempo. Luego, en base a los reportes de monitoreo de las empresas termoeléctricas, se comparará si los

aumentos de las concentraciones de los contaminantes sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental establecidos en la normativa ambiental vigente. Asimismo, se analizarán los datos de salud de la Micro-red Chilca a fin evaluar el incremento de los diferentes tipos de morbilidad que están relacionadas con el incremento de las concentraciones de material particulado y gases y se realizará una comparación con el incremento de la concentración de los mismos reportado por las empresas.

## **Alcance**

La presente tesis se enmarca en el análisis de las condiciones de salud de las poblaciones aledañas al PEC y las emisiones atmosféricas de las centrales termoeléctricas, durante el periodo 2006 – 2016.

El análisis de las emisiones se realizará para las centrales termoeléctricas del PEC: Chilca Uno, Chilca Dos, Kallpa, Las Flores, Fénix Power, Santo Domingo de los Olleros; así como para otras fuentes fijas como la Fundición Chilca y fuentes móviles como las emisiones de los vehículos que recorren la Panamericana Sur en el tramo de correspondiente al distrito de Chilca.

Los gases a ser considerados en el estudio son aquellos que son declarados como principales emisiones atmosféricas en los Estudios de Impacto Ambiental de las centrales termoeléctricas producidas por la combustión del gas natural. Estos gases son: Material Particulado menor a 10 micras de diámetro (PM<sub>10</sub> por sus siglas en inglés), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>).

Por otro lado, la evaluación de la calidad del aire será realizada en base a los Reportes de las 10 estaciones de monitoreo más cercanas a los en receptores sensibles.

El presente trabajo no abarca un modelamiento de dispersión de contaminantes de las distintas fuentes emisoras debido a falta de información de generación. Sin embargo, se sugiere realizar este modelamiento en estudios futuros.



En cuanto al análisis de las estadísticas de salud, este se realizará a nivel distrital para evaluar la evolución de las atenciones por tipo de morbilidad para el periodo 2009-2016 de la población vulnerables (niños menores de 12 años y adultos mayores a 60 años), y también para la población no vulnerable.

## **Antecedentes**

Luego de la puesta en marcha del proyecto Camisea (2004), el PEC inicia sus operaciones en el año 2006 con la puesta en operación comercial de la primera turbina a ciclo simple de 185 MW perteneciente a la C.T. Chilca Uno. Posteriormente, otras centrales fueron entrando en operación comercial, así tenemos: Kallpa (2007), Las Flores (2010), Santo Domingo de Olleros (2013), Fénix Power (2014) y Chilca Dos (2016). A diciembre del 2016, la potencia instalada en el PEC era de 2,800 MW, representando aproximadamente la mitad de la máxima demanda nacional de electricidad, la cual era de 6,492 MW (Estadísticas Anuales del COES 2016).

En cuanto a las condiciones de salud en el distrito de Chilca, de acuerdo a las cifras del Ministerio de Salud (MINSA), las enfermedades respiratorias son las principales causas de morbilidad. Para el año 2016 representaron más de 26% de los motivos de atención en los establecimientos de la Micro-red de Salud Chilca. Otra enfermedad relacionada con la contaminación atmosférica es la dermatitis atópica, la cual ha ido incrementándose sostenidamente pasando del 0.07% en el 2011 al 1.18% en el 2016 [4].

## **Justificación y motivación**

La contaminación atmosférica es uno de los principales problemas ambientales que afecta a las ciudades modernas, ya que este tipo de contaminación resulta dañina a la salud humana debido a que está considerada como la causa de una serie de enfermedades de las vías respiratorias e incluso con la muerte prematura [5]. Las

personas más afectadas con la contaminación ambiental son los niños y las personas de la tercera edad.

Los grandes daños a la salud humana son causados por las emisiones de material particulado (Particulate Matter, PM), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y Monóxido de Carbono (CO) [6]. Estos contaminantes son emitidos por fuentes fijas y móviles que utilizan algún tipo de combustible como fuente de energía.

De acuerdo a la información publicada en el portal web de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para salud. Cuanto más bajo sean los niveles de contaminación del aire, mejor será la salud cardiovascular y respiratoria de la población a corto y a mediano plazo. La OMS estima en tres millones las muertes prematuras al año en todo el mundo debido al daño medioambiental. [7]

Las afectaciones de la contaminación atmosférica sobre la salud humana se pueden establecer de la siguiente manera [8]:

- a. Gastos de los tratamientos médicos vinculados a las enfermedades originadas o agravadas por la contaminación del aire (se incluye costos de oportunidad perdida por el tiempo empleado en los tratamientos).
- b. Salarios perdidos de días no laborados a causa de la enfermedad.
- c. Costos relacionados a prevenir las enfermedades vinculadas a las emisiones.
- d. Inoperatividad causada por los síntomas y pérdidas de oportunidad de ocio causada por la enfermedad.

Los informes de monitoreo de calidad de aire presentados al Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) por las empresas generadoras termoeléctricas del PEC, muestran que con el pasar de los años, la calidad del aire en Chilca se viene deteriorando a consecuencia del aumento de la concentración de las

emisiones atmosféricas en el ambiente debido a diversas fuentes, tanto fijas como móviles. Sin embargo, hasta el momento no se ha realizado un estudio que verifique si el aumento de dichas concentraciones de material particulado y gases en el ambiente ha generado algún tipo de afectación a la salud de las poblaciones cercanas.

Existen antecedentes a nivel internacional de trabajos que estudiaron el tema de las externalidades del sector energético, así por ejemplo el Proyecto ExterneE (Comisión Europea, 2008), otorgo valores económicos a las externalidades, tanto ambientales como sociales, producidas por los distintos tipos de tecnología de generación de energía eléctrica utilizados en la Unión Europea. En el Documento de Trabajo N° 28 [9] realizado por Osinergmin, se buscó darle una valorización a las externalidades de la generación eléctrica en el país transfiriendo valores del Proyecto Externe a la realidad peruana. Sin embargo, no existen trabajos previos a nivel local que estudien específicamente las afectaciones a la salud humana producidos por la actividad de las centrales del PEC, por lo que el presente trabajo pretende estimar una primera estimación de estas afectaciones, a fin de que estos aspectos sociales también sean considerados en las políticas de desarrollo de la matriz energética nacional.

### **Objetivo general:**

Estimar el impacto sobre la salud humana de las emisiones atmosféricas en el Polo Energético de Chilca (PEC).

### **Objetivos específicos:**

- Estimar las emisiones atmosféricas ocasionadas por el desarrollo de las centrales termoeléctricas del PEC.
- Estimar las emisiones de otros tipos de fuentes presentes en la zona.
- Evaluar la evolución en el tiempo de la calidad del aire en receptores sensibles aledaños al PEC.

- Evaluar la evolución en el tiempo de los indicadores de morbilidad de la población del distrito de Chilca.
- Estimar el impacto de las emisiones atmosféricas en el PEC.

# CAPÍTULO I

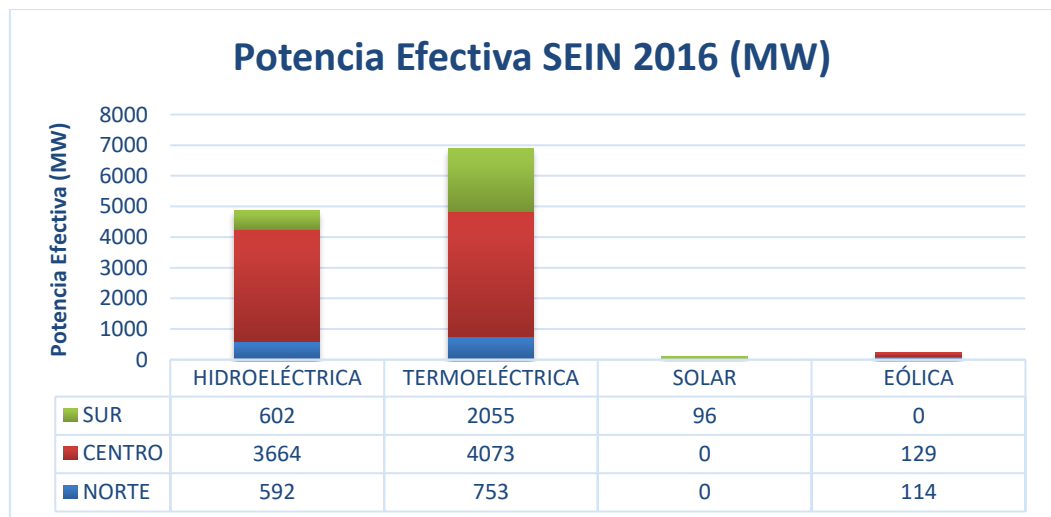
## MARCO TEÓRICO

### 1.1 La matriz energética peruana

El Perú posee diversas fuentes de recursos energéticos que pueden ser utilizados para la generación de electricidad como, por ejemplo: energía hidráulica, gas natural, energía solar, energía eólica, biomasa, entre otras. De todas estas fuentes de energía, las más utilizadas son la energía hidroeléctrica y el gas natural. Uno de los desafíos para el Perú es lograr tener una matriz energética eléctrica más diversificada, para ello en la Nueva Matriz Energética Sostenible (NUMES) se propone que para el año 2040 al menos un 20% de la electricidad se produzca con energías renovables no convencionales (sol, viento, biomasa, etc.) [10].

#### 1.1.1 Composición del parque generador

En la Figura 1 se muestra la potencia instalada en el SEIN al año 2016 de acuerdo al tipo de recurso utilizado.



**Figura 1** Potencia Instalada en el SEIN al año 2016.

**Fuente:** COES, 2016 [2]. Elaboración Propia.

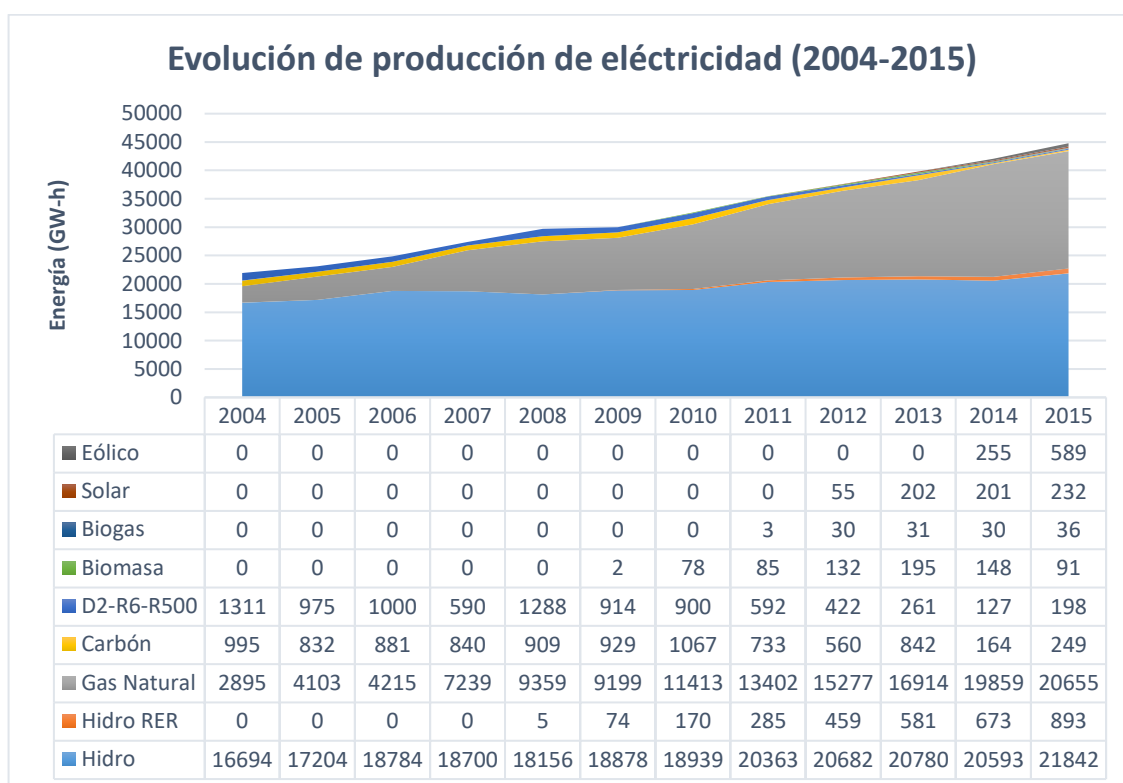
Tal como se puede apreciar en la Figura 1, el SEIN tiene un fuerte componente de centrales termoeléctricas, principalmente ubicadas en el centro del país, correspondiendo 2,800 MW a la potencia instalada en el Polo Energético de Chilca. La generación hidroeléctrica, históricamente ha aprovechado los ríos de la vertiente occidental y de las grandes centrales hidroeléctricas que están ubicadas en la zona central del país [1]. Se puede apreciar además la escasa participación que tienen en el SEIN las centrales provenientes de energías renovables no convencionales, tanto solares como eólicas.

Por otro lado, en los últimos años se viene promoviendo el desarrollo del Nodo Energético del Sur (Mollendo e Ilo), por lo que se espera el ingreso de centrales que operarán en una primera etapa con diésel y en una segunda etapa con el gas natural, con la llegada del Gasoducto Sur Peruano [11].

### **1.1.2 Producción de electricidad en el SEIN**

En el última década, se incrementó considerablemente la participación de centrales térmicas en el parque generador peruano, esto debido principalmente a la Ley N° 27133, Ley de Promoción de Desarrollo de la Industria del Gas Natural y su reglamento (D.S. N° 040-99-EM), la cual en sus inicios tuvo como objetivo diversificar la matriz energética empleando un combustible barato como lo es el gas natural, además de lograr una mayor confiabilidad con el suministro y aumentar la competitividad energética del país.

En la Figura 2 se aprecia claramente que desde el año 2004 el gas natural va adquiriendo preponderancia en el despacho de electricidad del SEIN. Ese año empezó a operar la Central Termoeléctrica de Ventanilla, la cual fue la primera en utilizar el gas natural de Camisea.



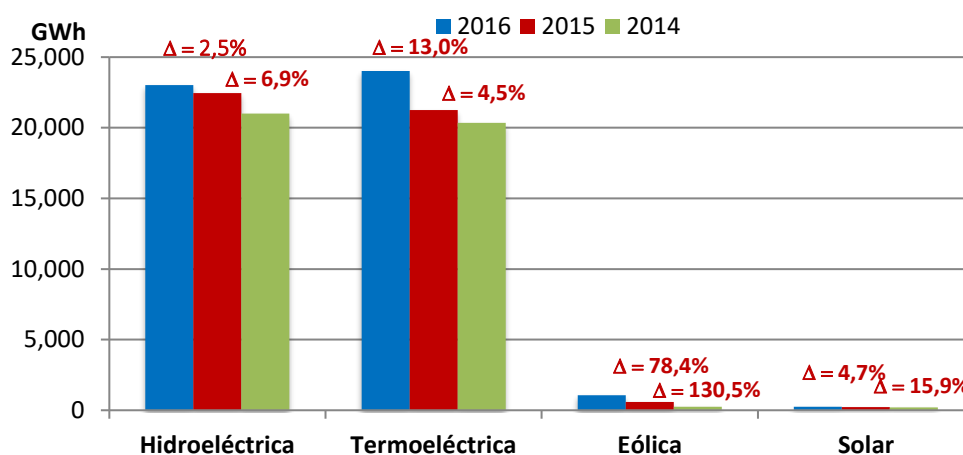
**Figura 2** Evolución del despacho en el mercado eléctrico peruano.  
Fuente: Estadísticas COES 2004-2015. Elaboración Propia.

Las variaciones de la participación en el despacho para el mercado eléctrico peruano según el recurso de generación empleado entre los años 2015 y 2016 se muestran en la Tabla 1.

Por tipo de Generación	Acumulado Anual (GW-h)		
	2016	2015	Variación (%)
<b>Hidroeléctrica</b>	23 009.6	22 456.2	<b>2.5%</b>
<b>Termoeléctrica</b>	24 020.8	21 262.2	<b>13.0%</b>
<b>Eólica</b>	1 054.1	590.7	<b>78.4%</b>
<b>Solar</b>	241.8	231.0	<b>4.7%</b>
Producción Total del SEIN	<b>48 326.4</b>	<b>44 540.0</b>	<b>8.5%</b>
<b>Importación</b>	22.4	0.5	<b>4780.5%</b>
<b>Exportación</b>	37.9	54.7	<b>-31%</b>
Intercambios Internacionales	<b>- 15.5</b>	<b>-54.3</b>	<b>-71.5%</b>
Producción Total Sin Incluir Exportación	<b>48 288.5</b>	<b>44 485.3</b>	<b>8.5%</b>

**Tabla 1** Producción de electricidad según el tipo de recurso.  
Fuente: (COES, 2016) [2]

La generación termoeléctrica creció en 10.5% más que la generación hidroeléctrica en el periodo 2015 – 2016, como consecuencia que, recién en el segundo semestre del año 2016, entraron nuevas centrales hidroeléctricas de gran potencia, como se aprecia en la Figura 3. La Central Hidroeléctrica (C.H.) Cerro del Águila (525 MW) entró en operación comercial a fines del mes de junio y la C.H. Chaglla (406 MW) hizo lo propio a fines del mes de julio del 2016. [2]



**Figura 3** Variación de la producción de electricidad según tipo de recurso.  
Fuente: (COES, 2016) [2]

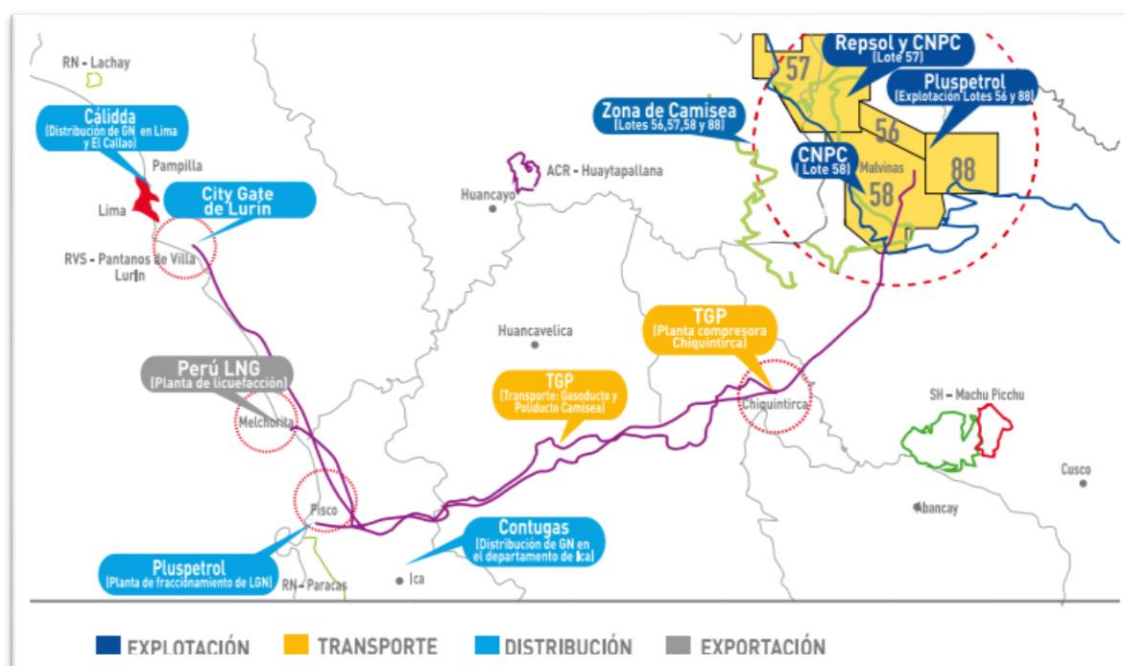
## 1.2 La industria del Gas Natural en el Perú

Desde el descubrimiento de las reservas de gas en Camisea en los años 80, hasta el desarrollo actual del proyecto, han participado una serie de empresas especializadas. En la exploración y explotación se puede mencionar a Shell, que descubrió las reservas de Gas Natural en la región de Camisea (1981); al Consorcio Camisea (liderado por Pluspetrol), que a la fecha es el encargado de explotar el Lote 56 y 88; las compañías Repsol y Corporación Nacional de Petróleo China (CNPC), encargadas de explotar el Lote 57; y CNPC encargada de explotar el Lote 58. El transporte del gas lo realiza Transportadora de Gas del Perú (TGP), quien fue encargada de construir y actualmente operar el gasoducto y poliducto desde la zona de Camisea hasta el City Gate en Lurín. Por otro lado, en el rubro de distribución y comercialización, Cálidda es la empresa distribuidora de gas natural en Lima y El Callao y Contugas distribuye gas natural en el departamento de Ica. Asimismo, para exportar el gas, Perú LNG construyó una planta de licuefacción en Pampa Melchorita (Cañete). [3]



### 1.2.1 El Proyecto Camisea

En el libro “Las Industria del Gas Natural en el Perú: A diez años del Proyecto Camisea” [12], publicado el año 2014 por el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinerghmin), se detallan los hitos más importantes del desarrollo del proyecto que ha tenido un gran impacto sobre la matriz energética nacional. En la Figura 4 se observan las principales instalaciones que conforman el Proyecto Camisea.



**Figura 4** Mapa del Proyecto Camisea.  
Fuente: Osinerghmin, 2014 [12].

El ducto que transporta gas natural está constituido por un gasoducto de aproximadamente 729 km que se inicia en la cuenca amazónica del río Malvinas (Cusco), logra atravesar la Cordillera de los Andes hasta llegar a las costas del Océano Pacífico y finaliza en el City Gate (Punto de Entrega), ubicado en Lurín. El gasoducto recorre aproximadamente 208 km con un diámetro de 32”, continúa a lo largo de 310 km con un diámetro de 24” y termina tras 211 km con un diámetro de 18”. El sistema de transporte de líquidos de gas natural está constituido por un poliducto de aproximadamente 557 km, el cual comienza en el mismo punto del gasoducto y finaliza en Playa Lobería (Pisco). Al igual que el gasoducto, es un ducto telescópico pero de 14” y 10” de diámetro [12].

El 7 de agosto de 2004 se inauguró la Planta de Fraccionamiento de Pisco operada por Pluspetrol Perú. Esta planta está ubicada al sur de la ciudad de Pisco (Ica) y recibe los líquidos de gas natural provenientes de la Planta de Separación de gas natural de Malvinas. Incluye dos unidades de fraccionamiento para producir propano y butano, y dos unidades de destilación primaria para producir nafta y diésel. Además, las instalaciones cuentan con un terminal marítimo para el despacho de los productos finales. El 15 de diciembre de 2009 se puso en marcha la planta compresora del sistema de transporte de gas natural de Camisea, la planta Chiquintirca (Ayacucho) cuyo titular es TGP. El 10 de junio de 2010 se inauguró la planta de licuefacción de gas natural de Pampa Melchorita (perteneciente a la empresa Perú LNG), con una capacidad para procesar 625 MMPCD de GN (la primera en Sudamérica) [12].

Las diferentes etapas de la cadena de aprovechamiento están reguladas por la Ley N° 27133, Ley de Promoción del Desarrollo de la Industria del GN y su Reglamento (D.S. N° 040-99-EM), así como por el Reglamento de Transporte de Hidrocarburos por Ductos y el Reglamento de Distribución de GN por red de Ductos (aprobados por D.S. N° 042-99-EM y D.S. N° 081-2007-EM, respectivamente).

### **1.2.2 Mercado nacional de gas natural**

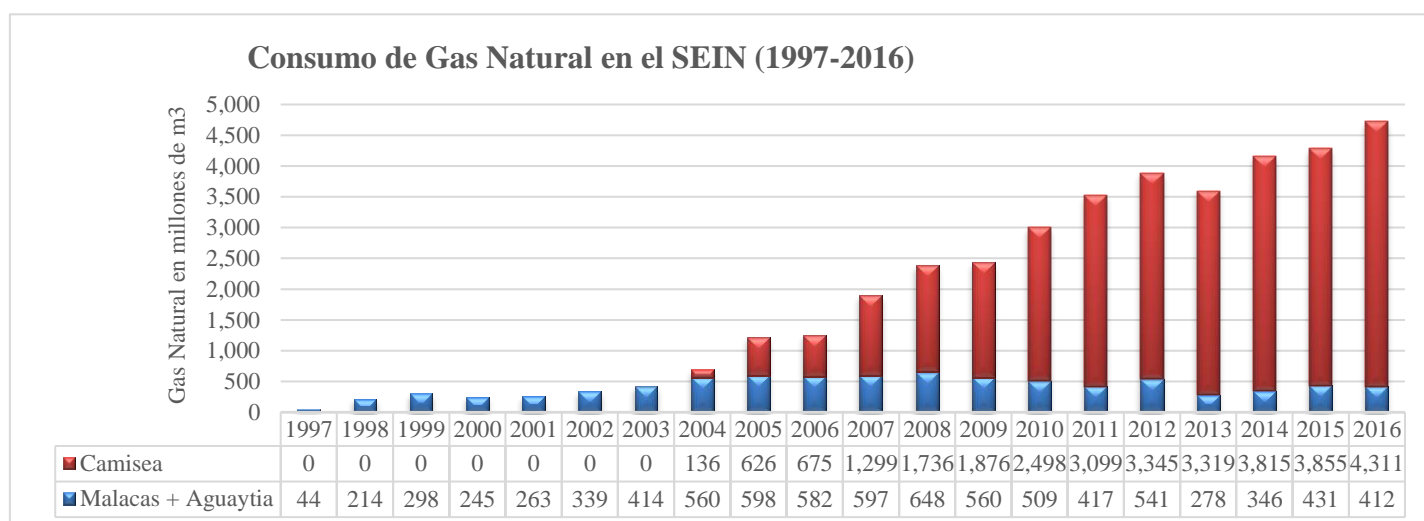
El gas natural es una de las fuentes de energía fósil más limpia y respetuosa con el medio ambiente en comparación a los combustibles líquidos y sólidos, ya que contiene menos dióxido de carbono y produce menores emisiones a la atmósfera. Además, es una alternativa económica, eficaz, segura y versátil, capaz de satisfacer la demanda energética nacional. Tiene también aplicaciones diversas como: cocción de alimentos, calefacción de ambientes, combustibles para motores de combustión interna, etc.

En la Figura 5 se puede apreciar los usos que actualmente viene teniendo el gas natural a nivel nacional, siendo su principal uso como combustible en las centrales de generación termoeléctrica. La deficiencia de infraestructura para el transportar de gas a otras regiones del país, impide la masificación de su uso en los sectores doméstico e industrial, así como en polos de industrialización petroquímica [13].

Sector	Aplicación/Proceso	Sustitutos
 <p style="text-align: center;"><b>GENERACIÓN ELÉCTRICA</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Centrales Térmicas</li> <li>▪ Cogeneración Eléctrica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Carbón</li> <li>▪ Fuel Oil</li> </ul>
 <p style="text-align: center;"><b>INDUSTRIAL</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fundición de metales</li> <li>▪ Hornos de fusión / secado</li> <li>▪ Industria del cemento, alimentos</li> <li>▪ Generación de vapor</li> <li>▪ Tratamientos térmicos</li> <li>▪ Temple y recocido de metales</li> <li>▪ Cogeneración</li> <li>▪ Cámaras de combustión</li> <li>▪ Producción petroquímicos</li> <li>▪ Sistema de calefacción</li> <li>▪ Piscigranjas</li> <li>▪ Secado de productos alimentarios y textiles</li> <li>▪ Cerámica y artesanías</li> <li>▪ Panadería y pastelería</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Carbón</li> <li>▪ Fuel Oil</li> <li>▪ Querosene</li> <li>▪ Leña</li> <li>▪ Electricidad</li> </ul>
 <p style="text-align: center;"><b>COMERCIAL Y RESIDENCIAL</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Refrigeración</li> <li>▪ Aire acondicionado</li> <li>▪ Cocción / preparación alimentos</li> <li>▪ Agua caliente</li> <li>▪ Calefacción centra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ GLP</li> <li>▪ Carbón</li> <li>▪ Querosene</li> <li>▪ Leña</li> <li>▪ Electricidad</li> </ul>
 <p style="text-align: center;"><b>TRANSPORTE</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Taxis</li> <li>▪ Transporte público</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Petróleo</li> <li>▪ Gasolina</li> <li>▪ GLP</li> <li>▪ Diésel</li> </ul>

**Figura 5** Usos del gas natural.  
Fuente: Osinergmin, 2014 [12].

En la Figura 6 se aprecia los incrementos del uso de gas natural de Camisea en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional. Comienza el año 2004 con la puesta en operación comercial de la Central Termoeléctrica de Ventanilla. A partir del año 2006 fueron entrando las centrales del Polo Energético del Sur [14].



**Figura 6** Consumos de gas natural para la producción de electricidad.  
Fuente: COES, 2016 [2].

Del total del consumo de gas natural en el SEIN, al año 2016 se utilizaron 3,189 millones de m<sup>3</sup> para generar electricidad en las centrales del PEC, lo cual representa un 68% de total [2].

### 1.2.3 Composición del gas natural

La Tabla 2 nos muestra la composición característica del gas natural proveniente de los yacimientos de Camisea. El gas natural está compuesto principalmente por metano (CH<sub>4</sub>) y Etano (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), acompañado de otros gases como nitrógeno (N<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros hidrocarburos como propano (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), butano (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), entre otros. Debido a esta composición el gas natural es un combustible más limpio en comparación a otros derivados del petróleo.

Componente	Nomenclatura	Composición (%)	Estado Natural
Metano	CH <sub>4</sub>	95.08	Gas
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	2.14	Gas
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.29	Gas licuable
Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.11	Gas licuable
Pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.04	Líquido
Hexano	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0.01	Líquido
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	1.94	Gas
Gas carbónico	CO <sub>2</sub>	0.39	Gas

**Tabla 2** Composición del gas natural de Camisea.  
Fuente: Viloche, 2010 [15].

La Tabla 3 muestra las propiedades físicas del gas natural proveniente de los yacimientos de Camisea. Una de las características a destacar del gas natural es que por tener una densidad relativa menor que el aire, ante una fuga, este se disipa rápidamente en el ambiente, por lo que se evitan acumulaciones y se reducen riesgos de accidentes.

Densidad relativa	0.65
Poder calorífico	9.032 kcal/m <sup>3</sup>
C <sub>p</sub> (presión Cte)	8.57 cal/mol.°C
C <sub>v</sub> (volumen Cte)	6.56 cal/mol.°C

**Tabla 3** Características físicas de gas natural.  
Fuente: Viloche, 2010 [15]

### 1.3 Polo Energético de Chilca

El desarrollo del Nodo o Polo Energético de Chilca (PEC) se dio en marco de la Ley de Promoción de Desarrollo de la Industria del Gas Natural (Ley N° 27133), publicada el 4 de junio de 1999, la cual establecía que por lo menos un 50% de la capacidad garantizada de los ductos de transporte de gas natural de Camisea se destine a la generación de energía eléctrica. En principio se escogió el distrito de Chilca como lugar para el desarrollo del polo energético del centro de país, debido a que se encuentra cerca de la gran demanda (Lima), lo cual disminuye las pérdidas por transmisión de energía eléctrica.

### 1.3.1 Evolución de la generación de electricidad en el Polo Energético de Chilca

En la Tabla 4, se detallan las fechas de puesta en servicio de las diferentes centrales ubicadas en el PEC.

Central Térmica	Empresa	Potencia Instalada (MW)	Monto Invertido (Millones US\$)	Fecha de Puesta en Servicio
Chilca 1 - Ciclo Simple	Engie	560.0	336.0	I (Dic. 2006), II (Jul. 2007), III (Ago. 2009)
Kallpa I, II y III - Ciclo Simple	Kallpa Generación	560.0	249.9	I (Jul. 2007), II (Jun. 2009), III (Mar. 2010)
Las Flores - Ciclo Simple	Kallpa Generación	192.5	110.0	May. 2010
Kallpa IV - Ciclo Combinado	Kallpa Generación	293.0	395.0	Ago.2012
Chilca 1 - Ciclo Combinado	Engie	292.0	374.0	Nov.2012
Santo Domingo de los Olleros - Ciclo Simple	Termochilca S.A.C.	197.6	128.5	Oct.2013
Chilca - Ciclo Combinado	Fénix Power Perú	570.1	857.0	Dic.2014
Chilca 2 - Ciclo Combinado	Engie	112.8	140.0	Dic.2016
<b>TOTAL</b>		<b>2778.0</b>	<b>2590.4</b>	

**Tabla 4** Potencia instalada en el PEC.  
Fuente: Osinergmin, 2015 [1]

### 1.3.2 Proyecciones Futuras

De acuerdo al plan de obras de generación del COES, se está contemplando un incremento de potencia instalada de la C.T. Termochilca en 100 MW, con su conversión a ciclo combinado. Por otro lado, en el año 2016 se aprobó el EIA de la empresa de la C.T. Pacífico Sur, la cual contará con dos turbinas a ciclo simple con una potencia total instalada de 460MW [16].

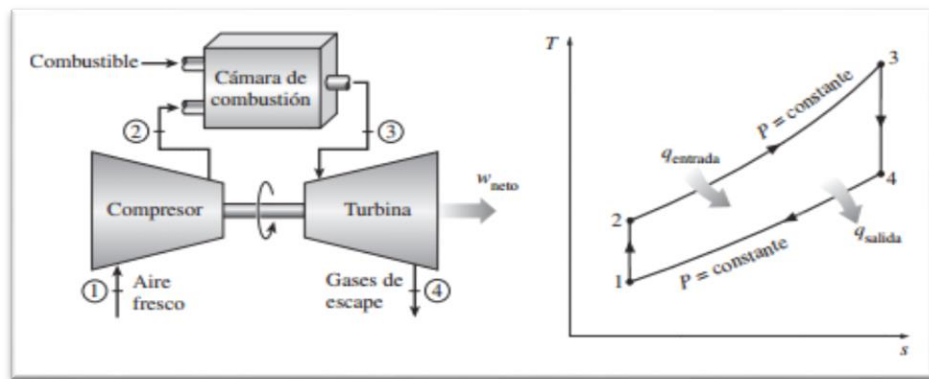
Central Térmica	Empresa	Potencia Instalada (MW)	Monto Invertido (Millones US\$)
Sto. Dgo. de los Olleros	Termochilca	100	180.5
Pacífico Sur	Luz del Sur	460	205

**Tabla 5** Plan de obras en el PEC.  
Fuente: COES, 2016 [2]

## 1.4 Generalidades de la generación termoeléctrica

### 1.4.1 Tecnología de generación termoeléctrica

La generación termoeléctrica emplea la energía liberada en forma de calor producida por la combustión de algún tipo de hidrocarburo, tal como petróleo, gas natural o carbón. El calor liberado se emplea en un ciclo termodinámico, ya sea simple o combinado, para dar movimiento a una turbina que a su vez hace girar un alternador que genera la energía eléctrica, como se muestra en la Figura 7.

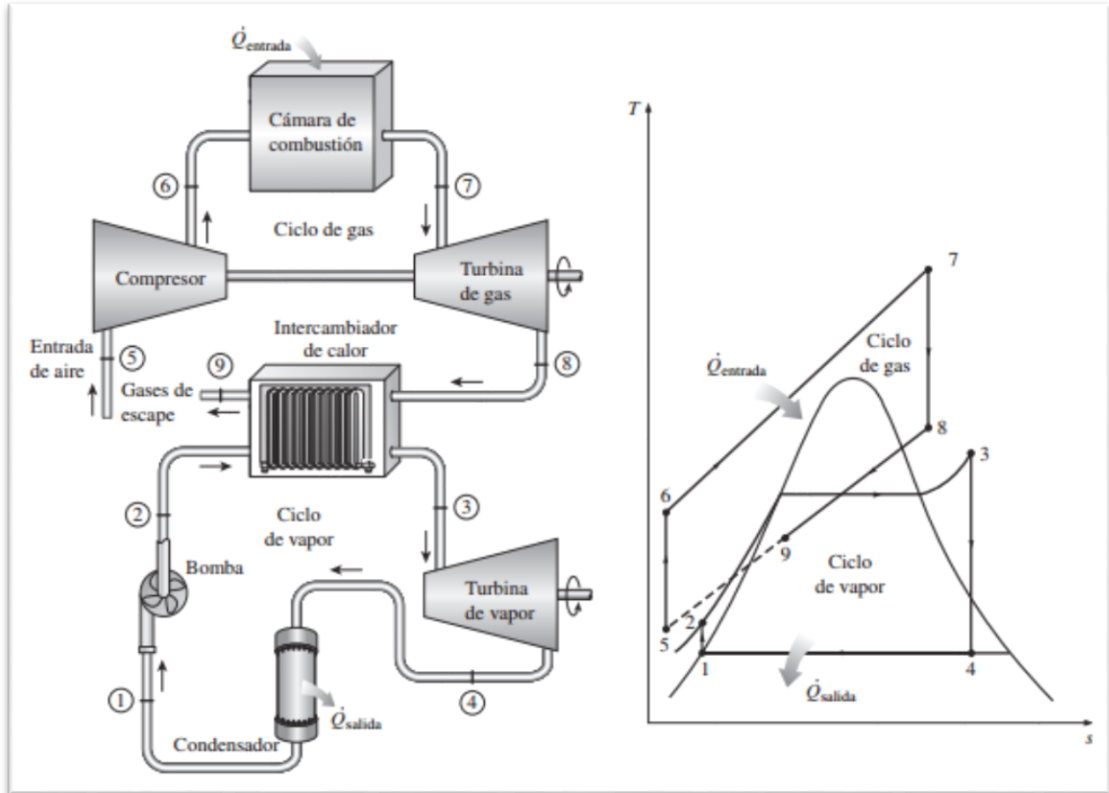


**Figura 7** Esquema de generación termoeléctrica a ciclo simple.  
Fuente: Cengel, 2012 [17]

En el Polo Energético de Chilca se encuentran centrales con dos tipos de tecnologías de generación termoeléctrica, la cuales son: centrales a ciclo simple y centrales a ciclo combinado. La turbina de gas a ciclo simple está compuesta principalmente por tres secciones: un compresor, un quemador y una turbina de potencia.

Las turbinas a ciclo simple cumplen con el ciclo de Brayton, en el cual entran en funcionamiento los principios termodinámicos mostrados en la Figura 8. En el proceso 1-2, entra el aire al compresor a condiciones de presión, temperatura y humedad relativa del lugar de emplazamiento de la central, luego el aire se comprime a través de un proceso adiabático; en el proceso 2-3 el aire se conduce hacia la cámara de combustión, en la cual se mezcla con el combustible (gas natural). El proceso de combustión se desarrolla en condiciones de presión constante y produce un aumento de la temperatura de los gases procedentes de la combustión, durante el proceso 2-3 los gases salen de la cámara de

combustión a elevada presión y temperatura y se dirigen a la turbina. La eficiencia del ciclo depende directamente del poder calorífico del combustible y puede variar entre el 16 % y 39 %.



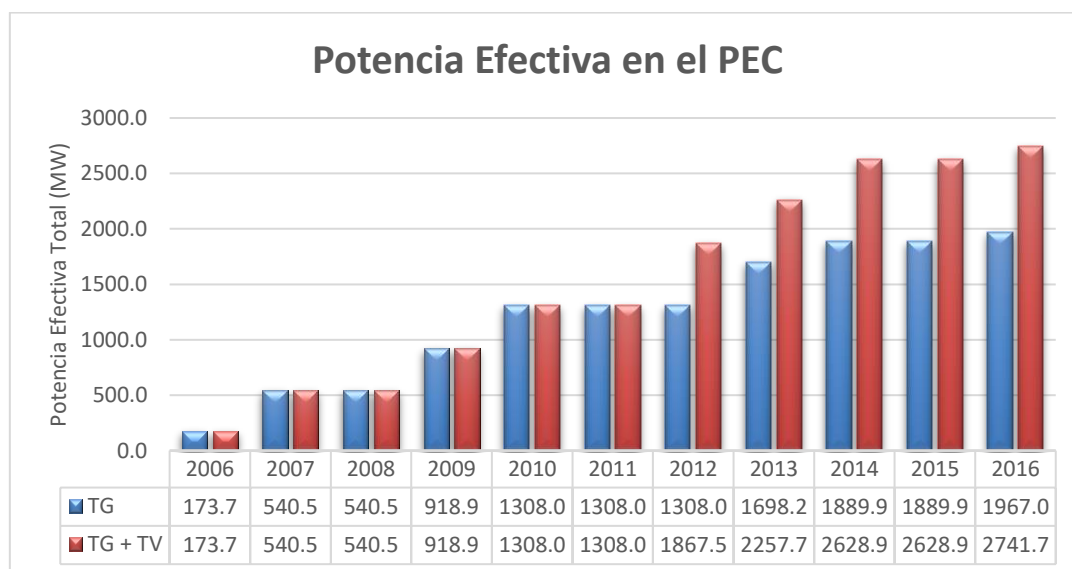
**Figura 8** Esquema de generación a ciclo combinado.  
Fuente: Cengel, 2012 [17]

En las centrales de ciclo combinado se acoplan dos ciclos, el ciclo de gas (Brayton) y el ciclo de vapor (Rankine). En el ciclo combinado, a través de los principios termodinámicos, el calor proveniente de los gases de la turbina de gas se aprovecha para la formación de vapor en calderas de recuperación de calor (Heat Recovery Steam Generator - HRSG) que funcionan como un intercambiador de calor; el vapor generado mueve la turbina de vapor y esta a su vez a un generador eléctrico. Esta es una manera de aprovechar más eficientemente el poder calorífico de los combustibles, obteniendo hasta un 60% de eficiencia.

La potencia efectiva total de las turbinas a gas (TG), además de las turbinas a vapor (TV) de las centrales a ciclo combinado desde los inicios del PEC en el 2006 hasta



el año 2016, se muestran en la Figura 9. Potencia efectiva es la capacidad de generación que tiene una central y que puede garantizar con una continuidad aceptable [1].



**Figura 9** Evolución de la potencia efectiva total en el PEC para el periodo 2006-2016.  
Fuente: Estadísticas COES, 2006-2016.

#### 1.4.2 Contaminantes atmosféricos producidos por las centrales termoeléctricas a gas natural

Los contaminantes emitidos a la atmosfera asociados a la generación termoeléctrica a gas natural son las siguientes:

##### **Material Particulado (PM)**

Se denomina Material Particulado a las partículas sólidas o líquidas del aire. Incluyen contaminantes primarios como el polvo y hollín y contaminantes secundarios como partículas líquidas producidas por la condensación de vapores. Siendo las partículas con menos de 10 y 2,5 micrómetros de diámetro (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>) las más peligrosas para el hombre porque tienen mayor probabilidad de ingresar a la parte interior de los pulmones [18].

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

Los óxidos de azufre son gases incoloros que se forman con la combustión del azufre. El dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) es la forma química del contaminante usada para su

determinación. La fuente primaria de óxidos de azufre es la quema de combustibles fósiles, debido a que el azufre se encuentra presente en los hidrocarburos y reacciona con el oxígeno en el proceso de combustión para formar dióxido de azufre. La cantidad del azufre que es emitido al aire (como dióxido de azufre) es casi la misma cantidad de azufre presente en el combustible, la cual depende generalmente de su origen de extracción [18].

### **Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>)**

Los óxidos de nitrógeno son un grupo de gases formados por diferentes combinaciones de nitrógeno y oxígeno. El nitrógeno es el elemento más común del aire y representa el 79% del aire que respiramos. Los óxidos de nitrógeno incluyen compuestos como óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). El término NO<sub>x</sub> se refiere a la suma de estas dos sustancias [18].

### **Monóxido de Carbono (CO)**

El Monóxido de carbono (CO) es un gas altamente tóxico, incoloro, inodoro e inflamable producido industrialmente para su uso en la fabricación de numerosos productos químicos orgánicos e inorgánicos. También está presente en los gases de escape de motores de combustión interna y hornos como resultado de la conversión incompleta de carbón o de combustibles que contienen carbono [18].

#### **1.4.3 Ratios de emisión de las centrales del PEC**

La estimación de emisiones considera el cálculo de PM<sub>10</sub>, CO, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub> emitidos en la etapa de operación de las centrales ubicadas en el PEC. Se consideraran los ratios de emisión de cada gas contaminante de acuerdo a la Tabla 6. Dichos ratios están dados para las turbinas a gas de todas las centrales y son declarados en sus respectivos Estudios de Impacto Ambiental (EIA). La Tabla 6 muestra los ratios de emisión de las turbinas ya instaladas y además de dos turbinas pertenecientes a la C. T. Pacífico Sur, de la empresa Luz del Sur, la cual cuenta con EIA aprobado y actualmente se encuentra en etapa de construcción [16].

Central	Altura de chimenea (m)	Ratio de emisión PM <sub>10</sub> (g/s)	Ratio de emisión CO (g/s)	Ratio de emisión NO <sub>x</sub> (g/s)	Ratio de emisión SO <sub>2</sub> (g/s)	Temp. de salida de gases (K)	Diámetro de salida (m)	Velocidad de salida (m/s)
<b>Pacífico Sur</b> C. Simple	30	1,1	2,5	9,3	0,2	866,2	6,0	46,2
<b>Pacífico Sur</b> C. Simple	30	1,1	2,5	9,3	0,2	866,2	6,0	46,2
<b>Kallpa</b> C. Combinado	60	1,4	5,2	20,0	0,2	379,8	6,6	12,2
<b>Kallpa</b> C. Combinado	60	1,4	5,4	20,0	0,2	373,5	6,9	11,2
<b>Kallpa</b> C. Combinado	60	1,4	5,4	20,0	0,2	374,3	6,9	11,5
<b>Las Flores</b> C. Simple	30	1,1	5,4	22,2	0,2	863,0	6,0	40,7
<b>Chilca 1</b> C. Combinado	60	1,1	4,8	20,0	0,1	377,4	5,5	19,7
<b>Chilca 1</b> C. Combinado	60	2,3	4,8	20,0	0,1	377,4	5,5	19,7
<b>Chilca 1</b> C. Combinado	60	2,3	5,4	20,0	0,2	377,8	5,5	17,7
<b>Chilca 2</b> C. Combinado	60	2,3	3,6	9,9	0,1	373,0	4,0	17,9
<b>EgeChilca</b> C. Combinado	60	1,1	4,9	7,3	0,2	373,0	5,6	17,4
<b>EgeChilca</b> C. Combinado	60	1,1	4,9	7,3	0,2	373,0	5,6	17,4
<b>Sto Domingo de Olleros</b> C. Simple	20	1,1	5,6	23,1	0,2	862,1	7,9	24,4

**Tabla 6** Ratios de emisión de las centrales termoeléctricas del PEC.  
Fuente: Walsh Perú S.A., 2014 [19]

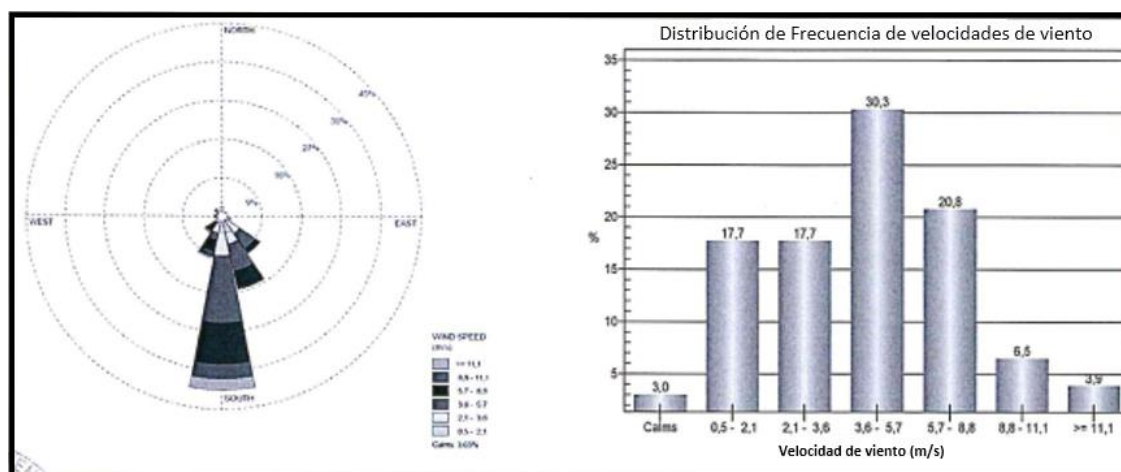
En la Tabla 6 se aprecia que las mayores emisiones de las centrales termoeléctricas corresponden a la formación de óxidos de nitrógeno y a su vez, las menores emisiones corresponden al óxido de azufre (SO<sub>2</sub>), debido a que el gas natural contiene bajas cantidades de azufre (Azufre Total <15mg/Sm<sup>3</sup>) en su composición [15].

Se aprecia, además, que en las centrales a ciclo simple los gases salen a una mayor temperatura y velocidad en comparación con las centrales a ciclo combinado, por lo que pueden alcanzar una mayor altura. Como a mayores alturas, la velocidad del aire es mayor, entonces estos gases pueden disiparse con mayor facilidad.

## **1.5 El distrito de Chilca**

El distrito Chilca se encuentra ubicado a la altura del kilómetro 65 de la Carretera Panamericana, al sur de la ciudad de Lima, en la Provincia de Cañete, Región Lima. Presenta una altitud promedio de 3 m. Limita por el Norte con la Provincia de Lima (distrito de Pucusana); por el Este con la Provincia de Huarochirí; por el Sur con los distritos de San Antonio, Santa Cruz de Flores y Calango de la provincia de Cañete, y por el Oeste con el Océano Pacífico y cuenta con una extensión de 475.47 km<sup>2</sup>.

Las emisiones atmosféricas de las centrales del PEC son disipadas por acción del viento. De acuerdo al informe de evaluación de OEFA [20], la dirección predominante del viento en Chilca es Sur-Norte. En el siguiente gráfico se muestra la rosa de viento para un punto de monitoreo de OEFA en el Asentamiento Humano 15 de enero.



**Figura 10** Rosa de viento y distribución de frecuencias.

Fuente: OEFA (2015) [20].

En la Figura 10 se observa que predominan los vientos dentro del rango de 3.6 a 5.7 m/s, con una frecuencia de 30.3%, en dirección Sur-Norte.

### 1.5.1 Conformación del distrito de Chilca

De acuerdo al Estudio de Impacto Ambiental de la Central Térmica Pacífico Sur (2014) [19], en el distrito de Chilca se encuentran los siguientes actores sociales: Asentamiento Humano “Olof Palme”, Asociación de Vivienda “Asentamiento Humano Villa al Sur”, Asociación de Posesionarios “Familias Unidas”, Asociación Agro Rural “Papa León XIII”, Asentamiento Humano “15 de Enero”, Asentamiento Humano “Virgen del Carmen”, Asociación de Viviendas “Asunción de María”, Asentamiento Humano “San José”, Centro Poblado “Chilca Pueblo” y la Asociación Balnearia “Las Salinas”. Chilca Pueblo es el centro poblado más antiguo y la capital del distrito, donde se asienta la población oriunda de Chilca, por lo que la presente tesis se centrará en dicho centro poblado.



**Figura 11** Mapa de ubicación del distrito de Chilca.

Fuente: <http://caneteturismototal.es.tl/Chilca>.

### 1.5.2 Características demográficas de Chilca

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el distrito de Chilca tenía proyectada una población de 15,946 habitantes para el año 2016; sin embargo, de acuerdo con las estadísticas del Sistema de Focalización de Hogares (SISFHO), el distrito de Chilca contaba con una población residente de 16,594 habitantes entre los años 2012-2013, es decir, que el crecimiento fue mucho mayor de lo proyectado por el INEI.

Periodo	Cantidad de personas
Población proyectada 2016 <sup>(1)</sup>	15,946
Población residente 2012-2013 <sup>(2)</sup>	16,594

**Tabla 7** Población del distrito de Chilca.

Fuente: (1) Proyección INEI (2) Empadronamiento Distrital de Población y Vivienda 2012-2013 (SISFHO)

De acuerdo a la composición etaria de la población de Chilca, se puede decir que el distrito tiene una población joven. Más del 50% de los habitantes de Chilca se

encuentran por debajo de los 30 años, como se muestra en la Tabla 8. La población más vulnerable (niños y adultos mayores) representan más del 25% de la población.

<b>Grupo quinquenal</b>	<b>Cantidad de personas</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>Menores de un año</b>	354	2.1
<b>De 1 a 14 años</b>	4642	28.0
<b>De 15 a 29 años</b>	4408	26.6
<b>De 30 a 44 años</b>	3593	21.7
<b>De 45 a 64 años</b>	2624	15.8
<b>De 65 a más años</b>	973	5.9

**Tabla 8** Composición etaria del distrito de Chilca.

Fuente: Empadronamiento Distrital de Población y Vivienda 2012-2013 (SISFHO)

Por otro lado, el 60% de la población de Chilca tiene el nivel de instrucción de educación secundaria, mientras que sólo un 8% de la población tiene una educación universitaria, según datos de la Tabla 9. El bajo grado de instrucción está también relacionado con los bajos ingresos económicos.

<b>Nivel Educativo</b>	<b>Cantidad de personas</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>Ningún nivel</b>	251	2.1
<b>Inicial</b>	18	0.2
<b>Primaria</b>	2001	16.8
<b>Secundaria</b>	7082	59.5
<b>Superior no universitaria</b>	1613	13.5
<b>Superior universitaria</b>	925	7.8
<b>Posgrado u otro similar</b>	15	0.1

**Tabla 9** Nivel de instrucción de los pobladores de Chilca.

Fuente: Empadronamiento Distrital de Población y Vivienda 2012-2013 (SISFHO)

Más del 65% de las viviendas en el distrito de Chilca están hechas de material noble, mientras que un 23.2% están hechas de madera, como se muestra en la Tabla 10. Las deficiencias en las condiciones de las viviendas también constituyen un riesgo para la salud de las personas que las habitan, volviéndolas más vulnerables.

Material predominante en paredes	Cantidad de personas	Porcentaje (%)
Ladrillo o bloque de cemento	2825	65.8
Piedra o sillar con cal o cemento	3	0.1
Adobe o tapia	66	1.5
Quincha (caña con barro)	12	0.3
Piedra con barro	0	0.0
Madera	995	23.2
Estera	320	7.5
Otro material	74	1.7

**Tabla 10** Características de las viviendas de Chilca.

Fuente: Empadronamiento Distrital de Población y Vivienda 2012-2013 (SISFHO)

### 1.5.3 Servicios en el distrito de Chilca

La Tabla 11 nos muestra que el nivel de cobertura de electrificación en el distrito de Chilca llega al 90% del total de viviendas, debido a que es muy bajo el porcentaje de población que utiliza algún combustible para alumbrarse, por lo que no es un factor a tomarse en cuenta como un potencial causante de enfermedades respiratorias en la población. Es importante recalcar la gravedad de que un 10% de la población no cuente con electricidad en el principal polo energético del país.

Tipo de alumbrado	Cantidad de personas	Porcentaje (%)
Electricidad	3899	90.8
Kerosene, mechero, lamparín	14	0.3
Petróleo, gas, lámpara	6	0.1
Vela	271	6.3
Otro	7	0.2
No tiene	98	2.3

**Tabla 11** Tipo de alumbrado en las viviendas de Chilca.

Fuente: Empadronamiento Distrital de Población y Vivienda 2012-2013 (SISFHO)

Por otro lado en la Tabla 12 se aprecia que sólo 52% de las viviendas de Chilca cuentan con conexión al servicio de agua potable, mientras que un 35% tiene que recurrir a los camiones cisternas y el resto de habitantes se abastece de agua de otras maneras. Esta deficiencia en el servicio de agua potable puede ocasionar que los pobladores sufran de enfermedades transmitidas por el agua contaminada, como por ejemplo enfermedades digestivas, cólera, fiebre tifoidea, etc.



<b>Tipo de abastecimiento de agua</b>	<b>Cantidad de personas</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>Red pública de agua dentro la vivienda</b>	2259	52.6
<b>Red pública de agua fuera la vivienda</b>	48	1.1
<b>Pilón de uso público</b>	293	6.8
<b>Camión, cisterna u otro similar</b>	1501	34.9
<b>Pozo</b>	46	1.1
<b>Río, acequia, manantial</b>	0	0.0
<b>Otro tipo</b>	148	3.4

**Tabla 12** Abastecimiento de agua en el distrito de Chilca.

Fuente: Empadronamiento Distrital de Población y Vivienda 2012-2013 (SISFHO)

Con respecto al servicio de alcantarillado, la Tabla 13 **Tabla 12** muestra que sólo el 45% de las viviendas tiene conexión interna a la red pública de desagüe, mientras que la otra parte de la población hace uso de pozo séptico o letrina. La deficiencia en los servicios higiénicos contribuye a que aumenten las enfermedades transmitidas por las heces.

<b>Tipo de servicio higiénico</b>	<b>Cantidad de personas</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>Red pública de desagüe dentro la vivienda</b>	1958	45.6
<b>Red pública de desagüe fuera la vivienda</b>	43	1.0
<b>Pozo séptico</b>	831	19.3
<b>Pozo negro, letrina</b>	1251	29.1
<b>Río, acequia o canal</b>	7	0.2
<b>No tiene</b>	205	4.8

**Tabla 13** Servicios higiénicos en las viviendas de Chilca.

Fuente: Empadronamiento Distrital de Población y Vivienda 2012-2013 (SISFHO)

El gas licuado de petróleo (GLP) es el combustible más utilizado para la cocción de alimentos en el distrito de Chilca, representado casi un 90% del total de viviendas. Como se puede apreciar en la Tabla 14, el uso de otros tipos de hidrocarburos o biomasa es mínimo, por lo que su potencial efecto en la salud de la población también lo es. La masificación del uso del gas natural como combustible doméstico resulta aún un reto para la empresa de distribución Cálidda.

Combustible utilizado para cocinar	Cantidad de personas	Porcentaje (%)
Electricidad	70	1.5
Gas (GLP)	4071	89.7
Kerosene	14	0.3
Carbón	34	0.7
Leña	151	3.3
Bosta o estiércol	2	0.0
Otro	2	0.0
No cocina	194	4.3

**Tabla 14** Combustible usado para cocinar en las viviendas de Chilca.  
Fuente: Empadronamiento Distrital de Población y Vivienda 2012-2013 (SISFHO)

El seguro social (EsSalud) y el Seguro Integral de Salud (SIS) son los principales tipos de servicio de salud con lo que cuentan los pobladores de Chilca; sin embargo, el 47% de la población no cuenta con ningún tipo de aseguramiento, conforme se aprecia en la Tabla 15. Por otro lado, de acuerdo a las encuestas realizadas para el EIA de la empresa Luz del Sur [19], un 84% de la población de centro poblado de Chilca se atiende en los establecimientos del MINSA.

Tipo de seguro	Cantidad de personas	Porcentaje (%)
EsSalud	4459	26.8
FFAA – PNP	201	1.2
Seguro Privado	286	1.7
SIS	3691	22.2
Otro	60	0.4
No tiene	7911	47.6

**Tabla 15** Tipo de aseguramiento de los pobladores de Chilca.  
Fuente: Empadronamiento Distrital de Población y Vivienda 2012-2013 (SISFHO)

La Tabla 16 muestra que las dos tercios de la población de Chilca cuenta con sus necesidades básicas satisfechas, mientras el resto tiene al menos una Necesidad Básica Insatisfecha (NBI). Las NBI fueron establecidas por la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) para constatar si los hogares satisfacen o no algunas de sus necesidades principales como acceso a vivienda, a servicios sanitarios, a educación, etc.

<b>Número de Necesidades Básicas Insatisfechas</b>	<b>Cantidad de personas</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>Con al menos una NBI</b>	4411	23.5
<b>Sin NBI</b>	14380	76.5
<b>Con 1 NBI</b>	3371	17.9
<b>Con 2 NBI</b>	859	4.6
<b>Con 3 NBI</b>	170	0.9
<b>Con 4 NBI</b>	11	0.1
<b>Con 5 NBI</b>	0	0.0

**Tabla 16** Necesidades básicas insatisfechas de los pobladores de Chilca.

Fuente: Empadronamiento Distrital de Población y Vivienda 2012-2013 (SISFHO)

La principal necesidad básica insatisfecha en el distrito de Chilca es la precariedad de las viviendas con un 45% del total, seguido por el hacinamiento con un 34% y la falta de desagüe con 13%, como se aprecia en la Tabla 17.

<b>Tipo de necesidad básica insatisfecha</b>	<b>Cantidad de personas</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>Viviendas con características físicas inadecuadas</b>	2573	45.6
<b>Viviendas con hacinamiento</b>	1917	34.0
<b>Viviendas sin desagüe de ningún tipo</b>	743	13.2
<b>Hogares con niños que no asisten a la escuela</b>	250	4.4
<b>Hogares con alta dependencia económica</b>	162	2.9

**Tabla 17** Tipos de necesidades básicas insatisfechas en el distrito de Chilca.

Fuente: Empadronamiento Distrital de Población y Vivienda 2012-2013 (SISFHO)

Los pobladores de Chilca son beneficiados con los programas sociales mencionados en la Tabla 18; sin embargo, la mayoría de la población no se beneficia de ningún programa social. El mayor porcentaje de beneficiarios son los niños que acceden al Vaso de leche, que representan un 10%.

Programas sociales	Cantidad de personas	Porcentaje (%)
Vaso de leche	1775	10.6
Comedor popular	205	1.2
Desayuno o almuerzo	205	1.2
Papilla o yapita	2	0.0
Canasta alimentaria	0	0.0
Juntos	0	0.0
Techo propio o Mi vivienda	8	0.0
Pensión 65	0	0.0
Cuna más	0	0.0
Otros	10	0.1
Ninguno	14495	86.8

**Tabla 18** Programas sociales para los pobladores de Chilca.  
Fuente: Empadronamiento Distrital de Población y Vivienda 2012-2013 (SISFHO)  
Actividades económicas

Las ocupaciones de los pobladores de Chilca se muestran en la Tabla 19, siendo la de trabajador independiente la principal de todas.

Ocupación en su centro laboral	Cantidad de personas	Porcentaje (%)
Trabajador dependiente	2920	24.5
Ocupación (Trabajador independiente)	3628	30.5
Ocupación (Empleador)	41	0.3
Ocupación (Trabajador del hogar)	109	0.9
Ocupación (Trabajador familiar no remunerado)	15	0.1
Ocupación (Trabajador desempleado)	89	0.7
Ocupación (Dedicado a los quehaceres del hogar)	2773	23.3
Ocupación (Estudiante)	1699	14.3
Ocupación (Jubilado)	216	1.8
Ocupación (Sin actividad)	415	3.5

**Tabla 19** Ocupación de los pobladores de Chilca.  
Fuente: Empadronamiento Distrital de Población y Vivienda 2012-2013 (SISFHO)

La principal actividad económica de los pobladores de Chilca es la de servicios, la cual concentra a un 50% de la población económicamente activa, muy por detrás están las actividades de comercio y agricultura, como se muestra en la Tabla 20. Debido al boom industrial que viene experimentando Chilca, a través de actividades como el

desarrollo del PEC, la población se dedica a actividades tales como negocios de comida, hospedaje, farmacias, etc.

Actividad económica en su centro laboral	Cantidad de personas	Porcentaje (%)
Actividad económica (Agrícola)	498	7.4
Actividad económica (Pecuaria)	201	3.0
Actividad económica (Forestal)	16	0.2
Actividad económica (Pesquera)	66	1.0
Actividad económica (Minera)	23	0.3
Actividad económica (Artesanal)	34	0.5
Actividad económica (Comercial)	731	10.9
Actividad económica (Servicios)	3354	50.0
Actividad económica (Otros)	1426	21.2
Actividad económica (Estado (gobierno))	364	5.4

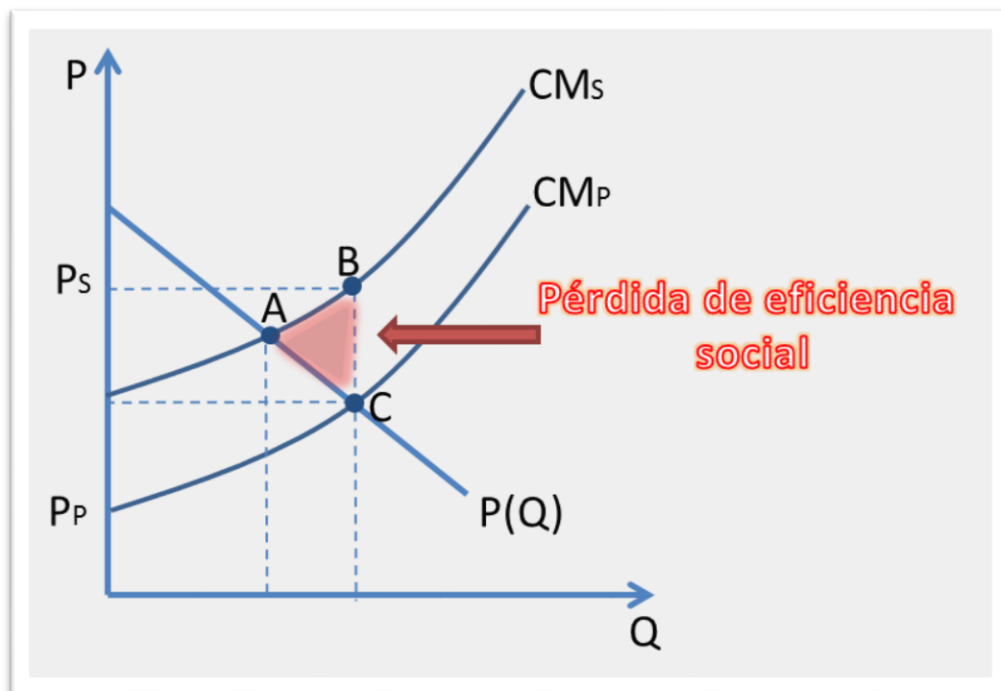
**Tabla 20** Actividades económicas realizadas por los pobladores de Chilca.  
Fuente: Empadronamiento Distrital de Población y Vivienda 2012-2013 (SISFHO)

## 1.6 Externalidades de la generación eléctrica

Las externalidades representan aquellos beneficios y costos no incorporados al precio de mercado de un bien producido, por lo que distorsionan las decisiones económicas óptimas [9].

En el presente trabajo se denominarán externalidades a todas aquellas afectaciones negativas al medio ambiente y/o a la sociedad que conlleva la generación de energía en el Sistema Interconectado Nacional (SEIN), las cuales no son incluidas en el precio final que pagan los usuarios de electricidad.

En la Figura 12 a continuación, podemos apreciar el efecto de una externalidad negativa.



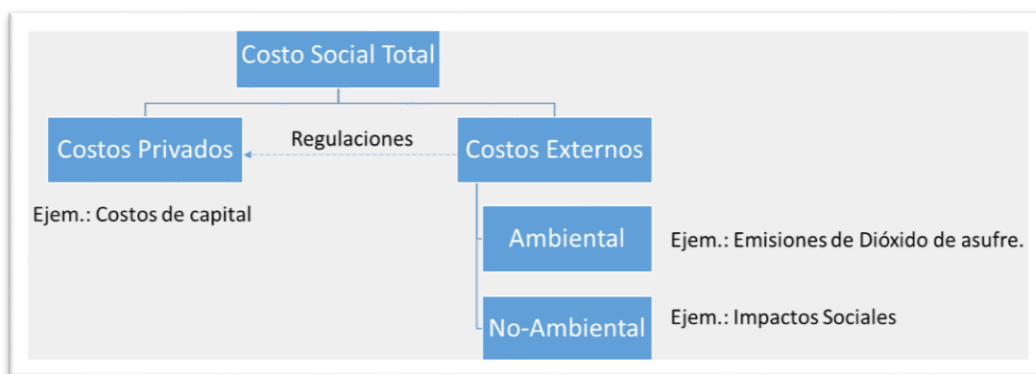
**Figura 12.** Curvas de costos marginales.  
Fuente: Osinergmin, 2008 [9]

En la Figura 12, la curva  $P(Q)$  representa la función de demanda o los beneficios marginales en el mercado de energía, la curva  $CMP$  representa los costos marginales privados de generación, es decir, solo se consideran los costos necesarios a los que incurre una empresa para poder generar electricidad, por ejemplo, en una central termoeléctrica estaría dado por el costo del combustible que emplea. En cambio, la curva  $CMs$  representa los costos marginales privados y externos; en el ejemplo anterior, también se estarían incluyendo la externalidad que conlleva la generación con una termoeléctrica, como son los gases emitidos al ambiente. Entonces, en el punto  $C$ , se tiene un comportamiento ineficiente, ya que los verdaderos costos sociales son mayores que los beneficios, es decir, nos encontramos en una situación de pérdida de eficiencia social (representada por el área sombreada) ya que los que contaminan no son los que pagan, si no que las externalidades recae sobre toda la sociedad [9].

### 1.6.1 Externalidades ambientales y sociales en la generación de energía

Las externalidades negativas, son conocidas en economía como un fallo de mercado, ya que el suministro que se hace de un bien o servicio no es eficiente. En el

caso de la generación eléctrica, el desarrollo de la actividad trae consigo daños o efectos sobre un tercero que no es productor ni consumidor de la electricidad generada. El teorema fundamental de la Economía de Bienestar, es decir, la eficiencia de los equilibrios competitivos, establece que el precio de un bien o servicio debe ser igual al coste marginal social, por lo que debe incluir el daño causado a terceros por las actividades de generación eléctrica. Uno de los mecanismos utilizados para corregir las externalidades, son los impuestos pigouvianos los cuales tienen como fin la internalización de las externalidades mediante el precio del bien o servicio, para ello es necesario y se justifica el uso de poderes públicos, ya que sólo mediante la regulación se puede restaurar la eficiencia en el mercado [9].



**Figura 13.** Costos totales para la sociedad de una actividad productiva.  
Fuente: Osinergmin, 2008 [9]

### 1.6.2 Clasificación de las externalidades en la generación de energía

Las externalidades asociadas a la generación de energía eléctrica pueden ser clasificadas en las siguientes categorías [9]:

- **Contaminantes atmosféricos:** incluye el dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, material particulado y metales pesados; los cuales tienen efectos negativos en la salud de las personas, la flora, la fauna, los materiales de construcción, así como otros bienes sociales como la recreación y el paisaje.

- **Gases de efecto invernadero:** incluye el dióxido de carbono, el metano y los clorofluorocarbonos asociados al cambio climático con potenciales impactos en la agricultura y la salud humana.
- **Uso y calidad del agua:** agua afectada por la producción de electricidad, principalmente a través de la contaminación térmica y los proyectos hidroeléctricos que afectan a las poblaciones acuáticas.
- **Valores de uso del suelo:** el suelo es afectado por las centrales de generación y por los depósitos de basura, que incluye a los desechos sólidos y líquidos.

La clasificación de las externalidades puede variar de acuerdo a los criterios de clasificación que se empleen. Es sabido que los sistemas de generación y sus papeles funcionales varían mucho entre ellos, además de que las plantas de generación operan en distintas locaciones con diferentes densidades poblacionales y/o infraestructuras sociales, por lo que las externalidades asociadas también tendrán diferentes tipos de impacto.

El Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osirnergmin), señala los principales aspectos ambientales con sus respectivos impactos asociados para a cada tipo de tecnología de generación eléctrica, ver Tabla 21. En el presente trabajo sólo se tomarán en cuenta los impactos a la salud humana relativos a las emisiones ocasionadas debido a la generación termoeléctrica con gas natural, las emisiones contaminantes a analizar son el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y el material particulado grueso (MP<sub>10</sub>, es decir, aquellos mayor a 2.5µm y menores a 10µm), los cuales son originados en la combustión del gas natural.



Tipo	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental
Térmica	Emisión de gases de combustión (CO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afectación a la salud de las personas.</li> <li>• Perjudica flora y fauna del lugar.</li> <li>• Impacto sobre la calidad del aire, agua y suelo.</li> </ul>
	Emisión de ruido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afectación a la población, trabajadores y a la fauna del lugar.</li> </ul>
	Fugas y derrames de hidrocarburos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afectación a la salud de las personas.</li> <li>• Perjudica flora y fauna del lugar.</li> <li>• Impacto sobre la calidad del aire, agua y suelo.</li> </ul>
Hidráulica	Inundación de grande áreas para construcción de embalses	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de suelo fértil.</li> <li>• Cambio en la calidad de la vida por desplazamiento a la población.</li> <li>• Perjudica flora y fauna del lugar.</li> </ul>
	Emisión de ruido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afectación a la población, trabajadores y a la fauna del lugar.</li> </ul>
	Emisión de gases de efecto invernadero (CH <sub>4</sub> y CO <sub>2</sub> ) por putrefacción de bosque y subsuelo inundado, y acumulación de sedimentos en represas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afectación a la salud de las personas.</li> <li>• Perjudica flora y fauna del lugar</li> <li>• Impacto sobre la calidad del aire, agua y suelo.</li> </ul>
Eólica	Emisión de ruido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afectación a la población, trabajadores y a la fauna del lugar.</li> </ul>
	Instalación de aerogeneradores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impacto paisajístico.</li> <li>• Riesgo de colisión de aves.</li> </ul>
Biomasa	Generación de residuos sólidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afectación a la salud de las personas.</li> <li>• Perjudica flora y fauna del lugar.</li> <li>• Impacto sobre la calidad de aire, agua y suelo.</li> </ul>
	Emisión de gases por quema de biomasa (CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afectación a la salud de las personas.</li> <li>• Perjudica flora y fauna del lugar.</li> <li>• Impacto sobre la calidad de aire, agua y suelo.</li> </ul>
	Por medio de la generación eléctrica se evita la emisión de gases contaminantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ahorro de emisión de metano (CH<sub>4</sub>)</li> </ul>
Solar FV	Conversión de sílice en silicio dentro de los paneles solares	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afectación a la salud de las personas.</li> </ul>

**Tabla 21** Externalidades en generación eléctrica por tipo de central  
Fuente: Osinergmin, 2008 [9]

## 1.7 Toxicología

La Comisión Económica para América Latina (CEPAL), presenta los principales efectos sobre la salud humana de las emisiones contaminantes primarias y secundarias.

	Contaminante primario			Contaminante secundario	
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	Sulfatos	Nitratos
<b>Bronquitis crónica</b>	X	X	✓	✓	✓
<b>Enfermedades Respiratorias (hospital)</b>	✓	X	✓	✓	✓
<b>Días de actividad restringida</b>	X	X	✓	✓	✓
<b>Visitas a sala de urgencia</b>	X	X	✓	✓	✓
<b>Crisis aguda de asma</b>	X	X	✓	✓	✓
<b>Tos crónica</b>	X	X	✓	✓	✓
<b>Enfermedades Cardiovasculares (hospital)</b>	X	X	✓	✓	✓
<b>Mortalidad crónica</b>	X	X	✓	✓	✓
<b>Mortalidad aguda</b>	✓	X	✓	✓	✓

**Tabla 22** Emisiones y sus efectos sobre la salud.  
Fuente: CEPAL-SEMARNAT, 2004 [6]

En las siguientes secciones se describirá la toxicología asociada a cada contaminante.

### 1.7.1 Toxicología del Material Particulado

Cada vez es más evidente que la exposición por inhalación al material particulado (PM) puede conducir o exacerbar diversas enfermedades, que no se limitan al pulmón, sino que se extienden al sistema cardiovascular y posiblemente a otros órganos y tejidos. Los estudios epidemiológicos han proporcionado evidencia fuerte de asociaciones con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), asma, bronquitis y enfermedad cardiovascular, mientras que la evidencia de un vínculo con el cáncer de pulmón es menos fuerte. Investigaciones recientes han proporcionado las primeras indirectas que la exposición a PM podría conducir a la diabetes y a patologías del sistema nervioso central.

La investigación epidemiológica ha encontrado asociaciones consistentes y coherentes entre la exposición a largo plazo y diversos resultados de salud, como la reducción de la función pulmonar, síntomas respiratorios, bronquitis crónica, aumento relativo del riesgo de cáncer de pulmón y mortalidad cardiopulmonar [20].

### **1.7.2 Toxicología del CO**

Cuando el CO se libera al ambiente, entra en el aire y permanece en la atmósfera durante un promedio de aproximadamente 2 meses. Eventualmente, el monóxido de carbono reacciona con otros compuestos en la atmósfera y se convierte en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Todas las personas están expuestas al monóxido de carbono a diferentes niveles por inhalación de aire. Lugares y horas del día que tienen una gran cantidad de tráfico vehicular generalmente tienen niveles más altos de monóxido de carbono en comparación con las áreas de bajo tráfico [21].

El CO en el aire entra rápidamente en todas las partes del cuerpo, incluyendo sangre, cerebro, corazón y músculos cuando respira. El CO en el cuerpo sale a través de los pulmones al momento de exhalar, pero hay un retraso en este proceso, por lo que toma alrededor de un día entero para que el CO se elimine el cuerpo. Respirar altos niveles de CO puede ocasionar la muerte, mientras que a niveles más bajos puede dañar permanentemente el corazón y el cerebro. El CO es más perjudicial para personas con enfermedades cardíacas o pulmonares. En el caso de las madres gestantes, altos niveles de CO pueden conducir al aborto espontáneo y en niveles más bajos puede dañar el desarrollo del niño [21].

Los efectos tóxicos del monóxido de carbono se deben a los efectos sobre el metabolismo celular a través de modos de acción hipóxicos y no hipóxicos. Se cree que ambos modos de acción son el resultado de la capacidad del monóxido de carbono de unirse al hemo y alterar la función y/o el metabolismo de las proteínas heme. La

formación de carboxihemoglobina (COHb), que resulta de la combinación de la hemoglobina con el CO, disminuye la capacidad portadora de O<sub>2</sub> de la sangre y dificulta la liberación de O<sub>2</sub> de la Hb para su utilización en los tejidos. [21].

La investigación toxicológica y epidemiológica actual se ha centrado en examinar los efectos en la salud de las exposiciones a bajos niveles de monóxido de carbono que no dan lugar a intoxicación por monóxido de carbono y tratar de comprender las conexiones entre la toxicidad y la producción y metabolismo en vivo del monóxido de carbono. De las investigaciones realizadas se ha revelado que el corazón y el sistema cardiovascular y el cerebro y el desarrollo del sistema nervioso son particularmente sensibles al monóxido de carbono [21].

### **1.7.3 Toxicología del NO<sub>2</sub>**

La exposición de humanos y animales al dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) puede producir una variedad de respuestas toxicológicas de distinta gravedad, dependiendo de la concentración y duración de la exposición y de la sensibilidad de la población expuesta. Debido a que el NO<sub>2</sub> es un gas, la vía primaria de exposición es a través de la inhalación, haciendo que el pulmón sea el órgano objetivo primario; sin embargo, también se han reportado efectos extrapulmonares. En la atmósfera, las principales fuentes de NO<sub>2</sub> son la combustión de combustibles fósiles y las emisiones de vehículos motorizados. Cuando se inhala el NO<sub>2</sub>, este reacciona con la humedad en el tracto respiratorio, dando lugar a la formación de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) [22].

El ácido nítrico se disocia en nitratos y nitritos. En concentraciones bajas, el NO<sub>2</sub> reacciona con la humedad en el tracto respiratorio superior, pero a medida que aumenta la concentración de exposición, esa reacción penetra en el tracto respiratorio inferior. Una vez inhalado, el NO<sub>2</sub> o sus derivados químicos, pueden permanecer dentro del pulmón o transportarse a sitios extrapulmonares a través del torrente sanguíneo, donde pueden reaccionar con la hemoglobina para formar metahemoglobina (Met-Hb). Esa

reacción tiene implicaciones importantes para la salud porque Met-Hb es un portador de oxígeno ineficaz. La transformación de la hemoglobina en Met-Hb puede aumentar los riesgos para la salud de las personas vulnerables que tienen hipoxia asociada con enfermedad pulmonar y cardíaca. Se han observado niveles elevados de nitratos en la sangre y la orina después de la exposición a  $\text{NO}_2$ , lo que indica que el  $\text{NO}_2$  reacciona para producir nitratos [22].

#### **1.7.4 Toxicología del $\text{SO}_2$**

En el aire, el  $\text{SO}_2$  puede convertirse en ácido sulfúrico, trióxido de azufre y sulfatos. El dióxido de azufre se disuelve en agua. Una vez disuelto en agua, el dióxido de azufre puede formar ácido sulfuroso. Las personas pueden estar expuestas al  $\text{SO}_2$  principalmente respirando el aire que lo contiene; el  $\text{SO}_2$  puede entrar fácil y rápidamente en el torrente sanguíneo a través de los pulmones. También las personas pueden estar expuestas al  $\text{SO}_2$  por contacto con la piel. Una vez en el cuerpo, se descompone en sulfato y sale a través de la orina [23].

Exposiciones a corto plazo a altos niveles de dióxido de azufre pueden ser mortales. La exposición a 100 partes por millón (ppm) de  $\text{SO}_2$  se considera inmediatamente peligrosa para la vida y la salud. La exposición a largo plazo a niveles persistentes de dióxido de azufre también puede afectar su salud. Además, las personas asmáticas son sensibles a los efectos respiratorios de concentraciones bajas (0,25 ppm) de  $\text{SO}_2$  [23].

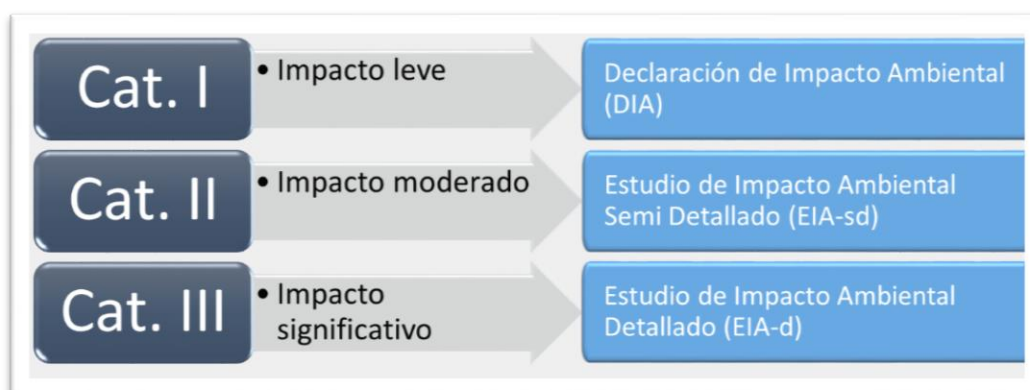
El  $\text{SO}_2$  inhalado reacciona fácilmente con la humedad de las membranas mucosas para formar ácido sulfuroso ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ), que es un irritante severo. Los adultos sanos experimentan una mayor resistencia de las vías respiratorias a 5 ppm, estornudos y tos a 10 ppm y broncoespasmo a 20 ppm. Se requiere protección respiratoria para exposiciones de hasta 20 ppm. Las exposiciones de 50 a 100 ppm pueden tolerarse por más de 30 a 60

minutos, pero las exposiciones más altas o más largas pueden causar la muerte por obstrucción de las vías respiratorias. Las exposiciones de 10 a 20 ppm causan irritación a las membranas mucosas. El SO<sub>2</sub> es un irritante severo de la piel que causa dolor, enrojecimiento y ampollas, especialmente en las membranas mucosas. El SO<sub>2</sub> es más pesado que el aire; por lo tanto, la exposición en áreas mal ventiladas, cerradas o bajas puede resultar en asfixia [23].

## 1.8 Marco Regulatorio

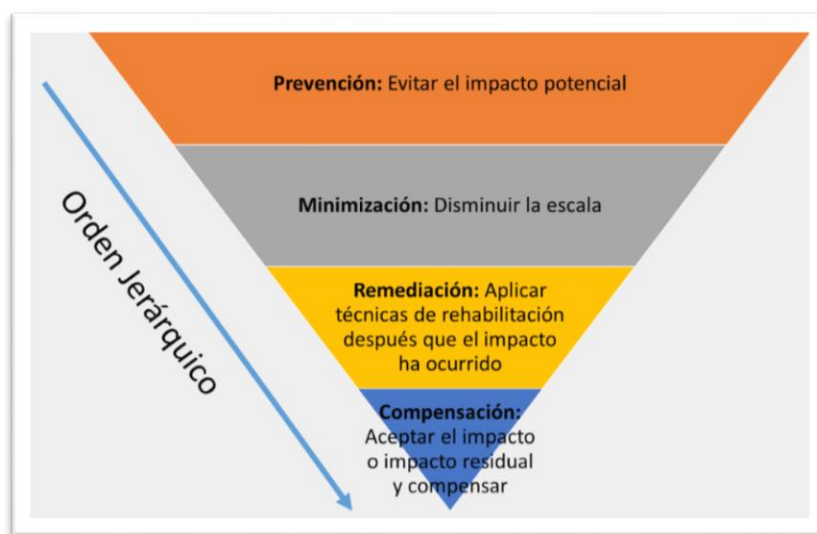
### 1.8.1 Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental

De acuerdo Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental y su reglamento aprobado por D.S. N°010-2009-MINAM, las categorías de Estudios de Impacto Ambiental son las siguientes: Declaración de Impacto Ambiental (DIA), Estudio de Impacto Ambiental Semi-detallado (EIA-sd) y Estudio de Impacto Ambiental Detallado (EIA-d), tal como se muestran en la Figura 14. En la actualidad, las DIA y los EIA-sd son aprobados por el Ministerio de Energía y Minas (Minem), mientras que los EIA-d es aprobado por el Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (Senace).



**Figura 14** Categorías de Estudios de Impacto Ambiental.  
Fuente: Ley N° 27446 – Elaboración propia.

El Estudio de Impacto Ambiental es un instrumento de Gestión Ambiental preventivo que tiene como finalidad disminuir los costos provenientes de la contaminación que se genera por las intervenciones humanas, directas o indirectas, bajo la forma de proyectos de inversión, así como anticipar y evaluar los potenciales impactos ambientales con el fin de reducirlos, mitigarlos, corregirlos y/o compensarlos, de acuerdo a la jerarquía de mitigación que se muestra en la Figura 15.



**Figura 15** Jerarquía de mitigación.

Fuente: R. M. N.º 398-2014-MINAM – Elaboración propia.

Existen impactos ambientales que pueden pasar desapercibidos, por ejemplo, si una central termoeléctrica cumple con respetar los Límites Máximos Permisibles (LMP) para sus emisiones durante su operación, se espera que dichas emisiones no generen impactos negativos para el ambiente; sin embargo, estas emisiones se suman a las de otras fuentes contaminantes, lo que puede hacer que se superen los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). Este tipo de impactos ambientales son denominados impactos ambientales sinérgicos. Al estudiar el caso del nodo energético de Chilca, se aprecia que no solo existen centrales termoeléctricas a gas natural, sino que hay otras fuentes emisoras como el flujo de vehículos por la Panamericana Sur y la Fundación Chilca, cuyas emisiones se concentran y podrían afectar en conjunto a las poblaciones que habitan las zonas aledañas.

### 1.8.2 Límites Máximos Permisibles

En el Artículo 32° de la Ley General del Ambiente (Ley N° 28611) se define el marco conceptual de los Límites Máximos Permisibles (LMP) como las medidas de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedidas causan o pueden causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación es responsabilidad del Ministerio del Ambiente y de los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción son establecidos por dicho Ministerio. Los LMP guardan coherencia entre el nivel de protección ambiental establecido para una fuente determinada y los niveles generales que se establecen en los ECA.

Contaminante	Límite Máximo Permisible (LMP)
Dióxido de Azufre	2000
Óxidos de Nitrógeno	125
Partículas	50

**Tabla 23** Límites Máximos Permisibles para plantas térmicas a gas natural.  
Fuente: Banco Mundial, Manual de Prevención y Control de la Contaminación

### 1.8.3 Estándar de Calidad Ambiental (ECA)

En el Artículo 31° de la Ley General del Ambiente (Ley N° 28611) define el marco conceptual de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) como aquellos que consideran los niveles de concentración máxima de contaminantes del aire que, en su condición de cuerpo receptor, es recomendable no exceder para evitar riesgo a la salud humana. Como estos Estándares protegen la salud, son considerados estándares primarios. En la siguiente tabla se presentan los ECA establecidos para los contaminantes emitidos por las centrales de generación del PEC.



Contaminante	Periodo	Forma del Estándar		Método de Análisis
		Valor ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Formato	
PM-10	Anual	50 <sup>1</sup>	Media aritmética anual	Separación inercial/ filtración (Gravimetría)
	24 horas	150 <sup>1</sup>	NE más de 3 veces/año	
Monóxido de Carbono (CO)	8 horas	10000 <sup>1</sup>	Promedio móvil	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	1 hora	30000 <sup>1</sup>	NE más de 1 vez/año	
Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	Anual	100 <sup>1</sup>	Promedio aritmético anual	Quimiluminiscencia (Método automático)
	1 hora	200 <sup>1</sup>	NE más de 24 veces/año	
PM-2.5	24 horas	25 <sup>2</sup>	Media aritmética	Separación inercial filtración (gravimetría)
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	24 horas	20 <sup>2</sup>	Media aritmética	Fluorescencia UV (método automático)

**Tabla 24** Estándares de Calidad Ambiental.

Nota: (1) D.S. N° 074-2001-PCM- Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Aire. (2) D.S. N° 003-2008-MINAM- Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aire.

Fuente: D.S. N° 074-2001-PCM y D.S. N° 003-2008-MINAM

Cabe precisar que el 7 de junio del 2017, se publicó el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, en el cual se aprobaron nuevos ECA para el PM<sub>10</sub> y el SO<sub>2</sub>; sin embargo, esta nueva normativa no fue tomada en cuenta para la realización del presente trabajo.

A fin poder tener referencias internacionales sobre los valores de ECA, se comparan los ECA nacionales con los valores de ECA en Brasil, Estados Unidos y Unión Europea.

En la siguiente tabla se muestra los valores de ECA internacionales para el PM<sub>10</sub>.

País	ECA ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tiempo de medición	Frecuencia de excedencia permitida.
Brasil	150	24 horas	Sólo una vez por año.
Estados Unidos	150	24 horas	Sólo una vez por año.
Unión Europea	50	24 horas	No más de 35 ocasiones al año.
Perú	150	24 horas	No más de 3 ocasiones al año.

**Tabla 25** Valores internacionales de ECA para PM<sub>10</sub>.

Fuente: Organización Panamericana de la Salud [25].

Se aprecia que el valor del ECA nacional para el PM<sub>10</sub> es similares a los valores en Brasil y Estados Unidos, mientras que en la Unión Europea tiene un ECA más conservador.

En la siguiente tabla se muestra los valores de ECA internacionales para el SO<sub>2</sub>.

<b>País</b>	<b>ECA (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tiempo de medición</b>	<b>Frecuencia de excedencia permitida.</b>
<b>Brasil</b>	365	24 horas	Sólo una vez por año.
<b>Estados Unidos</b>	365	24 horas	Sólo una vez por año.
<b>Unión Europea</b>	125	24 horas	No más de 3 ocasiones por año.
<b>Perú</b>	20	24 horas	Media aritmética.

**Tabla 26** Valores internacionales de ECA para SO<sub>2</sub>.  
Fuente: Organización Panamericana de la Salud [25].

Se aprecia que el valor del ECA nacional para el SO<sub>2</sub> es mucho más conservador en comparación con Brasil y Estados Unidos, incluso más conservador que en el Unión Europea.

En la siguiente tabla se muestra los valores de ECA internacionales para el NO<sub>2</sub>.

<b>País</b>	<b>ECA (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tiempo de medición</b>	<b>Frecuencia de excedencia permitida.</b>
<b>Brasil</b>	320	1 hora	Sólo una vez por año.
<b>Estados Unidos</b>	100	1 año	Promedio aritmético anual.
<b>Unión Europea</b>	200	1 hora	No más de 18 ocasiones al año.
<b>Perú</b>	200	24 horas	No más de 24 ocasiones al año.

**Tabla 27** Valores internacionales de ECA para NO<sub>2</sub>.  
Fuente: Organización Panamericana de la Salud [25].

Se aprecia que el valor del ECA nacional para el NO<sub>2</sub> es más conservador que el valor en Brasil pero mayor que en Estados Unidos; sin embargo, es igual de igual valor que en la Unión Europea, pero es más permisible en cuando a las veces en que puede ser excedido.

En la siguiente tabla se muestra los valores de ECA internacionales para el CO.

<b>País</b>	<b>ECA (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Tiempo de medición</b>	<b>Frecuencia de excedencia permitida.</b>
<b>Brasil</b>	40,000	1 hora	Sólo una vez por año.
<b>Estados Unidos</b>	40,000	1 hora	Sólo una vez por año.
<b>Unión Europea</b>	No tiene normas primarias de CO		
<b>Perú</b>	30,000	1 hora	Sólo una vez por año.

**Tabla 28** Valores internacionales de ECA para CO.  
Fuente: Organización Panamericana de la Salud [25].

Se aprecia que el valor del ECA nacional para el CO es más conservador que los valores en Brasil y Estados Unidos. En la Unión Europea no se cuenta con normas primarias para el CO.

## **CAPÍTULO II**

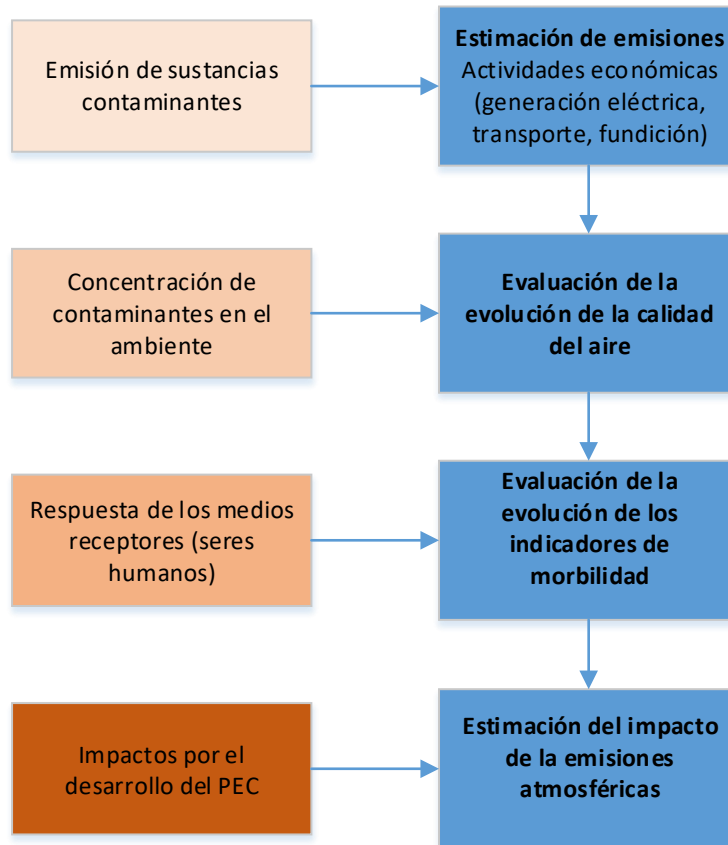
### **METODOLOGÍA**

El presente trabajo utiliza la metodología no experimental de la investigación, puesto que no existe una manipulación de las variables, la data sobre los fenómenos se recopila tal como se encuentra en las fuentes de información para posteriormente ser analizada.

El presente estudio utiliza una investigación no experimental de tipo transeccional. Para desarrollar este tipo de diseño de investigación los datos son recogidos en un solo momento y en un tiempo único, teniendo como propósito describir las variables y analizar su incidencia e interrelación en un tiempo determinado [25].

El presente estudio mantiene una actitud proactiva, antes que reactiva o fatalista con respecto al futuro, ya que pretende determinar si es que existen impactos sobre la salud humana a causa de las emisiones atmosféricas en el PEC, a fin de que se puedan tomar las medidas preventivas de ser necesarias.

Para poder estimar el impacto sobre la salud humana ocasionada por el desarrollo del PEC, se seguirá el proceso propuesto en la Figura 16. Cada uno de los pasos mostrados será detallado en los subtítulos siguientes.



**Figura 16** Metodología empleada.  
Fuente: Elaboración propia.

## 2.1 Cálculo de las emisiones atmosféricas ocasionadas por el desarrollo de las centrales termoeléctricas del PEC.

Se realizará un inventario de la emisión anual de las centrales del PEC, para lo cual se emplearán ratios de emisión ( $Re$ ) de cada uno de los contaminantes expresados en toneladas por hora (Ton/hr) para cada turbina a gas que opera en el PEC. Estos ratios están establecidos en los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) presentados por las empresas termoeléctricas a la Dirección General de Asuntos Ambientales Energéticos (DGAAE) del Ministerio de Energía y Minas (MINEM).

Además, en el portal web del Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES-SINAC) se encuentran las estadísticas de operación anual por horas ( $h_{op}$ ).

La fórmula a utilizar está dada por:  $E_{PEC} = r_e \times h_{op}$

Donde:

$E_x =$  Emisión total anual del contaminante "x" (ton)

$Re_x =$  Ratio de emisión del contaminante "x" (ton/ hora)

$h_{op} =$  Horas de operación anua (hora)

En la siguiente tabla se muestra las horas de operación anual, para el periodo 2006-2016, que tuvieron las turbinas a gas pertenecientes al PEC.

Grupos de Generación	Horas de operación anuales										
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Chilca1 TG1</b>	513	8144	8002	6494	7506	6436	8416	7568	8367	8292	7385
<b>Chilca1 TG2</b>	0	3849	8279	7653	3001	6592	8322	8430	7646	8294	7389
<b>Chilca1 TG3</b>	0	0	0	2469	5574	5116	7622	7987	8328	7713	6463
<b>Chilca2 TG41</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2451
<b>Fénix GT11</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	1012	8122	6276
<b>Fénix GT 12</b>	0	0	0	0	0	0	0	70	5458	6727	6172
<b>Kallpa TG1</b>	0	1686	6168	4808	5481	6576	7393	7976	8217	6339	6812
<b>Kallpa TG2</b>	0	0	0	2909	7125	7442	7550	7855	8357	7645	5833
<b>Kallpa TG3</b>	0	0	0	0	5795	8270	7779	7541	8188	8289	6519
<b>Las Flores</b>	0	0	0	0	91	1725	3269	1819	1368	752	1618
<b>Sto Domingo O.</b>	0	0	0	0	0	0	0	351	2112	2153	5464

**Tabla 29** Horas de Operación de las turbinas de las centrales térmicas del PEC.

Fuente: Portal web del COES.

Al multiplicar los ratios de emisión (ver Tabla 6) por las horas de operación al año (Tabla 29), se obtendrá una estimación de emisiones anuales, para cada tipo de gas contaminante. Los cálculos se realizarán desde el año 2006, año en que entra en operación la primera central del PEC, hasta el 2016, que es el año con la última data disponible.



**Figura 17.** Ubicación de las centrales termoeléctricas de Chilca.  
Fuente: Google Earth – Elaboración propia.

En la Figura 17 se muestra la ubicación de las centrales termoeléctricas instaladas en el distrito de Chilca, de acuerdo a la información establecida en sus respectivos EIA.

## **2.2 Estimación de las emisiones de otros tipos de fuentes presentes en la zona.**

Se estimarán las emisiones de gases contaminantes por parte de la fundición que opera en el distrito de Chilca, teniendo en cuenta el consumo anual de gas natural ( $C_{GN}$ ) detallado su Estudio de Impacto Ambiental, para luego multiplicarlo por los factores de emisión ( $f_e$ ) asociados a la combustión del gas natural que se presentan en la Tabla 30.

<b>Contaminante</b>	<b>Factor de emisión (kg/10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>
<b>NOx</b>	2,258
<b>PM</b>	100
<b>CO</b>	565
<b>SO2</b>	9.7

**Tabla 30** Factores de emisión por la combustión de gas natural en la Fundición Chilca.  
Fuente: Emission Factor Documentation for Natural Gas Combustion (EPA) [24].

Los factores de emisión de cada contaminante presentado en la Tabla 30, serán multiplicados por el consumo de gas natural en la Fundición Chilca, que de acuerdo a su EIA está estimado en 8.6 millones de m<sup>3</sup> anuales [24], utilizando la siguiente ecuación:

$$E_F = C_{GN} \times fe_x$$

Donde:

$$\begin{aligned} E_F &= \text{Emisión de la fundición} \\ C_{GN} &= \text{Consumo anual de gas natural} \\ fe_x &= \text{Factor de emisión del contaminante } x \end{aligned}$$

Por otro lado, se estimarán las emisiones de los automóviles que recorren la carretera Panamericana Sur en el tramo correspondiente al distrito de Chilca, para ello se contará con las estadísticas del Instituto Peruano de Estadística e Informática (INEI) sobre el flujo de vehículos que pasan por el peaje ubicado en el kilómetro 66 de la Panamericana Sur en Chilca. El cálculo de las emisiones se realizará empleando la siguiente fórmula:

$$E_{PA} = TA \times L \times fe_x$$

Donde:

$$\begin{aligned} E_{PA} &= \text{Emisiones del parque automotor} \\ TA &= \text{Tráfico anual de vehículos} \\ L &= \text{Longitud de la vía (km)} \\ fe_x &= \text{Factor de emisión del contaminante } x \text{ por km recorrido } \left( \frac{\text{ton}}{\text{km}} \right) \end{aligned}$$



TIPO	CO	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	S <sub>x</sub>
<b>Automóvil SC +E</b>	$46.274 - 0.406V + 0.0032V^2$	$1.156 + 0.021V + 0.00004V^2$		$2 * 0.00031 * (681V^{-0.583})$
<b>Automóvil -E</b>	$12.4095 - 0.151V + 0.000957V^2$	$1.5257 - 0.0014V + 0.000247V^2$		$2 * 0.00031 * (121 - 2.031V + 0.017V^2)$
<b>Automóvil CC</b>	$6.60218 - 0.15623V + 0.00137V^2$	$0.91335 - 0.01184V + 0.00011V^2$		$2 * 0.00031 * (135.42 - 2.4558V + 0.017V^2)$
<b>Automóvil DIESEL</b>	$3.1078 - 0.0256V + 0.0002V^2$	$1.6413 - 0.01592V + 0.00014V^2$	$0.3456 - 0.000577V + 0.0000125V^2$	$2 * 0.0046 * (125.489 - 2.084V + 0.014V^2)$
<b>Station Wagon SC +E</b>	$54.44 - 0.406V + 0.0032V^2$	$1.156 - 0.021V + 0.00004V^2$		$2 * 0.00031 * (817V^{-0.583})$
<b>Station Wagon SC - E</b>	$14.0641 - 0.151V + 0.000957V^2$	$1.5257 - 0.0014V + 0.000247V^2$		$2 * 0.00031 * (126 - 2.031V + 0.017V^2)$
<b>Station Wagon CC</b>	$7.6179 - 0.15623V + 0.001375V^2$	$1.0351 - 0.01184V + 0.00011V^2$		$2 * 0.00031 * (135.42 - 2.4558V + 0.017V^2)$
<b>Station Wagon SC GLP</b>	$13.775 - 0.418V + 0.0039V^2$	$0.77V^{0.285}$		
<b>Station Wagon DIESEL</b>	$3.6562 - 0.0256V + 0.0002V^2$	$1.7905 - 0.01592V + 0.00014V^2$	$0.403 - 0.000577V + 0.00001V^2$	$2 * 0.00406 * (128.489 - 2.084V + 0.014V^2)$
<b>Camioneta GASOL</b>	$6.60218 - 0.15623V + 0.00137V^2$	$2.133 - 0.0079V + 0.00009V^2$		$2 * 0.00031 * (166.37 - 2.6974V + 0.0187V^2)$
<b>Camioneta DIESEL</b>	$3.29 - 0.0256V + 0.0002V^2$	$1.7905 - 0.01592V + 0.000014V^2$	$0.432 - 0.000577V + 0.0000125V^2$	$2 * 0.00406 * (146.22 - 2.5646V + 0.0233V^2)$
<b>Omnibus S/ CONTROL</b>	$93.2V^{-0.6945}$	$19.446 - 0.0941V + 0.0006V^2$	$25.93V^{-0.7259}$	$2 * 0.00406 * (2998.98V^{-0.4318})$
<b>Omnibus C/ CONTROL</b>	$37.28V^{-0.6945}$	$9.723 - 0.0941V + 0.0006V^2$	$10.564V^{-0.7259}$	$2 * 0.00406 * (1645.9V^{-0.4318})$
<b>Camión</b>	$63.376V^{-0.6945}$	$17.1127 - 0.0941V + 0.0006V^2$	$22.08852V^{-0.7259}$	$2 * 0.00406 * (151.212 - 0.6589V + 0.0126V^2)$
<b>Remolcador/Semire molcador</b>	$74.56V^{-0.6945}$	$260.064V^{-0.6061}$	$27.225V^{-0.7105}$	$2 * 0.00406 * (399.3 - 5.163V + 0.0382V^2)$

**Tabla 31** Factor de emisión según tipo de vehículo de acuerdo a la velocidad.  
Fuente: Saavedra (2014) [25].

Los factores de emisión de los contaminantes se calculan con la Tabla 31 teniendo en cuenta una velocidad de 72 km por hora, la cual es una velocidad media de marcha para una carretera de primera clase como lo es la Panamericana Sur de acuerdo al Ministerio de Transportes y comunicaciones [26].

TIPO DE VEHÍCULO	CO	NOx	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>
Automóvil SC +E	33.63	2.88		0.03
Automóvil –E	6.50	2.71		0.04
Automóvil CC	2.46	0.63		0.03
Automóvil DIESEL	2.30	1.22	0.37	0.44
Station Wagon SC +E	41.80	2.88		0.04
Station Wagon SC –E	8.15	2.71		0.04
Station Wagon CC	14.59	0.75		0.03
Station Wagon SC GLP	33.57	2.61		
Station Wagon DIESEL	2.85	1.37	0.41	0.41
Camioneta GASOL	17.63	2.5		0.04
Camioneta DIESEL	2.48	0.72	1.08	0.67
Omnibus S/ CONTROL	4.78	15.78	1.16	3.84
Omnibus C/ CONTROL	1.91	6.06	0.47	2.11
Camión	3.25	13.45	0.99	1.37
Remolcador/Semiremolcador	3.82	19.47	1.30	1.83

**Tabla 32** Factores de emisión de vehículos para una velocidad media de marcha de 72 km/h.  
Fuente: Elaboración propia

Los factores de emisión de la Tabla 32 serán multiplicados por el tráfico anual de vehículos que transitan el Peaje de Chilca.

Año	Tráfico Vehicular
2009	1'884,808
2010	2'059,501
2011	2'252,561
2012	2'521,363
2013	2'654,722
2014	2'770,484
2015	3'110,315
2016	3'274,229

**Tabla 33** Flujo vehicular anual en el Peaje Chilca.  
Fuente: INEI [27]

Los datos que se presentan en la Tabla 33 muestran solo datos de los vehículos para una de una dirección (entrada), por lo que para efectos de cálculos de emisiones, esos valores se duplicarán para así también estimar la salida de vehículos. Asimismo, se considerará un tramo recorrido por los vehículos de 12 km, desde la localidad de Olof Palme hasta la localidad de Las Salinas, ubicados en los kilómetros 55 y 67 de la Panamericana Sur, respectivamente, se representa como una línea azul en la Figura 18.



**Figura 18.** Tramo de la Panamericana Sur considerada para los cálculos de emisiones vehiculares.

Fuente: Google Earth. Elaboración propia.

Para saber la cantidad de vehículos según su tipo, que transitan por el Peaje Chilca, se emplearán los valores porcentuales que se muestran en la Tabla 34.

TIPO	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Automóvil SC +E</b>	11.9%	11.9%	11.9%	11.8%	11.7%	11.6%	11.6%	11.6%
<b>Automóvil –E</b>	11.9%	11.9%	11.9%	11.8%	11.7%	11.6%	11.6%	11.6%
<b>Automóvil CC</b>	11.9%	11.9%	11.9%	11.8%	11.7%	11.6%	11.6%	11.6%
<b>Automóvil DIESEL</b>	11.9%	11.9%	11.9%	11.8%	11.7%	11.6%	11.6%	11.6%
<b>Station Wagon SC +E</b>	2.8%	2.8%	2.8%	2.6%	2.8%	3.0%	3.1%	3.1%
<b>Station Wagon SC –E</b>	2.8%	2.8%	2.8%	2.6%	2.8%	3.0%	3.1%	3.1%
<b>Station Wagon CC</b>	2.8%	2.8%	2.8%	2.6%	2.8%	3.0%	3.1%	3.1%
<b>Station Wagon SC GLP</b>	2.8%	2.8%	2.8%	2.6%	2.8%	3.0%	3.1%	3.1%
<b>Station Wagon DIESEL</b>	2.8%	2.8%	2.8%	2.6%	2.8%	3.0%	3.1%	3.1%
<b>Camioneta GASOL</b>	13.1%	13.1%	13.1%	13.8%	13.2%	12.7%	12.5%	12.5%
<b>Camioneta DIESEL</b>	13.1%	13.1%	13.1%	13.8%	13.2%	12.7%	12.5%	12.5%
<b>Ómnibus S/ CONTROL</b>	1.4%	1.4%	1.4%	1.4%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
<b>Ómnibus C/ CONTROL</b>	1.4%	1.4%	1.4%	1.4%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
<b>Camión</b>	6.0%	6.0%	6.0%	6.1%	6.5%	6.8%	6.7%	6.7%
<b>Remolcador/Semiremolcador</b>	3.1%	3.1%	3.1%	3.2%	3.4%	3.4%	3.5%	3.5%

**Tabla 34** Composición de parque automotor por clase de vehículo en el departamento de Lima.

Fuente: MTC (2016) [28].

Luego de realizar el cálculo de las emisiones del parque automotor para el periodo 2009-2016 y de la fundición para los años 2014-2016, se procederá a elaborar un gráfico comparativo de las emisiones de las centrales del PEC y de estas dos últimas fuentes.

### 2.3 Evaluación de la evolución de la calidad del aire en receptores sensibles aledaños al PEC

Para la evaluación de la calidad del aire en el distrito de Chilca en el periodo 2009-2016, se considerarán los datos de 10 puntos de monitoreo de las centrales Chilca Uno (2 puntos de monitoreo), Kallpa (2 puntos de monitoreo), Fénix Power (4 puntos de monitoreo) y Santo Domingo de los Olleros (2 puntos de monitoreo). La ubicación de los puntos de monitoreo se muestra en la imagen adjunta con las banderas de color rojo. Asimismo, en la siguiente tabla se presentan las coordenadas y características de dichos puntos.

Punto de monitoreo	Coordenadas UTM		Localidad	Central asociada
	m Este	m Sur		
01-CH	311357	8616354	Chilca Pueblo	Chilca Uno
02-CH	311293	8620870	Papa León XIII	Chilca Uno
01-KA	312116	8615902	AA.HH. San José	Kallpa
02-KA	311992	8619154	AA.HH. 15 de Enero	Kallpa
01-FP	311426	8612502	Sur de la central	Fénix
02-FP	311325	8612972	Norte de la central	Fénix
03-FP	312753	8612710	Las Salinas	Fénix
04-FP	311170	8615510	Chilca Pueblo	Fénix
01-TC	311575	8619001	AA.HH. 15 de enero	Sto Dgo. De los Olleros
02-TC	312199	8615981	AA.HH. San José	Sto Dgo. De los Olleros

**Tabla 35** Ubicación de los puntos de monitoreo.  
Fuente: Informe Anual de Gestión Ambiental de las empresas.

En el siguiente mapa se muestra los puntos de monitoreo de calidad del aire establecidos por las centrales termoeléctricas, considerados para el estudio.



**Figura 19.** Ubicación de los puntos de monitoreo de la calidad del aire.  
Fuente: Google Earth y EIA's de las C.T. – Elaboración propia.

Por otro lado, para poder corroborar los resultados de monitoreo presentados por las empresas, se emplearán los resultados del monitoreo efectuado por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) en el año 2015, para las estaciones que se presentan en la Tabla 36. En dicha tabla se presenta también la correspondencia de los puntos de monitoreo de OEFA con los puntos de monitoreo establecidos por las diferentes empresas para poder realizar la comparación respectiva.

Punto de monitoreo	Coordenadas UTM		Ubicación	Punto de monitoreo asociado	Central asociada
	m Este	m Sur			
CACH-01	312886	8613022	Las Salinas	03-FP	Fénix
CACH-02	312271	8615880	San Hilarión	01-KA	Kallpa
				02-TC	Sto. Dgo. De los Olleros
CACH-03	311519	8618967	AA. HH. 15 de Enero	01-TC	Sto. Dgo. De los Olleros
				02-KA	Kallpa

**Tabla 36** Ubicación de los puntos de monitoreo establecidos por OEFA  
Fuente: Informe de Evaluación Ambiental de Chilca, OEFA (2015) [27].

En el siguiente mapa se muestran los puntos de monitoreo de calidad del aire establecidos por OEFA, considerados para el estudio.





**Figura 20. Mapa de ubicación de los puntos de monitoreo establecidos por OEFA**  
Fuente: Google Earth e Informe de OEFA. Elaboración propia [27].

Se procesarán los datos de monitoreo de la calidad de aire contenidos en los Informes Anuales de Gestión Ambiental (IAGA) que las empresas presentan al OEFA y se generarán gráficos para evaluar la evolución de las concentraciones de los contaminantes en el aire para el periodo 2009-2016.

## **2.4 Evaluación de la evolución de los indicadores de morbilidad de los pobladores del distrito de Chilca**

Se evaluará la evolución para el periodo 2009-2016 de la morbilidad en el distrito de Chilca. Para ello, se realizará una consulta sobre las categorías de morbilidad a la oficina de estadística e informática del Ministerio de Salud (MINSA) para los establecimientos de salud ubicados en el distrito de Chilca para el periodo 2006-2016. Los establecimientos de salud a evaluar serán: el Centro de Salud Chilca, los puestos de salud Olof Palme, Las Salinas y 15 de enero, cuya ubicación se muestra en la imagen adjunta.

Además, cabe indicar que se realizaron consultas a profesionales de algunas de las empresas termoeléctricas de Chilca a fin de recibir información acerca de sus operaciones y su relación con la población. Los entrevistados fueron: César Cornejo (Engie Energía Perú S.A.), Fernando Valencia (Kallpa Generación S.A.) y Mariella Paredes (Fénix Power Perú S.A.).

En la Figura 21 se indica la ubicación de los establecimientos de salud de la Micro red de Salud Chilca.



**Figura 21** Ubicación del establecimiento de salud de Chilca.  
Fuente: Google Earth – Elaboración propia.

A continuación, se procesará la data para seleccionar aquellos tipos de morbilidad que guardan relación con los diferentes tipos de contaminantes atmosféricos. En base a esta data se elaborarán gráficos de evolución para el periodo 2009-2016 de los tipos de morbilidad seleccionados versus la concentración de los contaminantes atmosféricos. Dichos gráficos serán los siguientes:

Nombre del gráfico	Categorías de morbilidad	Contaminante relacionado
Estadísticas de atenciones por asma y estado asmático.	Asma y estado asmático.	PM <sub>10</sub>
Estadísticas de atenciones por dermatitis atópica.	Dermatitis atópica.	SO <sub>2</sub>
Estadísticas de atenciones por infecciones agudas de las vías respiratorias superiores.	Rinofarigitis aguda Sinusitis aguda Faringitis aguda Amigdalitis aguda Laringitis aguda Traqueítis aguda	NO <sub>2</sub>
Estadísticas de atenciones por infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores	Bronquitis Bronquiolitis Otras infecciones no especificadas.	CO

**Tabla 37** Categorías de morbilidad consideradas según tipo de contaminante.  
Fuente: Elaboración propia.

## 2.5 Estimación del impacto de las emisiones atmosféricas en el PEC.

La evaluación del impacto de las emisiones atmosféricas sobre la salud de la población aledaña a las centrales del PEC se realizará de manera cualitativa en función de la evaluación del impacto sobre la calidad del aire.

Para la estimación del impacto sobre la calidad del aire se comparará la mediana de las concentraciones medidas en la línea base con la mediana de las concentraciones anuales medidas en los puntos de monitoreo el año 2016. Las mediciones en línea base está dadas en los EIA respectivos de cada central para cada punto de monitoreo. Asimismo, se le asignará un Índice de Calidad del Aire (INCA) a cada concentración medida, de acuerdo a lo establecido en la Resolución Ministerial N°181-2016 del Ministerio del Ambiente. Luego cada valor de INCA recibirá una calificación de acuerdo a la **Tabla 38**.



Calificación	Valores del INCA	Colores
Buena	0 – 50	Verde
Moderada	51 – 100	Amarillo
Mala	101 – VUEC	Anaranjado
VUEC*	>VUEC	Rojo

\*VUEC: Valor Umbral del Estado de Cuidado.

**Tabla 38** Valores del Índice de Calidad del Aire.

Fuente: Resolución Ministerial N°181-2016 del MINAM.

La comparación entre la calidad de aire y las afectaciones a la salud, se realizará utilizando a la calificación y recomendaciones de los INCA's que se muestran en la Tabla 39.

Calificación	Cuidados	Recomendaciones
Buena	La calidad del aire es satisfactoria y no representa un riesgo para la salud.	La calidad del aire es aceptable y cumple con el ECA de Aire. Puede realizar actividades al aire libre
Moderada	La población sensible (niños, tercera edad, madres gestantes, personas con enfermedades respiratorias crónicas y cardiovasculares) podría experimentar algunos problemas de salud.	La calidad del aire es aceptable y cumple con el ECA de Aire. Puede realizar actividades al aire libre con ciertas restricciones para la población sensible.
Mala	La población sensible podría experimentar problemas de salud. La población en general podría sentirse afectada	Mantenerse atento a los informes de calidad del aire. Evitar realizar ejercicio y actividades al aire libre.
Umbral de cuidado	La concentración de contaminantes puede causar efectos en la salud de cualquier persona y efectos serios en la población sensible, tales como niños, ancianos, madres gestantes, personas con enfermedades pulmonares obstructivas crónicas y cardiovasculares.	Reportar a la Autoridad de Salud para que declare los Niveles de Estados de Alerta de acuerdo al Decreto Supremo N° 009-2003-SA y su modificatoria Decreto Supremo N° 012-2005-SA

**Tabla 39** Cuidados y Recomendaciones del INCA.

Fuente: Resolución Ministerial N°181-2016 del MINAM.

Los INCA's se establecerán por cada tipo de contaminante. Así por ejemplo, para establecer el INCA del PM<sub>10</sub> se tomará en cuenta su concentración promedio en 24 horas, para luego multiplicarla por el factor mostrado en la Tabla 40.

<b>Material particulado (PM<sub>10</sub>) promedio 24 horas</b>		
<b>Intervalo del INCA</b>	<b>Intervalo de concentraciones (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Ecuación</b>
0 – 50	0 – 75	$I_{(PM_{10})} = [PM_{10}] \times 100/150$
51 – 100	76 – 150	
101 – 167	151 – 250	
>167	>250	

**Tabla 40** Cálculo del INCA para el PM<sub>10</sub>  
Fuente: Resolución Ministerial N°181-2016 del MINAM.

Por otro lado, para establecer el INCA del SO<sub>2</sub> se tomará en cuenta su concentración promedio en 24 horas, para luego multiplicarla por el factor mostrado en la Tabla 41.

<b>Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) promedio 24 horas</b>		
<b>Intervalo del INCA</b>	<b>Intervalo de concentraciones (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Ecuación</b>
0 – 50	0 – 10	$I_{(SO_2)} = [SO_2] \times 100/20$
51 – 100	11 – 20	
101 – 625	21 – 500	
>625	>500	

**Tabla 41** Cálculo del INCA para el SO<sub>2</sub>  
Fuente: Resolución Ministerial N°181-2016 del MINAM.

Para establecer el INCA del NO<sub>2</sub> se tomará en cuenta su concentración promedio en 24 horas, cuyos valores se multiplicarán por el factor mostrado en la Tabla 42.

<b>Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>) promedio 1 hora</b>		
<b>Intervalo del INCA</b>	<b>Intervalo de concentraciones (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Ecuación</b>
0 – 50	0 – 110	$I_{(NO_2)} = [NO_2] \times 100/200$
51 – 100	101 – 200	
101 – 150	201 – 300	
>150	>300	

**Tabla 42** Cálculo del INCA para el NO<sub>2</sub>  
Fuente: Resolución Ministerial N°181-2016 del MINAM.

Para establecer el INCA del CO se tomará en cuenta su concentración promedio en 1 hora, cuyo valor se multiplicará por el factor mostrado en la Tabla 43. Cabe indicar que en la Resolución Ministerial N°181-2016 del Ministerio del Ambiente, se indica el INCA para la concentración promedio en 8 horas de CO; sin embargo, para el presente trabajo se realizará una adaptación para el promedio de 1 hora, ya que en los Instrumentos de Gestión Ambiental (IGA) se muestra generalmente este valor. La adaptación se realiza reemplazando en la fórmula del INCA el valor del ECA promedio de 8 horas por el de 1 hora para las concentraciones de CO.

<b>Monóxido de Carbono (CO) promedio 1 hora</b>		
<b>Intervalo del INCA</b>	<b>Intervalo de concentraciones (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Ecuación</b>
0 – 50	0 – 15000	$I_{(NO_2)} = [CO] \times 100/30000$
51 – 100	15000 – 30000	
101 – 150	30000 – 45000	
>150	>45000	

**Tabla 43** Cálculo del INCA para el CO.  
Fuente: Resolución Ministerial N°181-2016 del MINAM.

Una vez establecidos los valores del INCA para los diferentes contaminantes, se elaborarán los siguientes cuadros y gráficos:

- Índice de Calidad del Aire de las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$ .
- Índice de Calidad del Aire de las concentraciones de  $\text{SO}_2$ .
- Índice de Calidad del Aire de las concentraciones de  $\text{NO}_2$ .
- Índice de Calidad del Aire de las concentraciones de CO.

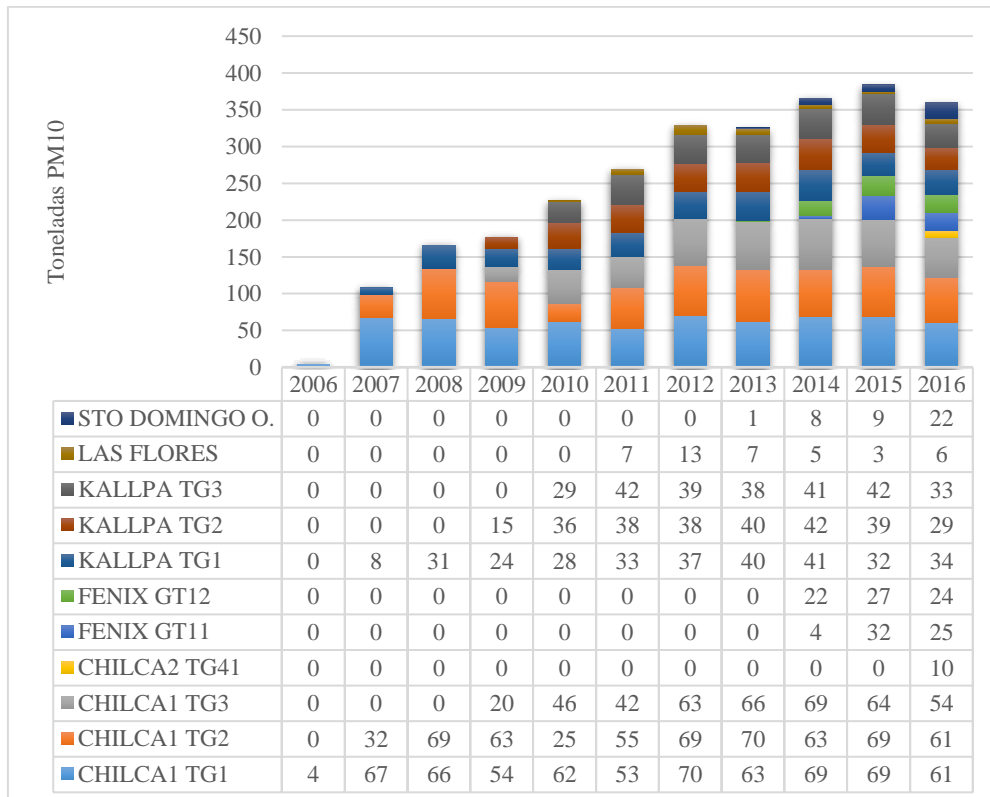
## CAPÍTULO III

### RESULTADOS

#### 3.1 Emisiones atmosféricas ocasionadas por el desarrollo de las centrales termoeléctricas del PEC.

A continuación se presenta el inventario de emisiones de material particulado y gases de las centrales del PEC desde el año 2006 (cuando empezó a operar la C.T. Chilca Uno) hasta el año 2016, el mismo que se obtuvo multiplicando las horas de operación anual de las turbinas a gas de las centrales pertenecientes al PEC (ver Tabla 29) por sus respectivos ratios de emisión detallados en los Estudios de Impacto Ambiental (ver Tabla 6).

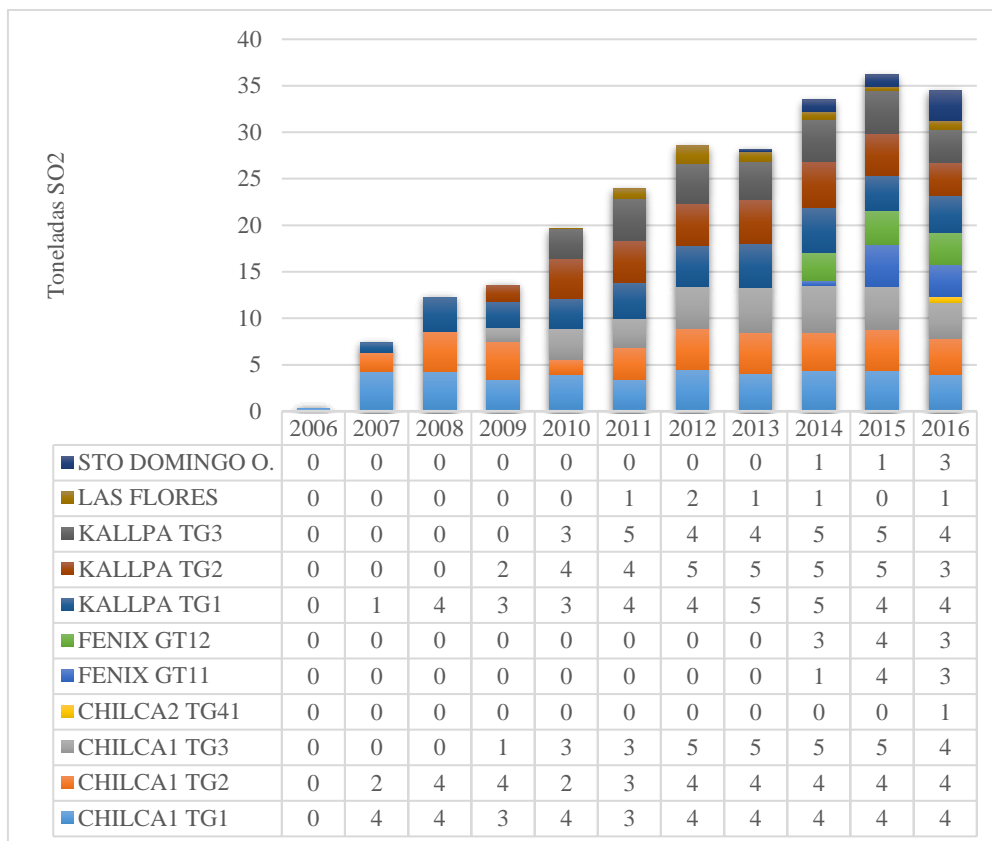
En la Figura 22 se presentan las emisiones anuales de PM<sub>10</sub> generadas por las centrales del PEC para el periodo 2006-2016.



**Figura 22** Emisiones de PM<sub>10</sub> de las centrales del PEC.  
Fuente: Elaboración propia en base a los EIA y estadísticas del COES.

En la Figura 22 se observa que las mayores emisiones de PM<sub>10</sub> provienen de las turbinas de la C.T. Chilca Uno, por otro lado la central que menos material particulado ha generado es la C.T. Santo Domingo de los Olleros.

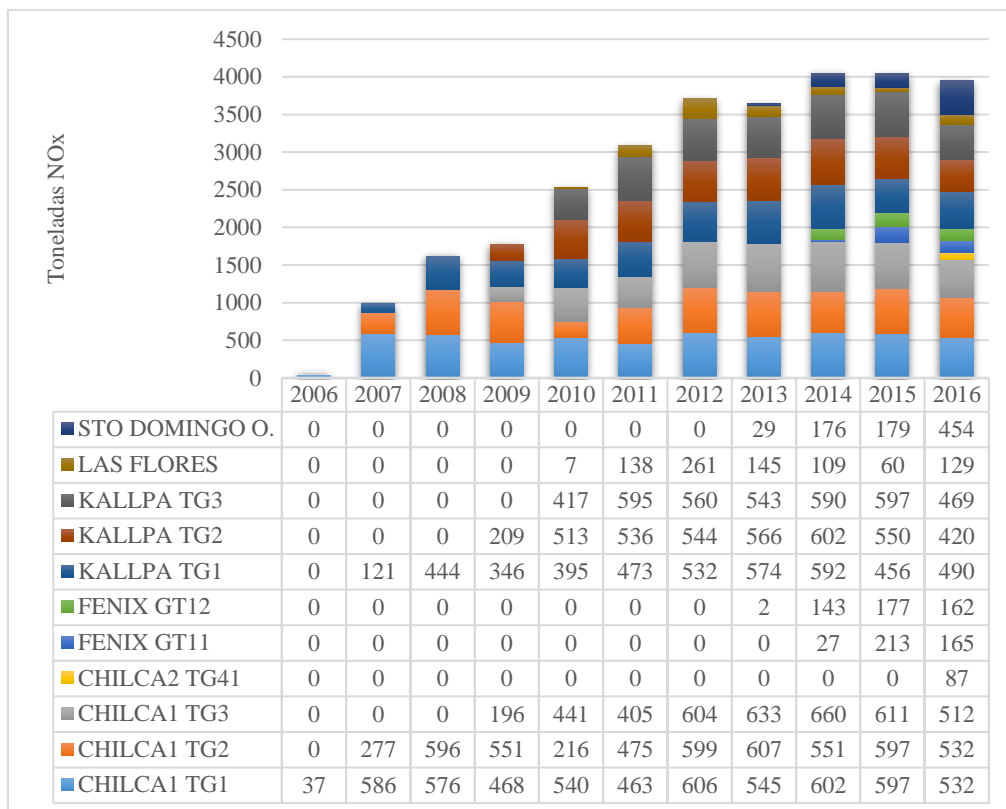
En la Figura 23 se presentan las emisiones anuales de SO<sub>2</sub> generadas por las centrales del PEC para el periodo 2006-2016.



**Figura 23** Emisiones de SO<sub>2</sub> de las centrales del PEC.  
Fuente: Elaboración propia en base a los EIA y estadísticas del COES.

Las emisiones de SO<sub>2</sub> son las menores con respecto a los otros contaminantes atmosféricos considerados en el presente estudio, esto debido a que su ratio de emisión es el menor de todos (ver Tabla 6). Todo el azufre contenido en el gas natural se transforma de dióxido de azufre durante la combustión, por lo que las emisiones de este contaminante dependen directamente de la cantidad de gas natural que se consume.

Por otro lado, en la Figura 24, se presentan las emisiones anuales de NO<sub>x</sub> generadas por las centrales del PEC para el periodo 2006-2016.

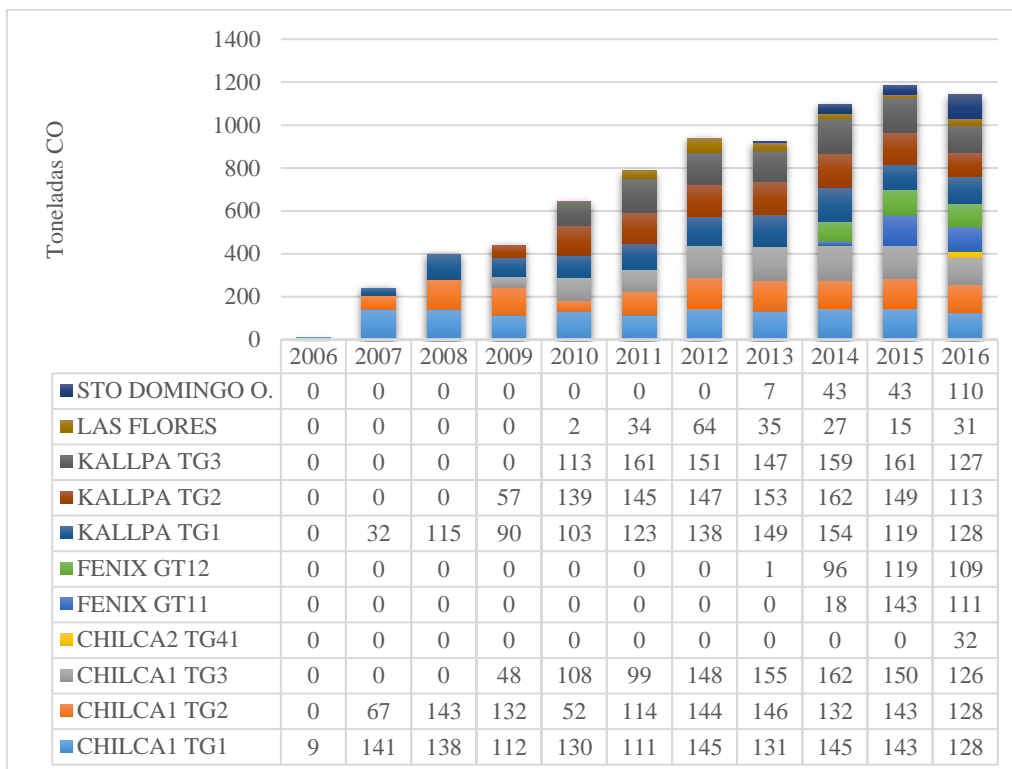


**Figura 24** Emisiones de NO<sub>x</sub> de las centrales del PEC.

Fuente: Elaboración propia en base a los EIA y estadísticas del COES.

Las emisiones de NO<sub>x</sub> son las mayores frente a los contaminantes atmosféricos considerados en el presente estudio, esto debido a que su factor de emisión es el mayor de todos. En los EIA, las empresas declaran sus emisiones de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), lo cual incluye al monóxido de nitrógeno (NO) y al dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>); sin embargo, para los fines del monitoreo de la calidad del aire, sólo se declaran las concentraciones de NO<sub>2</sub>.

En cuanto al CO, en la Figura 25 se presentan las emisiones anuales generadas por las centrales del PEC para el periodo 2006-2016.

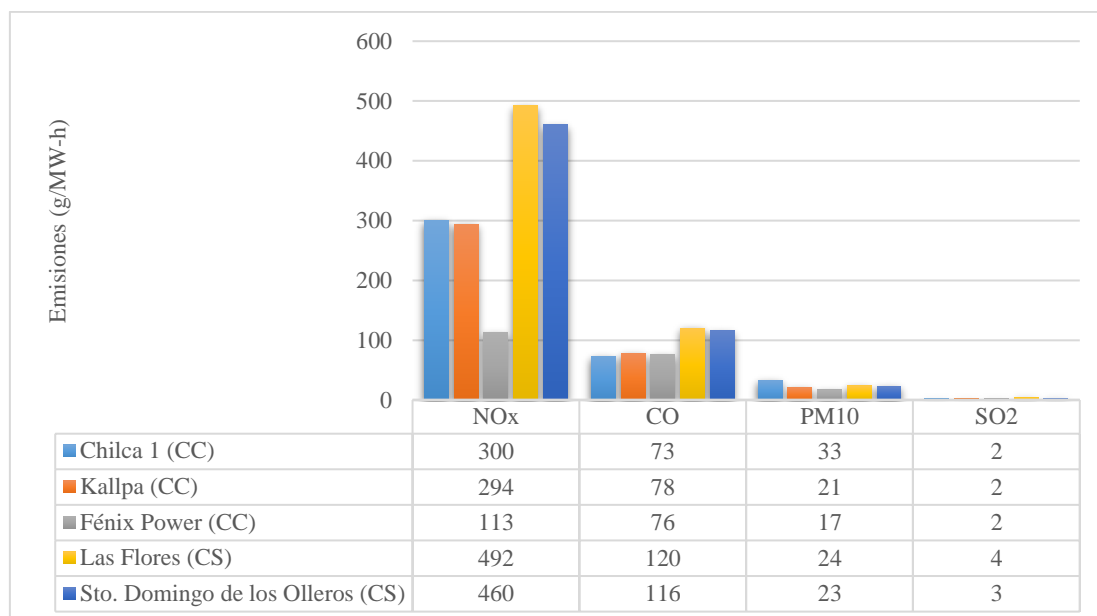


**Figura 25** Emisiones de CO de las centrales del PEC.

Fuente: Elaboración propia en base a los EIA y estadísticas del COES.

Las mayores emisiones de CO provienen de las centrales Chilca Uno y Kallpa, debido a que son también las centrales que presentan las mayores horas de operación anual.

Una vez realizado el inventario anual de emisiones de las centrales del PEC, se obtuvieron los factores de emisión para cada central por unidad de energía, dividiendo la cantidad de emisiones anuales entre la energía eléctrica producida al año, con lo cual se obtiene un factor de emisión en gramos por megavatio-hora. Esto nos permite comparar las emisiones de las distintas tecnologías de generación termoeléctrica presentes en el PEC. Los resultados se muestran en la Figura 26.



**Figura 26** Factores de emisión de las C.T. del PEC por energía producida (g/MW-h).

Fuente: Elaboración propia en base a los EIA y estadísticas del COES.

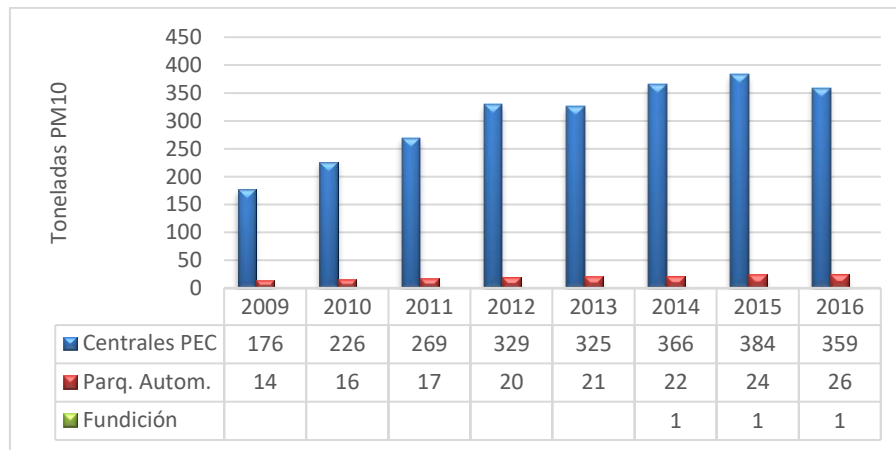
La Figura 26 nos muestra que las centrales a ciclo combinado como Chilca Uno, Kallpa y Fénix, son las que presentan una mayor eficiencia ambiental que las centrales a ciclo simple como Las Flores y Santo Domingo de los Olleros, ya que emiten menos cantidad de contaminantes por unidad de energía producida. Los contaminantes que tienen mayor vinculación a la generación termoeléctrica a gas natural son los NO<sub>x</sub>. Por otro lado, el contaminante que es emitido en menor cantidad es el SO<sub>2</sub>.

### 3.2 Emisiones de otros tipos de fuentes presentes en la zona.

Además de las centrales térmicas, en Chilca existen otras fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos como lo son: el parque automotor de la carretera Panamericana desde el kilómetro 56 hasta el kilómetro 68 y la Fundación Chilca. El inventario de emisiones se realizó de manera anual para todo el periodo de estudio (2006-2016). Por otro lado, las emisiones del parque automotor se contabilizaron para el flujo de vehículos que pasan por el Peaje de Chilca para el periodo 2009-2016 (Ver Tabla 33). La estimación de emisiones para el parque automotor se realiza desde el año 2009. Por otro lado, las emisiones de la fundición se estimaron desde el año 2014 (año del inicio de sus operaciones) considerando el máximo consumo anual de gas natural detallado en su respectivo EIA.



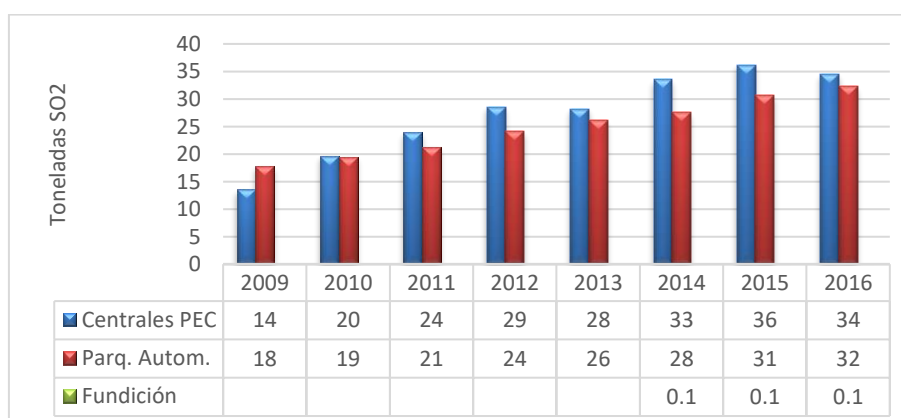
En la siguiente figura se presenta el inventario de emisiones de PM<sub>10</sub> de las principales fuentes fijas y móviles del distrito de Chilca realizado para el periodo 2009-2016.



**Figura 27** Emisiones de PM<sub>10</sub> de fuentes fijas y móviles en Chilca.  
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a las estimaciones realizadas, el PM<sub>10</sub> producto de la combustión, proviene en mayor medida de las centrales del PEC, en rangos entre 93 y 94%, le sigue el parque automotor con una contribución de entre 6 y 7%, mientras que la contribución de la fundición es ínfima, tal como se aprecia en la Figura 27.

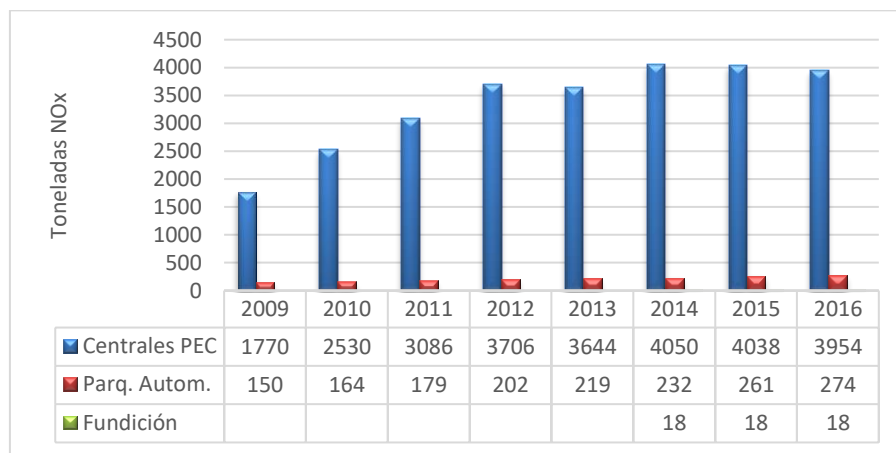
En cuanto al SO<sub>2</sub>, en la siguiente figura se presenta el inventario de emisiones de las principales fuentes fijas y móviles del distrito de Chilca realizado para el periodo 2009-2016.



**Figura 28** Emisiones de SO<sub>2</sub> de fuentes fijas y móviles en Chilca.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 28, se observa que hasta el 2009 el parque automotor era la principal fuente de SO<sub>2</sub>; sin embargo, a partir del año 2010 esta contribución fue igualada y superada por las centrales del PEC, debido al mayor consumo de gas natural en los últimos años. La contribución de la fundición es despreciable.

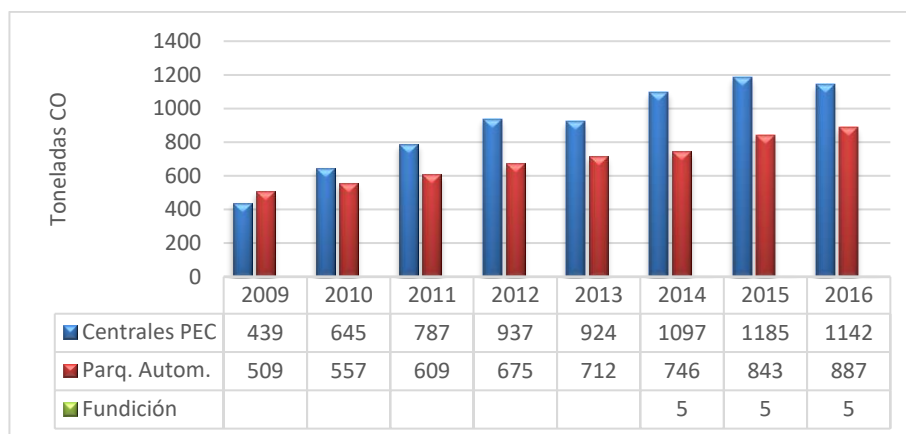
De otro lado, en la siguiente figura se presenta el inventario de emisiones de NO<sub>x</sub> de las principales fuentes fijas y móviles del distrito de Chilca realizado para el periodo 2009-2016.



**Figura 29** Emisiones de NO<sub>2</sub> de fuentes fijas y móviles en Chilca.  
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Figura 29, las emisiones de NO<sub>x</sub> provenientes de las centrales termoeléctricas del PEC son sustancialmente mayores con respecto a las otras fuentes de emisión.

Por último, en la Figura 30 se presenta el inventario de emisiones de CO de las principales fuentes fijas y móviles del distrito de Chilca realizado para el periodo 2009-2016.



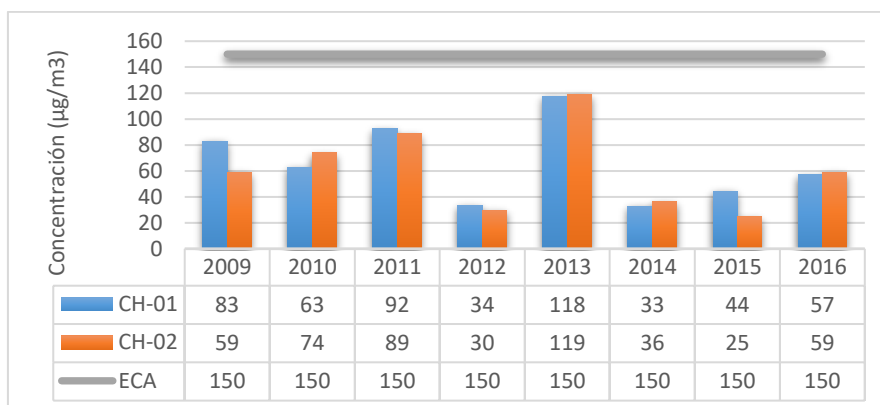
**Figura 30** Emisiones de CO de fuentes fijas y móviles en Chilca.  
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 30 muestra que hasta el año 2009 el <sup>parque</sup> automotor era el principal emisor de CO y a partir del año 2010 las centrales del PEC contribuyen con mayor porcentaje. Las emisiones de la fundición son ínfimas.

### **3.3 Evolución de la calidad del aire en receptores sensibles aledaños al PEC.**

Para el presente trabajo se recopilieron los datos de medición de las concentraciones de contaminantes atmosféricos que realizan las empresas termoeléctricas, para el periodo 2009-2016, a fin de monitorear la calidad del aire en los receptores sensibles, es decir, los habitantes del distrito de Chilca. Las figuras que se presentan a continuación muestran el valor de la mediana de todas las concentraciones medidas en el año en los respectivos puntos de monitoreo y están agrupadas de acuerdo a la central a la que están asociadas. El periodo de estudio mostrado en cada figura depende de los años con los que se cuenta data reportada por las respectivas empresas. En las figuras se muestra el ECA correspondiente para cada tipo de contaminante, representado como una línea en la parte superior.

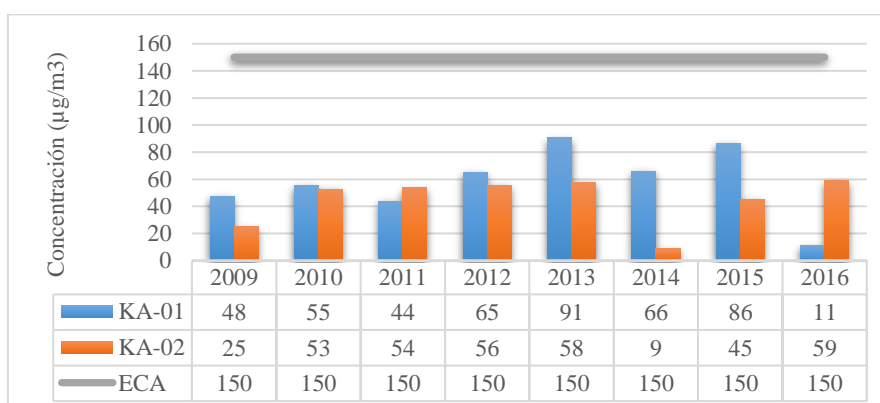
En la siguiente figura se muestra las mediciones de concentración de PM<sub>10</sub> en los puntos de monitoreo contemplados en los instrumentos de gestión ambiental de la C. T. Chilca Uno.



**Figura 31.** Concentración de PM<sub>10</sub> en lo punto de monitoreo de la C. T. Chilca Uno.  
Fuente: Elaboración propia en base a los IGA de la C. T. Chilca Uno.

Las concentraciones de PM<sub>10</sub> en los puntos de monitoreo de Chilca Uno, muestran un incremento desde el 2009 hasta el 2011, lo cual se puede explicar porque en esos años la central estaba en proceso de ampliación y las obras civiles, como el movimiento de tierra y el uso maquinaria pesada, contribuían al levantamiento de polvo. El pico del año 2013 se puede asociar a que ese año estaba en construcción la fundición de Chilca y además se terminó de construcción de la central Santo Domingo de los Olleros. El incremento al año 2016 se explica por los trabajos de construcción de la C. T. Chilca Dos y la ampliación de la C. T. Santo Domingo de los Olleros.

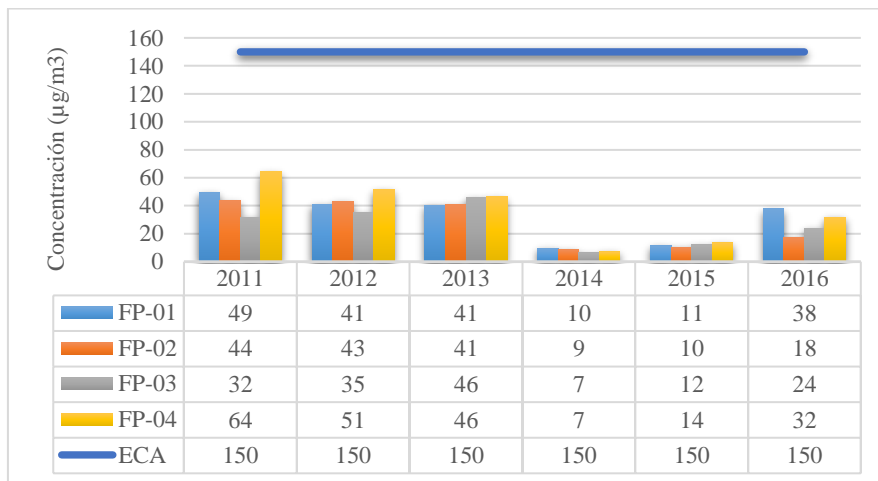
En la siguiente figura se muestra las mediciones de concentración de PM<sub>10</sub> en los puntos de monitoreo contemplados en los instrumentos de gestión ambiental de la C. T. Kallpa.



**Figura 32** Concentración de PM<sub>10</sub> en lo punto de monitoreo de la C. T. Kallpa.  
Fuente: Elaboración propia en base a los IGA de la C. T. Kallpa.

Las mediciones de PM<sub>10</sub> en los puntos de monitoreo Kallpa muestran un comportamiento similar al de Chilca Uno, tendencia creciente hasta el 2013, lo cual se puede explicar por las mismas causas ya mencionadas, es decir, la construcción de las centrales y la fundición. El año 2016 también se tuvo la construcción de Chilca Dos y la ampliación de Sto. Dgo. De Olleros.

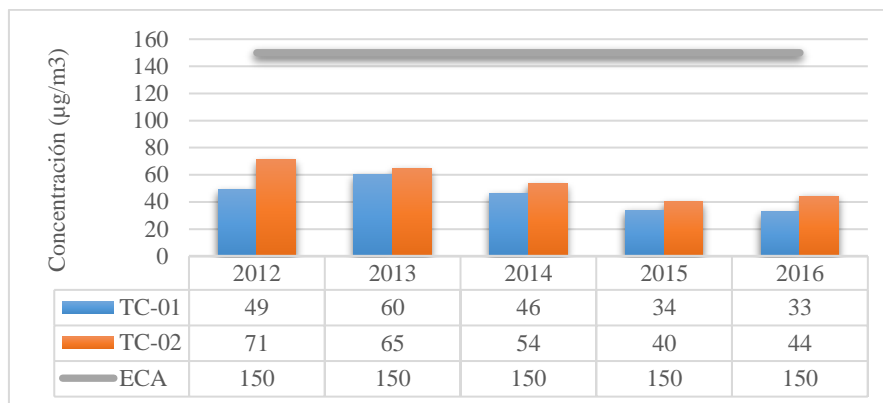
En la siguiente figura se muestra las mediciones de concentración de PM<sub>10</sub> en los puntos de monitoreo contemplados en los instrumentos de gestión ambiental de la C. T. Fénix.



**Figura 33** Concentración de PM<sub>10</sub> en lo punto de monitoreo de la C.T. Fénix.  
Fuente: Elaboración propia en base a los IGA de la C. T. Fénix.

Las mediciones de concentración de PM<sub>10</sub> en los puntos de monitoreo de Fénix Power muestran niveles altos hasta el 2013, año en el que se termina de construir dicha central. El año 2016 también se tuvo la construcción de Chilca Dos y la ampliación de Sto. Dgo. De Olleros.

En la siguiente figura se muestra las mediciones de concentración de PM<sub>10</sub> en los puntos de monitoreo contemplados en los instrumentos de gestión ambiental de la C. T. Santo Domingo de los Olleros.



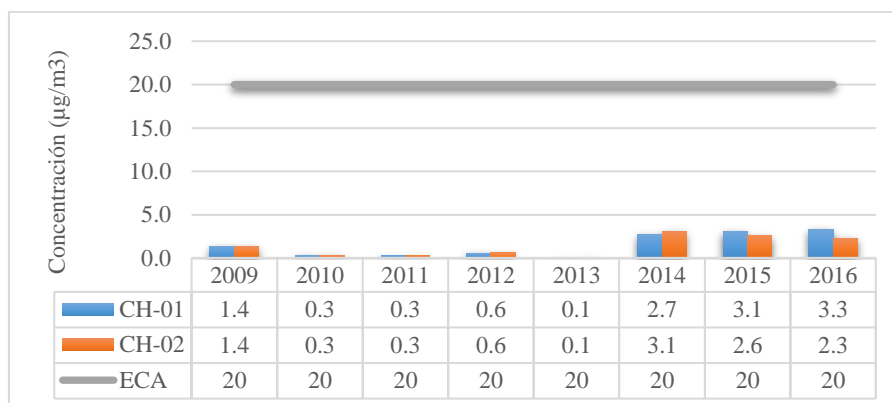
**Figura 34** Concentración de PM<sub>10</sub> en lo punto de monitoreo de la C.T. Sto Dgo de los Olleros.  
Fuente: Elaboración propia en base a los IGA de la C. T. Sto Dgo de los Olleros.

El monitoreo de los puntos asociados a la central Santo Domingo de los Olleros muestra altos valores hasta el año 2013, año en el que se termina de construir la central, para luego ir disminuyendo.

Por último, es importante mencionar que la construcción de las centrales no ha sido la única fuente de generación de material particulado, sino que este es generado en gran medida por acción del viento debido a que Chilca se encuentra en una zona desértica, en la que el viento genera un fuerte levantamiento de polvo y por ende de material particulado

En cuanto al SO<sub>2</sub>, como se observó en las gráficas de estimación de emisiones, el SO<sub>2</sub> proviene casi igualmente del parque automotor como de las centrales del PEC; sin embargo, los automóviles emiten los contaminantes atmosféricos a bajas alturas (tubo de escape de los autos) por lo que dichas emisiones tienen mayor impacto a sobre los puntos de monitoreo.

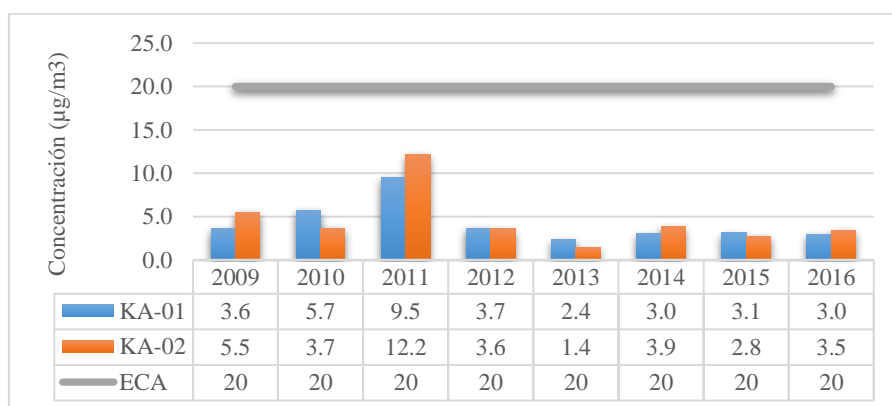
En la siguiente figura se muestra las mediciones de concentración de SO<sub>2</sub> en los puntos de monitoreo contemplados en los instrumentos de gestión ambiental de la C. T. Chilca Uno.



**Figura 35** Concentración de SO<sub>2</sub> en lo punto de monitoreo de la C.T. Chilca Uno.  
Fuente: Elaboración propia en base a los IGA de la C. T. Chilca Uno.

Las mediciones de SO<sub>2</sub> en los puntos de monitoreo de Chilca Uno han venido aumentando con el paso de los años. Sin embargo, aún se está muy por debajo del ECA.

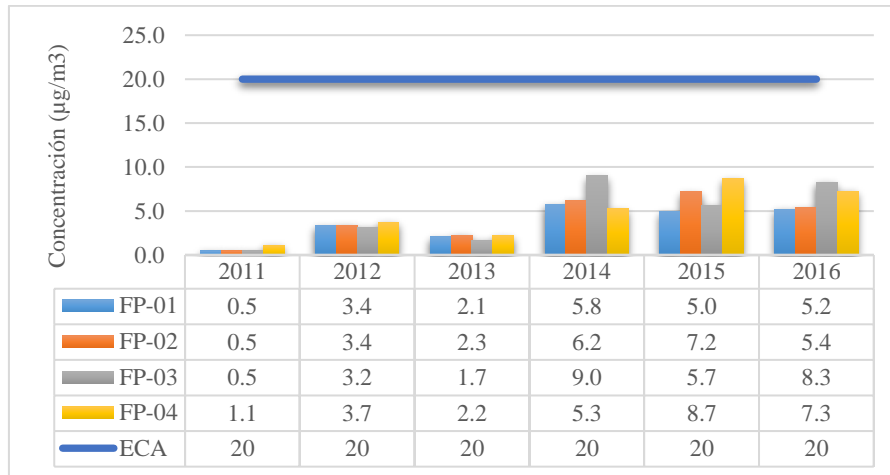
En la siguiente figura se muestra las mediciones de concentración de SO<sub>2</sub> en los puntos de monitoreo contemplados en los instrumentos de gestión ambiental de la C. T. Kallpa.



**Figura 36** Concentración de SO<sub>2</sub> en lo punto de monitoreo de la C.T. Kallpa.  
Fuente: Elaboración propia en base a los IGA de la C. T. Kallpa.

Las mediciones de SO<sub>2</sub> en los puntos de monitoreo de Kallpa se han mantenido bajas en los últimos años y están muy por debajo del ECA.

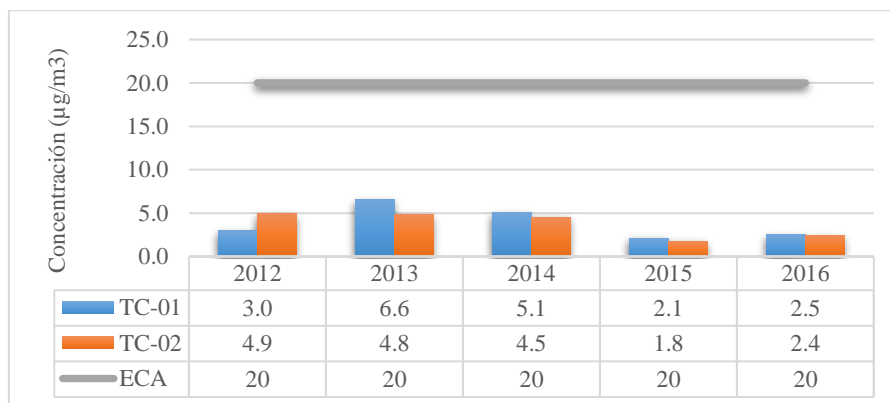
En la siguiente figura se muestra las mediciones de concentración de SO<sub>2</sub> en los puntos de monitoreo contemplados en los instrumentos de gestión ambiental de la C. T. Fénix.



**Figura 37** Concentración de SO<sub>2</sub> en lo punto de monitoreo de la C. T. Fénix.  
Fuente: Elaboración propia en base a los IGA de la C. T. Fénix.

La medición del SO<sub>2</sub> en los puntos de monitoreo de la C.T. Fénix está mostrando un aumento de las concentraciones desde el 2014 cuando la central comenzó a entrar a operación comercial.

En la siguiente figura se muestra las mediciones de concentración de SO<sub>2</sub> en los puntos de monitoreo contemplados en los instrumentos de gestión ambiental de la C. T. Santo Domingo de los Olleros.

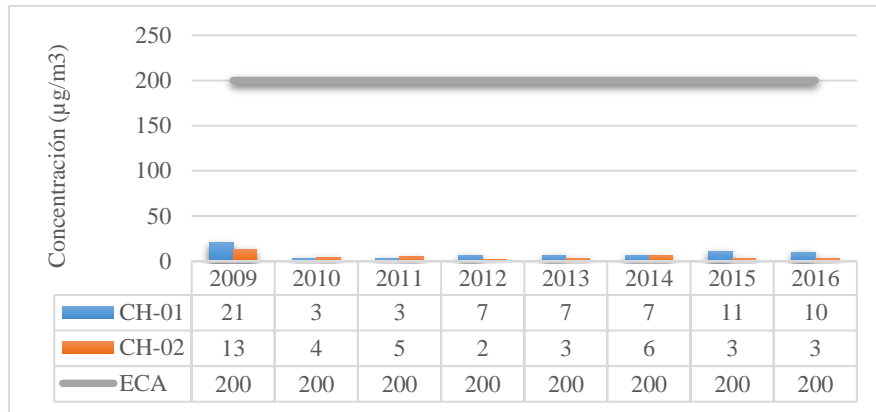


**Figura 38** Concentración de SO<sub>2</sub> en lo punto de monitoreo de la C.T. Sto Dgo de los Olleros.  
Fuente: Elaboración propia en base a los IGA de la C. T. Sto Dgo de los Olleros.

Las mediciones de SO<sub>2</sub> en los puntos de monitoreo de la C.T. Santo Domingo de los Olleros se mantienen por niveles aún muy por debajo del ECA.



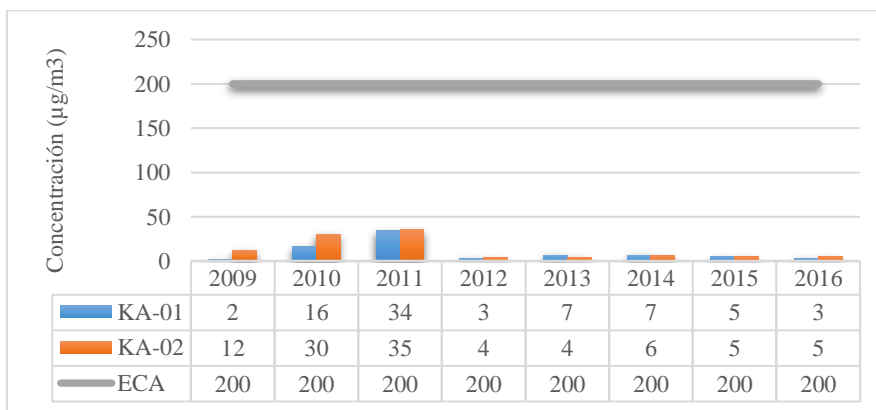
En la siguiente figura se muestra las mediciones de concentración de NO<sub>2</sub> en los puntos de monitoreo contemplados en los instrumentos de gestión ambiental de la C. T. Chilca Uno.



**Figura 39** Concentración de NO<sub>2</sub> en los puntos de monitoreo de la C.T. Chilca Uno.  
Fuente: Elaboración propia en base a los IGA de la C. T. Chilca Uno.

Las mediciones de NO<sub>2</sub> en los puntos de monitoreo de la C.T. Chilca Uno se han mantenido bajas en los últimos años, es decir, el incremento de las emisiones no se ve reflejada en un incremento en las concentraciones del contaminante.

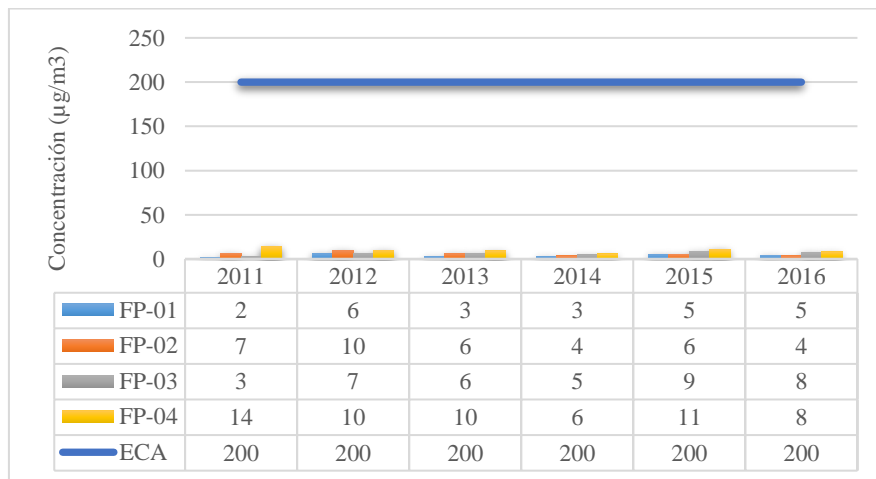
En la siguiente figura se muestra las mediciones de concentración de NO<sub>2</sub> en los puntos de monitoreo contemplados en los instrumentos de gestión ambiental de la C. T. Kallpa.



**Figura 40** Concentración de NO<sub>2</sub> en lo punto de monitoreo de la C.T. Kallpa.  
Fuente: Elaboración propia en base a los IGA de la C. T. Kallpa.

Las mediciones de NO<sub>2</sub> en los puntos de monitoreo de la C.T. Kallpa se han mantenido bajas en los últimos años, los picos anteriores se pueden deber a otros factores como los trabajos en las obras civiles de construcción de las centrales, ya que, a pesar del incremento de las emisiones de la central, las concentraciones no aumentan en los puntos de monitoreo.

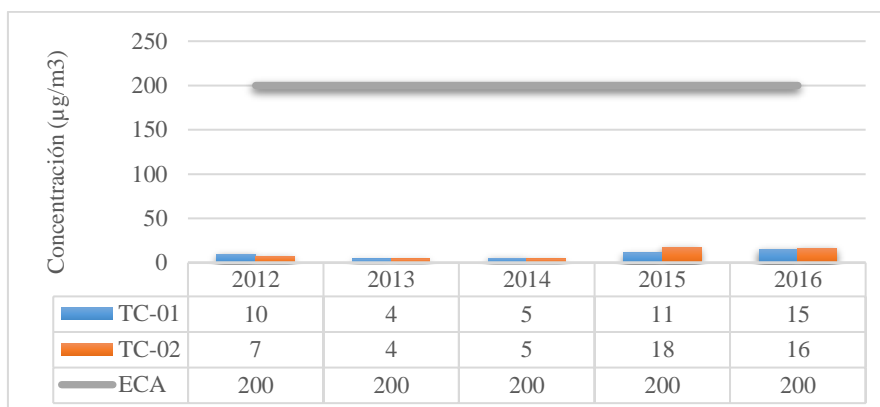
En la siguiente figura se muestra las mediciones de concentración de NO<sub>2</sub> en los puntos de monitoreo contemplados en los instrumentos de gestión ambiental de la C. T. Fénix.



**Figura 41** Concentración de NO<sub>2</sub> en lo punto de monitoreo de la C.T. Fénix.  
Fuente: Elaboración propia en base a los IGA de la C. T. Fénix.

Las mediciones de NO<sub>2</sub> en los puntos de monitoreo de la C.T. Fénix se han mantenido bajas en los últimos años, es decir, el incremento de las emisiones no se ve reflejada en un incremento en las concentraciones del contaminante.

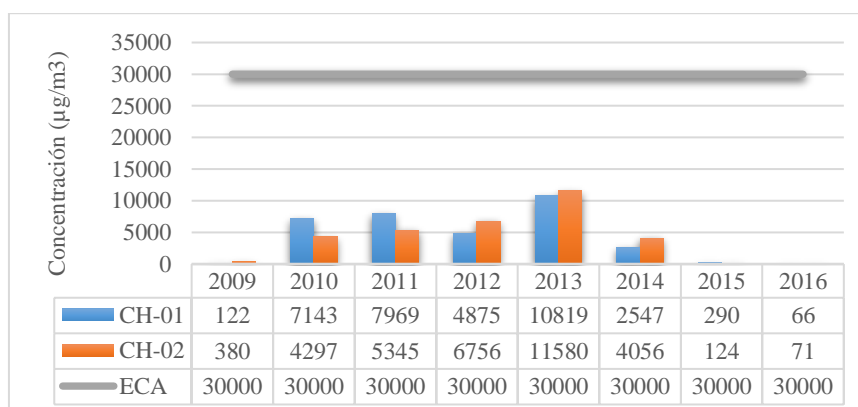
En la siguiente figura se muestra las mediciones de concentración de NO<sub>2</sub> en los puntos de monitoreo contemplados en los instrumentos de gestión ambiental de la C. T. Santo Domingo de los Olleros.



**Figura 42** Concentración de NO<sub>2</sub> en el punto de monitoreo de la C. T. Sto Dgo de los Olleros.  
Fuente: Elaboración propia en base a los IGA de la C. T. Sto Dgo de los Olleros.

Las mediciones de NO<sub>2</sub> en los puntos de monitoreo de la C.T. Santo Domingo de los Olleros han subido ligeramente desde el año 2015 pero continúan muy por debajo del ECA. Las últimas alzas de las concentraciones pueden deberse a fuentes móviles cercanas a los puntos de monitoreo, como los automóviles que circulan por el distrito.

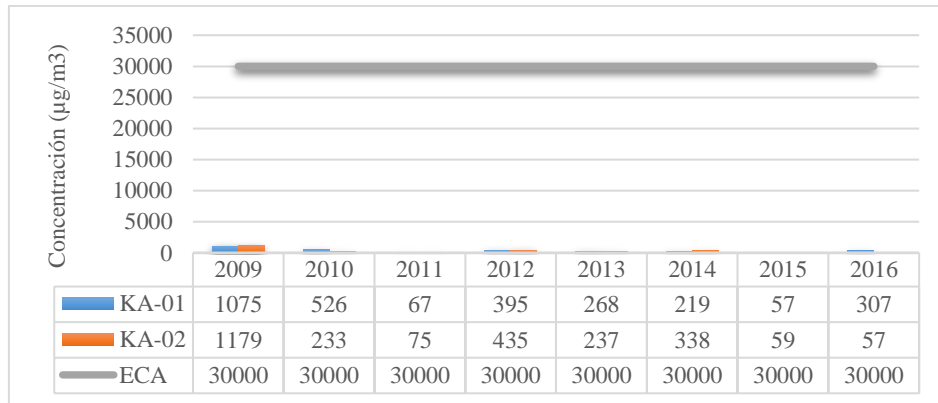
En la siguiente figura se muestra las mediciones de concentración de CO en los puntos de monitoreo contemplados en los instrumentos de gestión ambiental de la C. T. Chilca Uno.



**Figura 43** Concentración de CO en lo punto de monitoreo de la C. T. Chilca Uno.  
Fuente: Elaboración propia en base a los IGA de la C. T. Chilca Uno.

Las mediciones de CO en los puntos de monitoreo de la C.T. Chilca Uno se mantuvieron elevadas hasta el 2013, pero a partir de allí mostraron una disminución progresiva. Esto se puede deber a que las concentraciones de CO pueden estar relacionadas al uso de maquinarias pesadas durante la etapa de construcción de las centrales.

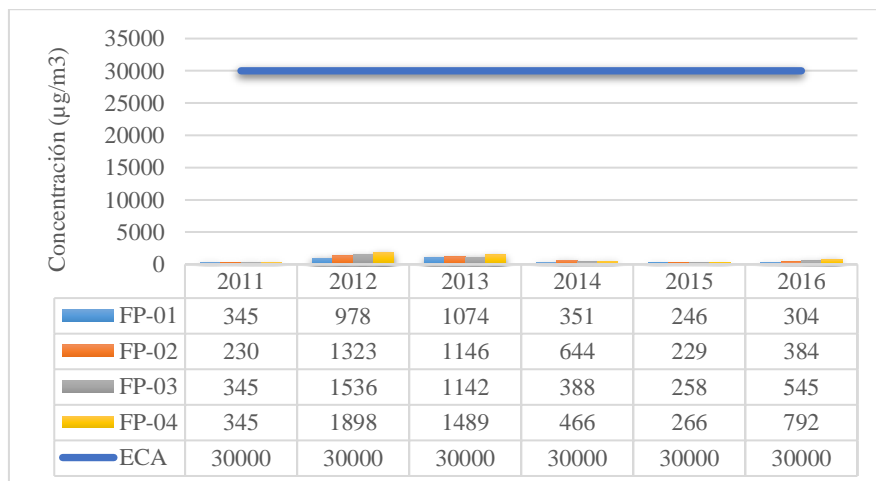
En la siguiente figura se muestra las mediciones de concentración de CO en los puntos de monitoreo contemplados en los instrumentos de gestión ambiental de la C. T. Kallpa.



**Figura 44** Concentración de CO en lo punto de monitoreo de la C.T. Kallpa.  
Fuente: Elaboración propia en base a los IGA de la C. T. Kallpa.

Las mediciones de CO en los puntos de monitoreo de la C.T. Kallpa durante todo el periodo de estudio permanecieron muy por debajo del ECA.

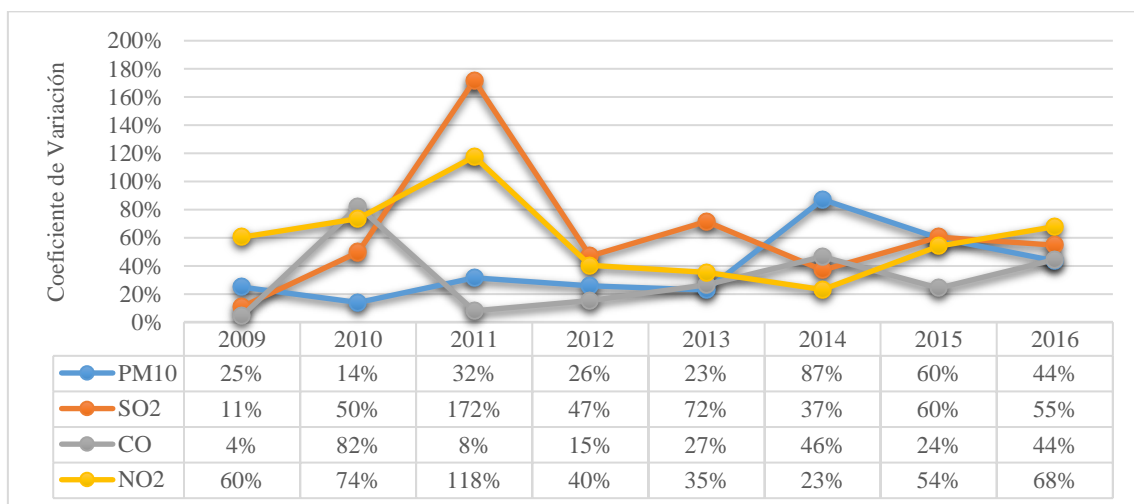
En la siguiente figura se muestra las mediciones de concentración de CO en los puntos de monitoreo contemplados en los instrumentos de gestión ambiental de la C. T. Fénix.



**Figura 45** Concentración de CO en lo punto de monitoreo de la C. T. Fénix.  
Fuente: Elaboración propia en base a los IGA de la C. T. Fénix.

Las mediciones de CO en los puntos de monitoreo de la C.T. Fénix se mantuvieron representativas hasta el 2013 y desde ese año permanecieron muy bajas con respecto al ECA, esto se puede deber a que las concentraciones de CO pueden estar relacionadas al uso de maquinarias pesadas durante la etapa de construcción de la central de Fénix Power, que culminó el año 2014.

Analizando los niveles de concentración de contaminantes medidos en los puntos de monitoreo se halla el coeficiente de variación para todas las mediciones obtenidas. Este análisis se realiza para las concentraciones obtenidas en todos los puntos de monitoreo para cada uno de los contaminantes considerados en el estudio. En la siguiente figura se muestra el coeficiente de variación de cada año para cada contaminante atmosférico.

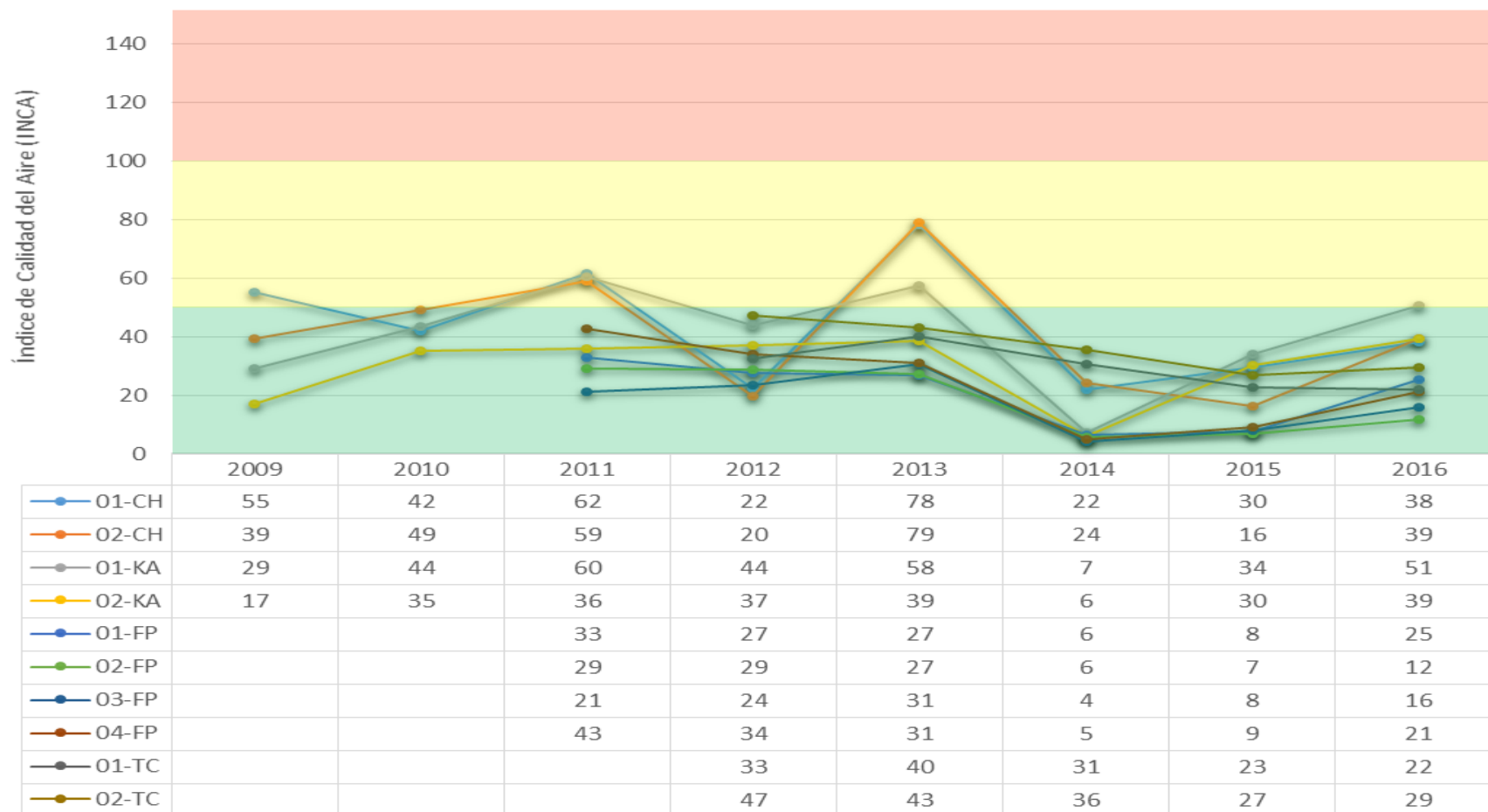


**Figura 46** Coeficiente de variación de la concentración de los contaminantes en los puntos de monitoreo.  
Fuente: Elaboración propia en base a los IGA de las CC. TT. del PEC.

La Figura 46 nos muestra que las mediciones de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> son más heterogéneas que el PM<sub>10</sub> y el CO, es decir, que las concentraciones de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> difieren más con respecto al valor promedio las mediciones de todos los puntos de monitoreo. Por su parte, las mediciones de PM<sub>10</sub> y el CO, presentan menores coeficientes de variación, lo que nos indica que sus mediciones son más cercanas al valor promedio de las mismas.

A continuación, se muestran los valores de Índice de Calidad del Aire para todas las mediciones de concentración de cada contaminante atmosférico.

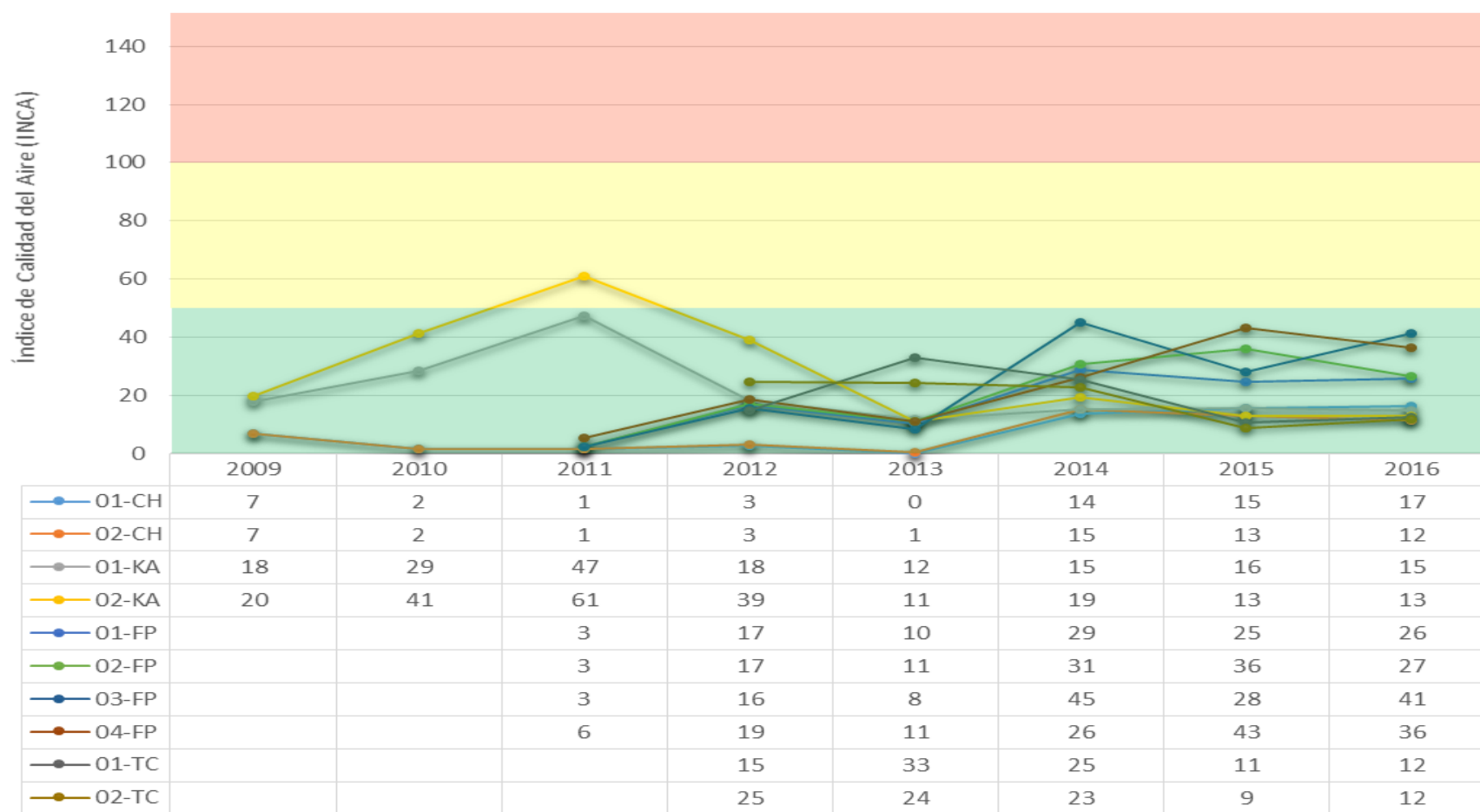
## Índice de calidad del aire de las concentraciones de PM10



**Figura 47** Índice de Calidad del Aire de acuerdo a las concentraciones de PM<sub>10</sub> medidas en los puntos de monitoreo.

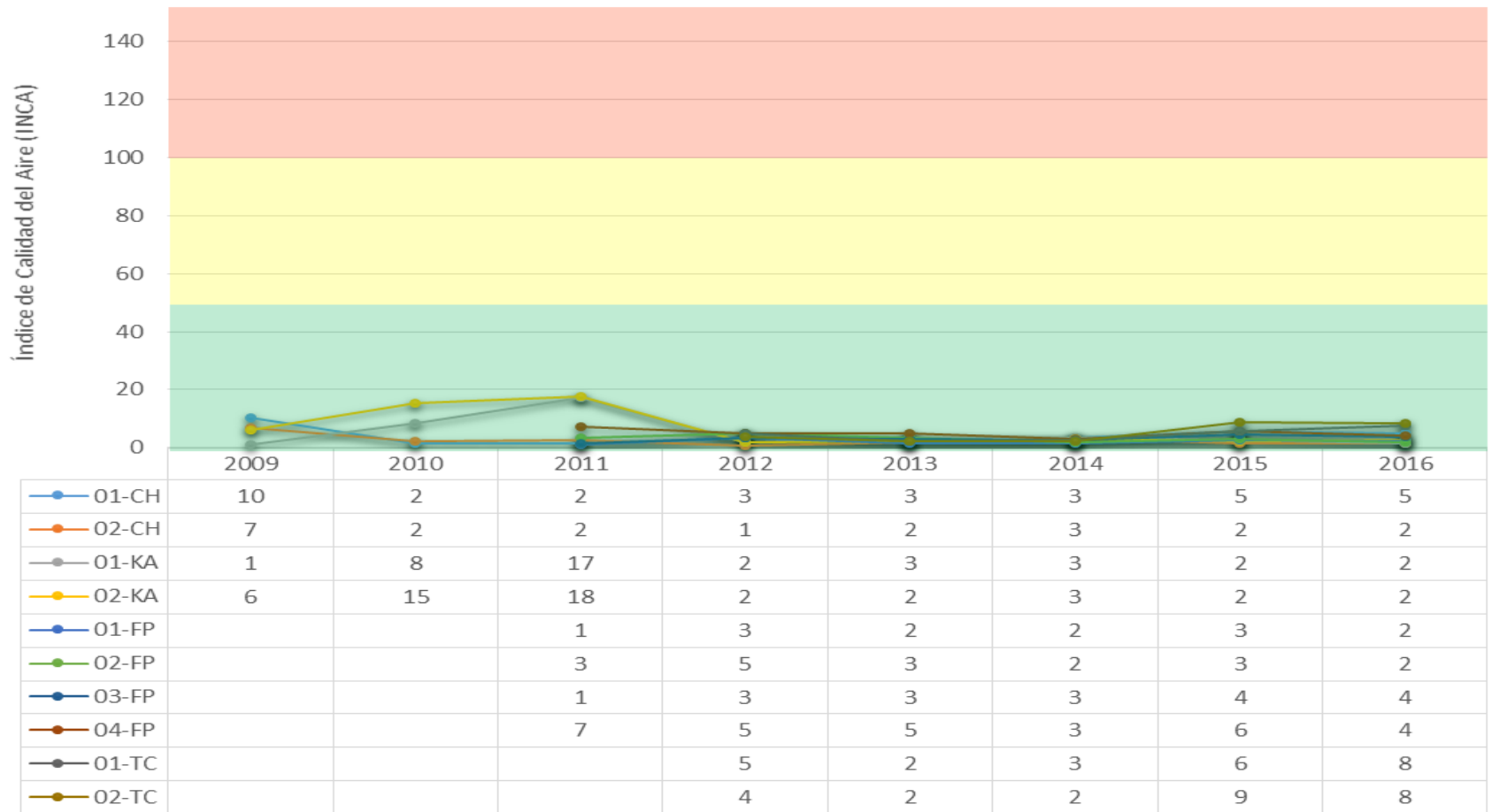
Fuente: Elaboración propia en base a los IGA de las CC. TT. del PEC.

## Índice de calidad del aire de las concentraciones de SO<sub>2</sub>



**Figura 48** Índice de Calidad del Aire de acuerdo a las concentraciones de SO<sub>2</sub> medidas en los puntos de monitoreo.  
Fuente: Elaboración propia en base a los IGA de las CC. TT. del PEC.

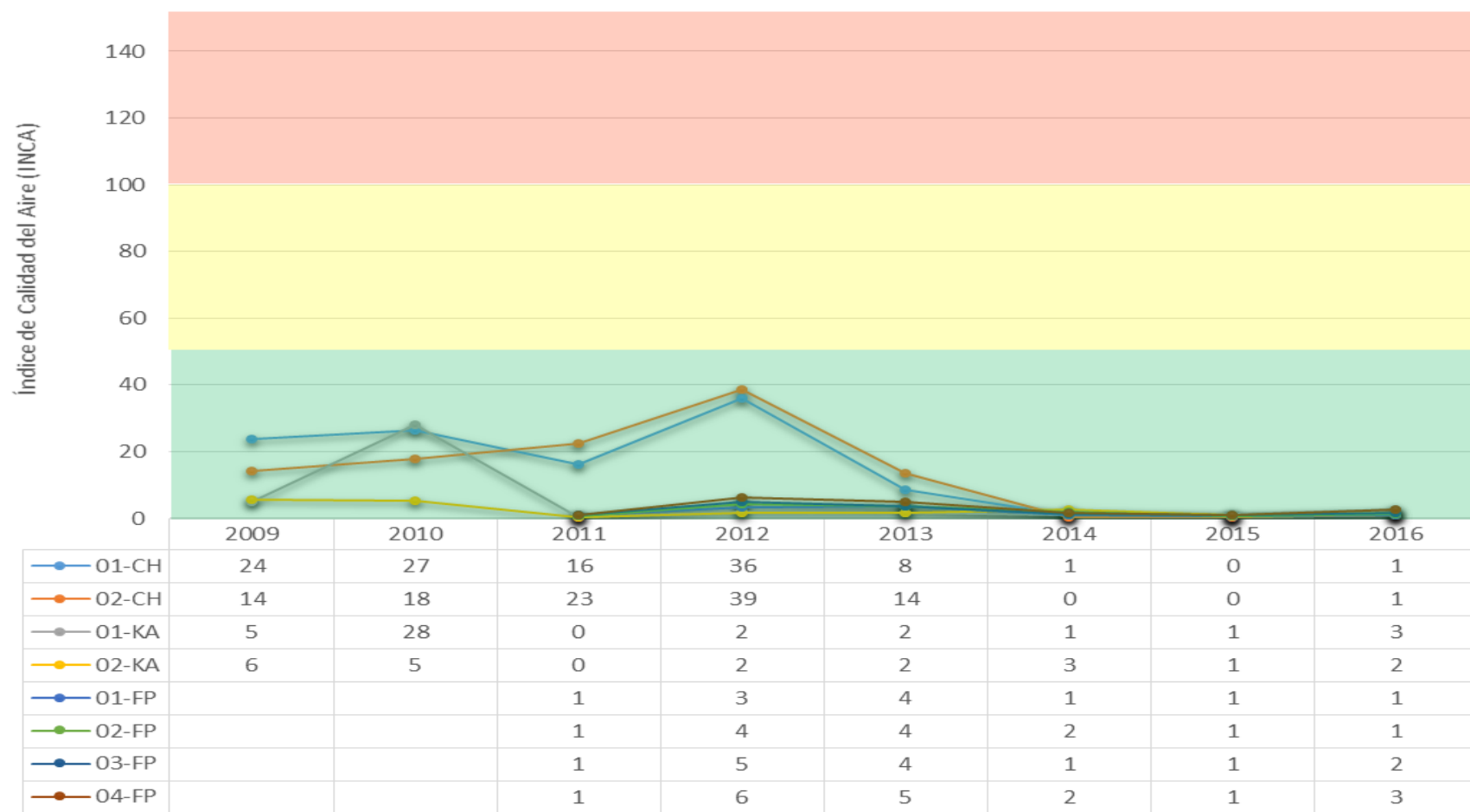
## Índice de calidad del aire de las concentraciones de NO<sub>2</sub>



**Figura 49** Índice de Calidad del Aire de acuerdo a las concentraciones de NO<sub>2</sub> medidas en los puntos de monitoreo.  
Fuente: Elaboración propia en base a los IGA de las CC. TT. del PEC.



## Índice de calidad del aire de las concentraciones de CO



**Figura 50** Índice de Calidad del Aire de acuerdo a las concentraciones de CO medidas en los puntos de monitoreo.  
Fuente: Elaboración propia en base a los IGA de las CC. TT. del PEC.

En todas las figuras anteriores (Figura 47 a Figura 50) se observa que sí el índice de calidad se ubica en la zona sombreada de verde su calificación es de “buena”, si cae en la zona sombreada de amarillo, recibe la calificación de “moderada” y si cae en la zona sombreada de anaranjado tiene la calificación de “mala”. Esta calificación es importante ya que permite a la población poder tomar las prevenciones necesarias según sea el caso de acuerdo con la Resolución Ministerial N°181-2016 del Ministerio del Ambiente, ya descrita en el capítulo de Metodología.

Con respecto a los Índices de Calidad del Aire para las concentraciones de  $PM_{10}$ , en la Figura 47 se muestra que hasta el año 2013 los valores van en aumento, haciendo que la calificación de la calidad del aire se torne “moderada” en algunos puntos, lo cual se explica porque hasta ese año se terminaron de construir las C.T. y la fundición de Chilca, luego los valores fueron bajando y continúan en la calificación de “buena”.

En cuanto a los Índices de Calidad del Aire para las concentraciones de  $SO_2$ , en la Figura 48 se muestra que los valores se mantienen en la calificación de “buena” pero con ligera tendencia a ir aumentando.

Por otro lado, los Índices de Calidad del Aire con respecto a las concentraciones de  $NO_2$  presentados en la Figura 49, muestran que los valores se continúan manteniendo en la calificación de “buena” sin ninguna tendencia clara.

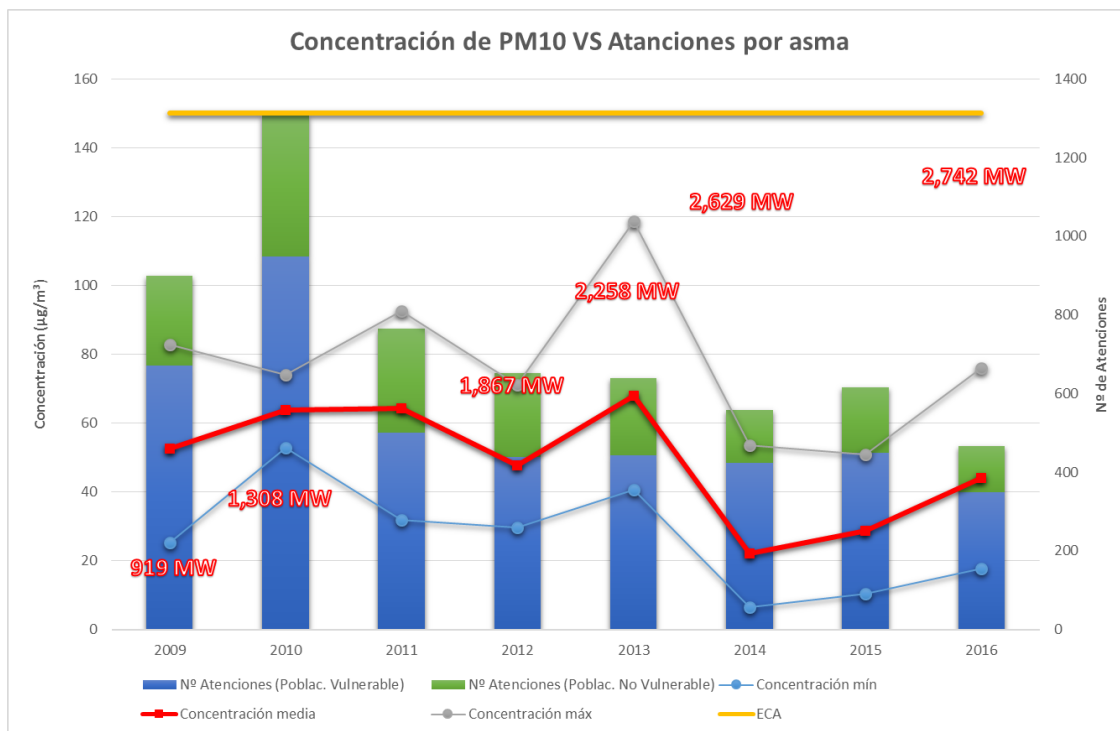
Por último, los Índices de Calidad del Aire con respecto a las concentraciones de CO que se presentan en la Figura 50, muestran que los valores se continúan manteniendo en la calificación de “buena”, con tendencia a ir disminuyendo, por lo que los valores altos de años anteriores se pueden atribuir al empleo de maquinaria pesada durante la etapa de construcción de las centrales y la fundición.

### **3.4 Evolución de los indicadores de morbilidad de la población del distrito de Chilca.**

En los siguientes gráficos se muestran las estadísticas correspondientes a atenciones por tipos de morbilidad para el periodo 2009-2016, asociadas a contaminantes atmosféricos, en los centros de salud de la microred de salud Chilca, distinguiendo las atenciones a la población vulnerable (niños y ancianos) y a la población no vulnerable. Dichas atenciones han sido comparadas con las concentraciones medianas máximas, medias y mínimas de  $PM_{10}$  reportadas en los IAGA de las centrales térmicas. Los valores de ECA para cada tipo de contaminante se representan con una línea en la parte superior.

Cabe indicar que gracias al desarrollo del PEC, las empresas termoeléctricas, como parte de su compromiso con la comunidad, vienen desarrollando proyectos de capacitación en temas productivos, para que la población tenga la oportunidad de generar mayores ingresos económicos. Además promueven el desarrollo económico local, a través de la compra de bienes y servicios a proveedores locales. Por otro lado, las empresas termoeléctricas también promueven y facilitan el acceso a los servicios de salud en alianza con el MINSA; con el desarrollo de proyectos y campañas de salud en beneficio de niños, adolescentes, madres gestantes y población en general. Todo este esfuerzo de las empresas se refleja en la mejora de las condiciones de salud de la población de Chilca.

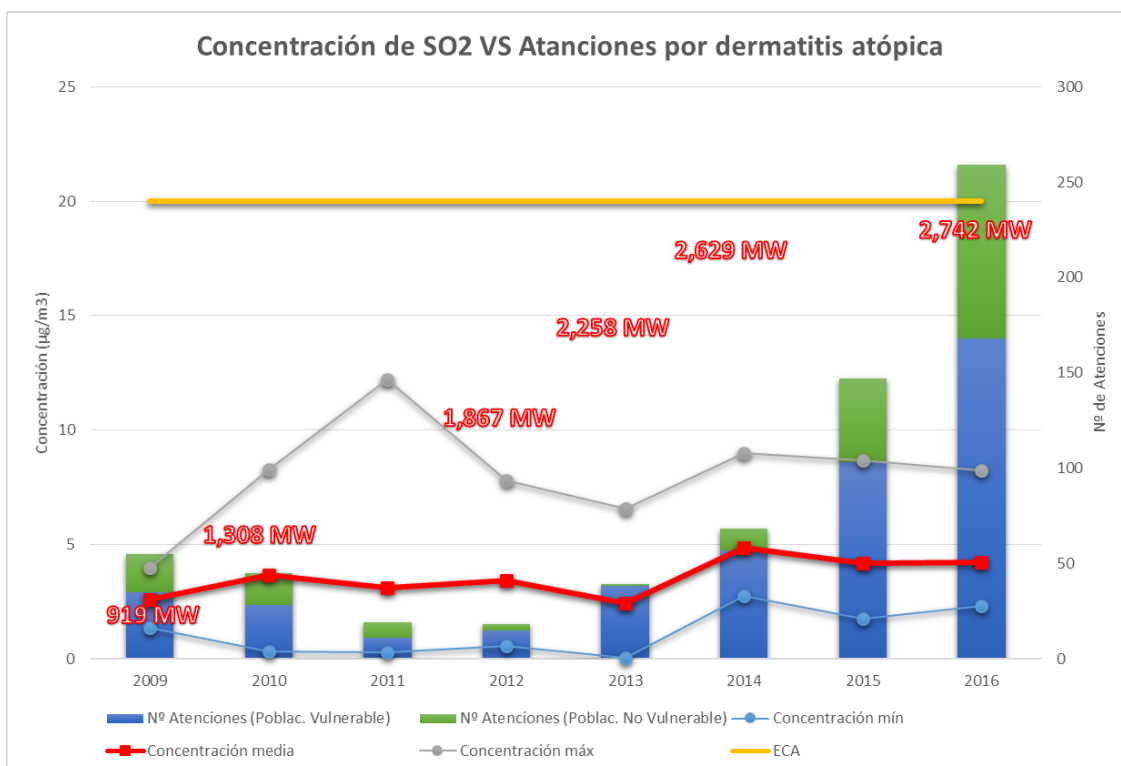
En el siguiente gráfico se muestra la concentración media de  $PM_{10}$  en los puntos de monitoreo del distrito de Chilca y se las compara con las atenciones por asma y estado asmático.



**Figura 51** Concentración media de PM<sub>10</sub> VS Atenciones por asma y estado asmático.  
 Fuente: Elaboración propia en base a los IGA de las CC. TT. del PEC y estadísticas de salud del MINSA.

En la Figura 51 se aprecia que las atenciones por asma y estado asmático vienen disminuyendo en la micro red de salud Chilca, tanto para la población vulnerable (niños y ancianos) como para la no vulnerable. El año 2013, cuando se tuvieron las mayores concentraciones de PM<sub>10</sub>. Por otro lado, pese a que las concentraciones de PM<sub>10</sub> aumentaron en el 2016, las atenciones por su parte disminuyeron, por lo que no se pudo establecer una correlación entre los niveles de concentración de PM<sub>10</sub> generados por las centrales y los casos de atención por asma y estado asmático.

En el siguiente gráfico se muestra la concentración media de SO<sub>2</sub> en los puntos de monitoreo del distrito de Chilca y se las compara con las atenciones por dermatitis atópica.



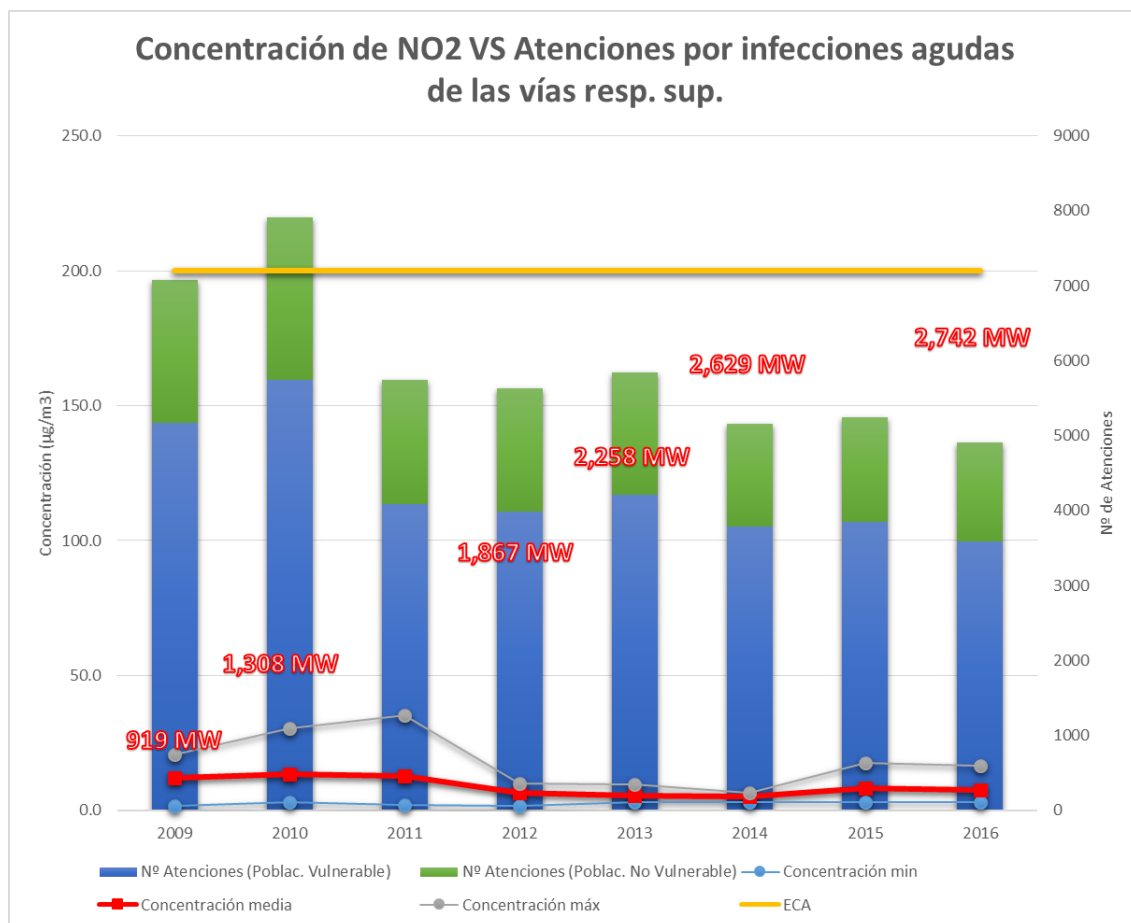
**Figura 52** Concentración media de SO<sub>2</sub> VS Atenciones por dermatitis atópica.

Fuente: Elaboración propia en base a los IGA de las CC. TT. del PEC y estadísticas de salud del MINSA.

En la Figura 52 se aprecia que las atenciones por dermatitis atópica vienen aumentando en la micro red de salud Chilca, tanto para la población vulnerable como para la no vulnerable. Al año 2016 las concentraciones de SO<sub>2</sub> muestran un aumento, pero aún está muy por debajo del ECA; sin embargo, las atenciones por su parte vienen aumentando considerablemente, estos ratios de crecimientos no corresponden a los niveles de concentración.

Algunos pobladores manifestaron que los casos de dermatitis atópica podrían deberse al agua potable que actualmente viene suministrando la empresa Fénix Power; sin embargo, la empresa brindó información recabada por los médicos que trabajan en el distrito de Chilca, quienes afirman que al ser la dermatitis atópica una manifestación de una predisposición genética de la piel a enfermedades alérgicas, no estaría asociada a un factor como el tipo de agua que se utilice. Además, no existe bibliografía que pueda dar sustento a que el tipo de agua utilizada produzca esta patología; pues tiene que existir siempre una condición genética, hereditaria para concluir este diagnóstico.

En el siguiente gráfico se muestra la concentración media de NO<sub>2</sub> en los puntos de monitoreo del distrito de Chilca y se las compara con las atenciones por infecciones agudas de las vías respiratorias superiores.

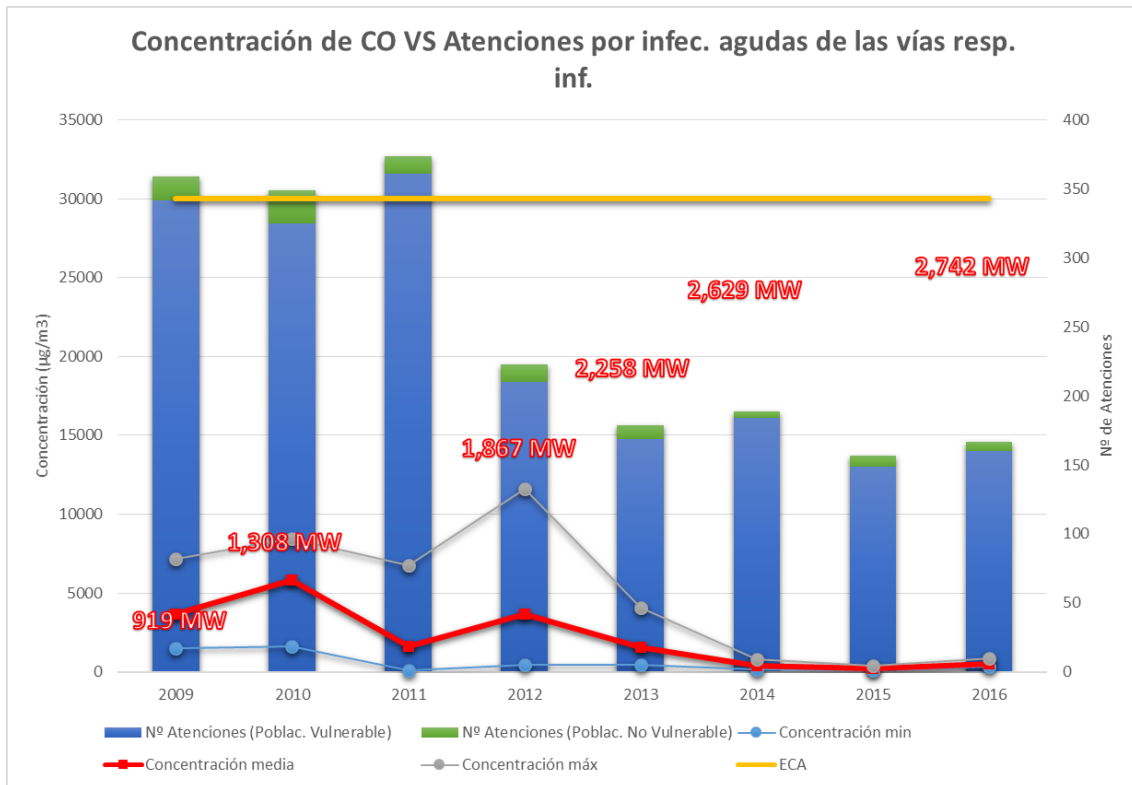


**Figura 53** Concentración media de NO<sub>2</sub> VS Atenciones por infecciones agudas de las vías respiratorias superiores.

Fuente: Elaboración propia en base a los IGA de las CC. TT. del PEC y estadísticas de salud del MINSA.

En la Figura 53 se aprecia que las atenciones por infecciones agudas de las vías respiratorias superiores vienen disminuyendo en la micro red de salud Chilca, tanto para la población vulnerable como para la no vulnerable. Las concentraciones de NO<sub>2</sub> muestran un ligero crecimiento en los últimos años; sin embargo, las atenciones por infecciones agudas de las vías respiratorias superiores, tienen una tendencia a la baja, por lo que no se puede establecer una relación entre ellas.

En el siguiente gráfico se muestra la concentración media de CO en los puntos de monitoreo del distrito de Chilca y se las compara con las atenciones por infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores.



**Figura 54** Concentración media de CO VS Atenciones por infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores.

Fuente: Elaboración propia en base a los IAGA de las CC. TT. del PEC y estadísticas de salud del MINSA.

En la Figura 54 se aprecia que las atenciones por infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores vienen disminuyendo en la microred de salud Chilca, tanto para la población vulnerable como para la no vulnerable. Al año 2016, las concentraciones de CO muestran una tendencia a la baja, mientras que las atenciones por infecciones agudas de las vías respiratorias tienen una tendencia a mantenerse constantes, por lo que no se puede establecer una relación entre ellas.

### 3.5 Estimación del impacto de las emisiones atmosféricas en el PEC.

A fin de establecer el impacto por causa de las emisiones atmosféricas sobre la salud de la población del distrito de Chilca, se realizó una valoración de la diferencia de las mediciones de concentración en el aire de los diferentes contaminantes en el estado base (antes de que entren en funcionamiento las centrales del PEC) y las mediciones de concentración obtenidas el año 2016. Dicha diferencia se presenta en la siguiente tabla.

En la siguiente tabla se muestra las concentraciones de PM<sub>10</sub> medidas en la línea base, comparadas con las mediciones realizadas el año 2016.

Punto de monitoreo	Ubicación	Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Índice de calidad del aire		Calificación	
		Línea Base	Monit. 2016	Variac.	Línea Base	Monit. 2016	Línea Base	Monit. 2016
01-CH	Chilca Pueblo	94 <sup>1</sup>	57.2	-36.8	63	38	Moderada	Buena
02-CH	Papa León XIII	64 <sup>1</sup>	58.85	-5.15	43	39	Buena	Buena
01-KA	AA.HH. San José	61.5 <sup>2</sup>	76.05	14.55	41	51	Buena	Moderada
02-KA	AA.HH. 15 de Enero	73 <sup>2</sup>	58.95	-14.05	49	39	Buena	Buena
01-FP	Sur de la central	49.2 <sup>3</sup>	37.85	-11.39	33	25	Buena	Buena
02-FP	Norte de la central	43.8 <sup>3</sup>	17.6	-26.15	29	12	Buena	Buena
03-FP	Las Salinas	31.8 <sup>3</sup>	23.9	-7.85	21	16	Buena	Buena
04-FP	Chilca Pueblo	64.3 <sup>3</sup>	31.95	-32.35	43	21	Buena	Buena
01-TC	AA.HH. 15 de Enero	73 <sup>4</sup>	32.95	-40.05	49	22	Buena	Buena
02-TC	AA.HH. San José	61.5 <sup>4</sup>	44.17	-17.33	41	29	Buena	Buena

**Tabla 44** Comparación de la concentración de PM<sub>10</sub> en la línea base VS el monitoreo al año 2016.

(1) De acuerdo al EIA de la C.T. Chilca Uno (2005)

(2) De acuerdo al EIA de la C.T. Kallpa (2006)

(3) De acuerdo al EIA de C.T. Fénix (2011)

(4) De acuerdo al EIA de C.T. Sto. Dgo de Olleros (2008)

Fuente: Elaboración propia en base a los EIA e IGA de las CC. TT. del PEC.

En la Tabla 44 se aprecia que todos los valores de concentración del PM<sub>10</sub> obtenidas el año 2016 son menores a los niveles que se obtuvieron en la línea base y se encuentran



con una calificación de “buena”. Esto puede atribuirse al mejoramientos de la vías de tránsito en Chilca, como por ejemplo el asfaltado de las calles, por lo se estaría generando menos polvo. La única excepción se encuentra en el punto 01-KA, la cual muestra un aumento de la concentración de PM<sub>10</sub> y pasó de una calificación de “buena” el año 2016 a una calificación de “regular” el año 2016.

En la siguiente tabla se muestra las concentraciones de SO<sub>2</sub> medidas en la línea base, comparadas con las mediciones realizadas el año 2016.

Punto de monitoreo	Ubicación	Concentración (µg/m <sup>3</sup> )			Índice de calidad del aire		Calificación	
		Línea Base	Monit. 2016	Variac.	Línea Base	Monit. 2016	Línea Base	Monit. 2016
01-CH	Chilca Pueblo		3.31					Buena
02-CH	Papa León XIII		2.31					Buena
01-KA	AA.HH. San José	8.1 <sup>1</sup>	2.98	-5.12	41	15	Buena	Buena
02-KA	AA.HH. 15 de Enero	11.6 <sup>1</sup>	2.62	-8.98	58	13	Moderada	Buena
01-FP	Sur de la central	0.5 <sup>2</sup>	5.2	4.7	3	26	Buena	Buena
02-FP	Norte de la central	0.5 <sup>2</sup>	5.35	4.85	3	27	Buena	Buena
03-FP	Las Salinas	0.5 <sup>2</sup>	8.25	7.75	3	41	Buena	Buena
04-FP	Chilca Pueblo	1.1 <sup>2</sup>	7.25	6.15	6	36	Buena	Buena
01-TC	AA.HH. 15 de Enero	11.6 <sup>3</sup>	2.5	-9.1	58	13	Moderada	Buena
02-TC	AA.HH. San José	8.1 <sup>3</sup>	2.39	-5.71	41	12	Buena	Buena

**Tabla 45** Comparación de la concentración de SO<sub>2</sub> en la línea base VS el monitoreo al año 2016.

(1) De acuerdo al EIA de la C.T. Kallpa (2006)

(2) De acuerdo al EIA de C.T. Fénix (2011)

(3) De acuerdo al EIA de C.T. Sto. Dgo de Olleros (2008)

Fuente: Elaboración propia en base a los EIA e IAGA de las CC. TT. del PEC.

La Tabla 45 muestra que las concentraciones de SO<sub>2</sub> han disminuido para los puntos 01-KA, 02-KA, 01-TC y 02-TC, mientras que hay un aumento en los puntos del 01-FP al 04-FP. La disminución de SO<sub>2</sub> puede atribuirse a que el azufre presente en los combustibles para automóviles ha disminuido porque las normativas se volvieron más

severas. Sin embargo, al 2016 todos los valores obtenidos reciben la calificación de “buena”. No se tienen mediciones para los puntos 01-CH y 02-CH.

En la siguiente tabla se muestra las concentraciones de NO<sub>2</sub> medidas en la línea base, comparadas con las mediciones realizadas el año 2016.

Punto de monitoreo	Ubicación	Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Índice de calidad del aire		Calificación	
		Línea Base	Monit. 2016	Variac.	Línea Base	Monit. 2016	Línea Base	Monit. 2016
01-CH	Chilca Pueblo	8.4 <sup>1</sup>	9.83	1.43	4	5	Buena	Buena
02-CH	Papa León XIII	4.7 <sup>1</sup>	3.16	-1.54	2	2	Buena	Buena
01-KA	AA.HH. San José	10.3 <sup>2</sup>	3.06	-7.24	5	2	Buena	Buena
02-KA	AA.HH. 15 de Enero	12.7 <sup>2</sup>	4.94	-7.71	6	2	Buena	Buena
01-FP	Sur de la central	2 <sup>3</sup>	4.55	2.55	1	2	Buena	Buena
02-FP	Norte de la central	6.7 <sup>3</sup>	3.65	-3.05	3	2	Buena	Buena
03-FP	Las Salinas	2.9 <sup>3</sup>	7.6	4.7	1	4	Buena	Buena
04-FP	Chilca Pueblo	14.4 <sup>3</sup>	8.3	-6.1	7	4	Buena	Buena
01-TC	AA.HH. 15 de Enero	12.7 <sup>4</sup>	15.35	2.7	6	8	Buena	Buena
02-TC	AA.HH. San José	10.3 <sup>4</sup>	16.45	6.15	5	8	Buena	Buena

**Tabla 46** Comparación de la concentración de NO<sub>2</sub> en la línea base VS el monitoreo al año 2016.

(1) De acuerdo al EIA de la C.T. Chilca Uno (2005)

(2) De acuerdo al EIA de la C.T. Kallpa (2006)

(3) De acuerdo al EIA de C.T. Fénix (2011)

(4) De acuerdo al EIA de C.T. Sto. Dgo de Olleros (2008)

Fuente: Elaboración propia en base a los EIA e IAGA de las CC. TT. del PEC.

La Tabla 46 muestra que las mediciones de NO<sub>2</sub> han aumentado en la mitad de puntos, mientras que disminuyeron en la otra mitad; sin embargo, estas variaciones son mínimas por lo que la calificación se continua manteniendo como “buena” tanto en la Línea Base como para el año 2016 en todos los puntos de monitoreo.

En la siguiente tabla se muestra las concentraciones de CO medidas en la línea base, comparadas con las mediciones realizadas el año 2016.

Punto de monitoreo	Ubicación	Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Índice de calidad del aire		Calificación	
		Línea Base	Monit. 2016	Variac.	Línea Base	Monit. 2016	Línea Base	Monit. 2016
01-CH	Chilca Pueblo	136 <sup>1</sup>	300	164	0	1	Buena	Buena
02-CH	Papa León XIII	158 <sup>1</sup>	300	142	1	1	Buena	Buena
01-KA	AA.HH. San José	138 <sup>2</sup>	836.06	698.06	0	3	Buena	Buena
02-KA	AA.HH. 15 de Enero	458 <sup>2</sup>	456.96	-0.64	2	2	Buena	Buena
01-FP	Sur de la central	345 <sup>3</sup>	304.35	-40.65	1	1	Buena	Buena
02-FP	Norte de la central	230 <sup>3</sup>	384.4	154.4	1	1	Buena	Buena
03-FP	Las Salinas	325 <sup>3</sup>	545.45	220.45	1	2	Buena	Buena
04-FP	Chilca Pueblo	345 <sup>3</sup>	792.05	447.05	1	3	Buena	Buena

**Tabla 47** Comparación de la concentración de CO en la línea base VS el monitoreo al año 2016.

(1) De acuerdo al EIA de la C.T. Chilca Uno (2005)

(2) De acuerdo al EIA de la C.T. Kallpa (2006)

(3) De acuerdo al EIA de C.T. Fénix (2011)

Fuente: Elaboración propia en base a los EIA e IAGA de las CC. TT. del PEC.

La Tabla 47 muestra que las variaciones que han tenido las mediciones de concentración de CO tiene una ligera tendencia a aumentar debido a que también aumentó el flujo vehicular, por lo que se puede afirmar que el impacto es insignificante. El índice de calidad del aire recibe la calificación de “buena” en la línea base y al año 2016.

Por otro lado, el año 2015 OEFA, a través de su dirección de evaluación, realizó una evaluación ambiental al distrito de Chilca, midiendo entre otros aspectos, la calidad del aire. Los valores de dicha evaluación de OEFA se compararon con las mediciones de los puntos de monitoreo de las centrales más cercanas para poder corroborar si es que existe una semejanza entre ambas mediciones.

En la siguiente tabla se muestra las concentraciones de PM<sub>10</sub> medidas por la dirección de evaluación de OEFA, comparadas con las mediciones obtenidas el 2015 en los puntos de monitoreo asociados.

Punto de Monitoreo	Lugar	Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		INCA	
		2015		2015	
		OEFA	Monitoreo	OEFA	Monitoreo
03-FP	Las Salinas	23	12.75	15 Buena	9 Buena
02-TC	San Hilarión/ San José	29.5	40	20 Buena	27 Buena
01-KA			50.87		33 Buena
01-TC	15 de Enero	30	34	20 Buena	23 Buena
02-KA			45.1		30 Buena

**Tabla 48** Comparación entre la evaluación de OEFA y el monitoreo de las empresas del  $\text{PM}_{10}$  el año 2015.

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de OEFA e IAGA de las CC. TT. del PEC.

Las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  en los puntos de monitoreo de las centrales PEC y OEFA, mantienen calidad de aire de “buena” para todas las localidades. Si la calidad es “buena” se está respetando el ECA, por lo que las personas pueden realizar sus actividades al aire libre sin problemas.

En la siguiente tabla se muestra las concentraciones de  $\text{SO}_2$  medidas por la dirección de evaluación de OEFA, comparadas con las mediciones obtenidas el 2015 en los puntos de monitoreo asociados.

Punto de Monitoreo	Lugar	Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		INCA	
		2015		2015	
		OEFA	Monitoreo	OEFA	Monitoreo
03-FP	Las Salinas	1.1	5.65	6 Buena	28 Buena
02-TC	San Hilarión/ San José	60.4	4.51	302 Mala	23 Buena
01-KA			3.15		18 Buena
01-TC	15 de Enero	25	2.1	125 Mala	11 Buena
02-KA			2.76		14 Buena

**Tabla 49** Comparación entre la evaluación de OEFA y el monitoreo de las empresas del  $\text{SO}_2$  el año 2015.

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de OEFA e IAGA de las CC. TT. del PEC.

La calidad de aire con respecto a la concentración de  $\text{SO}_2$  es calificada como “mala” para las mediciones realizadas por OEFA en las localidades de San Hilarión y 15

de Enero; sin embargo, para las mediciones de los “puntos de monitoreo” es buena y moderada. Según el informe de OEFA, estos altos niveles de SO<sub>2</sub> se pueden atribuir a los vehículos que circulan por la zona.

En la siguiente tabla se muestra las concentraciones de NO<sub>2</sub> medidas por la dirección de evaluación de OEFA, comparadas con las mediciones obtenidas el 2015 en los puntos de monitoreo respectivamente asociados.

Punto de Monitoreo	Lugar	Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		INCA	
		2015		2015	
		OEFA	Monitoreo	OEFA	Monitoreo
03-FP	Las Salinas	0.02	8.95	0 Buena	4 Buena
02-TC	San Hilarión/ San José	1.9	17.56	1 Buena	9 Buena
01-KA			9.41		5 Buena
01-TC	15 de Enero	28.4	11.21	14 Buena	6 Buena
02-KA			4.68		2 Buena

**Tabla 50** Comparación entre la evaluación de OEFA y el monitoreo de las empresas del NO<sub>2</sub> el año 2015. Fuente: Elaboración propia en base a los datos de OEFA e IAGA de las CC. TT. del PEC.

La calidad de aire con respecto a la concentración de NO<sub>2</sub> en los puntos de monitoreo y OEFA es calificadas como “buena” para todas las localidades. Si la calidad es “buena” se está respetando el ECA, por lo que las personas pueden realizar sus actividades al aire libre sin problemas.

En la siguiente tabla se muestra las concentraciones de CO medidas por la dirección de evaluación de OEFA, comparadas con las mediciones obtenidas el 2015 en los puntos de monitoreo respectivamente asociados.

Punto de Monitoreo	Lugar	Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		INCA	
		2015		2015	
		OEFA	Monitoreo	OEFA	Monitoreo
03-FP	Las Salinas	217.1	258	1	1
		2		Buena	Buena
02-TC	San Hilarión/ San José	855.1	168.46	3	1
				Buena	Buena
01-KA			57.3		0
					Buena
01-TC	15 de Enero	1171.77	154.5	4	1
				Buena	Buena
02-KA			58.925		0
					Buena

**Tabla 51** Comparación entre la evaluación de OEFA y el monitoreo de las empresas del CO el año 2015.  
Fuente: Elaboración propia en base a los datos de OEFA e IAGA de las CC. TT. del PEC.

La calidad de aire con respecto a la concentración de CO en los puntos de monitoreo y OEFA es calificada como “buena” para todas las localidades. Si la calidad es “buena” se está respetando el ECA, por lo que las personas pueden realizar sus actividades al aire libre sin problemas.

## CONCLUSIONES

1. Las emisiones de los contaminantes atmosféricos considerados en el presente estudio ( $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$  y  $CO$ ) han venido incrementándose en el distrito de Chilca, tanto por parte de las centrales termoeléctricas del Polo Energético de Chilca, así como por otras actividades, como el parque automotor que circula por la carretera Panamericana y la fundición Chilca. Sin embargo, no se observa una afectación significativa en el índice de calidad de aire para los receptores sensibles (pobladores de Chilca) y no se llegan a superar los Estándares de Calidad Ambiental, lo cual puede deberse al alto grado de dispersión de los contaminantes por acción del viento, los cuales tienen una dirección predominante en sentido de sur a norte.
2. El material particulado  $PM_{10}$  es un tipo de contaminante que está vinculado más al polvo generado por acción del viento y al movimiento de tierra que a la combustión de gas natural. Por este motivo, se obtuvieron altos valores de material particulado en Chilca cuando aún se estaba en la etapa de construcción de las centrales y la fundición, pero durante la operación de las centrales este fue bajando. Otro factor importante a considerar es que los trabajos de mejoramiento de pistas y veredas en el distrito hace que se generen menores emisiones de  $PM_{10}$ .
3. El parque automotor es uno de los grandes responsables de la emisión de  $SO_2$  en el distrito de Chilca, debido a que año a año aumentan los vehículos que transitan por la Panamericana Sur. Desde el 2009 el flujo de vehículos ha crecido en promedio a una tasa de 10% anual. A esto se suma que los tubos de escape de los vehículos se encuentran cercanas al suelo, lo que hace que sus emisiones puedan llegar a afectar más fácilmente a los receptores sensibles.
4. Las centrales del polo Energético de Chilca son los principales emisores de dióxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) en el distrito; sin embargo, este contaminante no está afectando a

los receptores sensibles, puesto que los niveles de concentración están muy por debajo de estándar de calidad ambiental. Por otro lado, gracias a las campañas de salud desarrolladas por las empresas termoeléctricas los pobladores de Chilca pueden tener acceso a mejores servicios de salud.

5. Los factores de emisión hallados para cada central presente en el Polo Energético de Chilca, nos muestra que las centrales a ciclo combinado tienen una mejor eficiencia ambiental que las centrales a ciclo simple, ya que emiten menos cantidad de contaminantes por cada unidad de energía eléctrica generada. Por lo que siempre será preferible el uso de centrales a ciclo combinado.
6. Las estadísticas muestran que las atenciones por tipos de morbilidades que se podrían asociar a los contaminantes considerados, como por ejemplo asma y estado asmático, así como infecciones agudas a las vías respiratorias superiores e inferiores, han venido disminuyendo en los centros de atención de la micro red de salud Chilca, tanto para la población vulnerable (niños y ancianos) como para los no vulnerables, pese a que las emisiones de los contaminantes han ido en aumento. Por lo cual no se puede establecer relación entre los contaminantes emitidos y dichas morbilidades.
7. Las atenciones por dermatitis atópica han venido creciendo considerablemente en el distrito en los últimos años; sin embargo, como los niveles de concentración de los contaminantes están muy por debajo de los estándares de calidad ambiental, no se pudo afirmar que esté habiendo un impacto a la salud a causa de los mismos.



## RECOMENDACIONES

1. A fin de conservar y garantizar que el estado de la calidad del aire en el distrito de Chilca continúe con la calificación de “buena” y no se afecte a los receptores sensibles, sería de mucha utilidad tener mayor cantidad de puntos de monitoreo y además aumentar la frecuencia con la que de las mediciones de trimestrales a mensuales. Es importante que los establecimientos de salud accedan a los resultados de monitoreo de calidad de aire a fin de que el personal médico pueda mantenerse al tanto de la situación.
2. El presente trabajo se realizó para los reglamentos de calidad ambiental vigentes hasta el año 2016 ya que las mediciones de monitoreo de calidad del aire se realizaron bajo dichos reglamentos. El 7 de junio del 2017, mediante Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM se aprobaron nuevos ECA para el PM<sub>10</sub> y SO<sub>2</sub>; sin embargo, hasta la culminación del presente trabajo no se contaba con un nuevo Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire.
3. Sería importante que se realice un modelamiento de dispersión de contaminantes atmosféricos con las condiciones actuales del PEC, a fin de poder determinar su alcance real y los puntos críticos de monitorio. Este modelamiento no solo debe incluir a las fuentes fijas de emisión sino también a las fuentes móviles.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Osinergmin, La Industria de la Electricidad en el Perú, Lima: GRÁFICA BIBLOS S.A, 2015.
- [2] Comité de Operación Económica del Sistema., «Estadística Anual 2016,» COES, Lima, 2016.
- [3] E. Mayorga, Camisea: Gas, la energía que cambió al Perú, Lima: Forma e Imagen, 2012.
- [4] MINSA, *Reporte de Morbilidad General de la Provincia de Cañete 2006-2017.*, Lima, 2017.
- [5] R. Manuel, «La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud,» *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, vol. 44, n° 2, pp. 1-14, 2006.
- [6] CEPAL/SEMARNAT, Evaluación de la Externalidades Ambientales de la Generación Termoeléctrica en México., Ciudad de México: CEPAL, 2004.
- [7] Organización Mundial de la Salud, Ambient Air Pollution: A global assessment of exposure and burden of disease, Ginebra: Inis Communication, 2016.
- [8] J. J. Miranda, Impacto Económico por la Contaminación del Aire en Lima Metropolitana, Lima: Instituto de Estudios Peruanos, 2006.
- [9] Osinergmin, Valorización de las externalidades y recomposición del parque óptimo de generación eléctrica., Lima: Osinergmin, 2008.
- [10] Osinergmin, La Industria de la Energía Renovable en el Perú: Diez años de contribuciones a la mitigación del Cambio Climático., Lima: GRÁFICA BIBLIOS S.A., 2016.

- [11] Diario Gestión, «Gestión,» Prensa Popular S.A.C., 28 2 2014. [En línea]. Available: <http://gestion.pe/economia/como-nodo-energetico-sur-2090320>. [Último acceso: 17 2 2017].
- [12] Osinergmin, La Industria del Gas Natural en el Perú. A diez años del Proyecto Camisea, Lima: Ideas Integradas, 2014.
- [13] Diario La República, «La República,» Grupo La República, 31 Marzo 2017. [En línea]. Available: <http://larepublica.pe/impresia/economia/861046-debemos-dejar-de-quemar-el-gas-y-usar-el-etano-para-darle-valor-agregado>. [Último acceso: 15 Abril 2017].
- [14] Osinergmin, Regulación del Gas Natural del Perú, Lima: Teps Group S.A.C., 2008.
- [15] J. Viloche, *Gas Natural, Propiedades y Usos*, Tacna: Foro: "Gas Natural: Propiedades y Usos, Proyectos Presentes y Futuros para la Región", 2010.
- [16] Diario El Comercio, «El Comercio,» Red El Comercio, 27 Marzo 2016. [En línea]. Available: <http://elcomercio.pe/economia/peru/aprueban-eia-proyecto-central-termica-pacifico-sur-noticia-1889655>. [Último acceso: 28 Febrero 2017].
- [17] Y. B. M. Cengel, *Termodinámica*, México: McGraw-Hill, 2012.
- [18] Lopez, C. y Schez, Mónica, *Diagnóstico de las centrales termoeléctricas en Colombia y evaluación de alternativas tecnológicas para el cumplimiento de la norma de emisión de fuentes.*, Bogotá: Universidad La Salle, 2007.
- [19] Walsh Perú S.A., «Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Central Térmica Pacífico Sur (Luz del Sur),» Lima, 2014.

- [20] Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), «Informe de Evaluación Ambiental de Chilca,» Coordinación de Evaluaciones Ambientales Integrales, Lima, 2015.
- [21] H. M. S. R. van Berlo D, «Toxicology of ambient particulate matter.,» Heinrich-Heine University Düsseldorf, Düsseldorf, 2012.
- [22] U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, «Toxicological Profile For Carbon Monoxide,» U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, Atlanta, 2012.
- [23] National Research Council (US) Subcommittee on Rocket-Emission Toxicants., Assessment of Exposure-Response Functions for Rocket-Emission Toxicants., Washington DC: Research Council (US) Subcommittee on Rocket-Emission Toxicants., 1998.
- [24] U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, Toxicological Profile for Sulfur Dioxide, Atlanta: U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, 1998.
- [25] Organización Panamericana de la Salud, «<http://www.bvsde.paho.org>,» [En línea]. Available: [http://www.bvsde.paho.org/bvsci/e/fulltext/normas/2\\_1.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsci/e/fulltext/normas/2_1.pdf). [Último acceso: 22 Junio 2017].
- [26] R. ". a. Hernandez, Metodología de la investigación, México: Mc Graw Hill, 2006.
- [27] U. S. P. A. (EPA), «Emission Factor Documentation For AP-42 Section 1.4 Natural Gas Combustion,» Eastern Research Group, Morrisville, NC, 1998.
- [28] Fundación Chilca S.A., «Estudio de Impacto Ambiental de la Fundación Chilca,» Empresa de Ingeniería y Tratamiento S.A.C, Lima, 2012.

- [29] J. Saavedra, Análisis de nuevos escenarios de emisión de contaminantes del parque automotor generados en un ambiente de tráfico vehicular, Lima: Universidad Agraria La Molina, 2014.
- [30] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, «Manual de carreteras - Diseño Geométrico,» Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, Lima, 2013.
- [31] Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), «Tráfico vehicular por unidades de peaje,» Instituto Nacional de Estadística e Informática, Lima, 2017.
- [32] Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), «Parque automotor nacional estimado por clase de vehículo,» Oficina de Estadística, Lima, 2016.

# **ANEXOS**

## ANEXO A-1: Monitoreo de concentraciones de PM<sub>10</sub>.

Año	Concentración (Trimestral)				Mediana Anual
	I	II	III	IV	
2009	77.5	73.4	102.5	88.2	82.9
2010	51.5	125.0	74.5	23.1	63.0
2011	106.1	83.4	88.4	96.5	92.5
2012	29.1	41.6	30.1	37.2	33.6
2013	98.9	136.3	165.4	49.6	117.6
2014	43.6	33.9	31.6	12.8	32.8
2015	33.5	51.4	37.3	51.4	44.4
2016	57.3	57.2	39.6	57.2	57.2

Tabla A-1. 1 Monitoreo de PM<sub>10</sub> en el punto CH-01.

Año	Concentración (Trimestral)				Mediana Anual
	I	II	III	IV	
2009	10.7	51.1	66.5	90.4	58.8
2010	80.4	82.3	67.7	57.2	74.0
2011	41.7	102.8	102.8	74.7	88.8
2012	31.1	18.1	65.2	28.3	29.7
2013	91.8	145.3	149.8	59.7	118.6
2014	44.3	42.5	25.3	29.8	36.2
2015	43.3	17.1	31.9	17.1	24.5
2016	57.3	60.4	24.4	60.4	58.9

Tabla A-1. 2 Monitoreo de PM<sub>10</sub> en el punto CH-02.

Año	Concentración (Trimestral)				Mediana Anual
	I	II	III	IV	
2009	41.1	50.2	42.8	44.9	43.8
2010	59.5	32.7	99.1	71.3	65.4
2011	75.5	35.9	105.8	133.2	90.7
2012	67.0	44.3	73.6	64.8	65.9
2013	100.0	100.4	52.0	72.8	86.4
2014	11.3	10.8	8.4	59.7	11.0
2015	41.2	61.0	49.9	51.8	50.9
2016	57.6	94.5	116.5	47.9	76.1

Tabla A-1. 3 Monitoreo de PM<sub>10</sub> en el punto KA-01.

Año	Concentración (Trimestral)				Mediana Anual
	I	II	III	IV	
2009	21.3	33.7	16.7	29.2	25.2
2010	50.9	21.2	57.4	54.7	52.8
2011	56.3	33.6	80.9	51.4	53.9
2012	48.9	62.6	47.8	95.3	55.7
2013	62.0	64.3	16.6	53.8	57.9
2014	8.7	6.2	8.9	27.3	8.8
2015	44.2	25.0	46.0	52.3	45.1
2016	60.6	91.8	57.3	56.4	59.0

Tabla A-1. 4 Monitoreo de PM<sub>10</sub> en el punto KA-02.

Año	Concentración (Mensual)												Mediana Anual
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
2011			54	44	69	33	41	101	44	80	89	44	49
2012	25	91	117	130	73	37	41	42	36	37	30	92	41
2013	94	40	110	76	48	38	36	77	41	37	4	5	41
2014	29	7	12	25	24	5	17	4	2	8	11	3	10
2015	5	18	4	8	15	14	9	6	11	12	106	42	11
2016	145	149	12	5	15	20	91	16	73	132	56	12	38

Tabla A-1. 5 Monitoreo de PM<sub>10</sub> en el punto FP-01.

Año	Concentración (Mensual)												Mediana Anual
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
2011			31	48	24	24	31	58	53	44	45	44	44
2012	10	31	51	85	38	43	79	30	69	44	32	69	43
2013	38	44	78	63	34	65	26	47	15	44	3	4	41
2014	30	7	12	14	17	6	11	2	7	3	10	3	9
2015	3	5	5	12	11	13	12	8	10	4	44	44	10
2016	38	71	9	5	16	5	39	17	45	38	18	17	18

Tabla A-1. 6 Monitoreo de PM<sub>10</sub> en el punto FP-02.

Año	Concentración (Mensual)												Mediana Anual
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
2011			36	33	28	14	17	48	24	32	31	77	32
2012	12	29	81	86	32	41	35	20	38	45	32	36	35
2013	40	29	54	70	97	63	47	48	19	45	8	3	46
2014	19	9	10	16	12	5	7	7	2	4	7	3	7
2015	4	9	15	10	12	27	12	8	9	28	42	23	12
2016	32	40	10	7	19	5	36	23	27	34	25	11	24

Tabla A-1. 7 Monitoreo de PM<sub>10</sub> en el punto FP-03.



Año	Concentración (Mensual)												Mediana Anual
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
2011								64	42	41	68	83	64
2012	22	49	79	170	59	62	35	53	41	45	36	67	51
2013	39	62	78	82	48	75	38	62	23	45	7	6	46
2014	17	10	9	14	15	7	6	6	5	7	7	3	7
2015	13	14	16	13	93	12	13	12	12	52	37	30	14
2016	54	39	11	8	17	10	59	27	41	37	41	14	32

Tabla A-1. 8 Monitoreo de PM<sub>10</sub> en el punto FP-04.

Año	Concentración (Trimestral)				Mediana Anual
	I	II	III	IV	
2012		58.9	49.0	36.0	49.0
2013	78.0	58.0	47.0	62.0	60.0
2014	52.0	65.0	35.0	40.0	46.0
2015	31.0	45.0	23.0	37.0	34.0
2016	25.7	39.7	25.0	44.0	32.7

Tabla A-1. 9 Monitoreo de PM<sub>10</sub> en el punto TC-01.

Año	Concentración (Trimestral)				Mediana Anual
	I	II	III	IV	
2012		71.1	71.0	65.0	71.0
2013	113.0	48.0	71.0	58.0	64.5
2014	62.0	43.0	59.0	48.0	53.5
2015	45.0	31.0	35.0	45.0	40.0
2016	40.2	44.3	53.3	44.0	44.2

Tabla A-1. 10 Monitoreo de PM<sub>10</sub> en el punto TC-02.

## ANEXO A-2: Monitoreo de concentraciones de SO<sub>2</sub>.

Año	Concentración (Trimestral)				Mediana Anual
	I	II	III	IV	
2009	1.3	3.9	1.4	0.7	1.4
2010	0.2	0.4	0.5	0.2	0.3
2011	1.4	0.5	0.0	0.1	0.3
2012	0.4	0.0	0.8	0.8	0.6
2013	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1
2014	4.7	1.1	2.6	2.9	2.7
2015	3.0	3.2	1.3	3.2	3.1
2016	3.2	1.7	3.4	3.6	3.3

Tabla A-2. 1 Monitoreo de SO<sub>2</sub> en el punto CH-01.

Año	Concentración (Trimestral)				Mediana Anual
	I	II	III	IV	
2009	1.3	6.9	1.4	0.9	1.4
2010	0.4	0.3	0.7	0.2	0.3
2011	2.8	0.3	0.1	0.3	0.3
2012	0.8	0.5	0.8	0.5	0.6
2013	0.1	0.1	0.0	0.4	0.1
2014	4.7	1.9	2.6	3.6	3.1
2015	2.7	2.6	1.3	2.6	2.6
2016	2.9	1.7	1.7	3.3	2.3

Tabla A-2. 2 Monitoreo de SO<sub>2</sub> en el punto CH-02.

Año	Concentración (Trimestral)				Mediana Anual
	I	II	III	IV	
2009	0.1	5.8	1.4	34.4	3.6
2010	8.2	3.2	1.8	10.2	5.7
2011	10.2	10.7	8.7	8.7	9.5
2012	2.4	4.0	3.4	11.8	3.7
2013	3.2	0.3	1.6	13.7	2.4
2014	9.4	3.5	2.6	2.6	3.0
2015	4.3	3.5	2.6	2.8	3.1
2016	3.9	1.4	2.6	3.3	3.0

Tabla A-2. 3 Monitoreo de SO<sub>2</sub> en el punto KA-01.

Año	Concentración (Trimestral)				Mediana Anual
	I	II	III	IV	
2009	6.5	9.1	3.4	4.5	5.5
2010	2.0	1.8	5.3	11.3	3.7
2011	10.6	13.0	13.0	11.4	12.2
2012	4.0	3.2	3.2	12.4	3.6
2013	2.9	0.0	0.0	4.4	1.4
2014	10.8	2.9	3.9	3.9	3.9
2015	5.3	2.9	2.6	2.6	2.8
2016	4.3	9.9	2.6	2.6	3.5

Tabla A-2. 4 Monitoreo de SO<sub>2</sub> en el punto KA-02.

Año	Concentración (Mensual)												Mediana Anual
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
2011								1	1	1	1	12	1
2012	1	2	3	2	5	3	4	3	4	8	5	11	3
2013	16	4	2	3	1	1	1	1	1	8	3	2	2
2014	1	2	5	11	8	13	5	0	2	6	13	17	6
2015	4	15	8	2	5	13	5	1	4	6	2	10	5
2016	7	5	6	5	3	7	3	10	8	5	2	1	5

Tabla A-2. 5 Monitoreo de SO<sub>2</sub> en el punto FP-01.

Año	Concentración (Mensual)												Mediana Anual
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
2011								1	1	1	1	9	1
2012	1	3	3	2	4	3	5	3	4	20	8	13	3
2013	18	3	6	3	1	1	1	1	1	20	6	2	2
2014	1	2	6	5	10	14	14	6	6	6	17	12	6
2015	10	7	8	7	4	13	7	9	3	12	5	6	7
2016	8	3	7	5	7	8	3	6	4	2	5	5	5

Tabla A-2. 6 Monitoreo de SO<sub>2</sub> en el punto FP-02.

Año	Concentración (Mensual)												Mediana Anual
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
2011								1	1	1	1	4	1
2012	1	3	3	3	3	4	3	3	3	12	9	24	3
2013	18	9	5	10	1	1	1	1	1	12	2	1	2
2014	2	3	5	12	12	13	12	2	6	5	13	15	9
2015	6	13	5	3	3	14	3	11	2	17	2	15	6
2016	8	10	7	4	11	3	10	12	8	8	11	6	8

Tabla A-2. 7 Monitoreo de SO<sub>2</sub> en el punto FP-03.

Año	Concentración (Mensual)												Mediana Anual
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
<b>2011</b>								1	1	1	1	14	1
<b>2012</b>	1	3	3	3	4	3	6	3	4	12	9	11	4
<b>2013</b>	22	2	7	17	1	1	1	2	2	12	3	1	2
<b>2014</b>	2	3	5	3	15	13	12	1	1	6	14	15	5
<b>2015</b>	14	13	12	3	4	14	3	10	2	7	2	13	9
<b>2016</b>	8	8	6	7	4	7	8	14	10	6	5	13	7

**Tabla A-2. 8** Monitoreo de SO<sub>2</sub> en el punto FP-04.

Año	Concentración (Trimestral)				Mediana Anual
	I	II	III	IV	
<b>2012</b>		0.8	3.0	9.6	3.0
<b>2013</b>	9.2	3.8	7.4	5.7	6.6
<b>2014</b>	3.8	6.3	3.4	13.9	5.1
<b>2015</b>	10.7	2.8	1.2	1.5	2.1
<b>2016</b>	2.6	2.4	2.8	1.6	2.5

**Tabla A-2. 9** Monitoreo de SO<sub>2</sub> en el punto TC-01.

Año	Concentración (Trimestral)				Mediana Anual
	I	II	III	IV	
<b>2012</b>		1.0	4.9	9.0	4.9
<b>2013</b>	9.7	5.4	4.3	3.1	4.8
<b>2014</b>	3.8	4.7	4.4	10.3	4.5
<b>2015</b>	9.8	1.4	1.1	2.2	1.8
<b>2016</b>	2.3	2.5	5.1	2.1	2.4

**Tabla A-2. 10** Monitoreo de SO<sub>2</sub> en el punto TC-02.

### ANEXO A-3: Monitoreo de concentraciones de NO<sub>2</sub>.

Año	Concentración (Trimestral)				Mediana Anual
	I	II	III	IV	
2009	32.8	3.2	25.0	16.3	20.7
2010	4.8	1.5	18.0	1.7	3.2
2011	3.9	7.8	1.2	2.4	3.1
2012	10.8	2.9	18.2	1.6	6.9
2013	6.8	24.7	0.1	6.8	6.8
2014	1.2	8.2	26.7	5.1	6.7
2015	24.7	4.7	17.2	4.7	11.0
2016	11.0	0.8	9.8	9.8	9.8

Tabla A-3. 1 Monitoreo de NO<sub>2</sub> en el punto CH-01.

Año	Concentración (Trimestral)				Mediana Anual
	I	II	III	IV	
2009	27.3	1.8	24.4	2.4	13.4
2010	6.7	0.8	21.1	1.7	4.2
2011	18.5	7.4	2.4	1.7	4.9
2012	4.2	0.8	2.5	0.8	1.6
2013	6.8	5.8	0.1	0.8	3.3
2014	1.2	6.9	9.2	6.0	6.5
2015	0.8	3.2	13.3	3.2	3.2
2016	2.2	0.8	4.2	4.3	3.2

Tabla A-3. 2 Monitoreo de NO<sub>2</sub> en el punto CH-02.

Año	Concentración (Trimestral)				Mediana Anual
	I	II	III	IV	
2009	0.2	0.2	3.5	10.1	1.8
2010	30.6	1.5	2.2	34.3	16.4
2011	33.2	35.2	35.4	29.7	34.2
2012	4.5	2.4	1.3	29.8	3.4
2013	1.6	0.1	14.6	11.6	6.6
2014	0.8	13.8	6.3	6.8	6.6
2015	8.6	11.7	0.9	1.3	4.9
2016	1.0	1.4	19.8	4.7	3.1

Tabla A-3. 3 Monitoreo de NO<sub>2</sub> en el punto KA-01.

Año	Concentración (Trimestral)				Mediana Anual
	I	II	III	IV	
2009	17.5	5.6	6.6	30.4	12.1
2010	30.7	0.9	30.3	34.5	30.5
2011	33.8	36.8	36.9	29.7	35.3
2012	4.4	3.1	2.1	26.7	3.8
2013	2.2	0.0	6.8	7.1	4.5
2014	0.8	3.9	8.1	54.1	6.0
2015	7.7	0.8	8.6	1.6	4.7
2016	4.3	9.9	0.7	5.5	4.9

Tabla A-3. 4 Monitoreo de NO<sub>2</sub> en el punto KA-02.

Año	Concentración (Mensual)												Mediana Anual
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
2011								0.4	0.4	2.0	2.6	7.5	2.0
2012	8.8	5.3	9.5	4.9	16.5	7.1	5.3	3.5	14.7	5.8	0.9	17.3	6.5
2013	11.4	1.6	8.1	13.2	0.7	2.4	3.2	3.0	3.2	5.8	1.4	3.6	3.2
2014	5.2	4.0	6.1	4.9	1.9	3.5	1.5	1.1	3.5	2.5	2.4	1.5	3.0
2015	2.2	7.0	6.2	1.4	8.8	7.5	2.8	19.0	2.7	3.2	7.6	4.3	5.3
2016	9.6	4.6	7.5	6.9	9.1	4.5	2.9	2.3	5.6	3.6	1.9	3.7	4.6

Tabla A-3. 5 Monitoreo de NO<sub>2</sub> en el punto FP-01.

Año	Concentración (Mensual)												Mediana Anual
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
2011								6.7	6.8	6.4	2.2	7.0	6.7
2012	5.7	10.0	10.0	17.4	10.6	16.1	8.6	4.9	13.8	2.8	9.0	13.5	10.0
2013	4.6	5.6	5.5	7.1	7.3	11.1	10.5	10.2	10.7	2.8	2.3	3.9	6.4
2014	6.0	4.3	3.1	14.7	3.8	3.3	3.4	0.9	3.7	5.3	1.8	1.9	3.6
2015	4.5	1.5	7.2	15.7	12.9	6.8	3.9	10.5	2.6	6.7	3.8	2.5	5.6
2016	2.3	18.6	1.8	2.4	5.5	3.6	8.1	2.3	3.7	3.6	8.6	3.9	3.7

Tabla A-3. 6 Monitoreo de NO<sub>2</sub> en el punto FP-02.

Año	Concentración (Mensual)												Mediana Anual
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
2011								8.8	2.9	2.1	2.9	10.1	2.9
2012	4.9	5.2	6.6	3.9	14.1	22.6	22.6	6.4	8.6	6.4	6.7	18.9	6.7
2013	10.0	38.4	6.5	10.0	2.1	3.2	3.4	3.2	3.6	6.4	10.5	6.1	6.3
2014	4.8	4.1	7.1	8.6	7.7	3.4	5.5	5.2	4.7	6.5	3.2	3.3	5.0
2015	3.5	5.1	10.5	12.1	13.1	8.9	9.0	23.0	3.9	13.7	4.6	8.6	9.0
2016	12.7	10.9	7.5	7.7	15.8	12.3	7.8	6.6	7.0	0.9	4.7	4.6	7.6

Tabla A-3. 7 Monitoreo de NO<sub>2</sub> en el punto FP-03

Año	Concentración (Mensual)												Mediana Anual
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
<b>2011</b>								14.4	15.3	3.2	14.3	22.9	14.4
<b>2012</b>	7.5	9.1	11.9	7.5	19.2	13.2	10.0	10.9	16.1	5.0	7.8	10.0	10.0
<b>2013</b>	8.4	19.3	2.6	11.9	8.7	11.9	11.5	10.3	11.1	5.0	3.6	7.6	9.5
<b>2014</b>	3.9	3.8	11.4	11.4	5.8	3.4	13.1	2.0	7.8	8.5	5.9	4.9	5.9
<b>2015</b>	4.4	1.4	17.5	6.5	10.7	13.8	8.8	24.0	13.2	17.9	2.0	11.7	11.2
<b>2016</b>	8.0	10.2	7.6	11.7	8.9	6.2	7.6	3.8	11.6	6.8	11.3	8.6	8.3

Tabla A-3. 8 Monitoreo de NO<sub>2</sub> en el punto FP-04.

Año	Concentración (Trimestral)				Mediana Anual
	I	II	III	IV	
<b>2012</b>		22.2	9.7	4.6	9.7
<b>2013</b>	3.3	5.2	11.2	3.6	4.4
<b>2014</b>	4.5	5.9	8.1	4.1	5.2
<b>2015</b>	4.3	17.4	8.6	13.8	11.2
<b>2016</b>	6.8	16.2	19.3	14.5	15.3

Tabla A-3. 9 Monitoreo de NO<sub>2</sub> en el punto TC-01.

Año	Concentración (Trimestral)				Mediana Anual
	I	II	III	IV	
<b>2012</b>		22.6	7.1	5.7	7.1
<b>2013</b>	4.5	7.8	4.5	4.2	4.5
<b>2014</b>	4.1	4.5	4.5	4.5	4.5
<b>2015</b>	4.2	17.1	18.1	21.0	17.6
<b>2016</b>	7.4	17.1	21.5	15.8	16.4

Tabla A-3. 10 Monitoreo de NO<sub>2</sub> en el punto TC-02.

## ANEXO A-4: Monitoreo de concentraciones de CO.

Año	Concentración (Trimestral)				Mediana Anual
	I	II	III	IV	
2009	10546.8	130.4	3738.9	13312.4	7142.9
2010	5160.7	8972.6	6966.4	9166.9	7969.5
2011	626.1	1312.6	9837.4	8436.9	4874.8
2012	10991.8	10646.4	6247.7	13526.7	10819.1
2013	14855.7	2905.5	789.3	2189.5	2547.5
2014	11911.3	79.3	241.5	337.5	289.5
2015	73.9	57.3	159.2	57.3	65.6
2016	57.3	300.0	300.0	300.0	300.0

Tabla A-4. 1 Monitoreo de CO en el punto CH-01.

Año	Concentración (Trimestral)				Mediana Anual
	I	II	III	IV	
2009	10891.1	138.5	3027.3	5567.3	4297.3
2010	4946.4	5093.9	5596.6	12556.3	5345.3
2011	5410.5	1425.0	8102.0	9179.9	6756.3
2012	3813.2	11563.3	11595.7	11782.6	11579.5
2013	7739.2	3435.5	136.7	4677.5	4056.5
2014	3238.0	62.5	75.2	172.3	123.8
2015	245.2	57.3	85.4	57.3	71.3
2016	57.3	300.0	300.0	300.0	300.0

Tabla A-4. 2 Monitoreo de CO en el punto CH-02.

Año	Concentración (Trimestral)				Mediana Anual
	I	II	III	IV	
2009	1485.0	802.8	571.2	1346.8	1074.8
2010	8423.0	639.7	411.3	79.7	525.5
2011	67.2	66.7	66.9	73.9	67.0
2012	42.9	342.7	571.2	447.3	395.0
2013	154.8	464.6	131.0	382.1	268.5
2014	240.2	269.8	109.4	197.5	218.9
2015	57.3	57.3	371.3	57.3	57.3
2016	836.1	57.3	556.7	57.3	307.0

Tabla A-4. 3 Monitoreo de CO en el punto CH-01.



Año	Concentración (Trimestral)				Mediana Anual
	I	II	III	IV	
2009	1714.0	1309.0	1028.2	1048.6	1178.8
2010	1625.0	342.7	122.7	72.4	232.7
2011	72.3	74.5	76.2	80.0	75.4
2012	457.0	457.0	412.3	393.6	434.6
2013	115.4	471.4		236.7	236.7
2014	245.3	429.8	109.8	776.7	337.5
2015	57.3	57.3	332.1	60.6	58.9
2016	157.3	57.3	57.3	57.3	57.3

Tabla A-4. 4 Monitoreo de CO en el punto KA-02.

Año	Concentración (Mensual)												Mediana Anual
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
2011								345	229	535	230	575	345
2012	460	288	245	1150	1257	343	1495	805	1725	3427	616	1530	978
2013	1228	1113	1035	1259	916	802	916	802	916	3427	2062	1262	1074
2014	923	917	809	351	233	350	353	354	118	234	234	225	351
2015	68	534	132	338	357	157	113	407	191	349	113	301	246
2016	666	344	265	443	481	264	182	583	97	350	157	176	304

Tabla A-4. 5 Monitoreo de CO en el punto FP-01.

Año	Concentración (Mensual)												Mediana Anual
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
2011								230	229	230	345	22	230
2012	575	299	460	1265	1142	2056	1495	115	1380	3541	3758	1403	1323
2013	1001	1148	1380	1831	1030	916	1145	1260	1374	3541	573	787	1146
2014	573	573	810	819	465	584	706	709	707	705	584	307	644
2015	202	121	483	207	416	217	504	231	191	580	226	329	229
2016	239	395	1099	382	489	491	153	371	182	375	387	521	384

Tabla A-4. 6 Monitoreo de CO en el punto FP-02.

Año	Concentración (Mensual)												Mediana Anual
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
2011								23	457	345	345	23	345
2012	575	242	2185	1265	1371	229	1725	460	2185	7083	3159	1702	1536
2013	1420	1139	1610	1259	1031	916	1031	802	1145	7083	4354	811	1142
2014	688	5620	576	233	815	350	235	589	235	235	350	426	388
2015	275	110	241	232	190	558	310	919	230	97	504	356	258
2016	178	1472	3207	528	268	524	1153	759	375	657	429	563	545

Tabla A-4. 7 Monitoreo de CO en el punto FP-03.

Año	Concentración (Mensual)												Mediana
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
<b>2011</b>								230	114	345	345	345	345
<b>2012</b>	460	288	1955	1840	1485	2628	2415	1035	2415	4798	2569	1702	1898
<b>2013</b>	2164	1078	1840	1717	1031	1031	1260	1374	1603	4798	5615	804	1489
<b>2014</b>	4139	1956	922	467	233	816	235	590	236	117	466	422	466
<b>2015</b>	182	260	232	127	271	234	300	871	288	106	670	504	266
<b>2016</b>	270	899	3214	686	1140	458	914	680	898	675	1118	425	792

**Tabla A-4. 8** Monitoreo de CO en el punto FP-04.