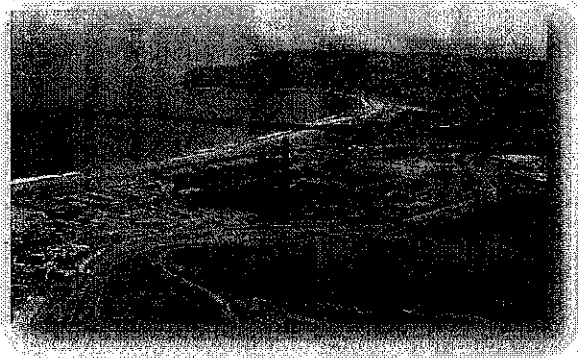


INFORME FINAL

"EVALUACIÓN DE MEDIDAS COSTO EFECTIVAS PARA REVISAR Y REFORMULAR EL PLAN DE VENTANAS"



ELABORADO POR

GEOAIRE AMBIENTAL LIMITADA

PARA

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

16 de Noviembre de 2015

Nº Proyecto	Elaboración		Revisión		Versión	
G01-15	ESM	04-11-15	PSH	06-11-15	V	1

ESTUDIO DESARROLLADO POR:

Dr. Ing. Pedro Sanhueza H.
Dr. Jorge Cerda T.
Mónica Torreblanca V.
Evelyn Salazar M.
Carla Díaz M.
Alejandro Zepeda

Jefe de Proyecto
Gestión Territorial
Modelación Calidad del aire
Estimación de emisiones atmosféricas
Meteorología y Calidad del Aire
Tecnologías de la Información

CONTRAPARTE TÉCNICA:

Carmen Gloria Contreras
Siomara Gómez
Priscilla Ulloa

Departamento de Normas del MMA
SEREMI del Medio Ambiente Valparaíso
Departamento de Normas MMA

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN EJECUTIVO.....	4
1 INTRODUCCIÓN	7
1.1 OBJETIVOS	8
2 ÁREA DE ESTUDIO.....	9
3 ANÁLISIS DE LA METEOROLOGÍA DE LA ZONA	11
3.1 ANÁLISIS DE VARIABLES METEOROLÓGICAS MEDIDAS	11
3.2 MODELACIÓN METEOROLÓGICA	17
3.2.1 ANÁLISIS DE LA MODELACIÓN METEOROLÓGICA	20
o Velocidad del Viento	20
o Dirección del Viento.....	22
o Temperatura	24
o Humedad Relativa	25
Estadígrafos de bondad de ajuste	28
3.2.2 COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LA METEOROLOGÍA DE LA ZONA..	30
4 ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE	37
5 INVENTARIO DE EMISIONES CASO BASE	41
5.1 FUENTES PUNTUALES	41
5.1.1 Principales Fuentes Puntuales emisoras de MP2,5 y sus precursores.	45
5.1.2 Aporte a las Emisiones de las Principales Fuentes Puntuales	50
5.2 FUENTES FUGITIVAS.....	53
5.2.1 Emisión en áreas urbanas (residenciales y comerciales)	54
5.2.2 Emisión por transporte	56
5.2.3 Emisión eólica por acopios y otras áreas	57
5.2.4 Emisión por plantas de áridos.....	60
5.3 RESUMEN INVENTARIO DE EMISIONES	62
6. MODELACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE	63
6.1 DESCRIPCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL MODELO UTILIZADO	63
6.2 DOMINIO DE MODELACION	65
6.3 MODELACIÓN DE ÁREAS DE AFECTACIÓN DE ACOPIOS Y GRANDES FUENTES EN BASE AL ANÁLISIS DE TRAYECTORIAS DE MASAS DE AIRE	66
6.3.1 Áreas de acopio de material de AES GENER.....	67
6.3.2 Áreas de acopio de material de Fundación CODELCO.....	73
6.3.3 Áreas de acopio de material del Puerto Ventanas y Catamutún	78
6.3.4 Análisis integrado de la afectación de las áreas de acopio de material, en las estaciones de monitoreo de calidad de aire de La Greda y Ventanas	84
6.4 RESULTADOS DE LA MODELACION DEL CASO BASE	86
7. MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES	92
7.1 ANTECEDENTES PARA DEFINIR MEDIDAS	92
7.2 MEDIDAS DE REDUCCION DE EMISIONES	96
7.3 POTENCIAL DE REDUCCION DE EMISIONES DE LAS MEDIDAS	98
7.4 MODELACIÓN DE ESCENARIOS CON MEDIDAS.....	102
8. EVALUACIÓN DE RIESGO EN SALUD	110
8.1 ESTIMACIÓN DE POBLACIÓN SENSIBLE EXPUESTA	113
8.2 ANÁLISIS INTEGRADO DE LA POBLACIÓN SENSIBLE Y EL RRR.....	116
9 ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LAS MEDIDAS DEL PLAN.....	119
9.1 MEDIDAS APLICABLES A AES GENER	119
o METODOLOGÍA Y SUPUESTOS DE ESTIMACIÓN DE COSTOS	120
9.2 MEDIDAS APLICABLES A CODELCO (FUNDICIÓN VENTANAS).....	122
9.3 MEDIDAS APLICABLES A ENAP REFINERÍAS	124



o	METODOLOGÍA Y SUPUESTOS DE ESTIMACIÓN DE COSTOS	125
o	METODOLOGÍA Y SUPUESTOS DE ESTIMACIÓN DE COSTOS	127
o	METODOLOGÍA Y SUPUESTOS DE ESTIMACIÓN DE COSTOS	128
9.4	MEDIDAS APLICABLES A LOS ACOPIOS	129
9.5	RESUMEN DE COSTOS DE MEDIDAS APLICADAS	131
10.	CRONOGRAMA DE ENTRADA EN VIGENCIA DEL PLAN	134
11.	CONCLUSIONES	135
12.	REFERENCIAS	139
13.	ANEXOS	141



RESUMEN EJECUTIVO

1802

Las Comunas de Puchuncaví, Quintero y Concón, han sido declaradas como zona saturada por material particulado respirable fino MP2,5 en su métrica anual, latente por MP2,5 diario, y latente por MP10 anual. Por lo anterior, se requiere de una serie de estudios que permitan generar los antecedentes para formular el Plan de Descontaminación y Prevención Atmosférico para dichas comunas.

Este Informe, corresponde al estudio denominado "*Evaluación de Medidas Costo Efectivas para Revisar y Reformular el Plan de Ventanas*", y tiene por objetivo asignar responsabilidades a las fuentes emisoras del área de estudio, en relación a las concentraciones de MP2.5 en la zona de interés (Puchuncaví, Quintero, Concón), y de esta forma evaluar medidas para cumplir con la norma de calidad del aire para éste contaminante. Como el MP2,5 tiene origen primario y secundario, las medidas de reducción de emisiones contemplan también el control de gases precursores.

De las condiciones de dispersión atmosférica y la calidad del aire

El área de estudio contiene una complejidad desde el punto de vista meteorológico, debido a que presenta una zona costera y valle interior. Esta condición de interface tierra-agua es la que genera la Capa Límite Interna Termal (CLIT), produciendo una transición de atmósferas estables sobre la zona marina e inestables en el territorio. Al ubicarse fuentes industriales emisoras de contaminantes a la atmósfera en la zona costera, en conjunto con la CLIT, se produce el fenómeno denominado "fumigación costera". Dado que la mayor parte de la población de las Comunas, se ubica justamente en la zona Costera, se espera que las emisiones de las fuentes generen en efecto adverso en aquellas zonas donde existan emisiones de chimeneas, principalmente en Puchuncaví con la Termoeléctrica y la Fundición de cobre, y en Concón con las emisiones de las chimeneas del proceso cracking y las URAs de ENAP Aconcagua.

La estación Concón presenta niveles de saturación por media anual y latencia por norma diaria para el MP2,5. Las otras comunas presentan niveles de latencia por ambas métricas del MP2,5. Para el SO₂ y NO₂ en todas las comunas se cumplen las normas de calidad del aire para estos contaminantes. No obstante lo anterior, es de interés seguir monitoreando estos gases dado que existen fuentes industriales que los emiten, y porque además, ambos son gases precursores de material particulado fino MP2,5 el cual está en latencia y saturación en la zona.

Del Inventario de Emisiones

La información considerada para la elaboración del inventario de emisiones es una combinación de las emisiones reportadas por las empresas del área de estudio, en respuesta al D.S N° 138 para el año 2012, e informes de emisiones de los años 2013 para las empresas AES GENER S.A., Fundición Ventanas de CODELCO, y ENAP Refinerías S.A. También se consideró el balance de masa de SO₂ correspondiente a la Fundición Ventanas.

Las emisiones de fuentes fugitivas se extrajeron del Inventario de Emisiones regionales del año 2008 y de un trabajo en terreno.

De esta forma, el estudio consideró 2.021 ton/año de MP2,5, 25.943 ton/año de SO₂ y 11.887 ton/año de NO_x.

ENAP es la mayor fuente emisora de MP2,5 (56%), seguida por AES GENER y las otras fuentes puntuales. En términos de las emisiones de SO₂, la Fundición Ventanas de CODELCO es la responsable del 53% seguida por AES GENER con un 40%. Para el NO_x, AES GENER emite el 72% y ENAP el 10% de la emisión total.

Del análisis de trayectorias de masa de aire

Se modelaron las trayectorias que siguen las partículas que salen de distintos puntos de emisión de acopio de materiales en Ventanas, y de las chimeneas de ENAP, y que son transportadas por las masas de aire. Con esto fue posible obtener el área potencial de afectación de estas fuentes emisoras.

Las emisiones de acopio de material de la empresa AES GENER, se obtuvo que en el período de Septiembre hasta Marzo, las emisiones llegarían en al menos una hora al día, a la localidad de La Greda.

Respecto al área de acopio de la Fundición CODELCO, aun cuando las áreas de afectación varían temporalmente, no se aprecia una afectación de al menos una hora al día en las áreas pobladas aledañas.

El material de acopio del Puerto de Ventanas, a lo largo de casi todo el año (siendo la excepción el mes de Abril), afectaría con sus emisiones al área sur de la localidad de La Greda.

Al considerar las 37 chimeneas de ENAP analizadas, el efecto anual muestra una probabilidad de afectación de a lo menos una hora en una amplia zona del sector Noreste de Concón. Dicha expansión en dirección Noroeste involucra gran parte del área poblada del sector norte de Concón, asociada principalmente a zonas medias y bajas de la caja del río Aconcagua. En las zonas altas, la probabilidad de afectación es menor, y no experimenta la variabilidad estacional antes mencionada. En el mes de Octubre comienza la contracción en sentido Noroeste, y la expansión en dirección Sureste.

De la modelación de calidad del aire

Con las emisiones de MP_{2,5} y de sus gases precursores (SO₂ y NO_x) considerados en este estudio, se corrió el modelo de transporte y dispersión de contaminantes atmosféricos aprobado por la US-EPA y autoridad ambiental chilena, denominado CALPUFF para estimar las concentraciones de material particulado fino primario (MP_{2,5}) y secundario (SO₂ y NO_x).

En las estaciones monitoras de La Greda, Los Maitenes, Ventanas, y Sur, la Fundición de Cobre de Ventanas aporta con 3,8 µg/m³, 3,2 µg/m³, 4,7 µg/m³, y 2,5 µg/m³, respectivamente a la media anual de MP_{2,5}. En la estación Valle Alegre las emisiones de AES-GENER contribuyen en 1,5 µg/m³. En las estaciones Puchuncaví y Quintero la Fundición de Cobre de Ventanas aporta con 2 µg/m³. Por su parte, la refinera de ENAP contribuye con 16,9 µg/m³, 4,9 µg/m³, 9 µg/m³ en las estaciones de Concón, Colmo, y Las Gaviotas, respectivamente.

De las Medidas de Reducción de Emisiones

Se evaluaron siete medidas de control de emisión de material particulado y gases precursores de MP_{2,5}, asociadas a las principales fuentes del área. Las medidas se describen a continuación:

ID	Empresa	Medida
M1	AES GENER	DESULFURIZADOR SEMI HUMEDO: Aumentar la eficiencia de remoción de SO ₂ por sobre 90% (200 mg/m ³ N)
M2	Fundición Ventanas	HORNO REFINO: Instalación de tecnología de control con eficiencia del 98% o tecnología de proceso con equivalente eficiencia (50 mg/m ³ N)
M3		PLANTA DE ÁCIDO: Aumentar la eficiencia de remoción de SO ₂ por sobre un 99% (200 ppm)
M4	ENAP	CRACKING CATALÍTICO: Instalación de tecnología de control con eficiencia del 99% o tecnología de proceso con equivalente eficiencia
M5		HORNOS Y CALDERAS: Cambio de Quemadores convencionales a quemadores Low NO _x o tecnología primaria de control con eficiencia equivalente (~ 50%)
M6		Cumplir con exigencia contenida en RCA sobre cambio de la tecnología de la URA 1 a una tecnología con un eficiencia de remoción de SO ₂ superior o igual a 99%
M7	ACOPIOS	Encapsulamiento de las zonas de acopio o técnica con eficiencia equivalente de un 99%

El potencial de reducción de las emisiones al considerar todas las medidas planteadas en este estudio, se traduce en una reducción de 909 ton/año de MP_{2,5}, 4.861 ton/año de SO₂ y 320 ton/año de NO_x.

Para AES GENER, la medida M1 significa una reducción de las emisiones de SO₂ en un 47%, respecto a los valores que se obtendrían una vez implementada la norma de termoeléctrica.

Al considerar el cumplimiento de la Norma para la Fundición de Cobre, y al implementar la medidas M2 y M3, las emisiones se reducen en un 34% para el MP_{2,5} y en un 9% para el SO₂ para la fundición Ventanas de CODELCO.

Para la Refinería de ENAP, las medidas M4, M5, y M6, reducen las emisiones de MP_{2,5} en un 76%, las de SO₂ en un 0,5%, y las emisiones de NO_x en un 27% respecto a los valores del Caso Base.

Respecto a los acopios, la implementación de un domo implica un control prácticamente total de las emisiones (99% de eficiencia).

De la Evaluación del Riesgo en Salud

Al implementar las medidas de reducción de emisiones, se logra también reducir el riesgo relativo sobre la salud de la población. En el área de estudio se obtendría una reducción del riesgo relativo de un 34%. Esto varía espacialmente, encontrándose que en La Greda y Ventanas se reduciría el riesgo en un 50%.

La menor reducción del riesgo se localiza en el área urbana de Concón, y parte en el centro urbano de Quintero. Las mayores reducciones de riesgo relativo se dan en los distritos de Maitenes y Campiche (Puchuncaví), y en el distrito Refinería de Concón. Los valores de RRR van entre 5% y 65%.

Evaluación de los Costos de las Medidas

Para cada medida se estimaron los valores presentes de la inversión (INVA), los costos totales (VAC), el costo anual equivalente (CAE), y el costo unitario equivalente (CUE), en un horizonte hasta el año 2030 y con una tasa de descuento de 6% anual.

Respecto a las medidas propuestas para mitigar emisiones de SO₂, el aumento de eficiencia en los desulfurizadores tipo semi-húmedo de AES GENER no requiere incurrir en costos de inversión, sino más bien implica un aumento de los costos operacionales para alcanzar los niveles de eficiencia necesarios. El CUE de esta medida es de 276 USD/ton abatida SO₂.

Para el caso de mitigación de emisiones de NO_x, el recambio de los 22 quemadores convencionales a quemadores low-NO_x con 50% de eficiencia, por parte de ENAP Refinerías, implica un CAE de 1.971.974 USD durante el periodo analizado (hasta el año 2030) y con la inversión ejecutándose en 2018. De esta forma el CUE para esta medida es de 9.293 USD/ ton abatida NO_x.

El análisis de las medidas de mitigación de emisiones de material particulado fino, permitió estimar que para ENAP Refinerías, el CAE de la implementación de un Precipitador Electrostático de un 99% de eficiencia de remoción en el Cracking Catalítico es de 1.067.480 USD y el CUE de 1.240 USD/ ton abatida MP. En tanto, para CODELCO, el CAE de la implementación de un sistema de control de material particulado, con un 90% de eficiencia, en la unidad Horno de Refino de la Fundición Ventanas, se traduce en un CAE que estaría en un rango entre 848.729 y 1.067.480 USD y un CUE entre 21.541 y 27.093 USD/ ton abatida MP.

Respecto a la propuesta de encapsulamiento de los acopios, específicamente a través de domos (tipo Binshell o uno de tipo geodésico, formado por tubos de acero y una cubierta de acero galvanizado), implica altos niveles de inversión (INVA entre 197.334 y 323.952 MUS\$) y un CAE total entre 19.337 y 32.056 MUS\$. Esto se traduce en un CUE máximo de 764.176 USD/ton abatida MP10 para AES Gener y de 614.611 USD/ton abatida MP10 para CODELCO Fundición Ventanas. En tanto, respecto a las emisiones de MP_{2,5} el valor más alto estimado de CUE es de 5.092.045 USD/ton abatida MP_{2,5} para AES GENER y de 4.096.792 USD/ton abatida MP_{2,5} para CODELCO Fundición Ventanas.

Considerando todas las medidas propuestas, el CAE total estaría en el rango entre 27.971.143 y 37.373.360 USD. Adicionalmente, sin considerar la propuesta de encapsulamiento de los acopios, el CAE total se distribuye en un 76% para ENAP Refinerías, 12% para AES Gener y un 12% para CODELCO.

Del Cronograma de Implementación de Medidas

Se estima que un periodo de 3 a 5 años, sería suficiente para permitir que todas las medidas estén implementadas.



1 INTRODUCCIÓN

EL D.S. Nº 252 de 1992, del Ministerio de Minería, que fue publicado en el Diario Oficial el 02 de Marzo del 1993, estableció el Plan de Descontaminación Atmosférica para el complejo industrial Las Ventanas, el cual fue propuesto por la Fundación y Refinería Las Ventanas, de la Empresa Nacional de Minería, ENAMI y por la Planta Termoeléctrica de Chilgener S.A., el cual permitió reducir significativamente las emisiones de anhídrido sulfuroso y material particulado.

El Plan de Ventanas contempla las áreas jurisdiccionales de las comunas de Puchuncaví y Quintero. Dicho Plan no ha sido revisado ni actualizado desde el año 1993, aun cuando en la zona se ha incrementado el sector industrial, y por tanto, las emisiones de contaminantes.

De acuerdo a los monitoreos de calidad del aire existentes en dichas comunas y zonas aledañas, se sabe que en Concón las mediciones de MP2,5 dan cuenta de una saturación por media anual. De esta forma, el área para fines de este estudio, comprende las comunas de Puchuncaví, Quintero, y Concón.

Por lo anterior, se requiere contar con antecedentes que permitan identificar las responsabilidades en las emisiones de material particulado fino respirable (MP2,5), tanto de origen primario, como la emisión de aquellos precursores de concentraciones de MP2,5 en la atmósfera. Además se requiere evaluar un conjunto de medidas de reducción de emisiones de material particulado y sus precursores, para las distintas fuentes emisoras (existentes y nuevas), en términos de su efectividad y que sean factibles de incorporar en la reformulación del Plan de Descontaminación de Ventanas.

Para esto fue necesario procesar los inventarios de emisiones existentes en la zona, modelar dichas emisiones, y evaluar varias alternativas (medidas de control de emisiones), y luego realizar una evaluación costo efectiva para priorizar dichas medidas, de manera que puedan ser incorporadas a la reformulación de Plan de Descontaminación.

Es así como este Informe, contiene el análisis de la meteorología, de la calidad del aire, de las emisiones de MP2,5 y sus precursores, así como también los resultados de la modelación de calidad del aire, en las concentraciones, para la situación basal y medidas posibles de ser implementadas. Se entrega una estimación de los costos y se realiza un análisis de riesgo en la salud de la población asociado a la implementación de las medidas de reducción de emisiones.



1.1 OBJETIVOS

El objetivo principal es contar con antecedentes que permitan asignar responsabilidades a las fuentes emisoras del área de estudio, en relación a las concentraciones de MP2,5 en la zona de interés (Puchuncaví, Quintero, Concón), y de esta forma evaluar medidas para cumplir con la norma de calidad del aire para éste contaminante.

Los objetivos específicos del estudio son los siguientes:

- Contar con una identificación y descripción de las fuentes emisoras localizadas en el área específica de Concón, Quintero, y Puchuncaví.
- Conocer las responsabilidades de las fuentes emisoras, en las emisiones y concentraciones de MP2,5, tanto en su origen primario como de formación secundaria (BAU).
- Contar con una evaluación costo-efectiva para una serie de medidas.
- Determinar la relación emisión-calidad del aire para MP2,5, y el peso relativo de las fuentes emisoras según el escenario con las medidas propuestas.
 - Identificar y evaluar la efectividad de las medidas
 - Estimar el costo de inversión a nivel de perfil de cada medida
 - Estimar relación costo-efectividad
 - Propuesta de cronograma de implementación de las medidas propuestas
- Contar con una distribución espacial de las concentraciones de MP2,5 y sus precursores (SO₂, NO_x).
- Difundir los resultados finales del estudio.

1804

2 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende las comunas de Puchuncaví, Quintero, y Concón, ubicadas en la provincia de Valparaíso, en la región de Valparaíso. La población total, proyectada al año 2013 es de 89.912 habitantes para estas tres comunas. La Figura 2.1 muestra el área de estudio en el contexto regional.

De acuerdo a la estructura etárea de las tres comunas, el 17% de la población son menores de 4 años ó mayores de 65 años, que es la población más sensible desde el punto de vista de afecciones respiratorias.

Según proyección del INE al 2013, basada en Censo 2002, la comuna de Puchuncaví posee una superficie de 300 Km² y en ella viven 17.046 habitantes (19% del total del área de estudio). La comuna de Quintero posee una superficie de 148 km² y una población de 26.742 habitantes (30% del total). La comuna de Concón posee una superficie de 76 km² y una población de 46.124 habitantes (51%).

La Comuna de Concón es la que posee la mayor densidad poblacional, con 607 habitantes/km², y Puchuncaví la menor densidad poblacional con 57 habitantes/km².

1805

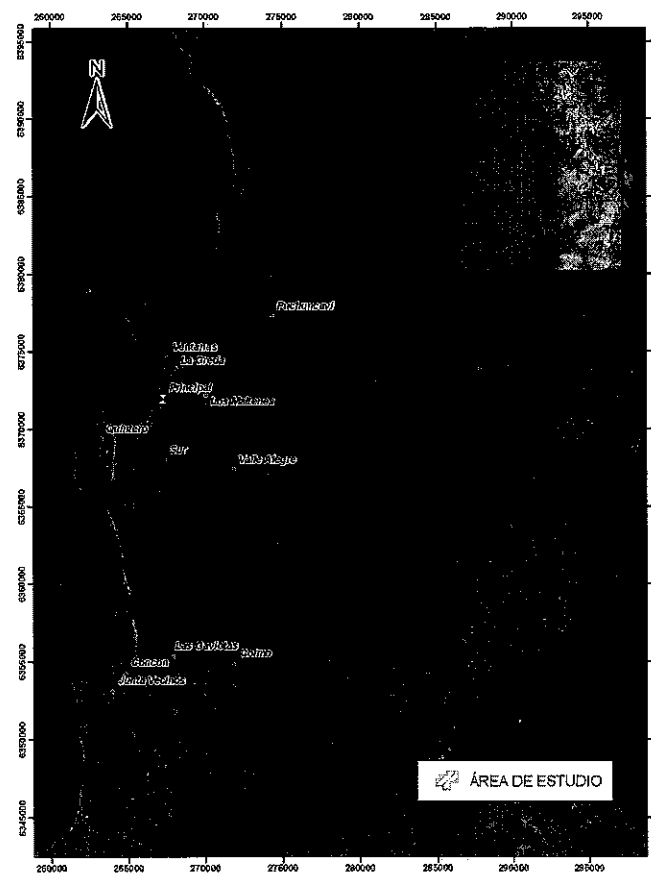


Figura 2.1: Área de estudio

3 ANÁLISIS DE LA METEOROLOGÍA DE LA ZONA

En este Capítulo se analizan las condiciones meteorológicas del área y su relación con la capacidad de dispersión de contaminantes, así como el potencial que existe para la formación de contaminantes secundarios en la zona. Este análisis se realiza en base a la información integrada de las variables meteorológicas registradas en las estaciones monitoras ubicadas en la zona, y en base a una modelación meteorológica que da cuenta del comportamiento en toda área. El Anexo 1 entrega un detalle del comportamiento de las variables meteorológicas para cada comuna contenida en el área de estudio.

Las variables relevantes para el transporte y dispersión atmosférica y que son medidas en las estaciones monitoras corresponden a la velocidad y dirección del viento, radiación solar, humedad relativa, y temperatura. La modelación meteorológica entrega además las variables de altura de mezcla y campos de viento que ayudan a entender los procesos que gobiernan el transporte y reacciones fotoquímicas que ocurren en la atmósfera.

3.1 ANÁLISIS DE VARIABLES METEOROLÓGICAS MEDIDAS

En el área de estudio existen 12 estaciones de monitoreo de variables meteorológicas, cuya localización se muestra en la Figura 3.1. La Tabla III.1 entrega las coordenadas de las estaciones así como la empresa propietaria y la comuna a la que pertenece.

La estación Principal ubicada en Puchuncaví, y la estación Concón, ubicada en Concón, registran todas las variables meteorológicas (velocidad y dirección del viento, radiación solar, humedad relativa, y temperatura). Las otras estaciones registran sólo velocidad y dirección del viento.

Se analizó el año meteorológico 2013, debido a que corresponde al año en que se dispone de emisiones de MP_{2,5} y sus precursores, y es por tanto el Caso Base de este estudio.

El área de estudio contiene una complejidad desde el punto de vista meteorológico, debido a que presenta una zona costera y valle interior. Esta condición de interface tierra-agua es la que genera la Capa Límite Interna Termal (CLIT), produciendo una transición de atmósferas estables sobre la zona marina e inestables en el territorio. Al ubicarse fuentes industriales emisoras de contaminantes a la atmósfera en la zona costera, en conjunto con la CLIT, se produce el fenómeno denominado "fumigación¹ costera". Dado que la mayor parte de la población de las comunas, se ubica justamente en la zona Costera, se espera que se produzca el fenómeno de fumigación costera, en aquellas zonas donde existan emisiones de chimeneas, principalmente en Puchuncaví con la Termoeléctrica y la Fundición de cobre, y en Concón con las emisiones de las chimeneas del proceso cracking de ENAP Aconcagua. Esto generaría altas concentraciones de contaminantes afectando a la salud de la población y los recursos silvoagropecuarios.

Las estaciones meteorológicas emplazadas en el área de estudio se pueden clasificar como Costeras (C) o Interiores (I), dependiendo de su posición. La Tabla III.2 contiene la clasificación y de ella se observa que 6 estaciones son Costeras y 6 de Interior.

Al analizar las velocidades del viento en las distintas comunas, se observa que en promedio, en el área existe poca variabilidad, con 2,0 m/s como promedio de las 12 estaciones con una amplitud de 0,3 m/s la mínima y 8,5 m/s la máxima. Al analizar sólo las estaciones ubicadas en la zona Costera, se observa que el promedio es de 2,2 m/s (0,4 m/s y 8,4 m/s). Las estaciones al Interior, presentan un promedio de 1,8 m/s con un rango entre 0,3 m/s y 8,5 m/s. La baja velocidad del viento promedio en la zona, permite que el particulado secundario generado, se acumule cerca de las fuentes.

¹ El CFR 40 Partes 50 y 51 contienen las referencias sobre la fumigación costera, y en el Manual Técnico 1002 del New Jersey Department of Environmental Protection Division of Air Quality, página 46 10.2 Coastal Fumigation, se indica que fuentes ubicadas a menos de 3 km de la costa deben evaluar la fumigación costera.

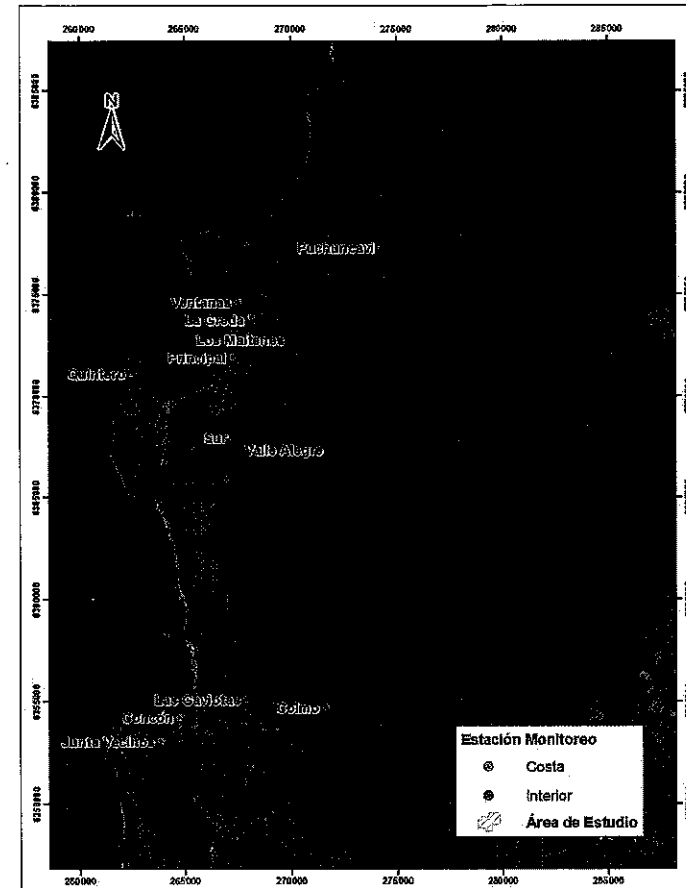


Figura 3.1: Estaciones de monitoreo

Tabla III.1: Estaciones de monitoreo de meteorología

Puchuncaví	La Greda	CODELCO División Ventanas y AES Gener	268.136	6.373.885	X	X				
	Los Maitenes	CODELCO División Ventanas y AES Gener	270.018	6.372.133	X	X				
	Principal	CODELCO División Ventanas y AES Gener	267.262	6.371.916	X	X	X	X	X	X
	Puchuncaví	CODELCO División Ventanas y AES Gener	274.32	6.377.318	X	X				
	Ventanas*	CODELCO División Ventanas y AES Gener	267.541	6.374.611	X	X				
Quintero	Quintero	Codeco División Ventanas	262.532	6.371.091	X	X				
	Sur	Codeco División Ventanas	267.293	6.367.954	X	X				
	Valle Alegre	CODELCO División Ventanas y AES Gener	271.835	6.367.385	X	X				
Concón	Colmo	ENAP	271.646	6.354.733	X	X				
	Concón	ENAP	264.737	6.354.228	X	X	X	X	X	X
	Junta Vecinos	ENAP	263.87	6.353.051	X	X				
	Las Gaviotas	ENAP	267.929	6.355.123	X	X				

*Estación Ventanas presenta registros de variables meteorológicas a partir de Mayo 2013.

Tabla III.2: Velocidad del viento

Velocidad de viento (m/s)	Junta Vecinos	C	1,7	0,2	6,7	99,7
	Concón	C	2,3	0,3	8,3	99,6
	Las Gaviotas	I	2,1	0,2	11	99,9
	Colmo	I	2,3	0,2	11,2	99,4
	Quintero	C	2,4	0,4	11	93,7
	Sur	I	2,2	0,4	11,5	90,3
	Valle Alegre	I	1,2	0,4	5,1	51,6
	Principal	C	2,4	0,4	9,5	96,0
	Ventanas	C	2,2	0,4	8,4	93,3
	La Greda	C	1,9	0,4	6,7	73,4
	Los Maitenes	I	1,4	0,4	5,9	75,9
	Puchuncaví	I	1,4	0,4	7,1	79,7

I: Estación Interior; C: Estación Costa

La Tabla III.3 resume los estadígrafos de las variables Temperatura Ambiental, Humedad Relativa, Radiación Solar, y Presión Atmosférica, registrados en las estaciones Principal y Concón, ubicadas en Puchuncaví y Concón, respectivamente. Se observa además, que ambas estaciones presentan un buen porcentaje de completitud.

La Temperatura y Radiación Solar se presentan levemente superiores en Concón respecto a Puchuncaví. Ambas variables se asocian a la capacidad de formar particulado secundario a través de reacciones fotoquímicas de sus precursores tales como los óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre, que son los principales emitidos por las termoeléctricas y fundiciones de cobre.

La Humedad Relativa interviene también en la formación de particulado secundario, cuando se genera sulfatos en fase acuosa a partir de las emisiones de dióxido de azufre. Dado que la zona presenta altos niveles de Humedad Relativa, se espera que la formación de sulfatos sea significativa, principalmente en las zonas donde ocurren las mayores emisiones de SO₂, que corresponde a Puchuncaví producto de las Termoeléctricas y a la Fundición de cobre.

1807

Tabla III.3: Variables meteorológicas estaciones completas

Estación	Variable	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor
Concón	Tº	°C	15,0	°C	3,0	%	30,3
	HR	%	81,7	W/m²	22,1	%	99,6
	RS	W/m²	200,4	W/m²	0,0	%	1126
Principal	Tº	°C	12,2	°C	-1,1	%	25,2
	HR	%	83,1	W/m²	44,9	%	95,6
	RS	W/m²	183,4	W/m²	0,0	%	1098,1
	PA	mbar	1011,3	mbar	1002,0	mbar	1023,7

C: Estación Costa; Tº: Temperatura Ambiental (°C); HR: Humedad Relativa; RS: Radiación Solar (Watts/m²); PA: Presión Atmosférica (mbar)

La dirección del viento indica hacia dónde se dirigen los contaminantes, y por tanto su análisis permite determinar aquellas zonas donde se esperarían las mayores concentraciones generadas por las emisiones de las fuentes industriales.

Nuevamente, la configuración territorial (zona costera), en conjunto con el predominio del anticiclón del Pacífico, modula el comportamiento de los vientos en la área de estudio. En primer lugar la brisa "mar-tierra" es la que domina los movimientos de masas de aire en la costa. Se espera que los vientos se dirijan hacia el territorio interior durante el período diurno, entre las horas 09:00 y 20:00 horas, y hacia el océano en el período nocturno, es decir, entre las 21:00 y 08:00 horas.

La Figura 3.2 muestra las direcciones de viento diaria-estacional (promedios horarios por mes) a 10 metros, medido en las estaciones Principal de Puchuncaví, y Concón en Concón. De ellas se observa que en todos los meses del año se verifica el movimiento de brisa mar-tierra, sin embargo en los meses de Abril a Agosto, se esperan menores horas del día en que la componente del viento se dirige hacia el territorio. La Figura 3.3 muestra las rosas de viento en cada estación, y de ella se observa la componente Oeste-Este característica de la zona.

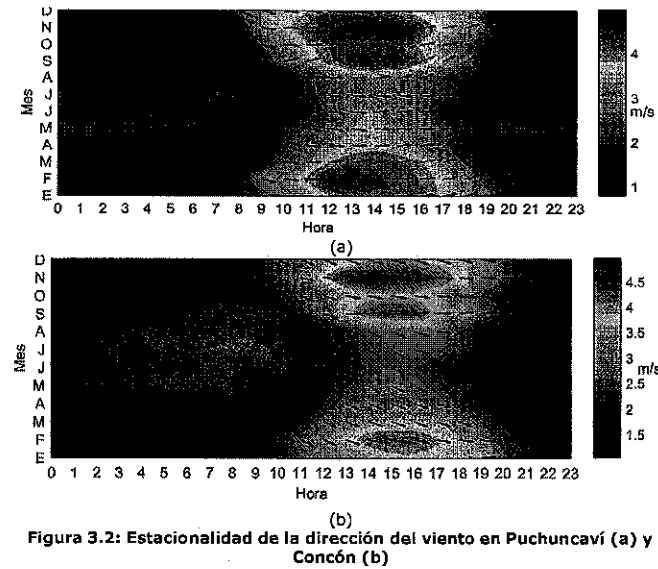


Figura 3.2: Estacionalidad de la dirección del viento en Puchuncaví (a) y Concón (b)

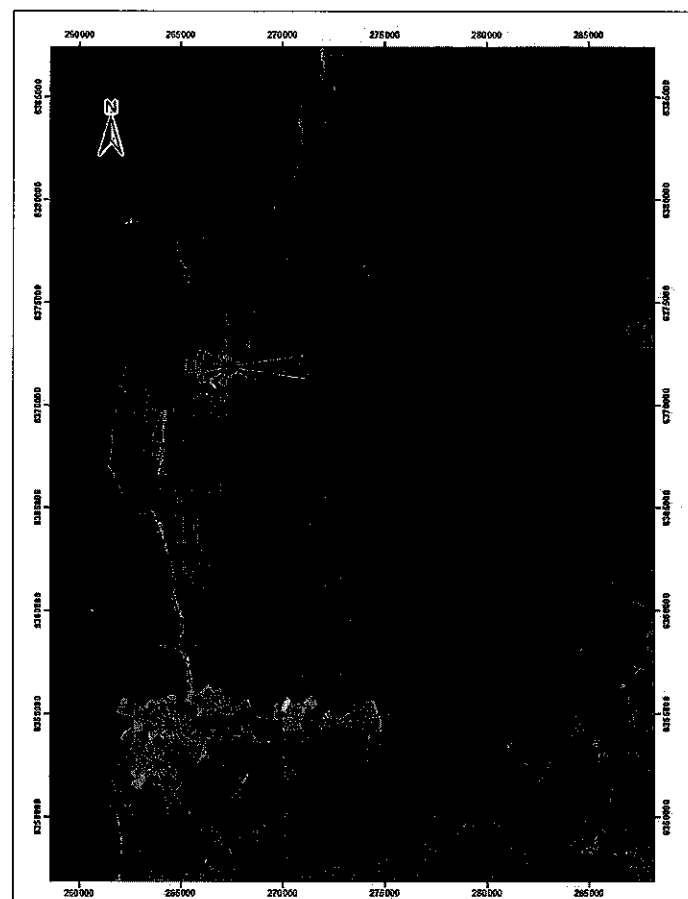


Figura 3.3: Rosas de viento en la zona

3.2 MODELACIÓN METEOROLÓGICA

Dado que las estaciones monitoras dan cuenta del comportamiento de las variables meteorológicas en el punto donde están instaladas, y lo que se desea es conocer es dicho comportamiento en toda el área de estudio, se desarrolló entonces una modelación meteorológica 3D para el año 2013 (año base de este estudio), utilizando el modelo WRF (Weather Research and Forecasting), recomendado por la autoridad ambiental chilena, y el modelo CALMET, recomendado por la USEPA.

WRF es un modelo de mesoescala, que permite generar la meteorología 3D de la zona basada en la topografía del lugar e información de reanálisis. WRF está en constante desarrollo y son varios centros de investigación a nivel mundial que aportan con actualizaciones y usos para diversos fines. El NCAR (National Center for Atmospheric Research) de Estados Unidos es el encargado de administrar, probar, y actualizar el código. CALMET, también es un modelo meteorológico que se alimenta de la topografía y usos de suelo del lugar, y de información de reanálisis y también de datos locales medidos en superficie y/o altura. En particular, CALMET permite bajar la resolución

espacial de los datos generados por el modelo de mesoescala WRF y con esto mejorar el ajuste en terrenos con topografía irregular.

El dominio de modelación meteorológica de mesoescala WRF se muestra en la Figura 3.4a, y de ella se observa que fue realizada con 4 dominios anidados, para considerar los efectos de escala mayor en la meteorología del área de interés. El área de interés se muestra en la Figura 3.4b y ella contiene las comunas de Puchuncaví, Quintero y Concón, y una superficie mayor para considerar los efectos del océano y la topografía del interior. Es así como se define una superficie de 50 X 60 kilómetros, cuyas coordenadas UTM SW son 247.438 m, 6.335.163 m, según Datum WGS- Huso19. La Figura 3.4 muestra el dominio de modelación. La resolución espacial (tamaño de la grilla) para este dominio se definió en 200 metros, aun cuando la Guía de modelación de calidad del aire de la autoridad ambiental chilena recomienda 1000 m, se definió una resolución menor para lograr un mejor ajuste de la modelación.

1809

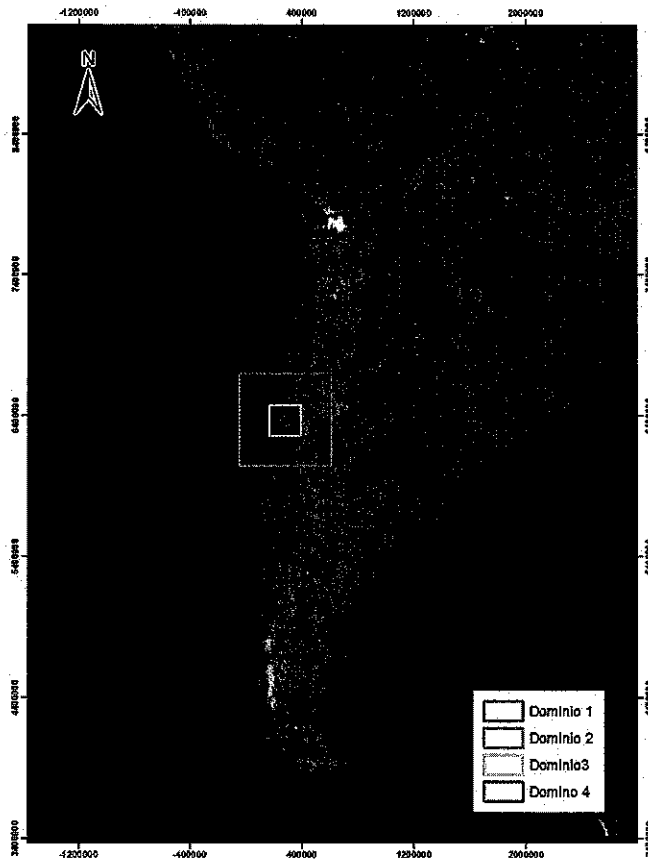


Figura 3.4a: Dominios anidados de la modelación meteorológica WRF

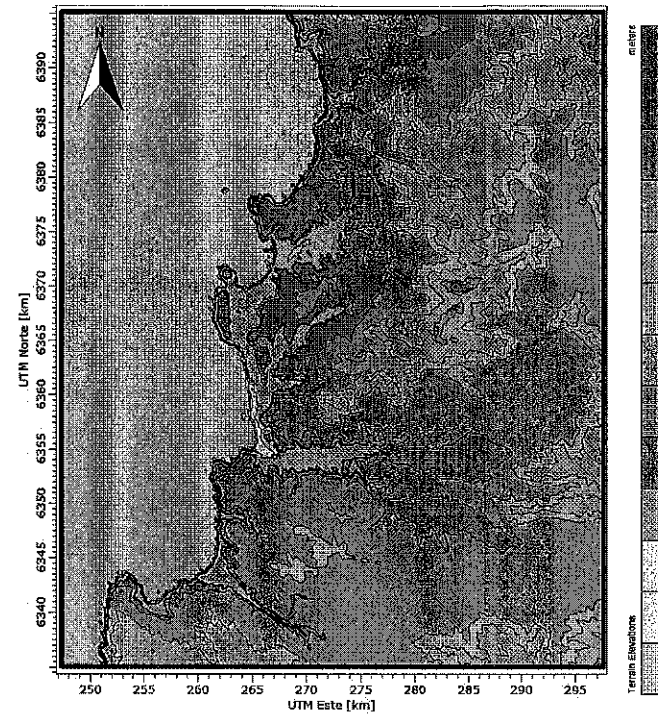


Figura 3.4b: Dominio de Modelación del área de estudio

Los resultados de esta modelación meteorológica fueron contrastados con los datos medidos en la estación Principal (estación más completa del área), a fin de evaluar su desempeño.

3.2.1 ANÁLISIS DE LA MODELACIÓN METEOROLÓGICA

La evaluación del ajuste de la modelación meteorológica se realiza desde un punto de vista gráfico y analítico. El análisis gráfico resume la serie de tiempo, los ciclos estacionales y los ciclos diarios para los datos medidos (observados) y los estimados (modelados), y para la evaluación analítica se utilizan los estadígrafos de bondad de ajuste definidos por la USEPA.

Análisis Gráfico

o Velocidad del Viento

La Figura 3.5 muestra la serie de tiempo observada y modelada para la variable velocidad del viento. De ella se observa que el modelo logra reproducir la leve estacionalidad que existe, con vientos de menor intensidad en los meses de Junio y Julio.

1810

En las Figuras 3.6 y 3.7, se muestran los ciclos diarios y estacionales, respectivamente de la velocidad del viento modelada y observada. Los ciclos diarios y estacionales (modelados y observados), presentan un buen ajuste, sin embargo, al analizar la distribución completa de los vientos modelados y observados, se encuentra que las velocidades del viento modeladas, son levemente inferior a lo observado. Los estadígrafos de la velocidad del viento observada varían de 0,4 m/s a 9,5 m/s con un promedio de 2,4 m/s, mientras que en lo modelado varían de 0,02 m/s a 9,9 m/s, con un promedio de 2,2 m/s, de esto se desprende que el promedio de velocidad observada es un 8% mayor a la modelada. Aun cuando la desviación es menor, la implicancia para la estimación de concentraciones es a generar menor dispersión atmosférica y por tanto se espera que el área de influencia de las emisiones sea menor a la real.

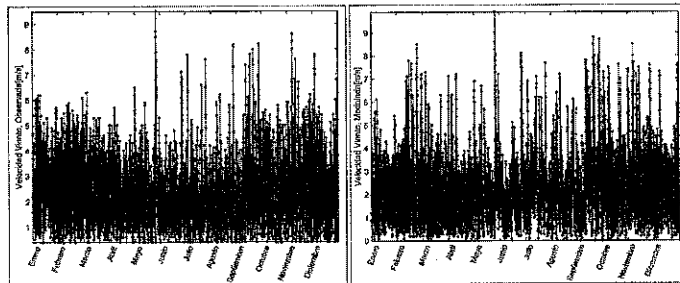


Figura 3.5: Serie de Tiempo Velocidad del Viento [m/s], observada y modelada

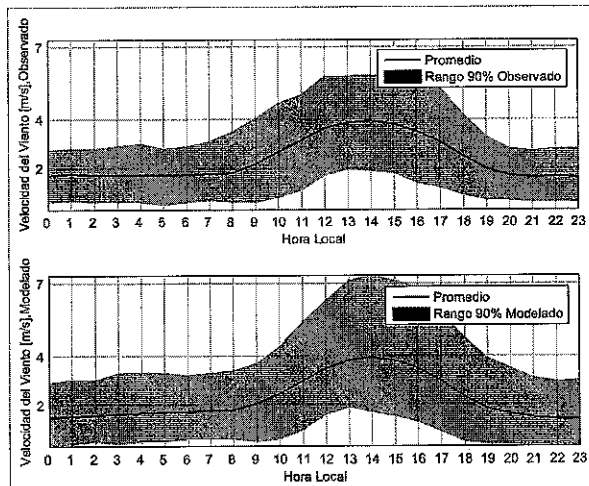


Figura 3.6: Comparación Ciclos diarios de Velocidad del Viento [m/s], observada y modelada

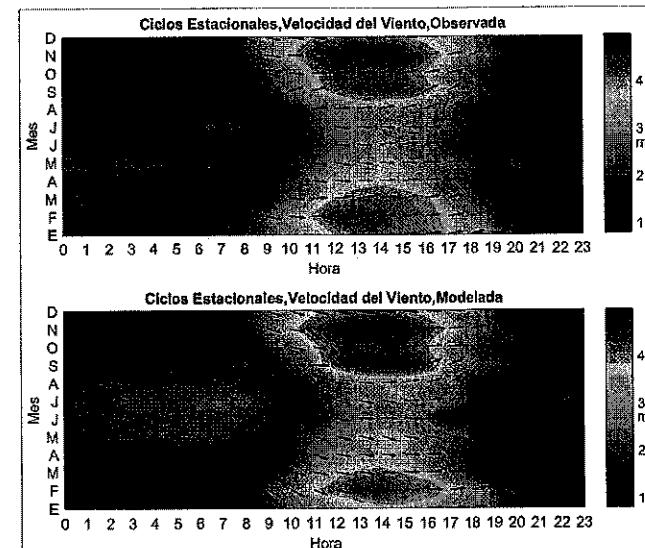


Figura 3.7: Comparación Ciclos Estacionales de Velocidad del Viento [m/s], observada y modelada

o Dirección del Viento

Tal como se observó en la Figura 3.7, la modelación logra reproducir el movimiento de masas de aire debido a la brisa Mar-Tierra, es así como durante el periodo diurno, específicamente entre las 09:00 y 20:00 horas, las direcciones de vientos predominantes son hacia el territorio mientras que en el periodo nocturno, las direcciones de vientos predominantes son hacia el mar.

La Figura 3.8 presenta los ciclos diarios de la dirección del viento para datos observados y modelados. De ella se observa que el modelo reproduce las frecuencias de direcciones de viento observadas.

La Figura 3.9 muestra la serie de tiempo de la dirección el viento, y ella da cuenta que la modelación reproduce las direcciones predominantes ente los 100° y 250°.

El lograr un buen ajuste en la dirección del viento modelada, asegura que las áreas afectadas por las emisiones de las fuentes quedan bien representadas con la modelación.

1811

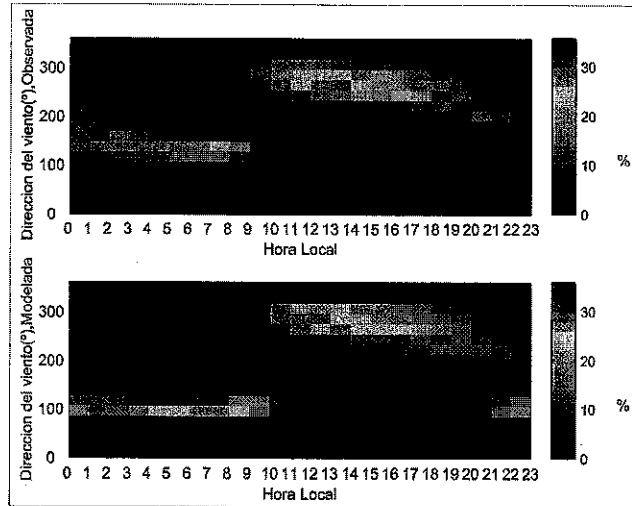


Figura 3.8: Comparación Ciclos diarios de Dirección del Viento [°], observada y modelada

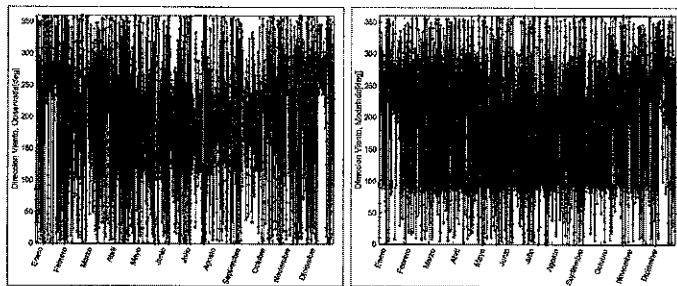


Figura 3.9: Serie de Tiempo Dirección del Viento [°], observada y modelada

1812

Temperatura

La Figura 3.10 presenta la serie de tiempo para la variable temperatura, observada y modelada. De ella se observa que la modelación logra reproducir la variabilidad estacional, sin embargo, se sobreestiman levemente las temperaturas modeladas.

Respecto al ciclo diario, en la Figura 3.11 se observa que la modelación reproduce las bajas temperaturas nocturnas y el ascenso a partir de las 7:00 AM hasta las 15:00 horas para luego volver a descender.

La Figura 3.12 muestra que los ciclos estacionales de la temperatura observada presentan mayores valores en los meses de Diciembre, Enero y Febrero, mientras que la temperatura modelada presenta mayores temperaturas desde el mes de Noviembre hasta el mes de Febrero.

La temperatura ambiental influye en el desarrollo de la capa de mezcla, por tanto, al haber una leve sobreestimación en la modelación, se espera que las concentraciones modeladas estén subestimadas, toda vez que existiría un mayor volumen donde se mezclan los contaminantes.

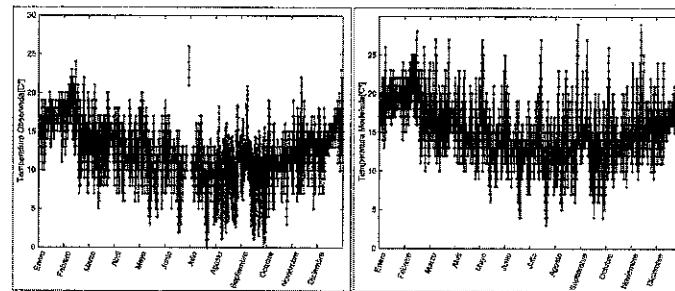


Figura 3.10: Serie de Tiempo Temperatura [°C], observada y modelada

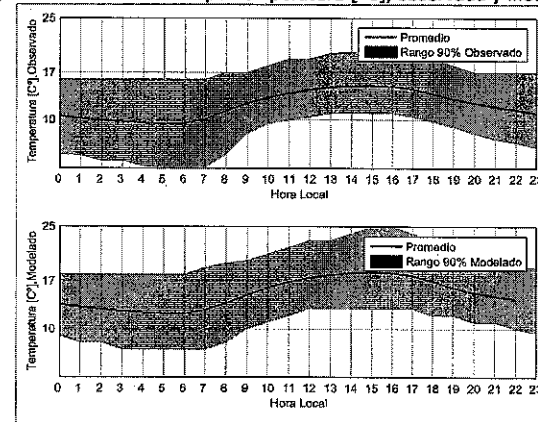


Figura 3.11: Comparación Ciclos diarios de Temperatura [°C], observada y modelada

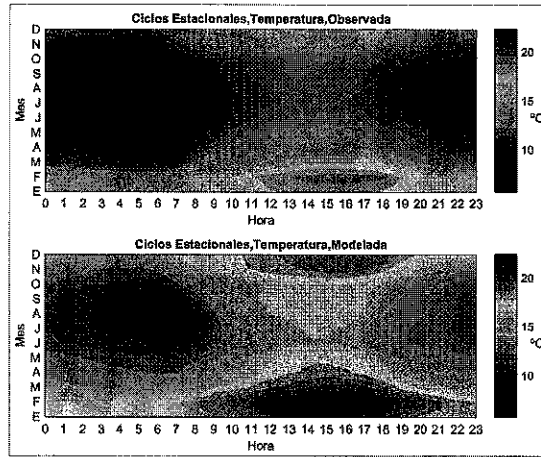


Figura 3.12: Comparación Ciclos Estacionales de Temperatura [°C], observada y modelada

o **Humedad Relativa**

En la Figuras 3.13 muestra la comparación del ciclo diario de la Humedad Relativa para los datos observados y modelados. De ella se desprende que el modelo reproduce el ciclo diario, sin embargo, lo subestima levemente. Se observa además, que el modelo presenta mayor variabilidad especialmente en el periodo diurno.

La Figura 3.14 muestra la serie de tiempo de la Humedad Relativa observada y modelada, y de ella se desprende que aunque la modelación sigue la tendencia de lo observado, en ciertos días el modelo subestima esta variable.

La Implicancia para la estimación de concentraciones, especialmente de MP2,5 secundario, radica en que la Humedad Relativa es un parámetro para el cálculo de sulfatos y nitratos, por tanto, al estar subestimada, se espera también una subestimación en las concentraciones de SO₄ y NO₃.

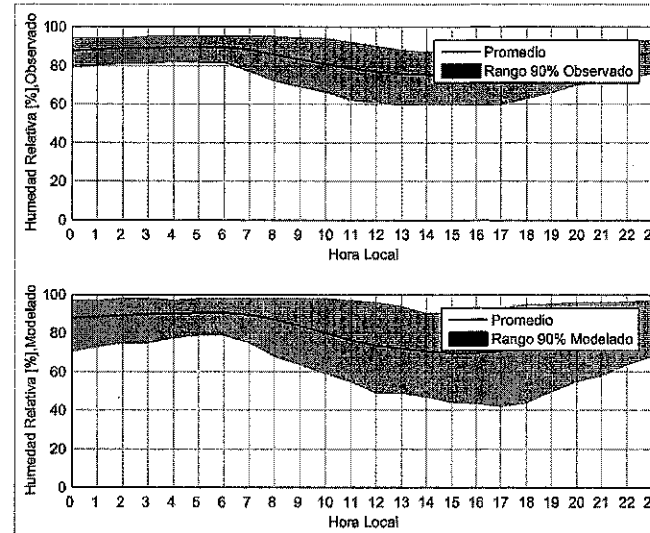


Figura 3.13: Comparación Ciclos diarios de Humedad Relativa [%], observada y modelada

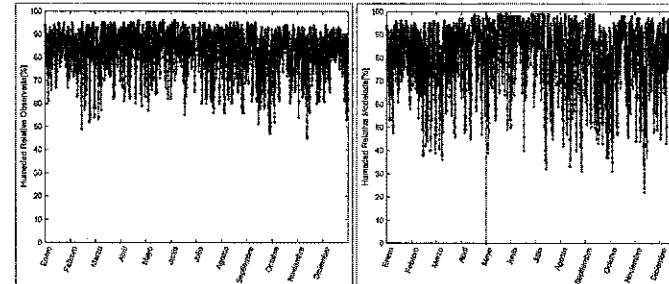


Figura 3.14: Serie de Tiempo Humedad Relativa [%], observada y modelada

o **Radiación Solar**

La Figura 3.15 muestra la comparación entre el ciclo diario de la Radiación Solar observada y modelada. De ella se desprende que el modelo logra reproducir el ciclo diario de esta variable, sin embargo, la sobreestima en promedio, y reduce la variabilidad, en relación a lo observado.

La Figura 3.16 muestra la serie de tiempo de la Radiación Solar observada y modelada, y de ella se desprende que el modelo reproduce la estacionalidad de esta variable, encontrándose menores intensidades en los meses de Junio y Julio.

Al estar la Radiación Solar levemente sobreestimada, esto generará una sobreestimación del sulfato, debido a que esta variable influye en la transformación del SO₂ a SO₄.

1813

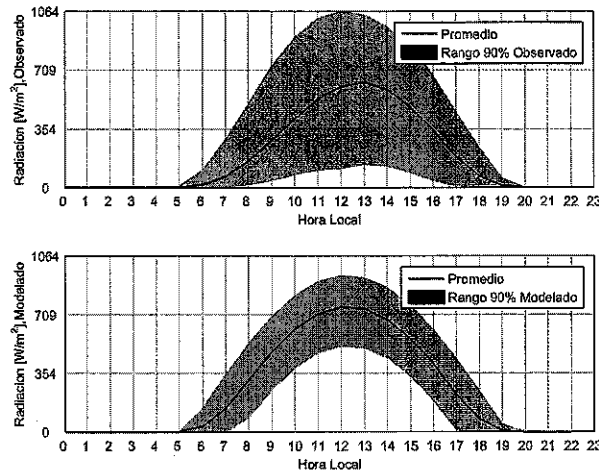


Figura 3.15: Comparación Ciclos diarios de Radiación Solar [w/m²], observada y modelada

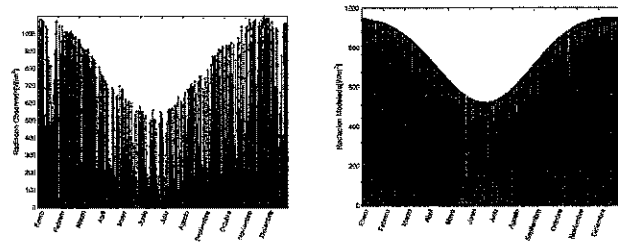


Figura 3.16: Serie de tiempo de la Radiación Solar (w/m²), observada y modelada

Estadígrafos de bondad de ajuste

Del análisis gráfico se desprende que la modelación logra reproducir los ciclos diarios y estacionales de las variables meteorológicas, sin embargo, algunas de ellas están levemente sobreestimadas y otras subestimadas. Para determinar en forma cuantitativa el ajuste, se utilizan los estadígrafos recomendados por la USEPA.

La Tabla III.4 muestra las mediciones registradas en la estación meteorológica Principal de Codelco (la más completa de la zona), y los resultados obtenidos vía modelación meteorológica usando el modelo WRF-CALMET. Las variables meteorológicas relevantes para la modelación del MP2,5 resultan ser la dirección y velocidad del viento, pues con ellas se caracteriza el transporte y dispersión de contaminantes y precursores, así como la temperatura, humedad relativa, y radiación solar, las cuales influyen en la formación del MP2,5 secundario a través de las reacciones del SO₂ y NO_x en la atmósfera.

De la Tabla III.4 se desprende que en términos de promedios, la dirección y velocidad del viento, la humedad relativa y radiación solar, presentan buenos ajustes, no así la temperatura la cual está sobreestimada. En relación a los valores mínimos la temperatura modelada es mayor a la medida, y la humedad relativa modelada presenta un mínimo de 0% versus los 45% observada. Cabe destacar que de las 8760 horas del año, sólo 4 horas presentan valores modelados con 0%, lo cual se puede notar de la Figura 3.14. El segundo mínimo modelado corresponde al valor de 22%.

Los valores máximos modelados están en todas las variables cercanos a los valores observados. Lo mismo ocurre con el coeficiente de variación, lo cual da cuenta de que la dispersión de los datos modelados y observados es similar.

Tabla III.4: Estadígrafos de variables meteorológicas Observadas y Modeladas

Comparación	Estadígrafo	Temp. (°C)	Veloc. (m/s)	Hum. (%)	Rad. (W/m ²)
Observado	Media	214	2.4	12.2	83
	Min	0	0.4	-1.1	45
	Max	360	9.5	26.0	96
	CV	46	54.7	30.4	10
Modelado	Media	244	2.3	15.1	82
	Min	0	0.0	3.0	0
	Max	360	9.9	29.0	99
	CV	49	64.5	25.3	17

La Tabla III.5 muestra los estadígrafos de bondad de ajuste² de la modelación meteorológica, así como los valores aceptables según la USEPA. Cabe notar que la USEPA no ha definido valores de ajuste aceptables para la Radiación Solar.

Los estadígrafos de bondad de ajuste corresponden al Bias (sesgo) y al IOA (Índice de ajuste).

De la Tabla III.5 se observa que la modelación meteorológica para la zona de estudio, logra reproducir los valores observados con bastante precisión. Aun cuando la temperatura resulta sobreestimada por el modelo, sin embargo, los estadígrafos de bondad de ajuste indican que la modelación se encuentra en el rango aceptable según la USEPA.

Tabla III.5: Estadígrafos de ajuste de la modelación meteorológica

Variable	Bias	IOA	IOA	IOA
Wind D[deg]	-3.8	<+/-10	--	--
Wind S[m/s]	-0.1	<+/-0.5	0.84	>0.60
Temp[C°]	2.9	<+/-0.5	0.84	>0.80
S H[g/kg]	0.9	<+/-1	0.83	>0.60

² Pat Dolwick,
Office of Air Quality Planning and Standards
U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. 27711

3.2.2 COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LA METEOROLOGÍA DE LA ZONA

La modelación meteorológica permite conocer el comportamiento de las variables meteorológicas, y en particular el movimiento de las masas de aire (campos de viento), en toda el área de estudio, y para cada hora del año 2013 (8760 horas). Esta información es muy útil para determinar las trayectorias de masas de aire y de esta forma conocer las áreas de influencia de las emisiones de cada fuente de contaminantes en el área de estudio. En el Capítulo 6 se desarrolla esta actividad. Aquí se mostrará y analizarán los campos de viento y alturas de mezcla e inversiones térmicas que ayudan a explicar las horas del día y la frecuencia de ocurrencia de posibles episodios de contaminación atmosférica.

Las Figuras 3.17 a 3.19 muestran los campos de vientos, como promedio horario, para un día con un comportamiento típico en la zona.

La Figura 3.17 muestra los campos de viento a las 00:00 horas. Nótese que los vientos muestran dirección de Tierra a Mar, característico de zonas costeras.

La Figura 3.18 muestra los campos de viento a las 12:00 horas, y de ella se observa que la brisa dominante es de Mar a Tierra. Nótese como los vientos se canalizan por los valles, en especial en el sector de Concón.

A las 21:00 horas se observa nuevamente un flujo de vientos de Tierra a Mar, asociado a vientos nocturnos. Ver Figura 3.19.

Las Figuras 3.20 a 3.22 muestran la distribución espacial de la altura de mezcla en toda el área. De ellas se observa que en periodos nocturnos (Figuras 3.20 y 3.22), se esperan inversiones térmicas de superficie y por tanto bajos desarrollos de la capa de mezcla, lo cual implica un menor volumen donde se mezclan los contaminantes, mientras que a medio día (Figura 3.21) la capa se ha levantado permitiendo una mayor dilución de las emisiones y por tanto una menor concentración. Además se observa la variabilidad espacial de la altura de mezcla.

La variación a través del día de la capa de mezcla en la zona se muestra en la Figura 3.23. De ella se observa que la inversión radiativa nocturna se rompe alrededor de las 7 de la mañana y alcanza su máximo entre las 13:00 y 14:00 horas. Luego a partir de las 19:00 horas comienza nuevamente el bajo desarrollo vertical.

La Figura 3.24 muestra la variación día a día de la altura de la capa de mezcla. De ella se desprende que existe un patrón estacional con menores desarrollos de la capa de mezcla durante los meses de invierno. De todas formas se existen días en los meses invernales en que se alcanzan alturas aún mayores que las estivales. Esto implica que se esperan mayores concentraciones de MP_{2,5} en los meses de Junio y Julio debido al menor volumen donde se mezclan los contaminantes.

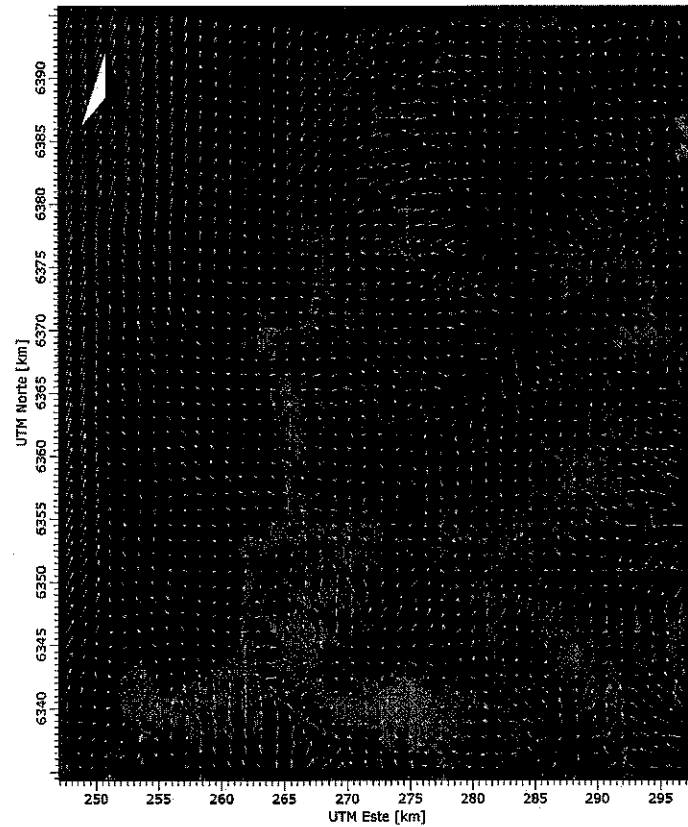


Figura 3.17: Campos de viento a las 0:00 horas

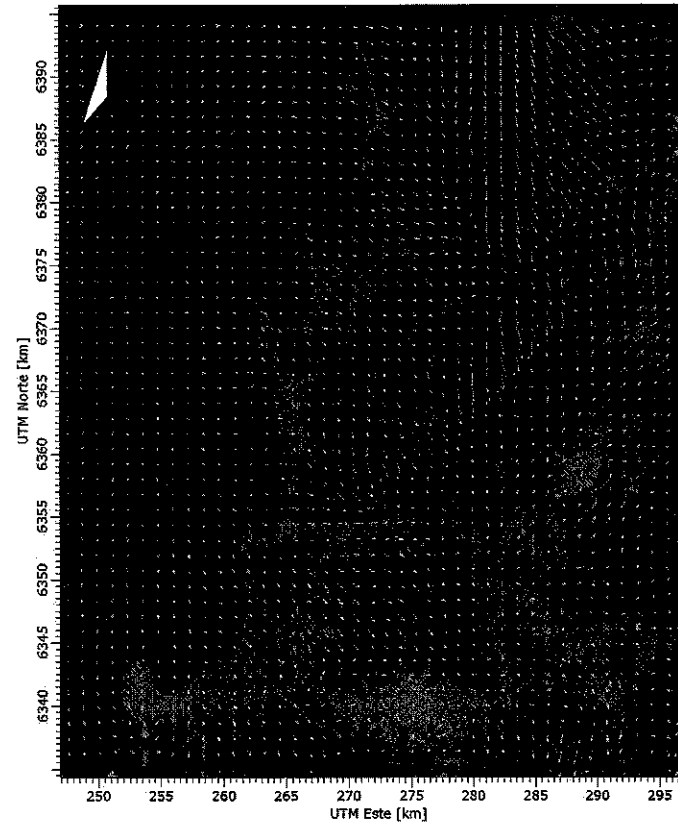


Figura 3.18: Campos de viento a las 12:00 horas

1816

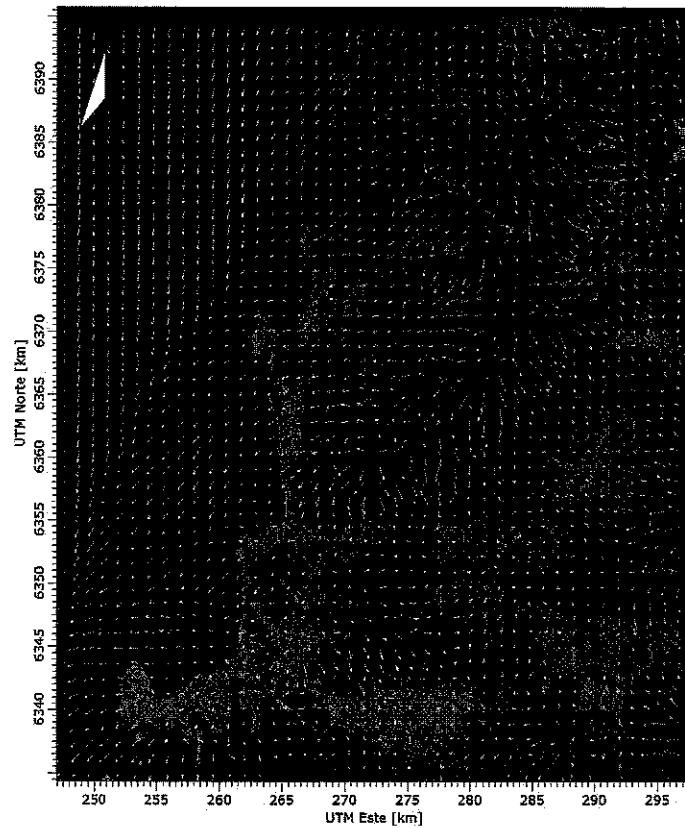


Figura 3.19: Campos de viento a las 21:00 horas

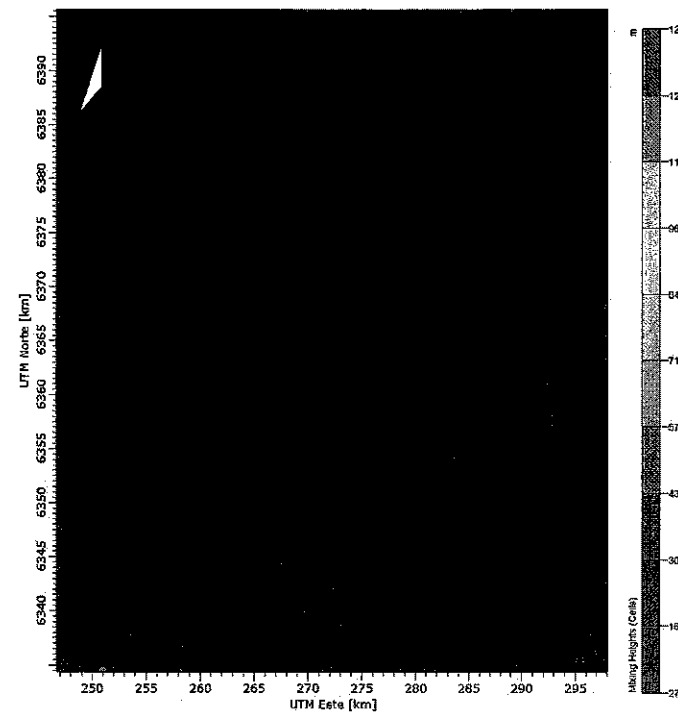


Figura 3.20: Altura de mezcla a las 00:00 horas

1817

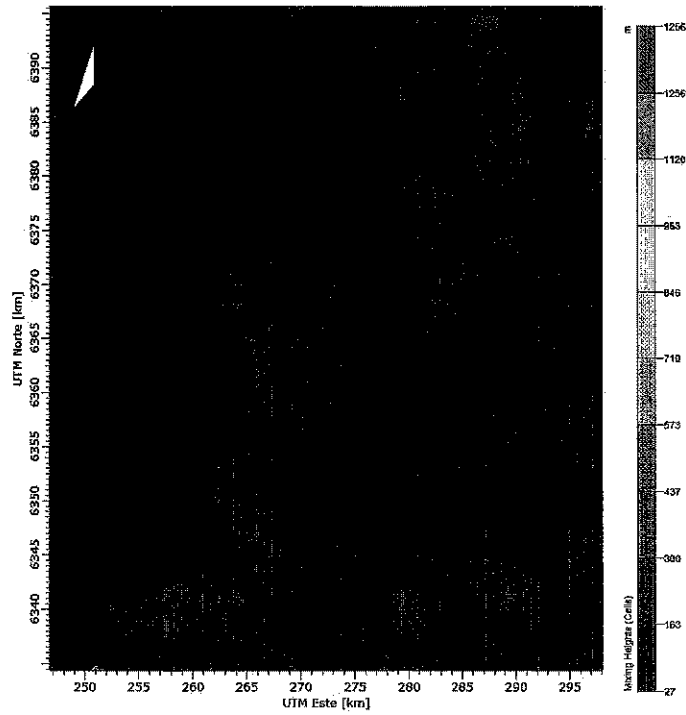


Figura 3.21: Altura de mezcla a las 12:00 horas

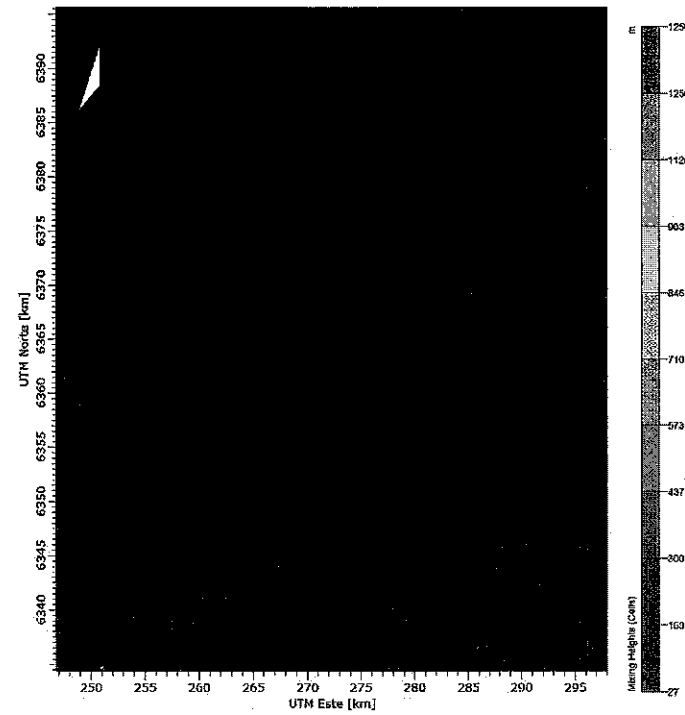


Figura 3.22: Altura de mezcla a las 21:00 horas

1818

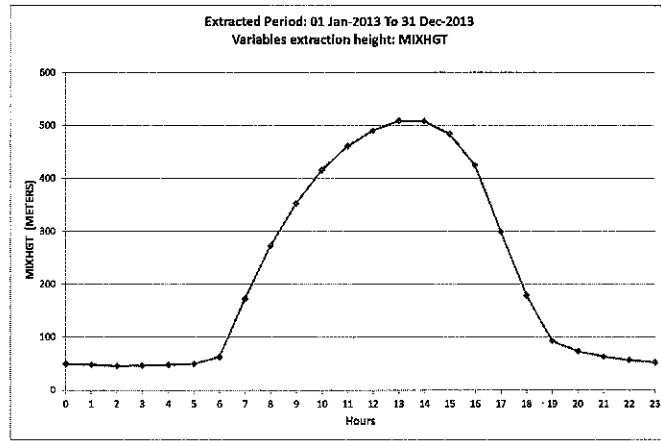


Figura 3.23: Altura de mezcla en Ventanas

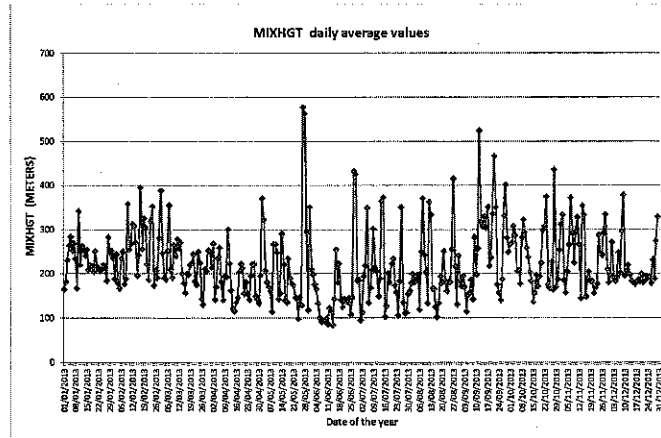


Figura 3.24: Variación diaria de la Altura de mezcla en Ventanas

4 ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE

En el área de estudio existen 11 estaciones de monitoreo de variables de calidad del aire, cuya localización se muestra en la Figura 3.1. La Tabla IV.1 entrega las coordenadas de las estaciones, las variables que miden, así como la empresa propietaria y la comuna a la que pertenece.

Se analizó el trienio 2011-2013, debido a que el año 2013 es el caso Base de este estudio.

Tabla IV.1: Estaciones de monitoreo de calidad del aire

COMUNA	ESTACION	PROPIETARIO	COORDENADAS UTM WGS84 Elev (m) N (m) E (m)	VARIABLES PM10, PM2,5, SO2, NO2
--------	----------	-------------	--	------------------------------------



1819

Puchuncaví	La Greda	CODELCO División Ventanas y AES Gener	268.136	6.373.885	X	X	X	X
	Los Maitenes	CODELCO División Ventanas y AES Gener	270.018	6.372.133	X	X	X	X
	Puchuncaví	CODELCO División Ventanas y AES Gener	274.32	6.377.318	X	X	X	X
	Ventanas*	CODELCO División Ventanas y AES Gener	267.541	6.374.611	X	X	X	X
Quintero	Quintero	Codelco División Ventanas	262.532	6.371.091	X	X	X	
	Sur	Codelco División Ventanas	267.293	6.367.954	X	X	X	X
	Valle Alegre	CODELCO División Ventanas y AES Gener	271.835	6.367.385	X	X	X	X
Concón	Colmo	ENAP	271.646	6.354.733	X		X	X
	Concón	ENAP	264.737	6.354.228	X	X	X	X
	Junta Vecinos	ENAP	263.87	6.353.051	X			X
	Las Gaviotas	ENAP	267.929	6.355.123	X			X

*Estación Ventanas presenta registros de variables de calidad del aire a partir de Mayo 2013.

Se determinaron las métricas correspondientes de material particulado (MP10 y MP2,5) y gases (específicamente SO₂ y NO₂), correspondientes a los años 2011, 2012 y 2013, para las estaciones pertenecientes a las comunas de Concón, Quintero, y Puchuncaví.

En este Capítulo se resume la información, sin embargo, el análisis detallado por comuna y por contaminante se presenta en Anexo 2.

La Tabla IV.2 resume las métricas asociadas al material particulado MP10. De ella se observa que el MP10 presenta categoría de Latencia (amarillo) por media anual en las tres comunas.

Tabla IV.2: Resumen métricas Material Particulado MP10 (µg/m³N)

Estación	Comuna	Porcentaje de días con Latencia	Media Trienal	
			2011-2013	2010-2013
La Greda	Puchuncaví	77	37	37
Los Maitenes		54	47	45
Puchuncaví		61	35	33
Quintero	Quintero	72	-	-
Sur		52	-	-
Valle Alegre		49	31	31
Colmo	Concón	78	43	43
Concón		72	44	44
Junta Vecinos		69	39	38
Las Gaviotas		72	-	-

Valor Norma	150	50
-------------	-----	----

*Medias referenciales, puesto que solo registran información para los años 2012 y 2013.

**Métricas obtenidas del Informe Técnico elaborado para las comunas de Concón, Puchuncaví y Quintero, Superintendencia del Medio Ambiente, Enero 2015.

La Tabla IV.3 resume las métricas correspondientes al material particulado MP2,5, en cada una de las estaciones de monitoreo pertenecientes a las comunas de Concón, Puchuncaví y Quintero. En ella se destaca la estación Concón la cual presenta niveles de saturación (rojo) por media anual y latencia (amarillo) por norma diaria. Las otras comunas presentan niveles de latencia por ambas métricas del MP2,5.

Tabla IV.3: Resumen métricas MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)

Comuna	Comuna	2012	2013
La Greda	Puchuncaví	42	17*
Los Maitenes		37	15*
Puchuncaví		40*	15*
Quintero	Quinteros	40	17*
Sur		37	-
Valle Alegre		32	13*
Concón	Concón	50	-
Valor Norma		50	20

*Medias referenciales, puesto que solo registran información para los años 2012 y 2013.

La Tabla IV.4 resume las métricas asociadas a las normas de calidad del aire primaria para los gases contaminantes SO_2 y NO_2 registradas en las estaciones de monitoreo ubicadas en las comunas en estudio. De ella se observa que en todas las comunas, se cumplen las normas de calidad del aire para estos contaminantes. No obstante lo anterior, es de interés seguir monitoreando estos gases dado que existen fuentes industriales que los emiten, y porque además, ambos son gases precursores de material particulado fino MP2,5 el cual está en latencia y saturación en la zona.

Tabla IV.4: Resumen métricas Gases (SO_2 , vNO_2) en ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)

Comuna	Comuna	2012	2013	2014	2015
La Greda	Puchuncaví	79	17	62	17
Los Maitenes		127	33	59	14
Puchuncaví		55	19	84	19
Ventanas	Quinteros	-	-	-	-
Quintero		123	25	-	-
Sur		127	28	65	16
Valle Alegre	Concón	44	13	63	11
Colmo		24	11	59	12
Concón		105	28	61	18
Junta Vecinos	Concón	49	15	-	-
Las Gaviotas		40	14	-	-
Valor Norma		250	80	400	100

1820

5 INVENTARIO DE EMISIONES CASO BASE

En este capítulo se detallan las emisiones de material particulado fino (MP2,5) y sus precursores (SO₂, NO_x), consideradas en este estudio, para las comunas de Puchuncaví, Quintero, y Concón. Las emisiones corresponden a fuentes puntuales y fugitivas.

Las emisiones asociadas a las fuentes puntuales, fueron extraídas desde el D.S N° 138, balances de masa, e informes entregados por las empresas a la autoridad. Respecto a las fuentes fugitivas se utilizó el Inventario de Emisiones regionales del año 2008³, así como también de información recopilada en una visita a terreno.

El año base considerado es el 2013, esto debido a que es la información que se encuentra mayoritariamente actualizada.

El análisis de las fuentes emisoras, así como su aporte a las emisiones de las tres comunas consideradas en este estudio, permitirá determinar aquellas fuentes en las cuales es necesario aplicar las medidas de reducción de emisiones de MP2,5 y sus precursores.

Cabe destacar que se realizó una solicitud y/o rectificación de información a las principales fuentes emisoras. Del mismo modo, se realizaron visitas a terreno en el entorno a la zona de estudio, y también se accedió a las principales empresas y/o industrias.

5.1 FUENTES PUNTUALES

Información Considerada

La información considerada para la elaboración del inventario de emisiones es una combinación de las emisiones reportadas por las empresas del área de estudio, en conformidad a la declaración de emisiones D.S N° 138/05 del MINSAL, para el año 2012, e informes de emisiones de los años 2013 para las empresas AES GENER S.A. (en adelante GENER), Fundición de Cobre de CODELCO (en adelante Fundición Ventanas), y ENAP Refinerías S.A (en adelante ENAP). También se consideró el balance de masa de SO₂ correspondiente a la Fundición Ventanas.

La Tabla V.1 muestra las emisiones de MP2,5, y sus precursores, para cada una de las comunas consideradas en este estudio. De ella se observa las emisiones de MP2,5 correspondientes a la comuna de Puchuncaví, Quintero, y Concón que representan un 28,0%, un 1,5%, y un 70,5% respecto al total de las emisiones.

Respecto a los precursores del material particulado fino, se observa que la comuna de Puchuncaví aporta un 93% respecto al total de las emisiones de SO₂ y un 80% respecto al total de las emisiones de NO_x.

Es importante destacar que las emisiones de MP2,5 presentadas en las diferentes tablas de este capítulo, corresponden a emisiones de origen primario.

Tabla V.1: Emisiones Puntuales por comunas (ton/año)

Comuna	MP2,5	SO ₂	NO _x
Puchuncaví	534	24.090	8.618
Quintero	29	69	93
Concón	1.347	1.774	2.022
Total	1.910	25.933	10.733

La localización espacial de las fuentes puntuales se muestra en la Figura 5.1. De ella se observa que la comuna de Puchuncaví tiene 40 fuentes emisoras de material particulado, la comuna de Quintero posee 27 fuentes puntuales, y Concón tiene 68. Por lo tanto, el total de fuentes puntuales consideradas es de 135 unidades.

³ Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica Región de Valparaíso, Construcción de un Inventario de Emisiones Regional, Amblois, 2011.

1821

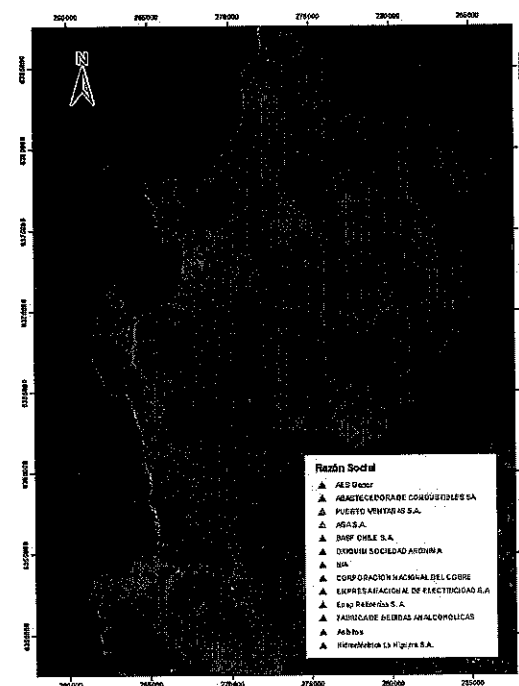


Figura 5.1: Espacialización a nivel comunal de las principales empresas



El detalle de las emisiones de MP2,5 y sus precursores (SO₂ y NO_x), para cada una de las empresas consideradas en este estudio, se muestran en la Tabla V.2. De ella se observa que ENAP, ubicada en la comuna de Concón, contribuye con un 60% al total de las emisiones de MP2,5, consideradas en este estudio.

Por su parte, la Fundación Ventanas, ubicada en la comuna de Puchuncaví, contribuye en un 53% respecto al total de las emisiones de SO₂. AES GENER contribuye con un 80% del total de las emisiones de NO_x, de las fuentes puntuales consideradas en este estudio.

Al realizar un análisis para cada una de las tres comunas consideradas en este estudio, se observa que en el caso de Puchuncaví se emite un total de 534 ton/año de MP2,5 de los cuales un 72% proviene desde AES GENER, en la comuna de Quintero se emiten 29 ton/año de MP2,5. Finalmente, de las 1.347 ton/año emitidas en Concón ENAP es responsable en un 85%.

Para el caso de las emisiones de SO₂, la Fundación Ventanas y AES GENER contribuyen en un 57% y 43% en la comuna de Puchuncaví, respectivamente. Por su parte, ENAP aporta en un 96% a las emisiones registradas en Concón.

En Puchuncaví, AES GENER emite 8.557 ton/año de NO_x lo cual representa un 99% del total de las emisiones consideradas en esta comuna. En Quintero se emiten 93 ton/año. Para Concón las emisiones de NO_x, considerado en este estudio, son 2.022 ton/año y ENAP aporta con un 59% al total de ellas.

Es importante mencionar que el análisis de las emisiones a nivel comunal es solo por la localización de las empresas y/o industrias. Sin embargo, el impacto de dichas emisiones es en todo el territorio.



Tabla V.2: Emisión de MP2,5, SO₂, y NO_x por Empresa (ton/año)

Empresa	MP2,5	SO ₂	NO _x	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	Perfluorocarburos
Abastecedora de Combustibles S.A									7 2 4
Administradora de Supermercado Express Ltda.	2	8	10						4 7 7
AES GENER S.A.	382	10.301	8.557						
AGA S.A.									15 0 138
Asfaltos Chilenos S.A				1	9	1			
Banco de Chile				1	7	1	0	8	0
Banco del Estado de Chile	0	4	8	0	4	8	0	4	8
Banco Santander Santiago									0 2 4
BASF CHILE S.A.				18	15	5			
COPEC S.A.				1	6	0	0	1	2
Fundición de Cobre Ventana	133	13.743	0						
Empresa Nacional de Electricidad S.A				5	0	60			
Empresa Lipigas S.A							0	4	8
ENAP				0	0	2	1.140	1.711	1.197
ESVAL S.A.	6	12	16	0	8	2	10	12	7
Fábrica de Bebidas Analcohólicas								5	13 1
GNL Quintero S.A.				0	0	5			
Hidroeléctrica La Higuera S.A.							161	0	609
N/A	0	10	12						
OXIQUIM S.A	7	5	8						
Paris S.A								5	10 10
Pesquera Quintero s.a				1	7	2			
Puerto Ventanas S.A	4	7	4						
RENDIC HNOS S.A.	0	0	3	1	8	5			
Servicio de Salud Viña del Mar-Quilota				1	5	2			
TECNORED S.A.							0	0	27
Total	534	20.222	13.470	26	60	77	1.140	1.711	1.197

1822

5.1.1 Principales Fuentes Puntuales emisoras de MP2,5 y sus precursores

El análisis anterior permitió determinar las contribuciones de las distintas empresas a las emisiones de MP2,5 y sus precursores (SO₂ y NO_x). A partir de ello, se observó que las emisiones asociadas a GENER, Fundición Ventanas y ENAP son significativas en el total de las emisiones para las tres comunas consideradas en este estudio. A continuación se describen brevemente los procesos de generación de emisiones de cada uno de ellos.

AES-GENER: La Central Termoeléctrica Ventanas se encuentra ubicada en el camino Costero de la comuna de Puchuncaví, en la región de Valparaíso. Posee cuatro unidades en operación, con una capacidad instalada total de 884 MW, siendo el complejo energético a carbón más grande del país⁴.

La Tabla V.3 muestra las principales características de las distintas unidades que componen el complejo termoeléctrico, incluyendo los principales equipos de mitigación de contaminantes atmosféricos, considerados en el análisis realizado.

Tabla V.3: Características unidades del complejo termoeléctrico Ventanas

	Unidad 1 (Ventanas)	Unidad 2 (Ventanas)	Unidad 3 (Ventanas)	Unidad 4 (Ventanas)
Inicio de operación	1964	1977	2010	2013
Capacidad instalada	120 MW	220 MW	272 MW	272 MW
Combustible utilizado	Carbón bituminoso	Carbón bituminoso	Mezcla carbón bituminoso con sub-bituminoso	Mezcla carbón bituminoso con sub-bituminoso
Consumo de carbón	42 ton/h	85 ton/h	120 ton/h	120 ton/h
Disponibilidad 2013 ⁵	67%	85%	93%	96%
% promedio de S contenido en el carbón alimentado 2013	0,8%. La RCA N° 499/2008 del CNV señala carbón de hasta 0,95%			
Equipos de Mitigación para MP	Precipitador electrostático en servicio; Filtro de manga en servicio proyectado para Agosto de 2014.	Precipitador electrostático en servicio; Filtro de manga en servicio proyectado para Agosto de 2015	Filtro de Manga en servicio con la entrada en operación de la central año 2010	Filtro de Manga en servicio con la entrada en operación de la central año 2013
Equipos de Mitigación para SO ₂	Desulfurizador SDA-FGD proyectado a Junio 2015	Desulfurizador SW-FGD en servicio desde 2013	Desulfurizador SDA-FGD en servicio 2010	Desulfurizador SDA-FGD en servicio 2013
Rendimiento del equipo por diseño	-	> 80%	74%	74%
Rendimiento del equipo según literatura	94%	90%	94%	94%
Rendimiento del equipo de prueba	-	83%	74%	74%
Rendimiento mínimo	-	50%	70%	70%
Rendimiento operacional 2013	53%	53%	55%	55%

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, "Anteproyecto Plan de Ventanas, Medidas de reducción de emisiones termoeléctrica Ventanas, AES Gener".

⁴ <https://www.gener.cl/Lists/Centrales/DispForm.aspx?ID=5>

⁵ Memoria anual 2013*, AES GENER

1823

Fundición Ventanas: La Fundición Ventanas está emplazada en el sector costero de la V región, en la comuna de Puchuncaví, cercana a centros poblados y agrícolas. Es una instalación cuya configuración tecnológica está constituida principalmente por un Convertidor Teniente como equipo de fusión, tres CPS para la conversión, un Horno Eléctrico para el tratamiento de escoria del CT, tres unidades de refino (dos tipo reverbero y una basculante) y una planta de ácido de doble contacto y absorción, potenciada recientemente en volumen y concentración.

Por condición particular y para el mejoramiento de la condición ambiental local, la fundición dispone de gas natural que usa en los procesos de secado y refino, captación de gases fugitivos en las sangrías del Horno Eléctrico, y limpieza para el material particulado mediante precipitadores electrostáticos de los gases evacuados del horno eléctrico. También dispone de un sistema de recepción y acopio de los concentrados procesados⁶.

La Figura 5.2 muestra un diagrama general de la Fundición Ventanas, incluyendo los sistemas de control de emisiones de contaminantes atmosféricos y los proyectos en este mismo ámbito.

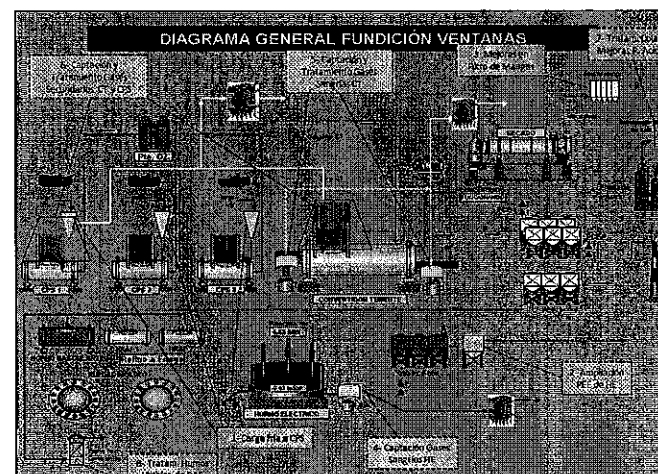


Figura 5.2: Esquema general Fundición Ventanas

Fuente: MMA, tomado de presentación de "Plan de Inversiones para reducción de emisiones"-CODELCO División Ventanas, 2013.

⁶ "Evaluación de costos de escenarios regulatorios para una norma de emisión de fundiciones de cobre", Informe Final, Ministerio del Medio Ambiente, 2012.

La Fundición Ventanas con la configuración de equipos actuales, presenta una captación de azufre entre 93% y 94%, fundamentalmente por disponer de una Planta de Ácido Sulfúrico (PAS) de doble contacto y doble absorción, no procesar polvos de precipitadores electrostáticos y la disminución de emisión de gases secundarios del CT, a consecuencia del aumento de la capacidad de tratamiento de gases de la PAS (12.5 a 140 kNm²/h).

ENAP: ENAP Refinerías S.A. opera con este nombre desde comienzos del año 2004 producto de la fusión de las refinerías RPC S.A. y Petrox S.A., filiales que hasta entonces operaban en forma independiente con plantas ubicadas en las regiones de Valparaíso y Bio Bío, respectivamente. A partir de esta fusión, la nueva empresa se convirtió en la mayor empresa de refinación de la Costa Pacífico, con un volumen de producción de 220.000 barriles/día⁷.

Actualmente, ENAP Refinerías cuenta con las siguientes 2 plantas industriales:

- ENAP Refinerías Aconcagua (ERA), ubicada entre las comunas de Concón y Quintero, Región de Valparaíso.
- ENAP Refinerías Bio Bío, en la comuna de Hualpén, Región de Bio Bío.

Dentro de los sub-productos que obtiene ENAP, se encuentra el petcoke, sin embargo, este se encuentra al interior de un domo. Por tanto, no genera emisiones a la atmósfera.

La Tabla V.4 muestra las unidades operativas de ENAP Refinerías Aconcagua (ERA):

Tabla V.4: Unidades operativas ENAP Refinerías Aconcagua (ERA)

1	Topping 1 y 2	15	Isomerización
2	Planta tratamiento livianos - LPG	16	Sistema de blow down
3	Viscorreductora (visbreaking)	17	LNHT
4	Merox - MDEA	18	Planta de eliminación de fenoles
5	Cracking Catalítico	19	Alquilación
6	Desodorización	20	Tratamiento de Efluentes
7	Hydrocracking	21	Planta de Ácido
8	Solventes	22	Torres de enfriamiento
9	MHC (Mild Hydrocracking)	23	Azufre (URA's I,II,III)
10	Dipe	24	Patio de Carga
11	Reformación Continua	25	Sour Water Stripper (SWS)
12	Desulfurización cracking (HDG)	26	Planta HDT
13	NHT - Recovery Plus	27	Planta de Coke
14	Suministros	28	Planta Nueva Alquilación

Fuente: "Declaración de emisiones atmosféricas" ENAP Refinerías Aconcagua, 2013

⁷ "Declaración de emisiones atmosféricas" ENAP Refinerías Aconcagua. Año operativo 2013

La Figura 5.3, en tanto, muestra un esquema general de la operación de ENAP Refinerías Aconcagua.

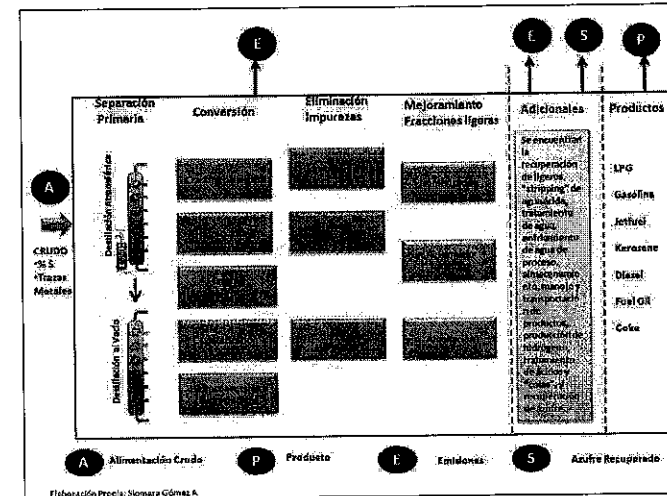


Figura 5.3: Esquema general operaciones ENAP Refinerías Aconcagua (ERA)

Fuente: MMA, tomada de presentación "Avance diseño Plan de Descontaminación Concón Quintero Puchuncaví. Parte 1: Análisis de situación de refinerías de petróleo Concón"

Algunas de las principales fuentes de emisión contaminantes y procesos operativos son los siguientes:

Unidad Recuperadora de Azufre (URA): ENAP cuenta con tres unidades recuperadoras de azufre (URA I, URA II, URA III). El proceso utilizado es el conocido proceso Claus, el cual consta de una reacción térmica (2 cámaras) y otra catalítica de 3 etapas, con un 96% - 99% de rendimiento. La etapa térmica se realiza a 1300 °C.

Cracking Catalítico: El proceso de Cracking es la conversión del gas oil en LPG y gasolina (de alto octanaje). Se alimenta con gas oil de Topping 1 y 2, o gas oil no convertido de MHC e Hidrocracking. Es una unidad de lecho fluidizado con catalizador circulante. El proceso es con reacción química a través de catalizador de Zeolita a una temperatura de 530 (°C).



Topping 1 y 2: Las Unidades de Destilación Atmosférica y de Vacío se alimentan del crudo proveniente de estanques. Antes de ingresar al proceso, el crudo es precalentado en una serie de intercambiadores de calor para elevar su temperatura a alrededor de 110 a 125 °C. A continuación, recibe un flujo de agua de lavado para disolver las sales contenidas en él y, posteriormente, es sometido a un desalado eléctrico, donde se produce la separación del crudo del agua con las sales que éste contenía, la que es enviada a la Unidad de Tratamiento de Aguas Aceitosas. Luego, el crudo continúa su calentamiento en otra serie de Intercambiadores de calor y, finalmente, ingresa a un horno donde alcanza su temperatura final de 360°C antes de entrar a la torre de destilación atmosférica. En esta torre, se produce la separación de los productos por destilación. De este modo, por el tope gases y hacia abajo, mediante cortes laterales, se obtiene nafta, gasolina, kerosene, misió, gas oil y, finalmente, por el fondo, crudo reducido.

Planta de Coquización Retardada: La Unidad de Coquización Retardada o Planta Coke permite realizar un craqueo térmico, que convierte los fondos de destilación al vacío del petróleo en productos líquidos más livianos como gas de refinería, gas licuado, gasolina no estabilizada, misió sin tratar y gas oil. Además, produce carbón de petróleo. La coquización se lleva a cabo a temperaturas entre 450 y 500 (°C), y a una presión de 1,05 (kg/cm²).

Planta de Ácido Sulfúrico: La Planta de Ácido sulfúrico utiliza como materia prima el ácido sulfhídrico y ácido sulfúrico gastado (agotado), siendo el primero extraído desde el fuel gas y del LPG en las unidades de tratamiento de livianos, mientras que el ácido sulfúrico proviene de la Nueva Planta de Alquilación. El gas ácido y ácido gastado se quemar en un horno a una temperatura entre 1000 y 1100 (°C). El SO₂ producido, previo lavado y secado, se introduce al reactor de la planta relleno con catalizador de pentóxido de vanadio, para la conversión de SO₂ en SO₃. El anhídrido sulfúrico resultante es absorbido por una corriente de ácido sulfúrico concentrado. El año 2013 esta unidad no operó.

Planta Hydrocracking (HCK): El proceso de Hydrocracking es la conversión parcial de gas oil de vacío en productos más livianos en presencia de hidrógeno y un catalizador. La operación se desarrolla a alta presión, 100 (kg/cm²), y en un rango de temperatura entre 315 y 450 (°C). La operación es exotérmica e intensiva en el consumo de Hidrógeno. Los productos resultantes son misió, kerosene, nafta splitter y gas oil no convertido.

Planta HDT: La Unidad de Hidrotratamiento de Diesel y Gasolina ha sido diseñada para procesar misió y gasolinas no estabilizadas. El proceso utiliza el método de hidrogenación catalítica para remover el azufre de los combustibles y mejorar la calidad de fracciones de destilados del petróleo. La unidad consta de dos secciones principales: la sección de reacción a alta presión y la sección de fraccionamiento de los productos del hidrotratamiento.



5.1.2 Aporte a las Emisiones de las Principales Fuentes Puntuales

Debido al aporte de estas tres empresas (AES GENER, Fundación Ventanas, y ENAP) a las emisiones de MP2,5 y sus precursores, es importante determinar cuáles son los principales procesos y/o actividades que generan las emisiones de dichos contaminantes.

En el caso de AES-GENER las fuentes puntuales que contribuyen significativamente a las emisiones de MP2,5, SO₂, y NO_x son las chimeneas de sus cuatro unidades de generación de energía. La Figura 5.4 muestra que en el caso del MP2,5 las Unidades 1 y 2 son aquellas que contribuyen en un 26%, y 41% al total de sus emisiones, respectivamente. Para el SO₂ la Unidad 1 y Nueva Ventana aportan en un 30% y 28% al total de las emisiones de dicho contaminante. Finalmente los mayores aportes al NO_x, es debido a la operación de las Unidad 2 y Nueva Ventanas representando en conjunto un 62% del total de las emisiones de NO_x.

Los procesos de la Fundación Ventanas que más aportan a las emisiones de MP2,5 son Horno Basculante y Horno Refino aportado un total de 88 ton/año, lo cual representa un 67% del total de sus emisiones, esto se observa en la Figura 5.5. En el caso de SO₂ la planta de ácido es responsable de 2.749 ton/año y de forma fugitiva 10.994 ton/año, lo cual representa un 20% y 80% de las emisiones, respectivamente. Cabe destacar que no se consideraron emisiones de NO_x debido a que no se contaba con la información disponible para el año 2013.

Para ENAP se observa en la Figura 5.6 que los principales procesos que generan emisiones de MP2,5 son el sistema de cracking (870 ton/año) y las torres de enfriamiento (259 ton/año), aportando en conjunto un 99% del total de las emisiones de ENAP para dicho contaminante. En el caso del SO₂, las URA 1, URA 2, y URA 3 aportan en conjunto 809 ton/año, lo cual representa con 47% del total de las emisiones de SO₂. Respecto al NO_x los principales aportantes son las Calderas de la planta de fuerza con una emisión de 381 ton/año (32% respecto al total de lo emitido por ENAP para NO_x).

1825

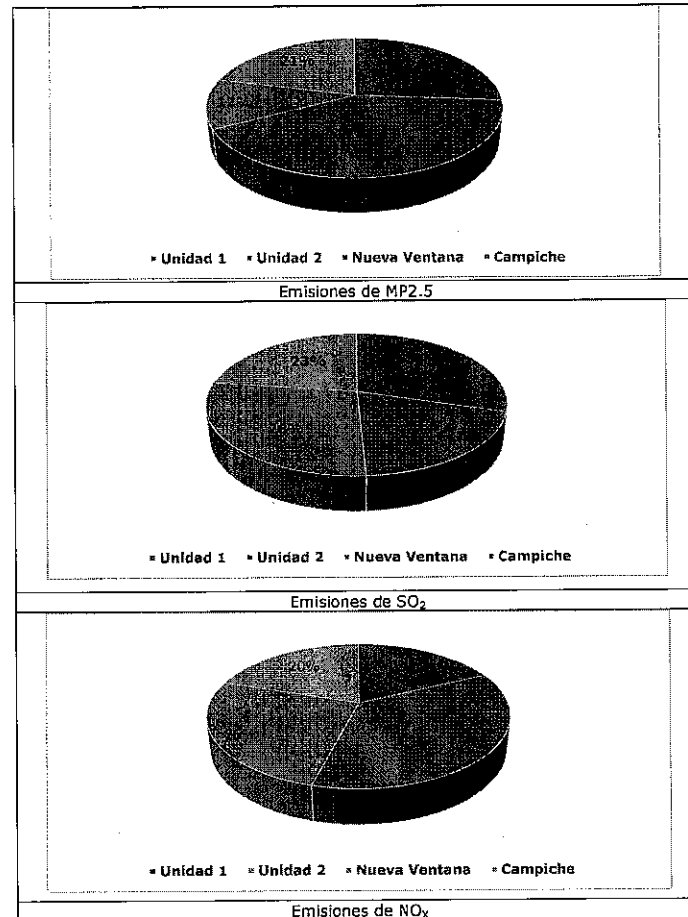


Figura 5.4: Emisiones de AES-GENER

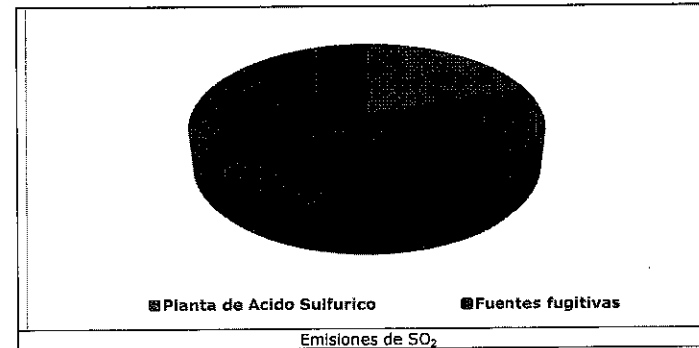
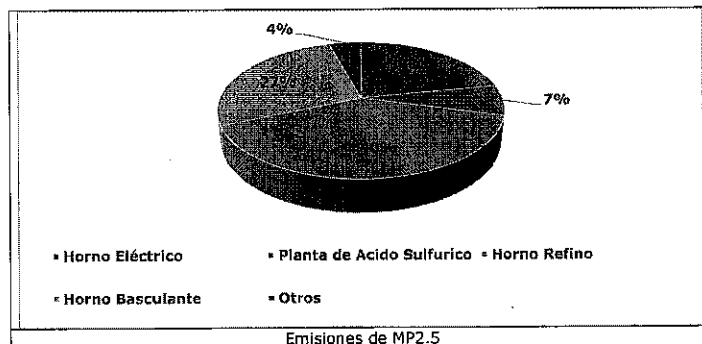


Figura 5.5: Emisiones de Fundición de Cobre Ventanas

1826

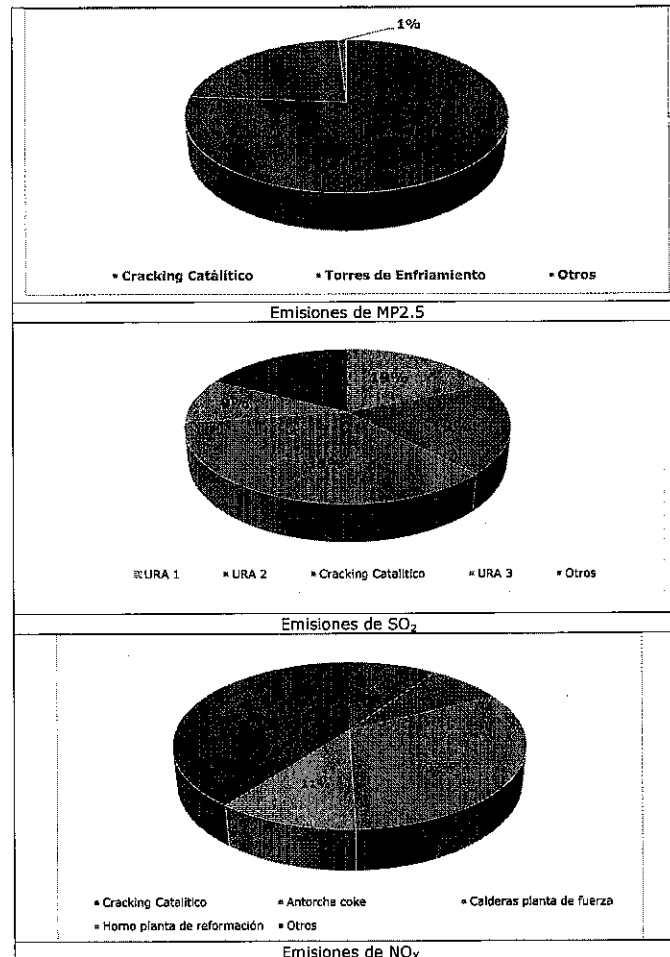


Figura 5.6: Emisiones de ENAP

5.2 FUENTES FUGITIVAS

La estimación de emisiones por fuentes fugitivas se desarrolló en base al inventario de emisiones regional, elaborado para el año 2008 (en adelante IE-2008)⁶, y a información recopilada en terreno.

Es así que las principales fuentes consideradas corresponden a:

- Emisión en áreas urbanas (residenciales y comerciales)
- Emisión por transporte interurbano
- Emisión eólica por acopios y otras áreas
- Emisión en plantas de áridos

⁶ Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica Región de Valparaíso, Construcción de un Inventario de Emisiones Regional, Ambiosis, 2011.

A continuación se presentan por separado el proceso y los resultados de la estimación en cada caso.

5.2.1 Emisión en áreas urbanas (residenciales y comerciales)

El IE-2008 consideró variados tipos de fuentes para el cálculo de las emisiones urbanas, las que se detallan a continuación:

- Fuentes Residenciales: Combustión residencial de GLP, gas natural, kerosene, y leña. Evaporativas residenciales por solventes de uso doméstico, aplicación de pinturas, aplicación de adhesivos, emisoras de NH₃, y fugas de gas licuado
- Fuentes Comerciales: Evaporativas comerciales por lavasecos, talleres de pinturas, e imprentas, combustión Comercial.

Dentro de las fuentes residenciales, la que contribuye con mayores aportes de contaminantes es la combustión residencial de leña. Para la cual se aplicó una encuesta en las ciudades de Valparaíso, Viña del Mar, Quilpué y Quillota.

Los resultados del IE-2008 para las comunas de Puchuncaví, Quintero, y Concón se presentan en la Tabla V.5.

Tabla V.5: Emisiones en área urbanas 2008 (ton/año)

Comuna	MP2.5	SO ₂	NO _x
Puchuncaví	18,4	0,3	3,0
Quintero	17,1	0,4	3,9
Concón	21,2	0,2	7,2
Total	56,7	0,9	14,1

Dado que el año base del presente estudio corresponde a 2013, fue necesario actualizar los resultados de la tabla anterior. Para esto se calcularon las tasas de crecimiento poblacional de las comunas analizadas, en base a los datos de proyecciones de población del INE.

Como resultado se obtuvo que la comuna de Concón crece un 15,5% en el período 2008-2013 (3,1% anual), Puchuncaví un 12,6% (2,5% anual), y Quintero un 9,2% (1,8% anual). Con lo anterior, la estimación de emisiones de áreas urbanas para el año 2013 se presenta en la Tabla V.6.

Tabla V.6: Emisiones en áreas urbanas 2013 (ton/año)

Comuna	HC	CO	NO
Puchuncaví	20,8	0,4	3,4
Quintero	18,6	0,4	4,2
Concón	24,5	0,3	8,3
Total	63,9	1,1	15,9

La distribución espacial de las emisiones en áreas urbanas, actualizada al 2013, se hizo en los polígonos urbanos principales detectados de una imagen satelital del año 2013.

El resultado de esto fueron 6 grandes polígonos, de los cuales 1 es de Concón, 3 en Puchuncaví, y 2 en Quintero. La localización de estos polígonos, y su relación con las estaciones que monitorean la calidad de aire, se presentan en la Figura 5.7.

Cabe mencionar que las emisiones si dividieron de manera proporcional a las áreas de los polígonos utilizados.

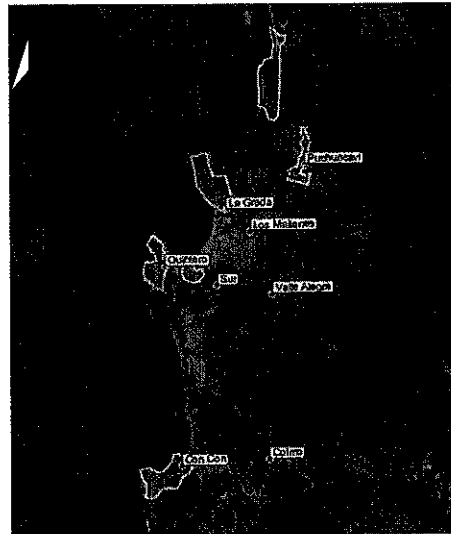


Figura 5.7: Esquema de áreas urbanas consideradas para el IE 2013

5.2.2 Emisión por transporte

El IE-2008 utilizó, para estimar las emisiones de fuentes móviles, "una metodología Bottom UP a nivel de arco equivalente a la utilizada por SECTRA en su sistema MODEM 5.0, y una metodología Top Down a nivel de zona geográfica, tomada desde la guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.

En general el uso de la metodología Bottom UP demanda una gran cantidad de información de detalle, tal como la red vial a nivel de arcos, velocidades y flujos de vehículos para cada calle. Por su parte, la metodología Top Down se basa en información general de parque vehicular por zona geográfica, velocidades y kilómetros recorridos promedio."

El IE-2008 "adoptó el criterio de usar una metodología Top Down en todas las ciudades de la V Región y en forma paralela utilizar una metodología Bottom Up de detalle en todas las ciudades con un número de habitantes superior a los 250.000 que en suma representan más del 80% de la población de la V Región."

Los resultados del IE-2008 a nivel de comunas se presentan en la Tabla V.7.

Tabla V.7: Emisiones por transporte, año 2008 (ton/año)

Comuna	HC	CO	NO
Puchuncaví	7,7	1,7	279,6
Quintero	3,3	1,1	136,6
Concón	20,7	4,7	585,5
Total	31,7	7,5	1001,7

Al igual que en el caso de las áreas urbanas, fue necesario actualizar los resultados de la tabla anterior al año 2013. Para esto se utilizó información del Plan Nacional de Censos (PNC) de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas. Específicamente se utilizó información de la tasa de crecimiento para los períodos 2008-2010 y 2010-2012, de los puntos 05-027 y 05-070 para la comuna de Puchuncaví, punto 05-118 para la comuna de Concón, y el punto 05-030 para Quintero.

Como resultado se obtuvo que la comuna de Concón crece un 5,8% en el período 2008-2012 (1,5% anual), Puchuncaví un 31% (7,8% anual), y Quintero un 11,4% (2,9% anual). Con lo anterior, la estimación de emisiones por efecto del transporte para el año 2013 (asimilado al 2012) se presenta en la Tabla V.8.

Tabla V.8: Emisiones por transporte, año 2013 (ton/año)

Comuna	PM _{2.5}	PM ₁₀	CO
Puchuncavi	10,0	2,2	366,3
Quintero	3,7	1,2	152,2
Concón	21,9	5,0	619,5
Total	35,6	8,4	1.138

La distribución espacial de las emisiones por transporte se hizo en base a la red de caminos Interurbanos presente en las distintas comunas. Para esto se consideró que la emisión total se distribuye en función de la longitud de los distintos arcos que conforman la red interurbana, esto significa que se adopta el supuesto que la tasa emisión/km es constante a lo largo de toda la red. En la Figura 5.8 se presenta las redes consideradas por comuna y su relación con las estaciones que monitorean la calidad de aire.

Cabe mencionar que la longitud de la red de Concón es 28,3 Km, Puchuncavi 40,7 Km, y Quintero 24,8 Km.

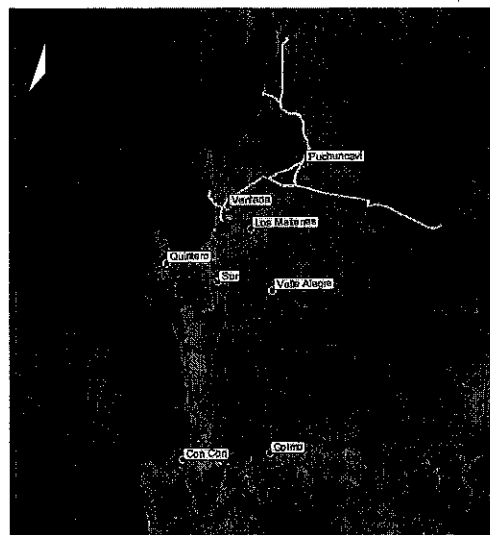


Figura 5.8: Esquema de la red de transporte considerada para el IE 2013

5.2.3 Emisión eólica por acopios y otras áreas

En este punto se evalúa la erosión eólica producto de distintos tipos de acopios y áreas específicas. En este cálculo se incorpora el comportamiento de la velocidad del viento, y el área expuesta a dicha velocidad. Los acopios considerados son principalmente de carbón.

Para poder estimar las superficies e identificar la totalidad de acopios, presentes en la zona de estudio, fue necesario la adquisición de imágenes satelitales de alta resolución.

Las áreas consideradas en este caso corresponde a:

- 4 zonas de acopio de Codelco, que totalizan una superficie de 0,18 Km²
- 1 zona de acopio de AS Gener, con una superficie de 0,04 Km²
- 1 zona de acopio del Puerto de ventanas, con una superficie de 0,05 Km²
- 1 zona de acopio de Catamutún, con una superficie de 0,04 Km²

- 3 canchas deportivas, con una superficie de 0,02 Km²
- 1 zona de acopio de la Planta Cementera de Ventana, con una superficie de 0,02 Km²

En la Figura 5.9 se presenta la distribución espacial de las zonas de erosión eólica considerada.



Figura 5.9: Esquema de las áreas consideradas en la emisión por erosión eólica, IE 2013



El comportamiento de la velocidad del viento proviene de las estaciones La Greda y Principal, dada la configuración espacial de las distintas zonas consideradas. En este sentido se consideró un parámetro erosivo de 0,43, lo que implica que la erosión eólica se activa a partir de los 8 m/s de velocidad del viento (media horaria).

El cálculo de la emisión por erosión eólica se realizó mediante el Factor emisor presentado en el AP-42 (Ecuación 5.1), el cual considera las ráfagas de viento horarias. Para esto último se consideró la información meteorológica de la estación Principal y la estación La Greda, con un valor máximo de 13,7 m/s y 10,7 m/s, respectivamente.

$$FE = k \sum_{i=1}^n P_i \quad \text{Ecuación 5.1}$$

Donde:

K: Factor del tamaño de la partícula, para MP10=0,5 y MP2,5=0,075
P: Potencial de erosión g/m²

Con estas consideraciones, la emisión por zona se presenta en la Tabla V.9.

Tabla V.9: Emisiones por erosión eólica, año 2013 (ton/año)

Zonas	Tipos de material	MP10	MP2,5
Acopios de CODELCO	Concentrado de cobre	27,2	4,1
Acopios de AS GENER	Carbón	5,5	0,8
Acopios Puerto Ventana y Catamutún	Carbón	12,3	1,9
Acopio Planta Cementera	Escoria siderúrgica	3,2	0,5
Canchas deportivas	Superficie de Tierra	0,2	0,04
Total		48,5	6,9



5.2.4 Emisión por plantas de áridos

Las plantas de áridos como fuentes relevantes de emisión a ser consideradas, surgen de la visita a terreno realizada en el marco del estudio. En esta visita se detectó la presencia de un significativo número de plantas en el sector del río Aconcagua, cercanas a la localidad de Colmo.

Para caracterizar estas plantas desde el punto de vista de la emisión de contaminantes a la atmósfera se utilizó el IE-2008, estudio en el cual se analizaron 9 plantas de áridos presentes en la región. Para dichas plantas se estimaron las emisiones producto de las siguientes actividades de operación:

- Transferencia continua de material
- Chancado
- Clasificación de material
- Polvo resuspendido en la faena
- Extracción en el frente
- Acopio de material
- Tamizado

La estimación de emisiones de estas actividades, para cada planta analizada, genera la información de la Tabla V.10, en la que se muestra la emisión anual de cada planta analizada.

Tabla V.10: Emisiones de plantas de áridos IE-2008

Comuna	Planta	Emisiones (ton/año)		
		MP10	MP2,5	MP10
LA LIGUA	ARIDOS JAVIER RODRIGUEZ	0,57	0,25	0,21
LLAY-LLAY	TECNOMIX S.A.	9,97	4,39	4,39
LA LIGUA	TRICAM LTDA	1,52	0,67	0,60
SAN FELIPE	PLANTA DE ARIDOS CORDOVA LTDA	1,89	0,87	0,84
LOS ANDES	ARIDOS SANTA ELSA	0,44	0,20	0,17
SAN FELIPE	ARIDOS SERGIO VARGAS	4,22	1,87	1,85
SAN FELIPE	ARIDOS TRES ESQUINAS LTDA	1,10	0,51	0,50
LOS ANDES	PLANTA DE ARIDOS GUARDIA VIEJA	1,47	0,68	0,67
LOS ANDES	PLANTA DE ARIDOS EL SAUSAL	4,23	1,87	1,85
	Promedio por planta	2,82	1,26	1,23

Para efectos de este estudio se consideró la emisión promedio por planta, valores que se presentan en la última fila de la tabla.

Con lo anterior, y dado que se detectaron tres plantas en las inmediaciones de estación Colmo, se tiene que la emisión total considerada por plantas de áridos es 8,5 ton/año de MP, 3,8 ton/año de MP10, y 3,7 ton/año de MP2,5.

El emplazamiento de las plantas identificadas en terreno se presenta en la Figura 5.10.



Figura 5.10: Esquema de las plantas de áridos consideradas, IE 2013

5.3 RESUMEN INVENTARIO DE EMISIONES

La Tabla V.11 muestra que de las fuentes consideradas, para el caso del MP2,5, ENAP es responsable de un 56% del total de las emisiones, seguida de AES GENER y las otras fuentes puntuales.

En términos de las emisiones de SO₂, la Fundición CODELCO es la responsable del 53% de las emisiones, seguida AES GENER con un 40%.

Para el NO_x, entre AES GENER y ENAP emiten un 82% de la emisión total

Tabla V.11: Resumen Inventario de Emisiones (ton/año)

Tipo	Fuente	Emisión (ton/año)		
		MP2,5	SO ₂	NO _x
Puntual	AES GENER	382	10.301	8.557
	Fundición CODELCO	133	13.743	0
	ENAP	1.140	1.711	1.197
	Otras puntuales (DS 138)	255	178	979
	Subtotal	1.910	26.933	10.733
Areal	Urbana Puchuncaví	20,8	0,4	3,4
	Urbana Quintero	18,6	0,4	4,2
	Urbana Concón	24,5	0,3	8,3
	Transporte Puchuncaví	10	2,2	366,3
	Transporte Quintero	3,7	1,2	152,2
	Transporte Concón	21,9	5,0	619,5
	Acopios de CODELCO	4,1	0	0
	Acopios de AS GENER	0,8	0	0
	Acopios Puerto Ventana y Catamutún	1,9	0	0
	Acopio Planta Cementera	0,5	0	0
	Canchas deportivas	0,04	0	0
Plantas de áridos	3,7	0	0	
TOTAL	2.021	28.993	11.987	

1831

6. MODELACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE

Con las emisiones de MP2,5 y de sus gases precursores (SO₂ y NO_x) presentadas en el Capítulo 5, se corrió el modelo de transporte y dispersión de contaminantes atmosféricos aprobado por la US-EPA y autoridad ambiental chilena, denominado CALPUFF para estimar las concentraciones de material particulado fino primario (MP2,5) y secundario (SO₄ y NO₃). En primer lugar se estiman las concentraciones de MP2,5 total (primaria + secundaria) para el caso Base, y luego para el escenario con medidas de reducción de emisiones.

6.1 DESCRIPCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL MODELO UTILIZADO

Para obtener las concentraciones de MP2,5 primarias y secundarias, se seleccionó el sistema de modelación WRF-CALMET-CALPUFF, los cuales son recomendados por la agencia ambiental de los Estados Unidos (USEPA), y en particular los modelos WRF y CALPUFF también son los recomendados por la autoridad ambiental Chilena.

WRF (Weather Research and Forecasting), es un modelo de mesoescala, que permite generar la meteorología 3D de la zona basada en la topografía del lugar e información de reanálisis. WRF está en constante desarrollo y son varios centros de investigación a nivel mundial que aportan con actualizaciones y usos para diversos fines. El NCAR (National Center for Atmospheric Research) de Estados Unidos es el encargado de administrar, probar, y actualizar el código. CALMET, también es un modelo meteorológico que se alimenta de la topografía y usos de suelo del lugar, y de información de reanálisis y también de datos locales medidos en superficie y/o altura. En particular, CALMET permite bajar la resolución espacial de los datos generados por el modelo de mesoescala WRF y con esto mejorar el ajuste en terrenos con topografía irregular. CALPUFF es un modelo tipo puff de estado no-estacionario, multicapa y multi-especies, que puede simular los efectos de varias condiciones meteorológicas sobre el transporte, transformación, difusión, y remoción de contaminantes en la atmósfera. Las salidas de CALPUFF consisten en concentraciones de gases y partículas, así como las tasas de deposición de material particulado y gases, que contiene además, un módulo de fotoquímica que permite estimar el particulado secundario generado a partir de las emisiones de SO₂ y NO_x. Las estimaciones se realizan para cada punto receptor o en formato grillado, para cada hora de modelación. Los resultados de las modelaciones, en especial, con las isóneas de concentraciones de contaminantes permiten definir el área de influencia de las emisiones de las fuentes modeladas.

Dado que las principales emisiones de las fuentes ubicadas en el área de estudio son justamente las de material particulado primario fino (MP2,5) y gases emitidos por fundiciones, termoeléctricas, y refinería (SO₂ y NO_x), el sistema de modelación seleccionado permite cumplir con los objetivos de este estudio.

La Figura 6.1, muestra un diagrama del sistema de modelación. El módulo CALPOST es el encargado del procesamiento de los archivos de salida para obtener las métricas según normas de calidad del aire.

El modelo CALPUFF posee las ecuaciones para estimar las concentraciones de MP2,5 primario y secundario. Para el MP2,5 secundario, CALPUFF considera la transformación de SO₂ y NO_x a sulfatos y nitratos.

Para estimar el material particulado o aerosol secundario, tales como los sulfatos (SO₄) y nitratos (NO₃), CALPUFF utiliza el mecanismo denominado MESOPUFF II.

Para calcular las concentraciones de sulfatos, MESOPUFF II considera las siguientes tasas de transformación (Ecuación 6.1):

$$k_1 = 36 [R]^{0.55} [O_3]^{0.71} S^{-1.29} + k_1(aq)$$

$$k_1(aq) = 3 \times 10^{-8} \times [RH]^{4.0}$$

Ecuación 6.1

Dónde:

k₁ es la tasa de transformación de SO₂ a SO₄ (porcentaje/hora)
R es la radiación solar total (kw/m²)

[O₃] es la concentración de ozono background (ppm)
S es el parámetro de estabilidad atmosférica que va de 2 (Inestable) a 6 (Estable)
k_{1(aq)} es una parametrización de la componente en fase acuosa de la tasa de conversión del SO₂
RH es la humedad relativa (porcentaje)

Para calcular las concentraciones de nitrato, MESOPUFF II considera que el nitrato total (TNO₃ = HNO₃ + NO₃) es particionado en cada especie de acuerdo a una relación de equilibrio entre HNO₃ and NO₃. Este equilibrio varía en función del tiempo y el espacio, en respuesta a las variaciones en la temperatura ambiental y la humedad relativa. Además, la formación de nitrato está sujeta a la disponibilidad de NH₃ para formar nitrato de amonio (NH₄NO₃), que es la forma como el modelo considera al nitrato.

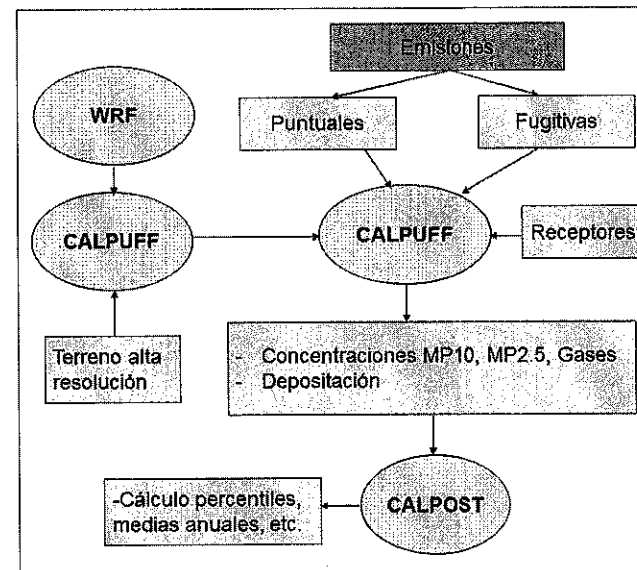


Figura 6.1: Esquema del sistema de modelación WRF-CALMET-CALPUFF

6.2 DOMINIO DE MODELACION

El dominio de modelación contiene las comunas de Puchuncaví, Quintero y Concón, y una superficie mayor para considerar los efectos del océano y la topografía del interior. Es así como se define una superficie de 50 X 60 kilómetros, cuyas coordenadas UTM SW son 247.438 m, 6.335.163 m, según Datum WGS- Huso19. La Figura 6.2 muestra el dominio de modelación. La resolución espacial (tamaño de la grilla) para este dominio se definió en 200 metros logrando un mejor ajuste de la modelación.

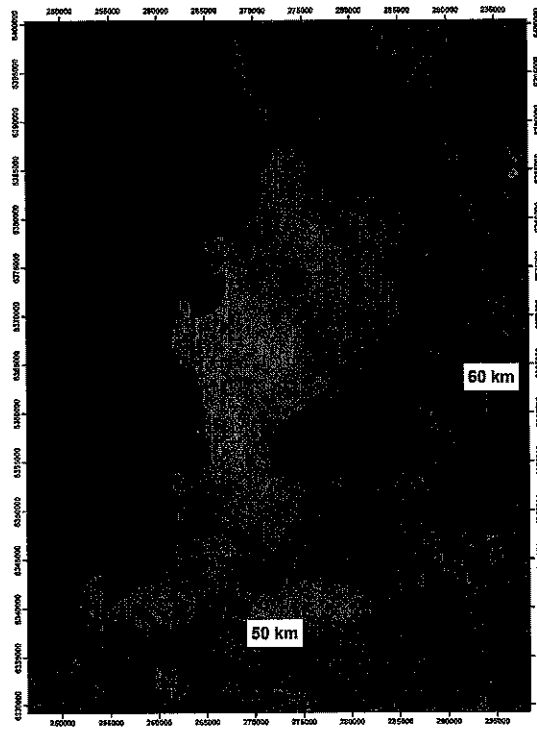


Figura 6.2: Dominio de Modelación

6.3 MODELACION DE AREAS DE AFECTACION DE ACOPIOS Y GRANDES FUENTES EN BASE AL ANALISIS DE TRAYECTORIAS DE MASAS DE AIRE

El análisis de trayectorias tiene por objeto hacer una evaluación de la dinámica espacial atmosférica, a diferencia del análisis meteorológico presentado anteriormente cuyo objetivo es detallar el comportamiento de las variables meteorológicas de la zona. Para esto se utilizó la modelación WRF 2013 generada para la zona de estudio (ver Capítulo 3).

Para aplicar el análisis de trayectorias es necesario definir los puntos relevantes a ser considerados. En este caso se analizan las trayectorias que seguirán partículas que salen⁹ de distintos puntos de emisión y que son transportadas por las masas de aire.

Los puntos de emisión considerados corresponden a dos grupos que son; canchas de acopio de material (que corresponden a tres grandes fuentes en la localidad de Ventanas), y chimeneas de grandes fuentes (sólo se considera la empresa ENAP). Cada una de estas zonas fue representada por distintas estructuras de puntos (vértices del polígono envolvente del acopio, y emplazamiento de las chimeneas en el caso de las grandes fuentes), los que serán los orígenes de las trayectorias.

La información específica que se obtiene del análisis de trayectorias es la posición en el espacio de una partícula que viaja (transportada en la masa de aire) desde el punto de origen, a una determinada hora. Así, cada trayectoria es una secuencia de puntos en el espacio y en el tiempo, con los cuales se caracteriza cada zona del territorio.

En la Figura 6.3 se muestra un ejemplo de resultado de la modelación de trayectorias. En la primera imagen se muestran todas las trayectorias que salen de un sólo vértice del polígono, para todas las horas de un día específico. En la segunda figura se muestran las trayectorias de todos los vértices del acopio, comenzando a las 12:00 horas y su proyección cada hora hasta 5 horas después.

⁹ Cabe mencionar que también se pueden analizar las trayectorias de partículas que llegan a distintos puntos.



Un vértice, todas las horas del día 16/07/2013 Todos los vértices, para la hora 12:00 del día 15/07/2013

Figura 6.3: Ejemplo de trayectorias de partículas que parten de un polígono de acopio de material.

Como se puede apreciar, las trayectorias de partículas muestran variabilidad tanto espacial como temporal, la que está determinada por el comportamiento de la masa de aire en la zona, la cual se ve afectada por la topografía del lugar.

El análisis de trayectorias se aplicó para determinar las distintas zonas que son potencialmente afectadas¹⁰ por la emisión de partículas desde los distintos puntos considerados (en el caso de los acopios corresponde a los puntos más extremos, ya que se emplazan en la envolvente del polígono). Es así que el potencial efecto en una zona se determina por medio de la cantidad de horas al año (y también al mes) en que alguna trayectoria de masas de aire pasa por dicha zona.

Para el análisis de los resultados se consideran tres umbrales de probabilidad, que son 5%, 15%, y 25%. Estos umbrales significan, en términos promedios, una afectación de 1 hora al día (5%), 4 horas al día (15%), y 6 horas al día (25%), para todos los días del mes o del año según corresponda. Cada umbral así definido, determina y/o encierra un área entorno al punto analizado, que cumple con que la afectación es "a lo menos" el umbral utilizado, es decir, la curva del 25% (que equivalente a 6 horas al día, que en las figuras se grafica de color amarillo) encierra el área cuya afectación es mayor o igual a 6 horas diarias. Así mismo ocurre con las curvas de 4 horas (15%, curva de color azul), y 1 hora (5%, curva de color rojo). Aclarado lo anterior, a continuación se presentan de forma diferenciada los resultados para las distintas fuentes analizadas.

6.3.1 Áreas de acopio de material de AES GENER

En la Figura 6.4 se presenta el área considerada para esta empresa (polígono de acopio), que contempla una superficie de aproximadamente 4 hectáreas, la cual fue representada por un total de 11 vértices, los que también se presentan en la Figura 6.4. De modo referencial se muestra el emplazamiento de las estaciones monitoras de calidad de aire de la zona. En la Figura 6.5 se presenta el resultado del análisis de trayectorias, para el período anual.

De la Figura 6.5 se puede apreciar que el efecto anual del acopio de la empresa AES GENER tiene un potencial de afectación de a lo menos una hora (1 hora para todos los días del año) en parte de la localidad de La Greda. Dicho potencial de afectación no se extiende a la localidad de Ventanas. Las zonas de mayor potencial de afectación (4 y 6 horas diarias) se concentran en el entorno directo del acopio, es decir, a una distancia no mayor de 200 metros.

¹⁰ El efecto real de una fuente de emisión, en un territorio determinado, se determina aplicando el modelo de calidad de aire implementado para el área de estudio.



Figura 6.4: Polígono de acopio de material considerado para la empresa AES GENER

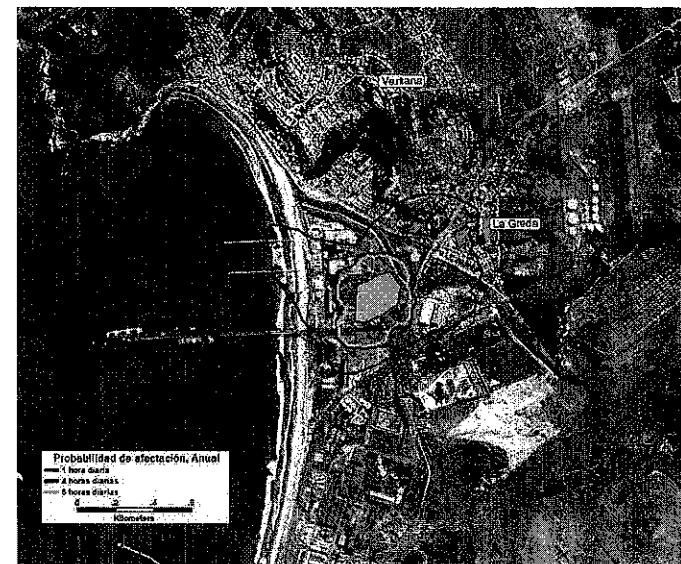
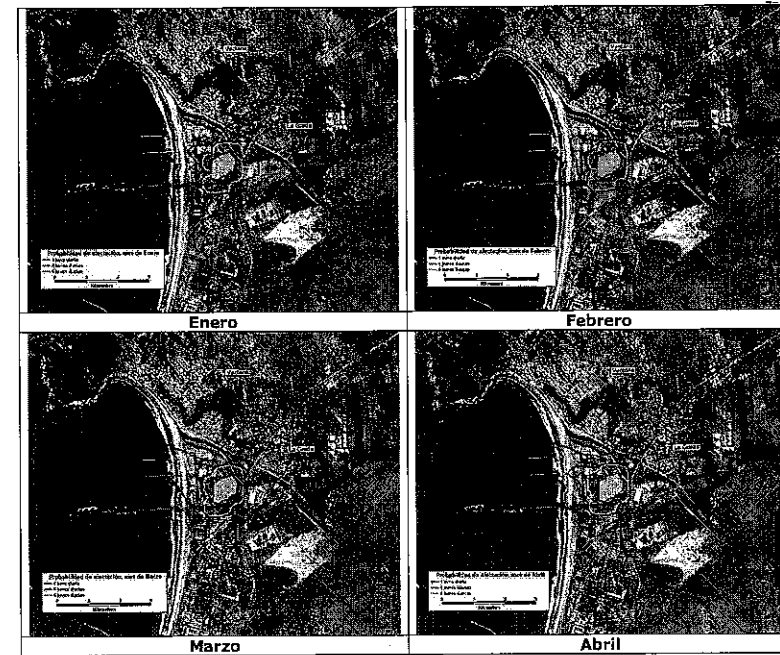


Figura 6.5: Área de afectación anual del polígono de acopio de material considerado para la empresa AES GENER

A continuación se presenta la variabilidad mensual del área de afectación, producto de la variabilidad estacional de las condiciones meteorológicas en la zona. En la Figura 6.6

se presenta la evolución mensual de las áreas de afectación analizadas. Del análisis se desprende que:

- Las áreas de mayor potencial de afectación diaria (4 y 6 horas) no presentan una variabilidad espacial significativa, manteniéndose en los 200 metros entorno del acopio.
- El área de afectación de a lo menos una hora diaria sí presenta variabilidad estacional-espacial en relación a la localidad de La Greda. Es así que en el período de Abril a Julio, el área de afectación se orienta en dirección Oeste, no afectando la localidad de la Greda. En el mes de Agosto, comienza el desplazamiento del área de afectación de una hora en dirección Este-Noreste, afectando a partir de Septiembre (y hasta Marzo) la localidad de La Greda. Cabe señalar que el área de afectación no siempre incluye al emplazamiento actual de la estación monitora de calidad de aire.



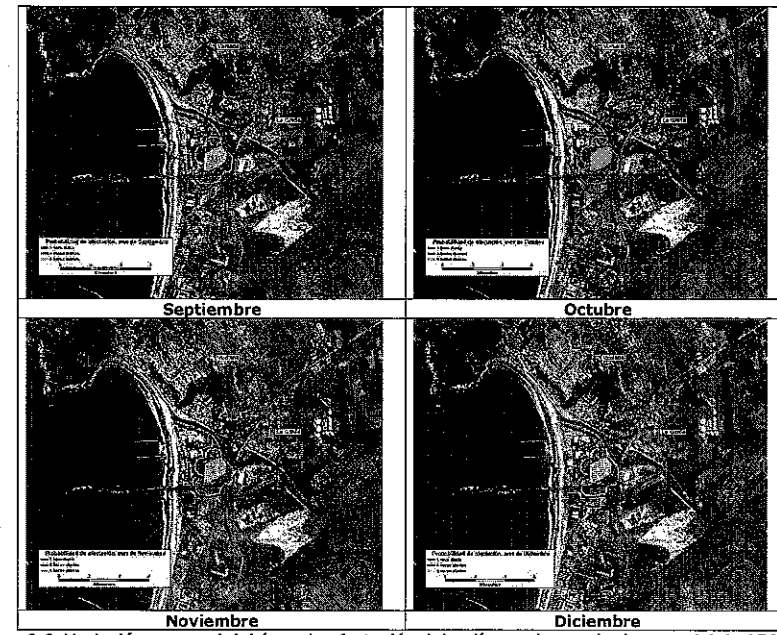
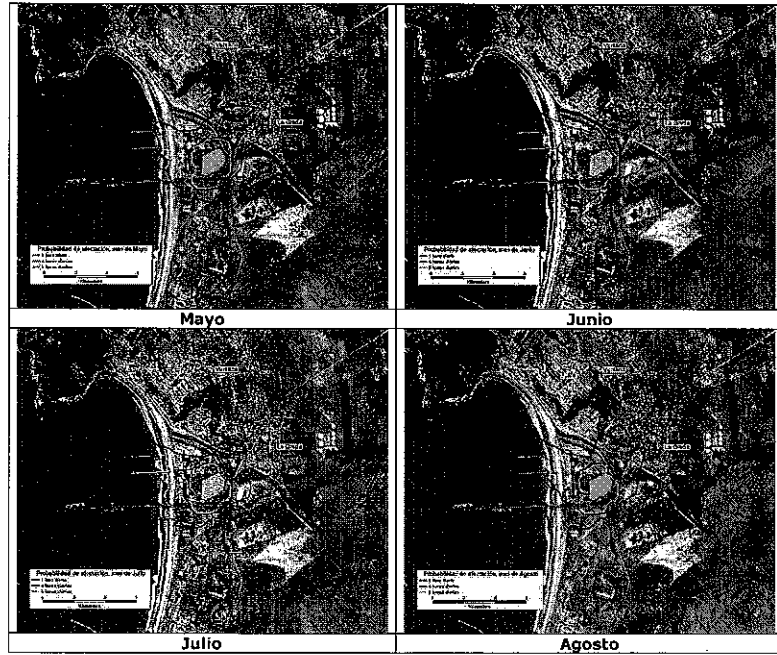


Figura 6.6: Variación mensual del área de afectación del polígono de acopio de material de AES GENER

6.3.2 Áreas de acopio de material de Fundición CODELCO

En la Figura 6.7 se presenta el área considerada para el polígono de acopio de la fundición Codelco Ventanas, que contempla una superficie de aproximadamente 18 hectáreas, la cual fue representada por un total de 36 vértices, los que también se presentan en la Figura. De modo referencial se muestra el emplazamiento de las estaciones monitoras de calidad de aire en la zona. En la Figura 6.8 se presenta el resultado del análisis de trayectorias, para el período anual.

De la Figura 6.8 se aprecia que el efecto anual del acopio de la fundición CODELCO tiene un potencial de afectación menor de una hora en las localidades de La Greda y Ventanas, es decir, presenta un bajo potencial de afectación de dichas localidades. Las zonas que muestran la mayor potencial de afectación (4 y 6 horas diarias) se concentran en el entorno directo de los acopios, es decir, a una distancia no mayor de 250 metros.



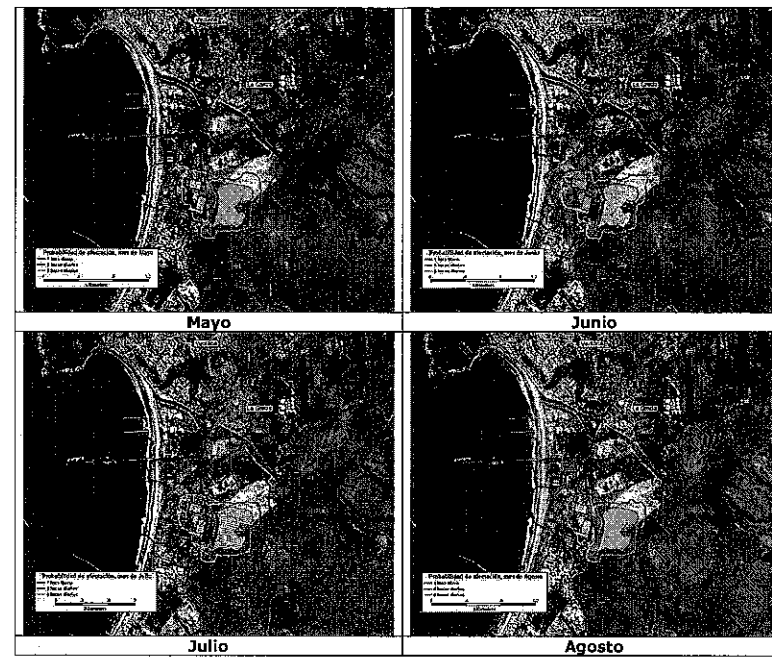
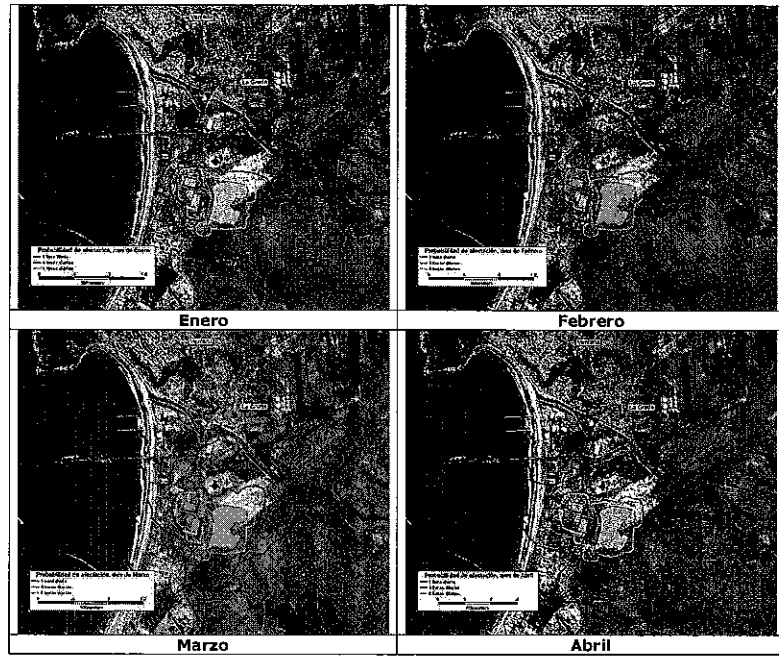
Figura 6.7: Polígono de acopio de material considerado para la fundición CODELCO



Figura 6.8: Área de afectación anual del polígono de acopio de material considerado para la fundición CODELCO

A continuación se presenta la variabilidad mensual del área de afectación, producto de la variabilidad estacional de las condiciones meteorológicas en la zona. En la Figura 6.9 se presenta la evolución mensual de las áreas de afectación analizadas. Del análisis se desprende que:

- Las áreas de mayor potencial de afectación diaria (4 y 6 horas) no presentan gran variabilidad espacial en su entorno, manteniéndose en los 250 metros entorno de los acopios considerados.
- El área de afectación de a lo menos una hora diaria sí presenta variabilidad espacial en el territorio. Al igual que en el caso de la empresa AES GENER, en el período de Abril a Julio, el área de afectación se orienta en dirección Oeste, mientras que, a partir del mes de Agosto comienza el desplazamiento del área de afectación de una hora en dirección Este-Noreste. En este caso no se aprecia la afectación de algún área poblada.



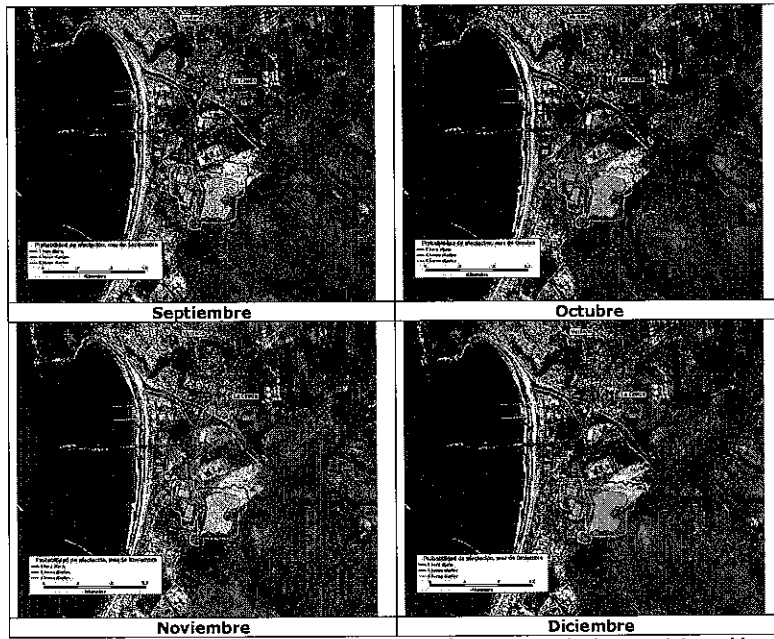


Figura 6.9: Variación mensual del área de afectación del polígono de acopio de material considerado para la Fundación CODELCO

6.3.3 Áreas de acopio de material del Puerto Ventanas y Catamutún

En la Figura 6.10 se presenta el área considerada para el polígono de acopio del Puerto Ventanas y Catamutún, que contempla una superficie de aproximadamente 9 hectáreas, la cual fue representada por un total de 12 vértices, los que también se muestran en la Figura. De modo referencial se muestra el emplazamiento de las estaciones monitoras de calidad de aire en la zona. En la Figura 6.11 se presenta el resultado del análisis de trayectorias, para el período anual. Ambos acopios corresponden a carbón.

De la Figura 6.11 se puede apreciar que el efecto anual del acopio del Puerto Ventanas tiene un potencial de afectación anual de a lo menos una hora en el sector Sur de la localidad de La Greda. Dicho potencial de afectación (1 hora para todos los días del año) no se presenta en la localidad de Ventanas. Las zonas de mayor potencial de afectación (4 y 6 horas diarias) se concentran en el entorno directo del acopio, es decir, a una distancia no mayor de 200 metros. Pero en este caso, dicho entorno alcanza el vértice sur del área poblada de la localidad de La Greda.



Figura 6.10: Polígono de acopio de carbón considerado para el Puerto Ventanas y Catamutún

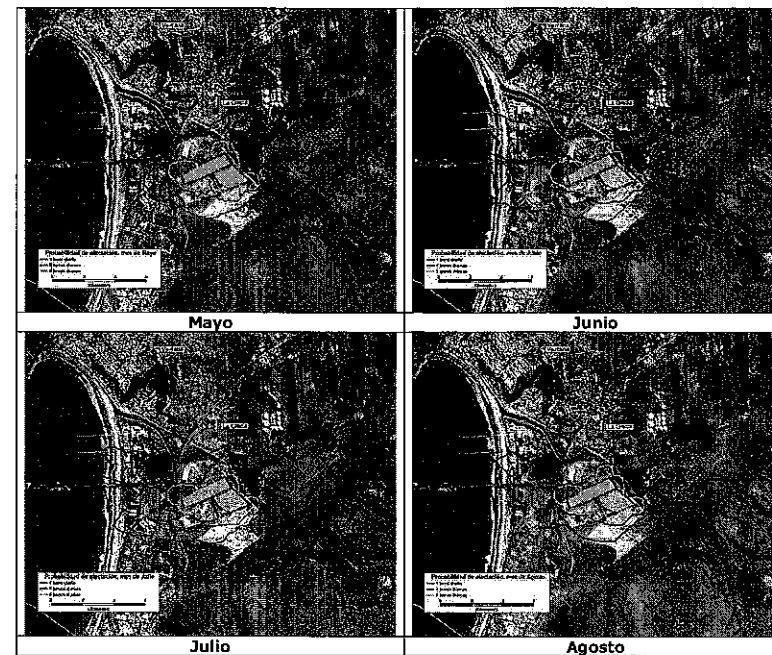
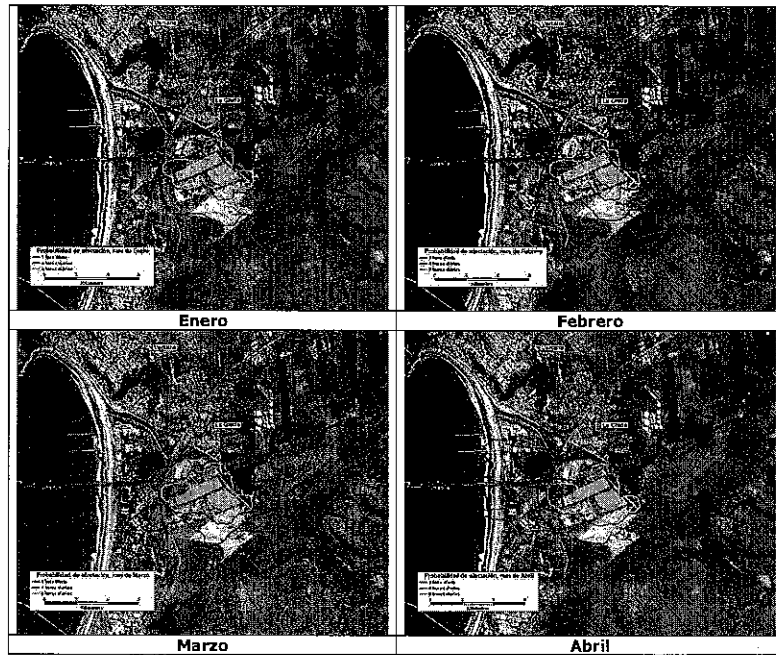


Figura 6.11: Área de afectación anual del polígono de acopio de carbón considerado para el Puerto Ventanas y Catamutún

A continuación se presenta la variabilidad mensual del área de afectación, producto de la variabilidad estacional de las condiciones meteorológicas en la zona. En la Figura 6.12 se presenta la evolución mensual de las áreas de afectación analizadas. Del análisis se desprende que:

- Las áreas de mayor potencial de afectación diaria (4 y 6 horas) no presentan una variabilidad espacial significativa, enmarcándose en los 200 metros entorno del acopio, incluyen siempre el vértice sur del área poblada de la localidad de La Greda.
- Nuevamente el área de afectación de a lo menos una hora diaria presenta variabilidad estacional-espacial en relación a la localidad de La Greda. Es así que a lo largo de casi todo el año (siendo la excepción el mes de Abril), el área de afectación incluye el área sur de la localidad de La Greda. Durante los meses de Febrero, Marzo, Mayo, Junio, Septiembre, y Octubre, la penetración del área de afectación al área sur de la localidad de La Greda es mayor. En este caso la estacionalidad de las condiciones atmosféricas no se refleja, de forma tan clara

como en los otros casos analizados, en el comportamiento de la zona de afectación.



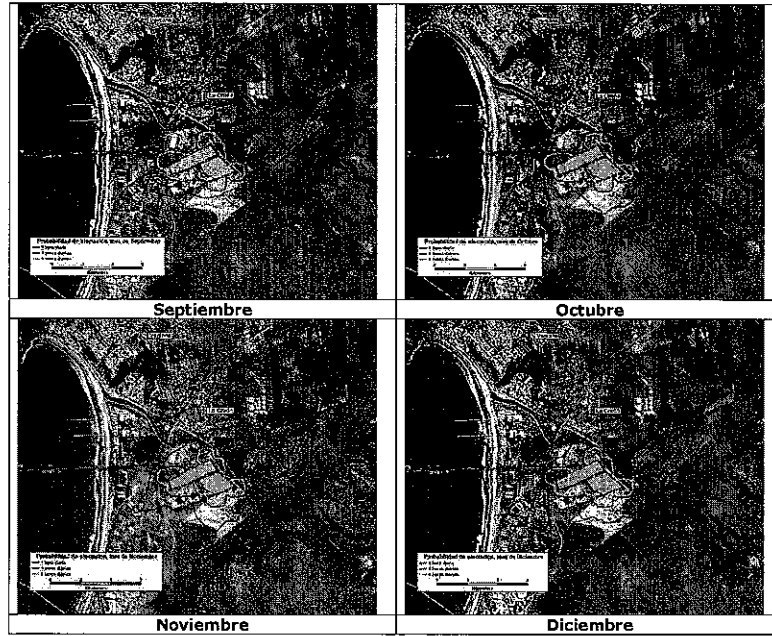


Figura 6.12: Variación mensual del área de afectación del polígono de acopio de material en Puerto Ventanas y Catamutún

La Concepción Nº 191, oficina 508-Providencia - Teléfonos: (09)- 883 65 90 - (02) 22093838
 psanhuaza@geoaire.cl - http://www.geoaire.cl

6.3.4 Análisis integrado de la afectación de las áreas de acopio de material, en las estaciones de monitoreo de calidad de aire de La Greda y Ventanas

A modo de síntesis, y dado que los análisis anteriores se han referido a las localidades de La Greda y Ventana, se presenta en la Tabla VI.1 una síntesis mensual de las horas de afectación promedio de las distintas zonas de acopio analizadas, en las estaciones monitoras de calidad de aire de La Greda y Ventanas. En la Tabla se ha incluido una línea denominada la "peor condición", que corresponde a la suma de las horas de afectación de las tres empresas analizadas. Esta peor condición se daría cuando cada empresa afectara en horas distintas a la estación.

Como se puede apreciar de la Tabla VI.3, la estación La Greda se ve afectada (con valores mayores de una hora diaria) principalmente por los acopios de las empresas AES GENER y Puerto de Ventanas, lo que responde a la lógica de su cercanía. Pero la variabilidad estacional indica que los meses más críticos son Febrero y Marzo, donde se acoplan ambos efectos. Los meses de menor efecto conjunto son Julio y Mayo.

Para la estación Ventanas, no se aprecia un efecto ni individual ni acumulado significativo (mayor de una hora diaria). Independiente de lo anterior, el periodo potencialmente más crítico en términos de efecto acumulado es entre Abril y Octubre.

Tabla VI.1: Afectación integrada de las estaciones monitoras de calidad de aire La Greda y Ventanas

Estación	Zona de Acopio	Horas de Afectación												
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANO
La Greda	Acopios AES GENER	1,5	1,4	2,0	1,0	0,4	1,1	0,5	0,9	1,0	1,4	1,4	1,5	1,2
	Acopios Fundación CODELCO	0,5	0,8	0,5	0,7	0,6	0,9	0,6	0,8	0,8	0,8	0,4	0,6	0,7
	Acopios Puerto Ventana	0,6	1,2	1,6	1,1	1,0	1,2	0,8	1,1	1,4	1,0	0,8	0,7	1,0
	Peor condición (suma)	2,7	3,4	4,1	2,7	2,0	3,2	1,8	2,8	3,1	3,1	2,6	2,6	2,9
Ventanas	Acopios AES GENER	0,1	0,3	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,3	0,5	0,3	0,2	0,1	0,3
	Acopios Fundación CODELCO	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,2
	Acopios Puerto Ventana	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2
	Peor condición (suma)	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	0,8	0,7	0,9	1,0	0,8	0,6	0,3	0,7

En síntesis, el comportamiento de las partículas emitidas en los distintos elementos analizados, producto del movimiento de las masas de aire, presenta en general una variación estacional clara. Es por esto que las curvas de efectos potenciales se desplazan en dirección Noroeste en los meses de invierno, y en dirección Sureste en los meses de verano. Lo anterior, unido a la cercanía de centros poblados, conforma las distintas situaciones presentadas, principalmente para la localidad de La Greda y Concón, las que se ven, en determinados meses del año, más expuestas a efectos diarios significativos (1 hora o 4 horas diarias, todos los meses o año).

6.4 RESULTADOS DE LA MODELACION DEL CASO BASE

A partir de las emisiones presentadas en el Capítulo 5 para el Caso Base (año 2013), se procedió a modelar y obtener las concentraciones en las distintas estaciones de monitoreo y en formato grillado para el MP2,5 total (primario + secundario).

La Tabla VI.2 muestra los resultados de la modelación obtenidos en las estaciones de calidad del aire. De ella se observa que en las estaciones La Greda, Los Maitenes, Ventanas, y Sur la Fundición de Cobre de Ventanas aporta con $3,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $3,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $4,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente a la media anual de MP2,5. En la estación Valle Alegre las emisiones de AES-GENER contribuyen en $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En las estaciones Puchuncaví y Quintero la Fundición de Cobre de Ventanas aporta con $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por su parte, la refinería de ENAP contribuye con $16,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $4,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en las estaciones de Concón, Colmo y Junta de vecinos, y Las Gaviotas.

La Figura 6.16 muestra las concentraciones modeladas y observadas para el caso base.

De ella se observa que:

- Sólo en la estación Concón se logra un buen ajuste, es decir, con las fuentes modeladas se replica la media anual. En el resto de las estaciones el modelo sólo replica parte de la línea base. Lo anterior es lógico en la medida de que el inventario de emisiones construido no recoge todas las fuentes de la zona de análisis y porque la modelación secundaria sólo estima sulfatos y nitratos.
- El efecto de las emisiones de la empresa AES GENER es superior a $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en casi la totalidad de las estaciones, siendo mayor en las estaciones de su entorno directo. En las estaciones de la comuna de Concón también se registran aportes significativos en la media anual (por sobre $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- El efecto de las emisiones de la Fundición de Cobre de Ventanas es significativa en las estaciones de su entorno, siendo mayor en las estaciones Ventanas, La Greda, Los Maitenes, y Sur. En las estaciones de Quintero y Puchuncaví también es significativo el aporte.
- El efecto de las emisiones de ENAP está fuertemente concentrado en las estaciones de su entorno directo, como Concón. En esta estación el aporte es muy significativo ($16,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

En definitiva, se aprecia en la estación de Concón una situación de saturación para MP2,5. Su estructura de aporte es principalmente ENAP. En las estaciones en situación de latencia, las grandes fuentes consideradas en la modelación explican sobre el 30% de lo observado como línea base, situación que no deja de ser significativa.

Cabe destacar que en este estudio la modelación fotoquímica que estima el MP2,5 secundario solo fue considerada en términos de sulfatos y nitratos. Por otro lado, y de acuerdo al análisis de la modelación meteorológica, se obtuvo que debido a que la temperatura estaba sobreestimada, se esperaba un mayor desarrollo de la capa de mezcla y por tanto una menor concentración de MP2,5 modelado.

De igual forma, al estar subestimada la Humedad Relativa, se esperaba una menor formación de sulfatos y nitratos. Respecto a los sulfatos se podría compensar su menor estimación por baja Humedad Relativa al considerar que la Radiación Solar está sobreestimada y por tanto esto generaría mayor formación de SO_4 .

Por tanto, la validez de la modelación realizada radica en conocer el aporte del $\text{MP}_{2,5}$ de las principales fuentes industriales de las comunas y no reproducir las concentraciones medidas.

Tabla VI.2: Resultados de la Modelación Caso Base: $\text{MP}_{2,5}$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Estaciones (ENAP)	Fundición Ventanas	AES-GENER	Otras Fuentes	TOTAL
La Greda	0,9	3,8	0,9	5,6
Los Maitenes	0,8	3,2	1,3	5,7
Ventanas	1,1	4,7	1,0	9,1
Sur	1,4	2,5	1,2	5,6
Valle Alegre	0,7	1,3	1,5	3,8
Puchuncaví	0,5	2,0	1,5	5,7
Quintero	1,7	2,0	0,6	5,4
Concón	16,9	0,6	1,0	20,8
Junta de vecinos	4,9	0,6	0,9	11,7
Colmo	4,9	0,5	0,9	7,6
Las Gaviotas	9,0	0,6	1,0	11,5

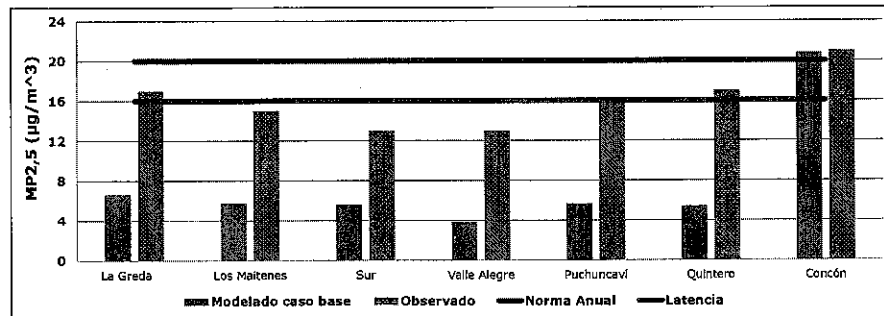


Figura 6.16: Concentraciones de $\text{MP}_{2,5}$ modeladas y observadas

Las Figura 6.17 a 6.20 muestran las isolíneas de concentraciones de $\text{MP}_{2,5}$ al considerar el total de las emisiones incluidas en este estudio, así como también al considerar solo las emisiones de AES-GENER, Fundición de Cobre de CODELCO, y ENAP, respectivamente.

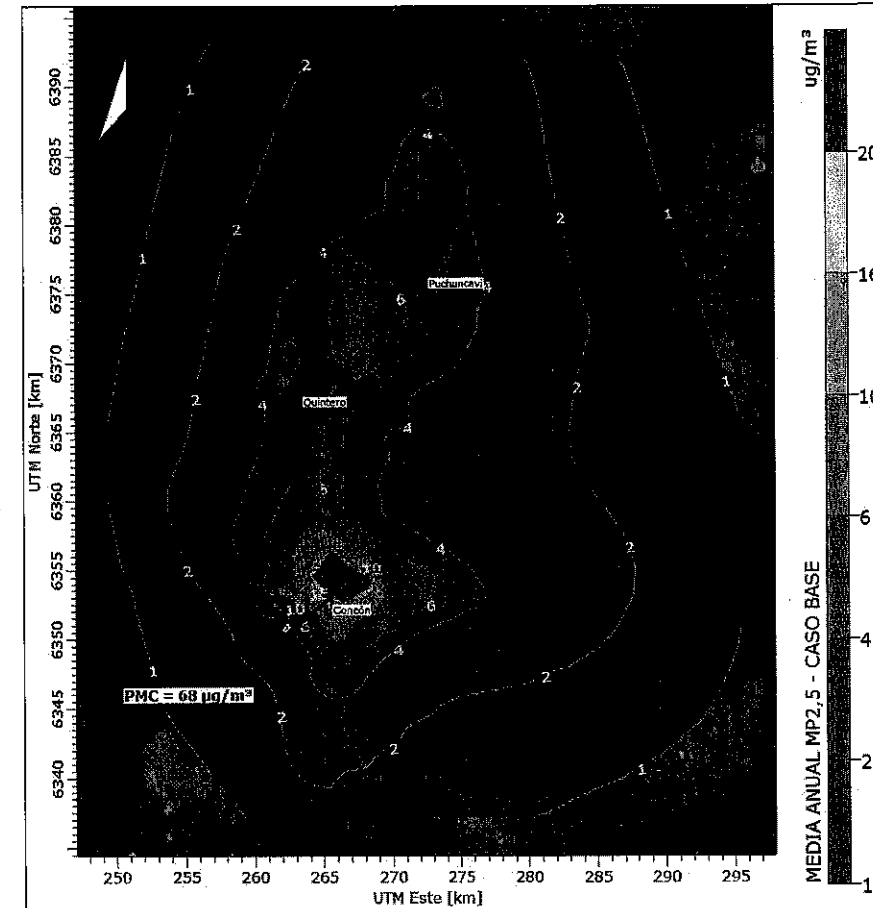


Figura 6.17: Media Anual Caso Base

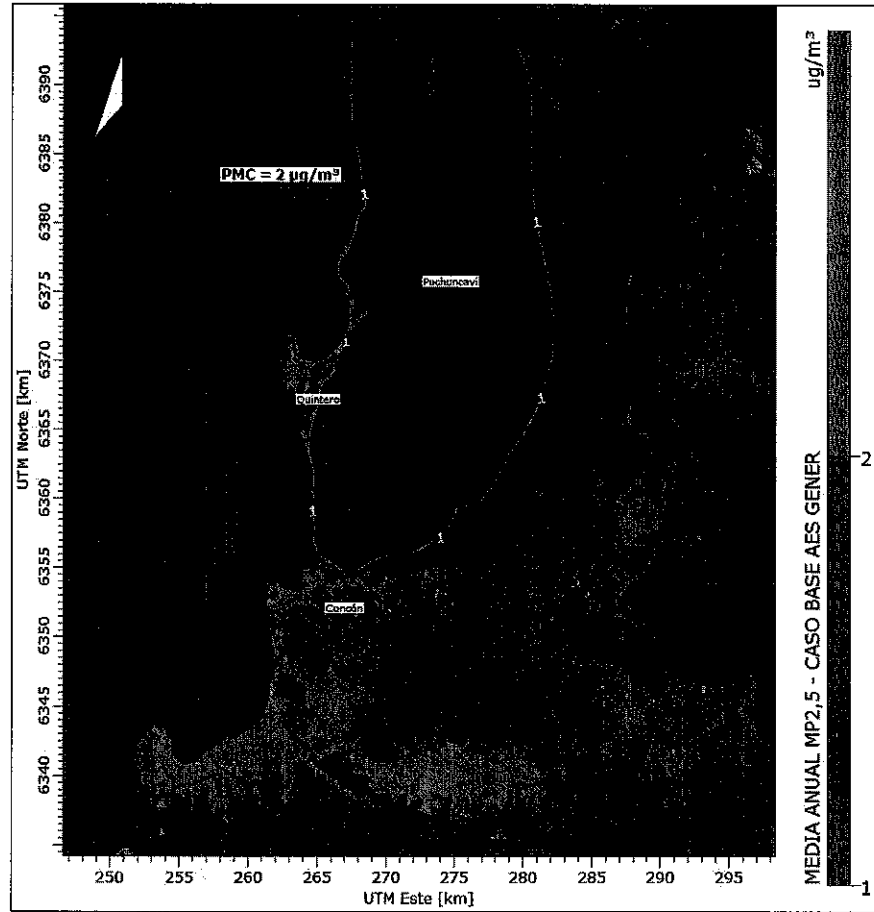


Figura 6.18: Media Anual MP2,5: Caso Base AES GENER

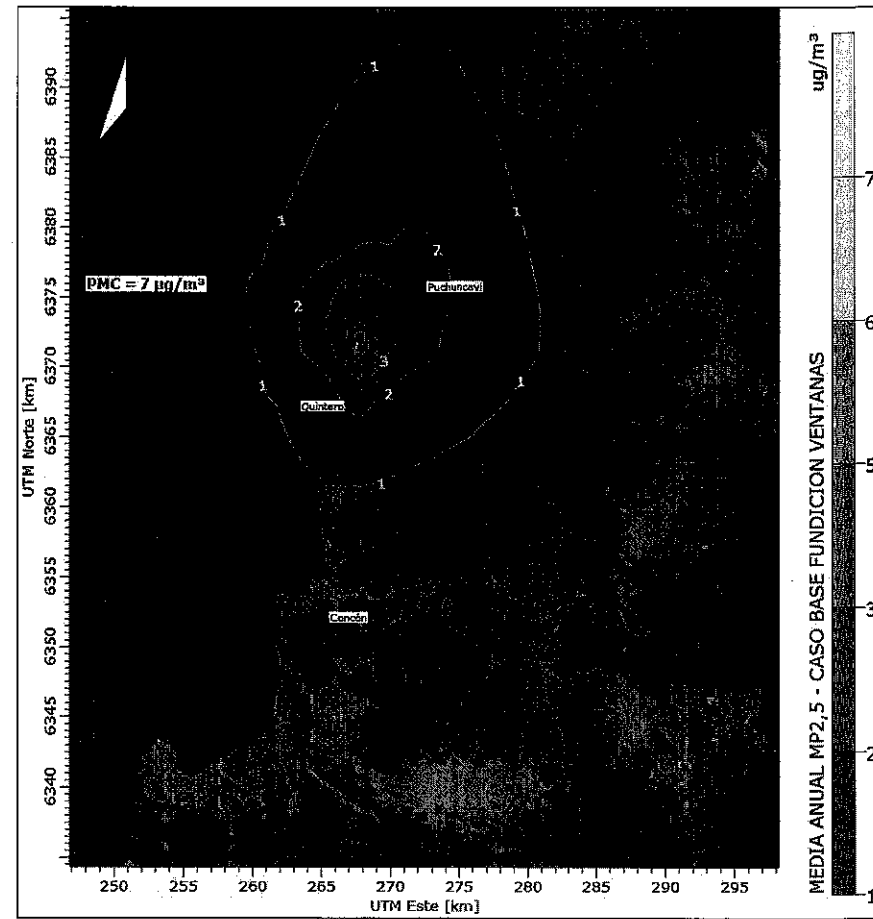


Figura 6.19: Media Anual MP2,5: Caso Base Fundición de cobre Ventanas

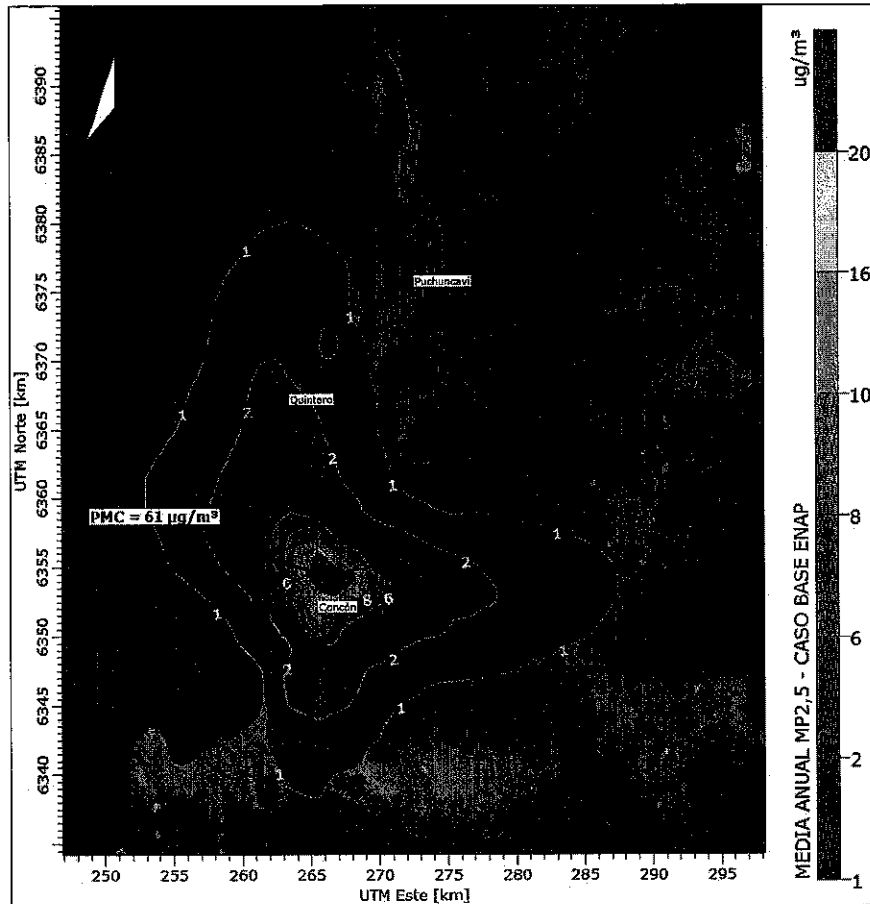


Figura 6.20: Media Anual MP2,5: Caso Base ENAP

7. MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES

Dado que la situación actual (Caso Base) presenta condiciones de saturación por MP2,5 en el área de estudio, se han evaluado una serie de medidas las cuales contienen un potencial de reducción de emisiones, que fueron modeladas para efectos de calcular su reducción en términos de concentraciones, y de esta forma evaluar si es posible que la zona salga de la categoría de saturación.

En este capítulo se expone el análisis de distintas medidas de reducción de emisiones, presentando el potencial de reducción de emisiones y la modelación del escenario con medidas.

Cabe notar que las medidas incluyen el control no sólo del MP2,5 primario, sino además de los gases precursores, como el SO₂ y NOx.

7.1 ANTECEDENTES PARA DEFINIR MEDIDAS

Para poder definir las medidas de reducción de emisiones planteadas en este estudio, se procedió a la revisión de los siguientes antecedentes:

- Informe de evaluación Plan de Descontaminación del complejo industrial Las Ventanas, 1993-2004.
- El Anteproyecto del Plan Ventanas, elaborado en reuniones de trabajo de la SEREMI del Ministerio de Medio Ambiente de la región de Valparaíso.

A continuación se presenta un resumen de cada uno de ellos:

- **Evaluación del Plan de Descontaminación del Complejo Industrial Las Ventanas, 1993-2004**

El D.S. N°185/92 estableció el requerimiento de instalar una red de monitoreo de calidad del aire en la zona del "Complejo Industrial de Ventanas". Debido a que las concentraciones monitoreadas por dicha red alcanzaron niveles por sobre la norma establecida por el D.S. N°185/92. Es así como el año 1994 se declaró la zona como saturada en material particulado respirable (MP10) y dióxido de azufre (SO₂).

Las empresas AES, GENER S.A. y Fundición y Refinería Ventanas presentaron de forma conjunta, un Plan de Descontaminación el cual fue aprobado por el D.S. N°252/92 el año 1993. Este Plan establecía un cronograma de reducción de emisiones de SO₂ y MP10, el cual fijaba metas de emisión de Azufre hasta el año 1998 y de material particulado hasta el año 1999. Cabe mencionar que el Plan no establecía medidas específicas para las fuentes industriales, refiriéndose sólo a las metas de reducción de contaminantes.



Para lograr la reducción programada, la empresa AES GENER S.A. instaló un precipitador electrostático, además de disminuir el contenido de azufre y ceniza en el carbón. Estas medidas fueron implementadas entre los años 1995 y 1996. En el caso de la Fundición Ventanas, las medidas incluyeron la implementación de una Planta de ácido, la instalación de un horno eléctrico, así como el manejo de los gases de los Convertidores y el Horno eléctrico. Dichos cambios fueron implementados entre los años 1996 y 1999.

Las medidas implementadas produjeron una significativa reducción de las emisiones de material particulado y SO₂ en la zona de Ventanas. En lo que respecta a material particulado, a partir del año 2000 las emisiones se encuentran por debajo de las 1.500 Ton/año, lo que equivale a una reducción de 94,4 % de las emisiones de material particulado de la zona al año 1996.

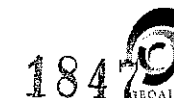
En lo que respecta a SO₂, a partir del año 2000 las emisiones se encuentran bajo las 40.000 Ton/año, lo que es equivalente a una reducción aproximada de un 68% de las emisiones de SO₂ de la zona respecto al año 1996.

De los análisis de los monitoreos de la Red Ventanas, en el período comprendido entre el año 1993 al 2004 se concluye lo siguiente:

- Norma de SO₂ anual y diaria se cumple y las concentraciones registradas están bajo el nivel de saturación y latencia.
- Norma de MP10 diaria se cumple y las concentraciones registradas están bajo el nivel de saturación y latencia.
- Norma de MP10 Anual registra niveles bajo saturación, pero sobre latencia.
- Respecto a la norma de calidad secundaria, se observa un incumplimiento de la norma horaria de SO₂ desde el año 1993 al 2004, las concentraciones registradas se encuentran sobre el nivel de saturación.

Posterior al año 2004 la empresa AES GENER S.A. instaló desulfurizadores en todas sus unidades.

Actualmente rigen en este complejo industrial, además de las condiciones del Plan de Descontaminación Atmosférico, las normas de emisión de Termoeléctricas (D.S. N°13/11 del Ministerio de Medio Ambiente) y la norma de emisión de Fundiciones de cobre (D.S. N°28/13 del Ministerio de Medio Ambiente).



• Anteproyecto Plan Ventanas

Este documento, elaborado en julio del 2014, describe las grandes fuentes industriales presentes en la zona, se caracterizan los tratamientos de mitigación de MP2,5 y SO₂ y se evalúan distintas medidas de reducción de emisiones. Cabe destacar que en este documento no se analiza ni propone medidas para ENAP.

A continuación se presentan los principales puntos analizados en el documento.

Complejo Termoeléctrico de ventanas

Para este complejo se caracterizan las cuatro unidades que están operativas en función de su año de inicio de operación, la capacidad instalada, y el combustible utilizado.

Lo más relevante en este caso es que:

- Las unidades 1, 2, 3 y 4 presentan equipos de mitigación de emisiones activos.
- La unidad 1 posee equipos de mitigación en servicio, que consisten en un desulfurizador, un precipitador electrostático, y un filtro de mangas.
- La unidad 2 cuenta con un desulfurizador, un precipitador electrostático, y un filtro de mangas. En este caso el rendimiento operacional del año 2013, determinado en función de los informes mensuales reportado por la empresa, es de un 53%, siendo que el rendimiento del equipo de prueba fue de 83% (según presentación entregada por la misma empresa).
- Las unidades 3 y 4 (Nueva Ventana y Campiche) cuentan con desulfurizadores y filtros de manga en servicio desde 2010 y 2013 respectivamente. Para estas unidades el rendimiento operacional del año 2013 es de un 55%, sin embargo, el rendimiento del equipo de prueba fue de 74%.

Las medidas consideradas en este caso se refieren, para el SO₂, al cumplimiento del límite de emisión de Termoeléctricas en chimeneas (D.S. N° 13/2010) para SO₂ de 200 mg/m³N. El argumento de esta medida se basa en la capacidad de aumento de las eficiencias de los desulfurizadores, por no alcanzar la eficiencia de prueba.

En el caso del MP, se establece un límite de 20 mg/m³N, en todas las unidades. Este límite se argumenta en base a la RCA N° 275/10 del proyecto complementario de compensación de emisiones del proyecto Campiche.



Refinería y Fundición de Cobre Ventanas

Para este complejo se caracterizan los procesos de fundición, refino a fuego, y planta de ácido.

Lo más relevante en este caso es que:

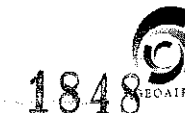
- La planta de ácido es de doble contacto desde el año 1997.
- El horno eléctrico tiene en servicio un precipitador electrostático para controlar MP.
- La planta de secado tiene en servicio un filtro de manga.

Las medidas consideradas para el SO₂, contemplan el cumplimiento del límite de emisión (DS N° 28/2013) para SO₂ de 600 ppm, pero se propone reducir a 200 ppm en base a antecedentes de la norma de emisión de fundiciones. Como establecimiento se propone el límite de 9.000 ton/año, en base a informe técnico de COPRIM (expediente de la norma de fundición).

Para el Horno de refino a fuego, se propone dejar sin efecto la exigencia de nivel de opacidad, y reemplazarla por un límite de emisión (que simplifica las labores de medición, y es factible tecnológicamente).

Acopios de material

Dado que los acopios de material (mineral y graneles), son una fuente de emisiones fugitivas, impactando las áreas pobladas cercanas, se proponen medidas para evitar la erosión de material.



7.2 MEDIDAS DE REDUCCION DE EMISIONES

Es importante destacar que en la actualidad existen normas de emisión para Fundiciones de Cobre y para Termoeléctricas, las cuales estarán totalmente implementadas al año 2017. Este escenario fue modelado, y de la evaluación se obtuvo que con ellas no es posible salir de la categoría de saturación, por tanto es necesario aplicar medidas adicionales para poder salir de la condición de saturación en las comunas de Puchuncaví, Quintero, y Concón. Estas medidas consideran mejoras tecnológicas disponibles en el mercado, y se estima que estén en funcionamiento el año 2018. Esto debido a que un tiempo típico de implementación de medidas tecnológicas como las aquí planteadas, requieren entre 3 a 5 años, según la experiencia en la implementación de medidas de control de emisión de las normas de Termoeléctricas y Fundiciones de cobre.

De acuerdo al aporte en términos de emisiones planteadas en el Capítulo 5 del presente estudio, se observó que AES-GENER, Fundición de Cobre Ventanas, y la refinería ENAP, son las que contribuyen mayoritariamente a las emisiones de particulado. Así como también medidas asociadas a las áreas de acopio, ya que de acuerdo al análisis de trayectorias de masas de aire, se observó que en determinadas situaciones las localidades de La Greda y Concón se ven más expuestas a efectos diarios significativos.

A continuación se describen las medidas aplicables a cada una de las empresas.

1.- AES-GENER: En la comuna de Puchuncaví, se encuentran las cuatro unidades de GENER, denominadas Unidad 1, Unidad 2, Nueva Ventana, y Campiche. La medida considera un aumento adicional de la eficiencia del sistema de control, considerando para el SO₂ un límite de emisión en chimeneas de 200 mg/m³N. Este valor está basado en la eficiencia de los desulfurizadores los cuales no han alcanzado el potencial de diseño recomendado por proveedor.

2.- Fundición de Cobre Ventanas: Se evaluó el escenario de aplicación de un sistema de control de material particulado en la unidad de horno de refino considerando un límite de 50 mg/m³N.

Se establece un valor de 200 ppm de SO₂ en la Planta de ácido, este valor es factible de cumplir según antecedentes que constan en el expediente de la norma de Fundiciones de Cobre.

3.- Refinería ENAP: En ENAP se evalúa la implementación de un sistema de control en el cracking catalítico, realizar una conversión de los quemadores convencionales a otros disponibles en el mercado con mejor tecnología y menor emisión de NO_x, y reemplazo de la URA 1, por un sistema más eficiente en la captura de azufre.

La Tabla VII.1 muestra cada una de las medidas consideradas en la evaluación del presente estudio. De ella se observa que son 7 medidas asociadas a las principales fuentes de emisión.

Tabla VII.1: Medidas propuestas para el Plan de Descontaminación

ITEM	Medida	Descripción
M1	AES GENER	DESULFURIZADOR SEMI HÚMEDO: Aumentar la eficiencia de remoción de SO ₂ por sobre 90% (200 mg/m ³ N)
M2	Fundición Ventanas	HORNO REFINO: Instalación de tecnología de control con eficiencia del 98% o tecnología de proceso con equivalente eficiencia (50 mg/m ³ N)
M3		PLANTA DE ÁCIDO: Aumentar la eficiencia de remoción de SO ₂ por sobre un 99% (200 ppm)
M4	ENAP	CRACKING CATALÍTICO: Instalación de tecnología de control con eficiencia del 99% o tecnología de proceso con equivalente eficiencia
M5		HORNOS Y CALDERAS: Cambio de Quemadores convencionales a quemadores Low NO _x o tecnología primaria de control con eficiencia equivalente (~ 50%)
M6		Cumplir con exigencia contenida en RCA sobre cambio de la tecnología de la URA .1 a una tecnología con un eficiencia de remoción de SO ₂ superior o igual a 99%
M7	ACOPIOS	Encapsulamiento de las zonas de acopio o técnica con eficiencia equivalente de un 99%

7.3 POTENCIAL DE REDUCCION DE EMISIONES DE LAS MEDIDAS

La Tabla VII.2 muestra las emisiones anuales de la empresa AES-GENER en cada una de las unidades con las emisiones para el Caso Base, Norma de Termoeléctrica, y Medidas del Plan al año 2018. De ella se observa que el Plan reduce en un 47% las emisiones totales de SO₂, respecto a los valores que se obtendrían una vez implementada la norma de Termoeléctrica.

Tabla VII.2: Emisiones AES-GENER (ton/año)

ITEM	Caso Base Año 2018			Normativa Año 2017			Medidas del Plan Año 2018		
	MP2,5	SO ₂	NO _x	MP2,5	SO ₂	NO _x	MP2,5	SO ₂	NO _x
Unidad 1	100	3.055	1.554	47	969	1.201	47	484	1.201
Unidad 2	157	2.016	3.088	98	1.860	2.770	98	1.003	2.770
Nueva Ventana	44	2.894	2.215	44	2.868	2.215	44	1.570	2.215
Campiche	80	2.336	1.699	80	2.251	1.699	80	1.157	1.699
TOTAL	382	10.501	8.556	269	7.948	7.885	269	4.214	7.885

La Tabla VII.3 muestra las emisiones anuales de la Fundición de Cobre de Ventanas, por fuente emisora y por contaminante, para el Caso Base, al considerar el cumplimiento de la Norma de Fundición de Cobre, y para el caso en que se cumpla con las medidas del Plan al año 2018. De ella se observa que el Plan reduce las emisiones de MP2,5 en un 34% y las de SO₂ en un 9%, respecto a los valores que se obtendrían una vez implementada la norma de emisión de Fundiciones de Cobre.

Tabla VII.3: Emisiones Fundición de Cobre Ventanas (ton/año)

ITEM	Caso Base Año 2018			Normativa Año 2017			Medidas del Plan Año 2018		
	MP2,5	SO ₂	NO _x	MP2,5	SO ₂	NO _x	MP2,5	SO ₂	NO _x
Secador Rotatorio	5	0	0	5	0	0	5	0	0
Horno Eléctrico	29	0	0	14	0	0	14	0	0
Planta de Ácido Sulfúrico	10	2.749	0	10	1.679	0	10	560	0
Tolva 500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Horno Refino	53	0	0	53	0	0	13	0	0
Horno Basculante	36	0	0	36	0	0	36	0	0
Calderas Kewanee	1	0	0	1	0	0	1	0	0
Fuentes Fugitivas	0	10.994	0	0	10.994	0	0	10.994	0
TOTAL	133	13.743	0	119	12.673	0	79	11.554	0

La Tabla VII.4 muestra las emisiones anuales de la Refinería ENAP, para cada una de sus fuentes emisoras, y según contaminante emitido, para el Caso Base, y según lo que se obtendría al aplicar las medidas del Plan al año 2018. De ella se observa que el Plan reduce las emisiones de MP2,5 en un 76%, las de SO₂ en un 0,5%, y las emisiones de NO_x se reducirían en un 27% respecto a los valores del Caso Base.

Tabla VII.4: Emisiones Refinería ENAP (ton/año)

FTE	Caso Base Año 2018			Medidas del Plan Año 2018		
	MP2,5	SO ₂	NO _x	MP2,5	SO ₂	NO _x
Grupo electrógeno de emergencia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turbina de emergencia	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1
Caldera planta de fuerza	4,2	78,3	381,1	4,1	78,3	243,0
Horno planta topping 1	1,6	53,9	96,3	1,6	54,0	89,3
Horno planta de MHC	0,3	3,9	14,1	0,3	3,9	8,1
Horno planta de reformación	1,0	18,2	130,0	1,0	18,2	70,5
Horno planta de NHT	0,2	3,6	11,3	0,2	3,6	6,1
Horno planta topping 2	0,8	21,0	42,4	0,8	21,0	23,8
Horno planta de cracking catalítico	0,2	2,5	8,4	0,2	2,5	5,5
Horno planta de isomerización	0,2	4,2	10,7	0,2	4,2	5,7
Horno post-combustión URA 1	0,0	323,2	1,1	0,0	314,3	0,6
Horno post-combustión URA 2	0,1	325,0	3,5	0,1	325,0	1,7
Horno hidrocracking	0,6	12,2	34,1	0,7	12,2	18,5
Horno desulfuradora de gasolina	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	1,1
Horno hidrotatamiento	0,2	3,0	8,2	0,2	3,0	8,2
Antorcha blow-down	0,0	2,8	193,0	0,0	2,8	193,1
Cracking catalítico	869,7	600,6	115,5	8,7	600,6	57,3
Horno post-combustión URA 3	0,1	161,3	3,1	0,1	161,3	1,7
Horno planta coke	0,8	65,5	41,0	0,8	65,5	41,0
Antorcha coke	0,0	4,0	96,5	0,0	4,0	96,5
Horno planta nueva alquilación	0,1	28,2	4,0	0,1	28,2	2,0
Recuperador de vapores en patio de carga	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Torres de enfriamiento	259,2	0,0	0,0	259,2	0,0	0,0
Proceso de coquificación	0,4	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0
Grupo electrógeno de emergencia	0,1	0,1	0,7	0,1	0,1	0,7
Caldera generadora de vapor	0,1	0,0	1,2	0,1	0,0	2,7
Total	1.140	1.711	1.197	1.140	1.711	877

Respecto a los acopios, la implementación de un domo implica un control prácticamente total de las emisiones (99% de eficiencia).

La Tabla VII.5 muestra un resumen de la disminución de las emisiones para el total de las fuentes consideradas en el estudio. La Tabla VII.6 muestra el potencial de reducción de las emisiones al considerar todas las medidas planteadas en este estudio, lo que se traduce en una reducción de 901 ton/año de MP2,5, 4.861 ton/año de SO₂ y 320 ton/año de NO_x, respecto a los emisiones del escenario con las normas de termoelectricas y fundición de cobre.

Tabla VII.5: Emisiones Caso Base - Normativa - Medias del Plan (ton/año)

	MP2,5	SO ₂	NO _x	MP2,5	SO ₂	NO _x	MP2,5	SO ₂	NO _x
Puntual									
AES GENER	382	10.301	8.557	269	7.948	7.885	269	4.214	7.885
Fundición CODELCO	133	13.743	0	119	12.673	0	79	11.554	0
ENAP	1.140	1.711	1.197	1.140	1.711	1.197	279	1.703	877
Otras puntuales (DS 138)	255	178	979	255	178	979	255	178	979
Sub Total	1.910	25.933	10.733	1.783	22.510	10.061	882	17.649	9.741
Areal									
Urbana Puchuncaví	20,8	0,4	3,4	20,8	0,4	3,4	20,8	0,4	3,4
Urbana Quintero	18,6	0,4	4,2	18,6	0,4	4,2	18,6	0,4	4,2
Urbana Concón	24,5	0,3	8,3	24,5	0,3	8,3	24,5	0,3	8,3
Transporte Puchuncaví	10	2,2	366,3	10	2,2	366,3	10	2,2	366,3
Transporte Quintero	3,7	1,2	152,2	3,7	1,2	152,2	3,7	1,2	152,2
Transporte Concón	21,9	5	619,5	21,9	5	619,5	21,9	5	619,5
Acopios de CODELCO	4,1	0	0	4,1	0	0	0	0	0
Acopios de AS GENER	0,8	0	0	0,8	0	0	0	0	0
Acopios Puerto Ventana	1,9	0	0	1,9	0	0	0	0	0
Acopio Planta Cementera	0,5	0	0	0,5	0	0	0	0	0
Canchas deportivas	0,04	0	0	0,04	0	0	0,04	0	0
Plantas de áridos	3,7	0	0	3,7	0	0	3,7	0	0
Sub Total	110,5	9,5	1153,9	110,5	9,5	1153,9	103,2	9,5	1153,9
TOTAL	2.021	25.943	11.887	1.894	22.520	11.215	985	17.659	10.895

La Tabla VII.6 muestra el potencial de reducción de emisiones según fuente controlada, y también el porcentaje en que se reduce la emisión de cada fuente. Además se incluye el porcentaje en que se reduciría la emisión al considerar todas las fuentes del área. De la Tabla se puede observar que las medidas reducen en total un 48% del MP2,5, un 22% del SO₂, y un 3% del NO_x.

Tabla VII.6: Potencial de reducción de Emisiones

Fuente	Reducción de Emisiones			Porcentaje de Reducción de Emisiones (respecto al caso)		
	MP2,5	SO ₂	NO _x	MP2,5	SO ₂	NO _x
AES GENER	0	3.734	0	0	47	0
Fundición CODELCO	40	1.119	0	34	9	0
ENAP	861	8	320	76	0,5	27
Acopios de CODELCO	4,1	0	0	100	0	0
Acopios de AS GENER	0,8	0	0	100	0	0
Acopios Puerto Ventana y Catamutun	1,9	0	0	100	0	0
Acopio Planta Cementera	0,5	0	0	100	0	0
TOTAL	909	4.861	320	48	22	3

La Figura 7.1 resume para los tres cortes temporales evaluados, las emisiones del Caso Base, al considerar la implementación de las normas de emisión Termoeléctricas y de Fundición de cobre, y con el escenario de las 7 medidas del Plan.

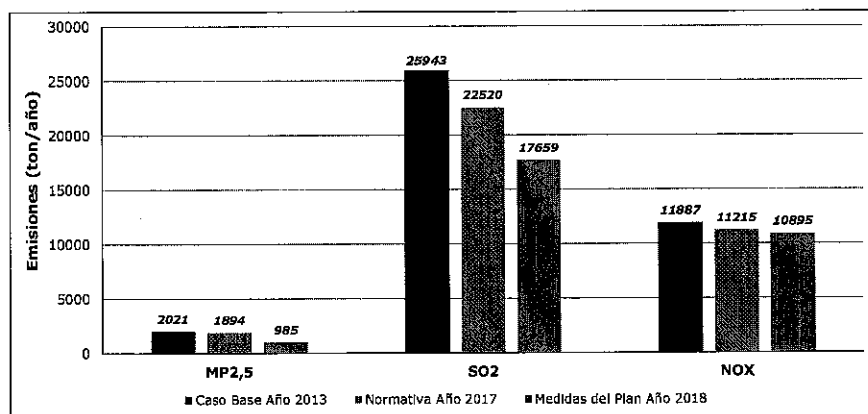


Figura 7.1: Emisiones (ton/año) de MP2,5, SO₂ y NO_x

7.4 MODELACIÓN DE ESCENARIOS CON MEDIDAS

Las 7 medidas de reducción de emisiones presentadas en la Tabla VII.1, fueron ingresadas al modelo de dispersión atmosférico CALPUFF para efecto de estimar las concentraciones de MP2,5 para este nuevo escenario.

Cabe notar que la modelación también incluye la implementación de las medidas para el cumplimiento de las normas de emisión de Termoeléctricas y Fundiciones de cobre, por tanto los resultados son los esperados al año 2018.

La Tabla VII.7 muestra los aportes por fuente a las concentraciones de MP2,5 en las estaciones monitoras del área, para el Caso Base y para el año 2018, en que estarían implementadas todas las medidas en la zona saturada.

La Tabla VII.8 muestra las concentraciones de MP2,5 debido al aporte actual de cada fuente que será sujeta a medida en el Plan. Y la Tabla VII.9 muestra los aportes en términos de concentraciones de MP2,5 de cada una de las fuentes con medidas de control contempladas en el Plan. Al comparar ambas tablas es posible determinar la reducción en concentraciones asociadas a cada medida, evaluada en las estaciones monitoras.

Debido a que la modelación considera básicamente las principales fuentes emisoras, para efectos de determinar cómo quedaría la calidad del aire en las estaciones monitoras en la zona, se utiliza el Factor de Reducción Relativa (FRR), el cual relaciona la concentración observada con la modelada (FRR = concentración observada/concentración modelada), y de esta forma es posible escalar a la concentración de un escenario futuro cuando es conocida la concentración actual medida y modelada.

La Tabla VII.10 muestra las concentraciones medidas al año 2013, y las que se obtendrían al aplicar las 7 medidas más las normas de Termoeléctricas y de Fundición de cobre ajustadas por el FRR. De ella se observa que con las medidas del Plan se logra salir de la categoría de Saturación de la zona medida en las estaciones monitoras con representatividad poblacional (EMRP), sin embargo, la zona quedaría en categoría de Latencia en Concón.

Tabla VII.7: Concentraciones de MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - Caso Base y Escenario con Medidas: Aportes por fuentes

Comuna	Caso Base					Escenario con Medidas				
	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5
La Greda	0,9	3,8	0,9	1	6,6	0,5	0,8	0,7	1	3,0
Los Maitenes	0,8	3,2	1,3	0,4	5,7	0,4	0,3	1,0	0,4	2,1
Ventanas	1,1	4,7	1	2,3	9,1	0,5	1,0	0,7	2,3	4,5
Sur	1,4	2,5	1,2	0,5	5,6	0,6	0,5	0,9	0,5	2,5
Valle Alegre	0,7	1,3	1,5	0,3	3,8	0,4	0,2	1,2	0,3	2,1
Puchuncaví	0,5	2	1,5	1,7	5,7	0,2	0,2	1,2	1,7	3,3
Quintero	1,7	2	0,6	1,1	5,4	0,7	0,2	0,5	1,1	2,5
Concón	16,9	0,6	1	2,3	20,8	11,5	0,1	0,8	2,3	14,7
Junta de vecinos	4,9	0,6	0,9	5,3	11,7	2,8	0,1	0,7	5,3	8,9
Colmo	4,9	0,5	0,9	1,3	7,6	3,1	0,1	0,7	1,3	5,2
Las Gaviotas	9	0,6	1	0,9	11,5	6,1	0,1	0,8	0,9	7,9

Tabla VII.8: Concentraciones de MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - Aportes de las fuentes sin Medidas

Comuna	Caso Base					Escenario con Medidas				
	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5
La Greda	0,9	0,5	0,3	0,4	0,6	0,010	0,09	3,8	6,6	
Los Maitenes	1,3	0,1	0,3	0,4	0,5	0,009	0,001	3,2	5,7	
Ventanas	1,0	0,8	0,3	0,6	0,7	0,01	0,0007	5,7	9,1	
Sur	1,2	0,4	0,2	0,7	0,9	0,01	0,01	2,1	5,6	
Valle Alegre	1,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,01	0,02	1,3	3,8	
Puchuncaví	1,5	0,1	0,2	0,2	0,3	0,01	0,001	3,3	5,7	
Quintero	0,6	0,1	0,1	0,9	1,1	0,01	0,0001	2,6	5,4	
Concón	1,0	0,1	0,1	5,4	5,9	0,02	0,001	8,4	20,8	
Junta de vecinos	0,9	0,0	0,1	2,0	2,3	0,01	0,001	6,3	11,7	
Colmo	0,9	0,0	0,1	1,8	2,1	0,02	0,001	2,7	7,6	
Las Gaviotas	1,0	0,0	0,1	2,9	3,2	0,02	0,003	4,2	11,5	

Tabla VII.9: Concentraciones de MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - Escenario con Plan: Aportes por Medida

Comuna	Caso Base					Escenario con Medidas				
	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5
La Greda	0,7	0,1	0,1	0,03	0,5	0,0001	0	1,4	2,9	
Los Maitenes	1,0	0,0	0,1	0,03	0,5	0,0001	0	0,6	2,2	
Ventanas	0,7	0,2	0,1	0,04	0,7	0,0002	0	2,9	4,6	
Sur	0,9	0,1	0,1	0,04	0,8	0,0002	0	0,6	2,6	
Valle Alegre	1,2	0,0	0,0	0,03	0,4	0,0001	0	0,3	2,0	
Puchuncaví	1,2	0,0	0,1	0,02	0,3	0,0001	0	1,8	3,3	
Quintero	0,5	0,0	0,0	0,04	1,1	0,0003	0	0,9	2,5	
Concón	0,8	0,0	0,0	0,10	5,8	0,004	0	8,0	14,7	
Junta de vecinos	0,7	0,0	0,0	0,07	2,2	0,001	0	5,9	9,0	
Colmo	0,7	0,0	0,0	0,07	2,0	0,001	0	2,4	5,1	
Las Gaviotas	0,8	0,0	0,0	0,08	3,1	0,001	0	3,8	7,8	

Tabla VII.10: Concentración de MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Comuna	PM10	PM2,5
La Greda	17	7
Los Maitenes	15	6
Sur	13	6
Valle Alegre	13	7
Puchuncaví	16	9
Quintero	17	8
Concón	21	15

1852

La Figura 7.2 muestra gráficamente que al aplicar las medidas se logra salir de la condición de saturación en todas las comunas

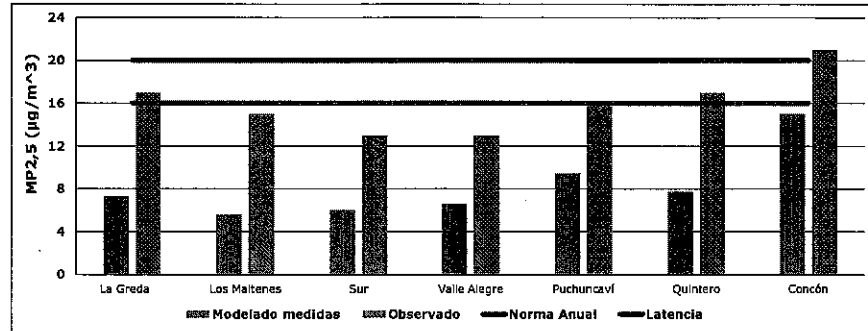


Figura 7.2: Concentraciones de MP2,5 Caso Base y Medidas ajustadas por FRR

La Figuras 7.3 a 7.6 muestran las isolíneas de concentraciones de MP2,5 al considerar todas las fuentes modeladas con las medidas del Plan, así como también al considerar sólo las emisiones de AES-GENER con sus medidas, sólo la Fundición de Cobre de CODELCO con sus medidas, y sólo ENAP con sus medidas, respectivamente. De ellas se observa la distribución de las concentraciones debido a su aporte en el dominio de modelación al aplicar las medidas del plan.

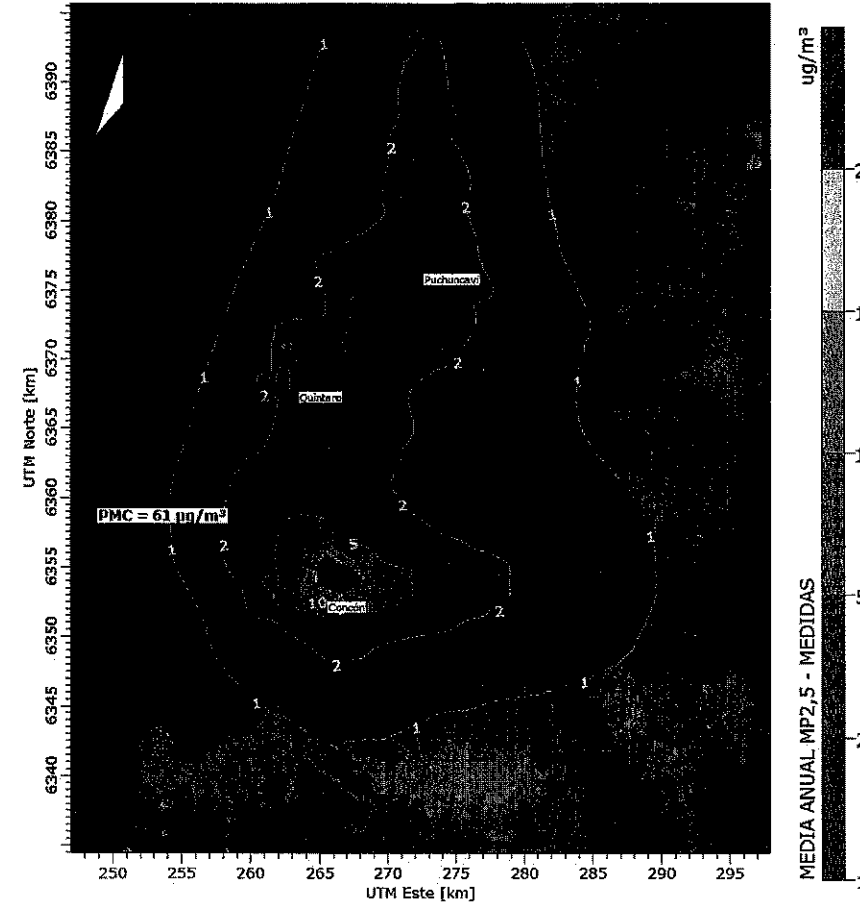


Figura 7.3: Media Anual: Caso Con Medidas

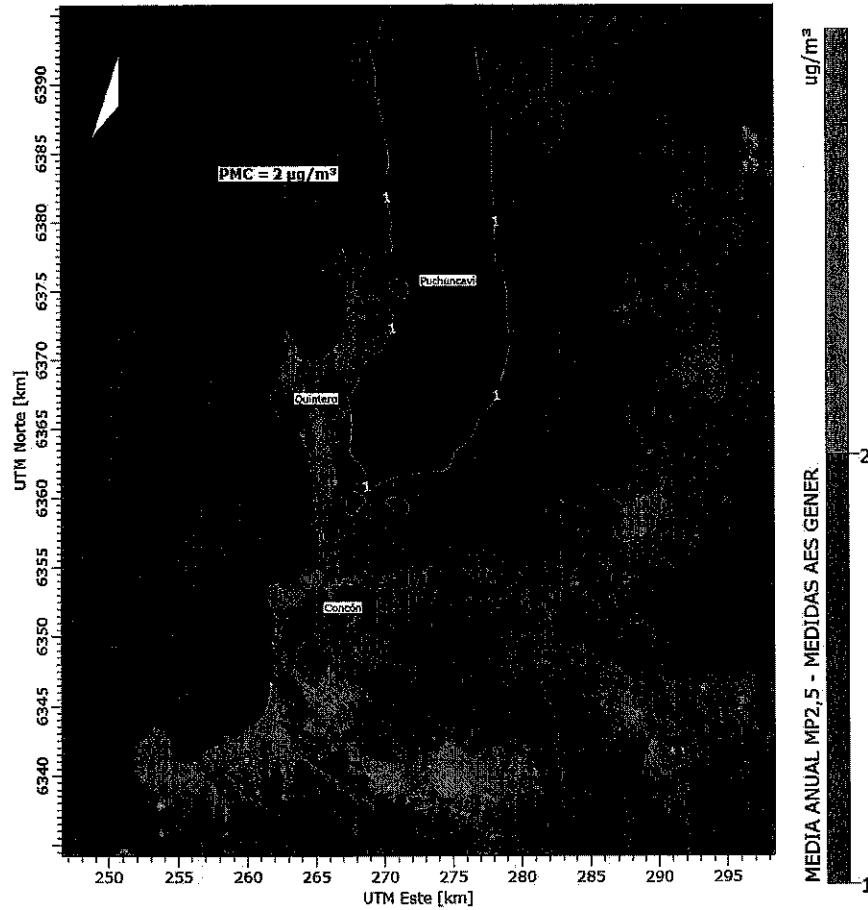


Figura 7.4: Media Anual de MP2,5: Medidas para AES GENER

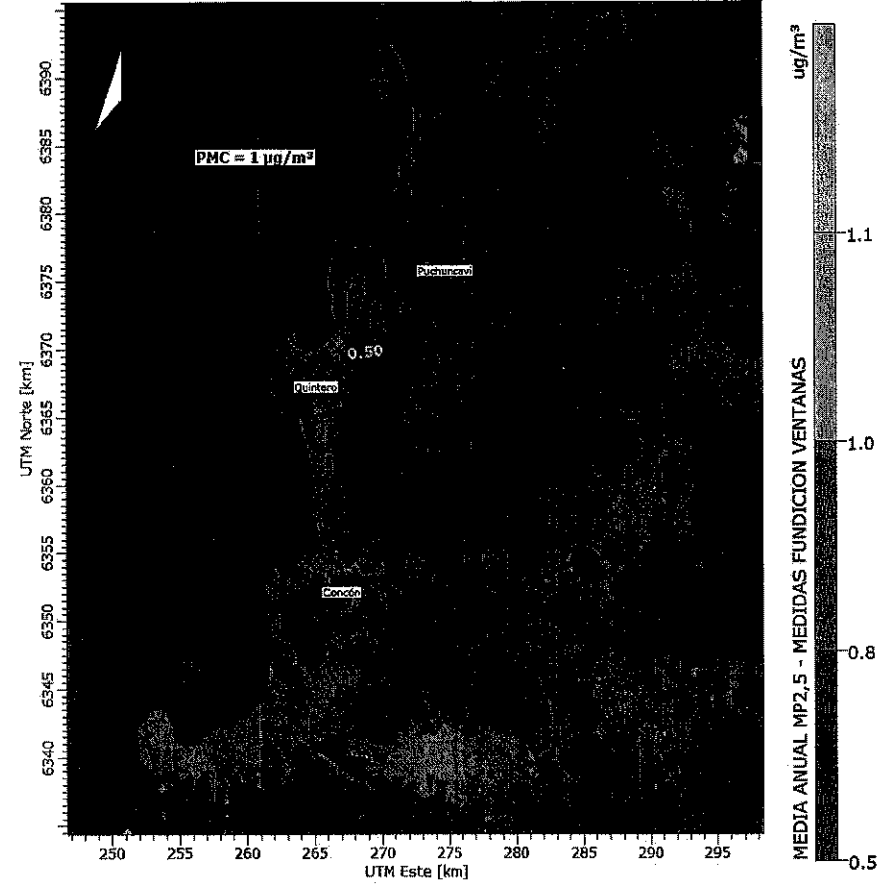


Figura 7.5: Media Anual de MP2,5: Medidas para Fondición Ventanas

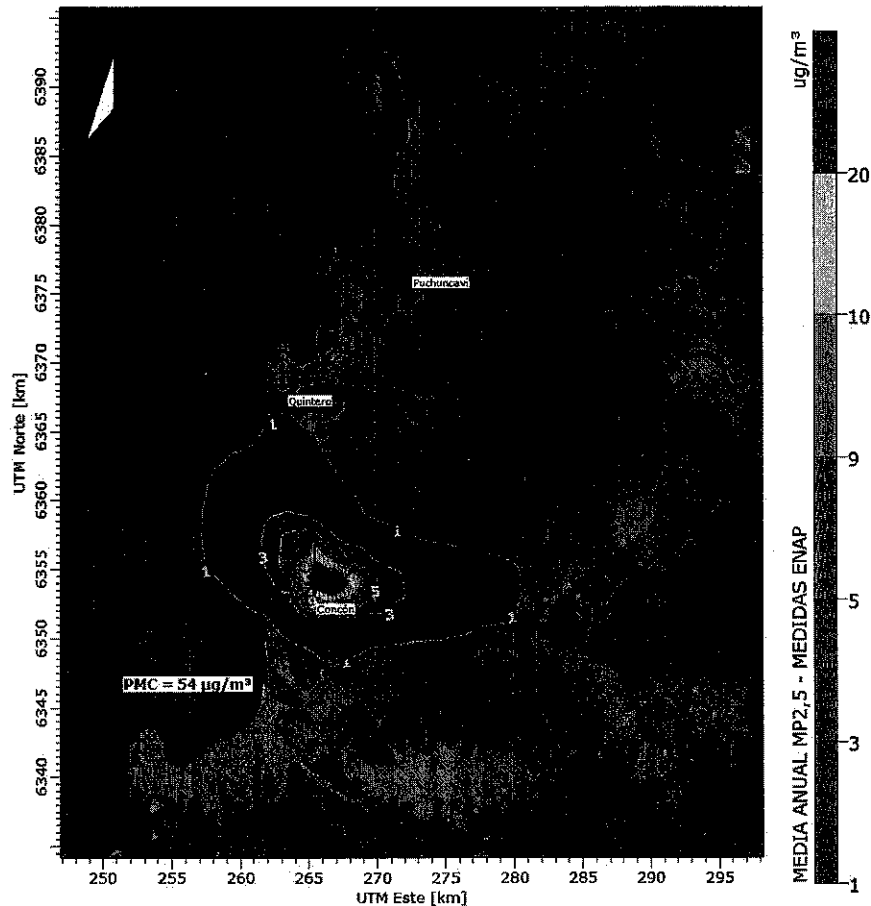


Figura 7.6: Media Anual de MP2,5: Medidas para ENAP

8. EVALUACIÓN DE RIESGO EN SALUD

Una de las principales razones para implementar un Plan de Descontaminación, es la disminución del riesgo a la salud de las personas que habitan en el área declarada saturada. Es así como en este Capítulo, se evalúa la disminución del riesgo al implementar las medias del Plan de Descontaminación Atmosférico en las Comunas de Puchuncaví, Quintero, y Concón.

El análisis del riesgo al cual está expuesta la población dice relación con la variación que experimentan las concentraciones de contaminantes, y con la cantidad de población expuesta que sufre los efectos de dicha variación de la concentración. Es en este contexto que se definen una serie de índices que dan cuenta de este fenómeno de riesgo de la población.

Bajo este enfoque de análisis, se entiende que el "riesgo" al cual está expuesta una persona, tiene relación con la proporción que representa la concentración de contaminante que respira, en relación al valor de la norma de concentración¹¹. Por tanto a mayor concentración inhalada, mayor será el riesgo de un efecto adverso sobre su salud, y por tanto es un indicador de una alta proporción de la norma. Es así que se puede calcular el valor del riesgo en la situación base (dado que se tiene la concentración base), y el valor del riesgo de un escenario futuro (dado que se tiene la concentración que surge de la implementación de las medidas).

Con los riesgos calculados para la situación base y para el escenario futuro, se calcula un segundo Indicador que da cuenta, como su nombre lo dice, de la Reducción Relativa del Riesgo (en adelante RRR).

La forma de cálculo del RRR es a través de la proporción de la diferencia entre el riesgo base y el riesgo futuro, en relación al riesgo base. En la Ecuación 8.1 se muestra la forma de cálculo del indicador RRR.

Para efectos de este estudio, es necesario tener claro los siguientes puntos:

- Los riesgos base y futuro son calculados con las concentraciones totales de MP2,5, es decir, primario y secundario.
- El escenario futuro considera el cumplimiento de la normativa de emisión de Termoelectricas y Fundiciones de cobre, y las medidas propuestas por el plan, es decir, evalúa el efecto total combinado al año 2020.

$$RRR = \frac{R_{base} - R_{futuro}}{R_{base}} * 100 \quad (\text{Ecuación 8.1})$$

Dónde:

R_{base} : Cociente entre la concentración anual de MP2,5 de la situación base y el valor de la Norma anual de MP2,5 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$).

¹¹ En rigor, la norma se determina en función del efecto que produce en la población expuesta, por lo que representa un valor umbral indicativo de una situación que pone en riesgo la salud de la población.

R_{futuro} : Cociente entre la concentración anual de MP2,5 producto de la aplicación de la normativa y de las medidas del Plan, y el valor de la Norma anual de MP2,5 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$).

RRR: Reducción de riesgo relativo de MP2,5 producto de la implementación de la normativa y el Plan, expresado en porcentaje.

Del análisis de la ecuación se deduce que cuando el riesgo aumenta, es decir, el riesgo futuro es mayor que el riesgo de la situación base, el indicador RRR presenta un valor negativo. Por otra parte, cuando el riesgo futuro disminuye, el indicador presenta un valor positivo.

En la Figura 8.1 se muestra la distribución espacial del RRR, la que está en directa relación con las isocóncas de concentración de MP2,5 presentadas en los Capítulos 6 y 7.

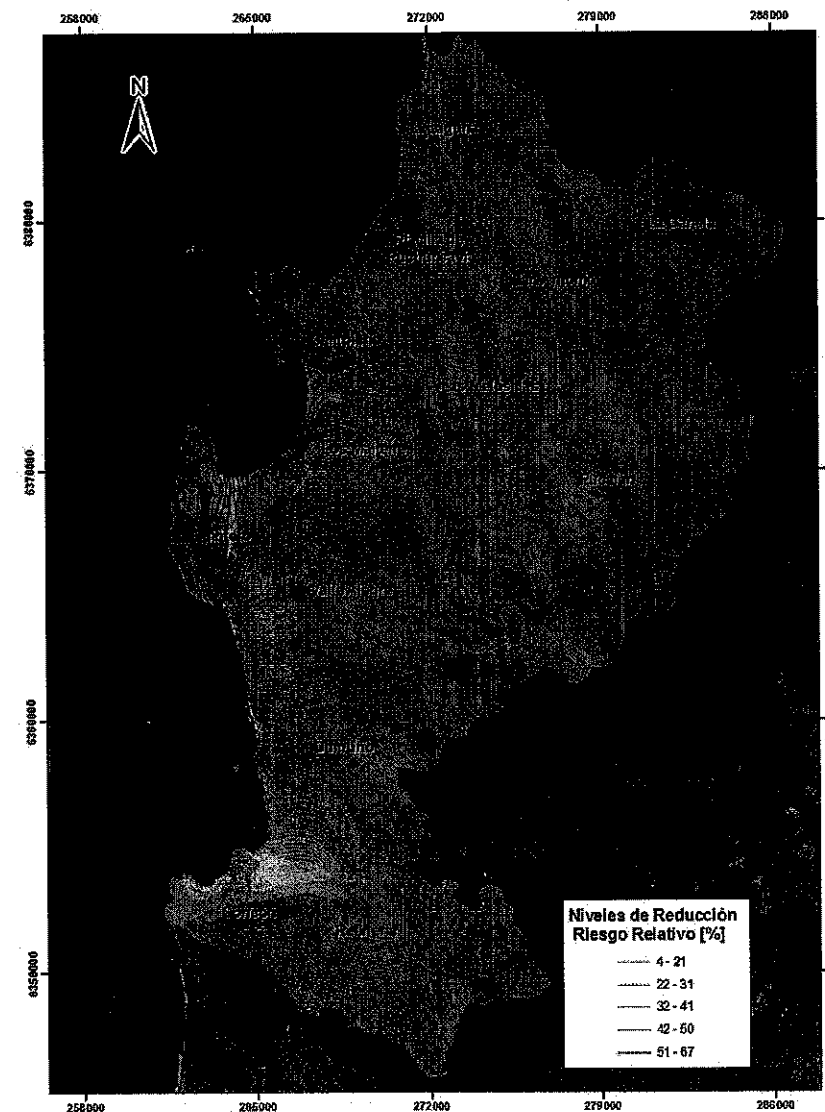


Figura 8.1: Distribución espacial de niveles de RRR, producto del cumplimiento de la normativa y de las medidas del plan

Como se puede apreciar, la menor reducción del riesgo se localiza en el área urbana de Concón, y parte en el centro urbano de Quintero. Las mayores reducciones de riesgo relativo se dan en los distritos de Maitenes y Campiche (Puchuncaví), y en el distrito Refinería de Concón. La estructura espacial del RRR es coherente con la localización de las fuentes modeladas.

8.1 ESTIMACIÓN DE POBLACIÓN SENSIBLE EXPUESTA

Para determinar la cantidad de población del año 2013, se siguió el siguiente procedimiento:

- Se trabajó de forma diferenciada con base de datos (y cartografía asociada) de áreas urbanas y rurales. A nivel urbano, se manejó la información a nivel de manzanas INE, y a nivel rural se trabajó con los distritos censales.
- Dado que la información con la que se contó fue del censo 2002, se utilizó la información proyectada a nivel comunal para el año 2013 del INE. Dicha proyección (por rango etario) se distribuyó en las unidades de manzanas y distritos, en base a los valores del censo 2002. Con esto se obtuvo la población estimada para el año 2013, para manzanas urbanas y distritos rurales.
- Se agrupó la población según intervalo de edad, de manera de analizar la exposición de la denominada población sensible, la que corresponde a población de 0 a 4 años, y 65 y más.

A continuación se muestran los resultados de la aplicación del procedimiento antes descrito. En la Tabla VIII.1 se muestra la población total, y por edad, estimada a nivel de Comuna para el año 2013. Se aprecia que la comuna que presenta mayor población al año 2013 es Concón, seguida por Quintero, y finalmente Puchuncaví.

Tabla VIII.1: Población estimada por edades, año 2013

Comuna	Población por grupo etario (HAB)			Pop. Total año 2013 (HAB)
	0 a 4 años	5 a 64 años	65 años o más	
Concón	3.620	39.454	3.050	46.124
Puchuncaví	1.158	14.253	1.635	17.046
Quintero	2.656	20.805	3.281	26.742
Total	7.434	74.512	7.966	89.912

En la Tabla VIII.2 se muestra la población por edad a nivel de distrito.

Tabla VIII.2: Población estimada por distritos, año 2013

Comuna	Distrito	0 a 4 años	5 a 64 años	65 años o más	Total año 2013 (HAB)
Concón	Concón	3.508	38.489	2.981	44.978
	Refinería	112	965	69	1.146
Puchuncaví	Campiche	565	7.327	856	8.748
	La Canela	6	119	41	166
	La Laguna	126	1.714	200	2.040
	Las Melosillas	2	29	8	39
	Los Maitenes	18	191	24	233
	Placilla de Puchuncaví	92	1.096	156	1.344
	Pucalán	46	473	84	603
	San Antonio	303	3.304	266	3.873
Quintero	Dumuño	211	1.843	131	2.185
	Quintero	2.385	18.289	3.085	23.759
	Valle Alegre	60	673	65	798
Total	7.434	74.512	7.966	89.912	

Los datos muestran que existe una alta concentración de población en el distrito urbano de Concón, Quintero, y Puchuncaví (en los distritos de Campiche y San Antonio).

La Figura 8.2 muestra la distribución a nivel de distritos de la población total estimada para el año 2013 en la zona de estudio.

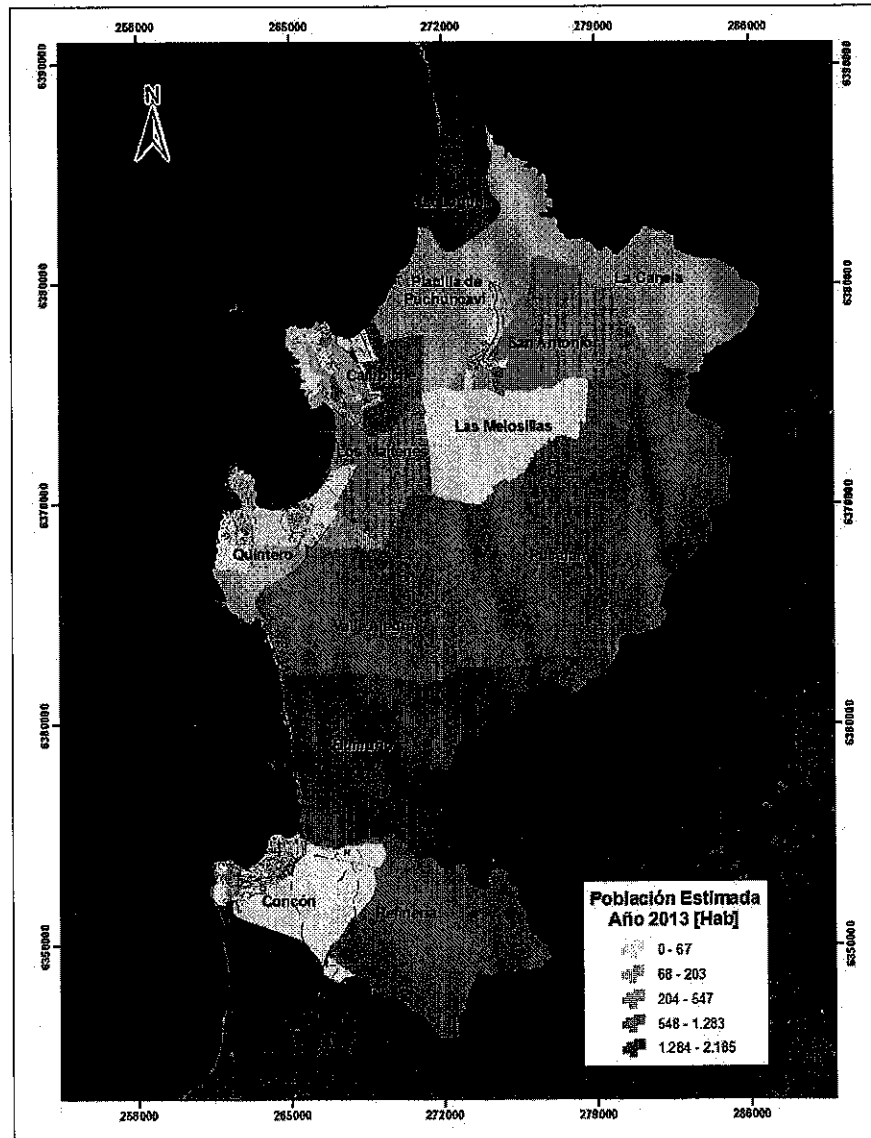


Figura 8.2: Distribución de la población estimada año 2013

8.2 ANÁLISIS INTEGRADO DE LA POBLACIÓN SENSIBLE Y EL RRR

El análisis integrado busca relacionar las magnitudes de población sensible con los niveles de RRR.

En la Figura 8.3 se muestra la dispersión de los valores de población sensible (por manzana/distrito) y su correspondiente valor de RRR. De la figura se aprecia lo siguiente:

- Se verifican sólo valores positivos de RRR, es decir, se genera sólo reducción del riesgo relativo. Los valores de RRR van entre 5% y 67%.
- En términos generales no hay una relación clara entre población sensible y RRR. Es decir, valores de población altos (sobre 150 habitantes sensibles por manzana/distrito) experimentan reducciones del riesgo relativo del orden de 20% y a la vez 50%. Lo anterior da cuenta de situaciones diferenciadas en términos comunales.
- Existen diferencias significativas entre las comunas. Es así que la comuna de Concón registra valores de RRR relativamente bajos (entre 5 y 40%), mientras que la comuna de Puchuncaví presenta valores de reducción relativamente altos (entre 40% y 60%). La comuna de Quintero presenta una situación intermedia entre valores altos y bajos de RRR, con un rango que va entre 22% y 67%.

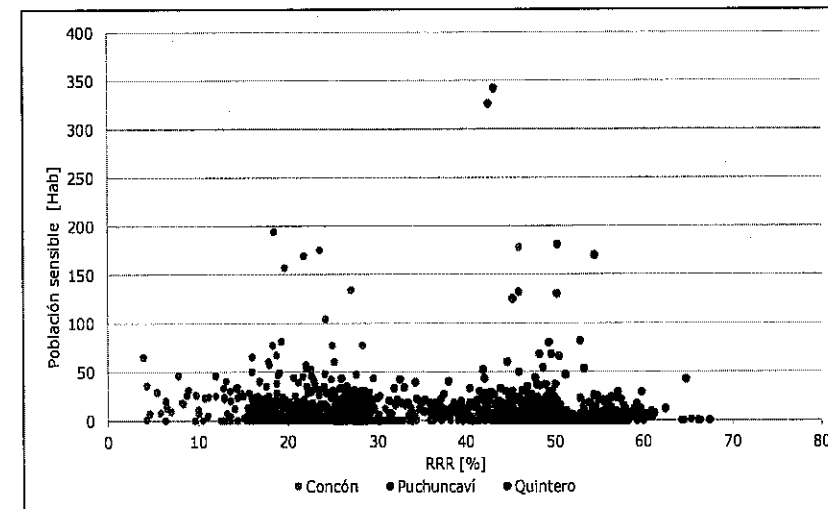


Figura 8.3: Relación entre RRR (%) y población sensible por manzana/distrito

En la Tabla VIII.3 se presentan los valores de RRR ponderado por población. Los resultados son coherentes con lo antes planteado, en el sentido que:

- Al implementar las medidas del Plan, el riesgo relativo se reduce en promedio en un 34% en toda el área de estudio.
- La comuna con mayor reducción del riesgo es Puchuncavi con un 48%, seguido por Quintero con un 43%. La comuna de Concón presenta el menor valor con un 21%.
- La mayor reducción del riesgo se da en distritos de la comuna de Puchuncavi (Maitenes, Campiche, La Canela, Las Melosillas). Cabe mencionar que la localidad de La Greda se emplaza en el distrito Campiche, por lo que alcanzaría una RRR del orden del 51%.
- En la comuna de Concón, la mayor reducción se da en el distrito Refinería. En el distrito Concon se registra un RRR de 20%, lo que es coherente con los resultados de la modelación en la estación monitora.

Tabla VIII.3: Valores de RRR ponderado por población, para comunas y distritos

Comuna	Distrito	Población sensible (0.4 a 65 años)	RRR ponderado (%)
Concón	Concón	6.489	20
	Refinería	181	46
	Total	6.670	21
Puchuncavi	Campiche	1.421	51
	La Canela	47	51
	La Laguna	326	43
	Las Melosillas	10	51
	Los Maitenes	42	65
	Placilla de Puchuncavi	248	42
	Pucalán	130	50
	San Antonio	569	45
Total	2.793	48	
Quintero	Dumuño	342	43
	Quintero	5.470	43
	Valle Alegre	125	45
	Total	5.937	43
TOTAL	15.400	34	

A modo de síntesis, y en base a los resultados obtenidos, se aprecia que la reducción del riesgo relativo está fuertemente condicionado por las fuentes a las cuales se le aplica la normativa de emisión de Termoelectrica y Fundiciones de cobre. Esto origina altas reducciones en la comuna de Puchuncavi y Quintero, y dentro de estas, en los distritos más rurales que urbanos, localizados principalmente al Sur-Este de dichas grandes fuentes.

Las reducciones producto de las medidas del Plan, son de menor magnitud (relativa), y se enmarcan principalmente a la comuna de Concón. En este caso, la componente atmosférica también origina que las mayores reducciones sean en distritos rurales localizados al Sur-Este de la comuna (distrito Refinería).

En las localidades sensibles como La Greda y Ventanas se logran reducciones del riesgo del orden del 50%, mientras que en Concón se alcanzan reducciones de riesgo de un 20%.

9 ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LAS MEDIDAS DEL PLAN

Para cada una de las medidas consideradas en este estudio, se analizaron sus respectivos costos privados, es decir, aquellos en los cuales deberán incurrir las empresas incorporadas en el análisis, en términos de capital y operación.

La evaluación del costo está compuesta por los siguientes indicadores económicos¹²:

Inversión Actualizada (INVA): Corresponde al valor actualizado, al año 2015, de los flujos de capital o costos de inversión, con una tasa de descuento social del 6% anual¹³ y en un horizonte hasta el año 2030.

Valor actualizado de Costos (VAC): Corresponde al valor actualizado de los flujos anuales compuestos por los costos de inversión y operacionales de cada una de las medidas de control propuestas, valorizadas al año 2015, a una tasa de descuento social del 6% anual y en un horizonte hasta el año 2030.

Costo Anual Equivalente (CAE): Representa el valor actualizado de costos expresado en cuotas anuales e iguales durante el horizonte considerado, a una tasa de descuento social del 6%.

Costo Unitario Equivalente (CUE): Corresponde a la razón costo-efectividad, calculada en base al CAE y el tonelaje medio anual abatido del respectivo contaminante.

9.1 MEDIDAS APLICABLES A AES GENER

Medida M1: Aumento de la eficiencia de los desulfurizadores semi-húmedos

Esta medida considera un aumento adicional de la eficiencia en el sistema de control reportado, necesario para alcanzar los límites de emisión propuestos para el Plan, teniendo como base las estimaciones para el cumplimiento de la norma de emisión para centrales termoeléctricas (D.S. N°13/2011).

¹² "Evaluación de costos de escenarios regulatorios para una norma de emisión de fundiciones de cobre", Informe Final, Ministerio del Medio Ambiente, 2012.

¹³ En Chile, el MIDEPLAN sugiere una tasa de descuento social de 6% para la evaluación de proyectos a partir del año 2011.

La aplicación de esta medida se basa en que, de acuerdo a lo reportado, los desulfurizadores de cada una de las unidades del complejo Termoeléctrico Ventanas no han alcanzado los niveles de eficiencia potenciales recomendados por el proveedor respectivo.

De acuerdo a lo informado por AES GENER, tres unidades del complejo (Unidad 1, Nueva Ventanas y Campiche) poseen sistema de desulfurización semi húmedo (SDA-FGD) para mitigar SO₂, en tanto, la Unidad 2 tiene implementado un sistema SW-FGD. La Tabla IX.1 describe cada uno de los sistemas desulfurizadores y sus rangos de eficiencia de reducción típica.

Tabla IX.1: Tipos de desulfurizadores y eficiencia típica de reducción

Tipología	Descripción	Aplicabilidad	Eficiencia típica de reducción (%)
Desulfurizador con agua de mar (SW FGD)	Desulfurización a través de agua de mar como agente alcalino	Centrales que tengan acceso al recurso marino	60-90
Desulfurizador semi húmedo (SDA)	Desulfurización a través de spray semiseco de lechada de cal o caliza como agente alcalino	Para cualquier tipo de turbina	60-90
Desulfurizador Húmedo (FGD Wet)	Desulfurización a través de lechada de cal o caliza como agente alcalino	Para cualquier tipo de turbina	60-90

Fuente: Análisis técnico-económico de la aplicación de una norma de emisión para termoeléctricas, 2010

o Metodología y supuestos de estimación de costos

Se asumió que la implementación de esta medida no implicará ningún costo de capital o inversión adicional, es decir, se mantendrán los mismos sistemas de desulfurización en cada una de las unidades. No obstante, el aumento de la eficiencia en los sistemas semi-húmedos estará asociado necesariamente con un aumento de sus costos operacionales.

Los valores estimados de costos operacionales (sumatoria de costos fijos y variables) para los sistemas desulfurizadores descritos anteriormente, de acuerdo a distintos niveles de eficiencia, se muestran en la Tabla IX.2.

Tabla IX.2: Costos de inversión y operacionales, según eficiencia desulfurizadores

Medida	Eficiencia (%)	Costo de inversión (Millones USD/1000 t/a)	Costo operativo (USD/1000 t/a)	Costo incremental (USD/1000 t/a)	Incremento de eficiencia (%)	Costo incremental (USD/1000 t/a)
FS 50%	50.0%	0	0	0.1	0%	N/A
FGD Wet 60%	60.0%	220	2	0.333	0.013	30
FGD Wet	90.0%	220	2	0.5	0.02	30
SDA 60%	60.0%	160	2	0.867	0%	30
SDA	90.0%	160	2	1.3	1%	30
SW FGD 60%	60.0%	200	2	0	1%	30
SW FGD	90.0%	200	2	0	2%	30
FS + FGD Wet	95.0%	220	2	0.6	2%	30

Fuente: Análisis técnico-económico de la aplicación de una norma de emisión para termoeléctricas, 2010

De acuerdo a lo anterior, se determinó que el valor incremental de los costos operacionales para aumentar en un 1% la eficiencia en cada uno de los 3 desulfurizadores semi-húmedos (SDA-FGD) es el siguiente:

SDA-FGD: 0,014 USD/MWh por aumento de un 1% eficiencia.

Adicionalmente, la producción anual de energía para cada una de las unidades del complejo fue obtenida a partir de información del CDEC SIC¹⁴ (operación real). De acuerdo a esto, para las Unidades 1 y Nueva Ventanas se obtuvo el promedio en el periodo 2011-2014, el cual se asumió constante durante todo el horizonte de tiempo analizado. En tanto, para Campiche se consideró constante en dicho periodo de tiempo la producción energética de 2014, pues esa unidad está en plena operación recién desde 2013.

Adicionalmente, se ajustaron los costos operacionales de las distintas unidades, manteniendo las diferencias porcentuales de los costos variables informados por el CDEC SIC al momento de este estudio¹⁵.

Los costos fueron actualizados de acuerdo al Índice de Precios al Consumidor (IPC) acumulado en el periodo correspondiente, de acuerdo a lo publicado por el Instituto Nacional de Estadísticas¹⁶.

¹⁴ <http://www.cdecsic.cl/informes-y-documentos/fichas/operacion-real/>

¹⁵ <http://www.cdecsic.cl/informes-y-documentos/graficos-y-estadisticas/costos-variables/>

¹⁶ <http://encina.inec.cl/calculadora/>

Indicadores económicos

Los valores en dólares americanos (USD)¹⁷ para cada uno de los indicadores, se muestran en la Tabla IX.3:

Tabla IX.3: Indicadores de costo aumento eficiencia desulfurizador

Indicador	Valor (USD)
INVA	0
VAC	10.398.917
CAE	1.028.995

En tanto, el CUE para esta medida es de 276 USD/ton abatida SO₂.

9.2 MEDIDAS APLICABLES A CODELCO (FUNDICIÓN VENTANAS)

Medida M2: Implementación de sistema de control de material particulado en el Horno de Refino.

Se evaluó el escenario de aplicación de un sistema de control de material particulado en la unidad de horno de refino (compuesta por horno basculante y dos tipo reverbero), para un límite de emisión dado.

Se consideró una eficiencia de un 90% en la remoción de material particulado, con lo cual se evaluaron las distintas opciones disponibles de sistemas de control. La Tabla IX.4 muestra una breve descripción y eficiencias típicas estos sistemas.

Tabla IX.4: Sistemas de control de material particulado y eficiencia típica

Medida	Principio	Aplicabilidad	Eficiencia típica de reducción de PM (%) Equipos
Lavador de Gases (LG)	Remoción de MP por fuerzas centrífugas e inerciales, inducidas al forzar el cambio de dirección del gas cargado de partículas	Se utiliza para centrales de menor tamaño	50
Filtro de Manga (FF)	Recolección del MP que trae el gas residual al pasar por una tela de tejido apretado o de fieltro	Para cualquier tipo de turbina	90-99.9
Precipitador Electrostático (ESP)(Espino, Ortúzar et al.)	Remoción mediante fuerzas eléctricas que movilizan las partículas encauzadas dentro de una corriente de emisión hacia las superficies de recolección.	Para cualquier tipo de turbina	90-99.9 (PM10) 90-99.8 (PM2.5)

Fuente: Análisis técnico-económico de la aplicación de una norma de emisión para termoeléctricas, 2010

¹⁷ Valor USD al 04/9/2015 = \$692,1

Por otro lado, la Tabla IX.5 muestra los costos operacionales (fijos y variables) y de inversión para los distintos sistemas de control de material particulado mencionados, con distintos niveles de eficiencia.

Tabla IX.5: Costos de inversión y operacionales de sistemas de control de material particulado

	Eficiencia (%)	Costo de Inversión (USD/ MW)	Costo Operacional Fijo (USD/ MW)	Costo Operacional Variable (USD/ MW)	Costo Operacional Total (USD/ MW)	Factor de Carga (%)
LG	50.0%	31	0	0	0	30
ESP 90%	90.0%	110	0.6	0	0.001	30
ESP	98.0%	110	0.6	0	0.002	30
ESP+2P+I A+CEM IMF	99.6%	268	0.6	0.021	0.002	30
FM 90%	90.0%	90	0	0.455	0.002	30
FM 99%	99.0%	90	0	0.5	0.003	30
FM99% + CEM IMF	99.1%	91	0	0.5	0.003	30
LG	50.0%	31	0	0	0	30
ESP 90%	90.0%	110	0.6	0	0.001	30

Fuente: Análisis técnico-económico de la aplicación de una norma de emisión para termoeléctricas, 2010

Metodología y supuestos de estimación de costos

Si bien la Tabla IX.5 muestra valores aplicables a centrales termoeléctricas, se utilizaron los valores para estimar proporciones de aumento en los costos operacionales por cada 1% de aumento de eficiencia. Además, se estimó la proporción de los costos de cada sistema de control con respecto a los de un Precipitador Electrostático (ESP) de la misma eficiencia y, de esta manera, obtener un valor del costo operacional en base a la información de la guía *BREF for the Mineral Oil and Gas Refinery Industry* (2003).

De acuerdo a esto, la Tabla IX.6 muestra un rango de valores para los costos de inversión y operación para un sistema de control de un 90% de eficiencia de remoción de material particulado, actualizados de acuerdo al Índice de Precios al Consumidor (IPC) y expresados en dólares americanos¹⁸ (USD).

Tabla IX.6: Costos de inversión y operacionales Filtro de Mangas

	Valor (MUS\$)
Inversión	6.841-8.362
Costo operacional promedio anual	476-627

Los costos operacionales se asumieron constantes en todo el periodo analizado (hasta el 2030) y a partir del año siguiente a la inversión, la cual se considera ejecutada en su totalidad en 2018.

¹⁸ Valor USD al 04/9/2015 = \$692,1

Indicadores económicos

De esta forma, el rango de valores en dólares americanos (USD) para cada uno de los indicadores, se muestra en la Tabla IX.7:

Tabla IX.7: Indicadores de costo sistema de control en Horno de Refino

Indicador	Valor (MUS\$)
INVA	5.419-6.623
VAC	8.577-10.788
CAE	849-1.068

El rango de CUE estimado para esta medida es de 21.541 a 27.093 USD/ ton abatida MP.

Medida M3: Límite de emisión de SO₂ en Planta de ácido de 200 ppm

Cabe destacar, que si bien se propone como medida aumentar la eficiencia de mitigación de SO₂ de la Planta de Ácido Sulfúrico (PAS) a 200 ppm (518 mg/m³N), esto ya fue incorporado en el estudio de "Evaluación de costos de escenarios regulatorios para una norma de emisión de fundiciones de cobre" (2012), realizado por COPRIM ingeniería para el Ministerio del Medio Ambiente. En este análisis se consideró un límite máximo de emisión en chimenea de Planta de Ácido de 150 ppm (400 mg/m³N), es decir, más exigente que lo indicado por el D.S N°28/2013, para lo cual se evaluaron económicamente medidas como la de mejorar la capacidad de tratamiento de gases de la (PAS) de la Fundición Ventanas y de los gases cola respectivos.

9.3 MEDIDAS APLICABLES A ENAP REFINERÍAS

Medida M4: Implementación de un sistema de material particulado en Cracking Catalítico

Para efectos de reducir las emisiones de material particulado asociadas al cracking catalítico, se analizó la incorporación de un sistema de control. La Tabla IX.4 muestra una descripción de algunas de las alternativas de mitigación y sus rangos de eficiencia típica en la remoción de material particulado:

En este caso, se analizó la implementación de un Precipitador Electrostático (ESP), los cuales de acuerdo a la guía *BREF for the Mineral Oil and Gas Refinery Industry* (2003) implican los niveles de inversión y costos operacionales indicados en la Tabla IX.8.

Tabla IX.8: Costos de inversión y operacionales de precipitadores electrostáticos

Concentración inicial de NO _x (mg/Nm ³)	Concentración final de NO _x (mg/Nm ³)	Costo de inversión (M EUR)	Costo operacional promedio anual (M EUR)
90	30	4 - 6	0.25 - 0.5
85 - 95	<50	3 - 5	0.25 - 0.5
95	10 - 20 *	5.5	bajo @
90 - 95	<50 #	4 - 6	0.25 - 0.5

Nota: Los costos operacionales incluyen sólo los gastos directos de operación (Ej: no incluyen depreciación de la inversión, cargos financieros, entre otros).
 * Concentración inicial: 250 - 300 mg/Nm³
 # Concentración inicial de 4000 mg/Nm³
 @ No incluye disposición final de finos.

Fuente: Reference Document on Best Available Techniques for Minerals Oil and Gas Refineries, 2003

Se evaluó un escenario con eficiencia de remoción del precipitador de un 99%.

◦ **Metodología y supuestos de estimación de costos**

De acuerdo a los datos de la guía BREF, se consideró un costo de inversión igual a la media del rango indicado para eficiencias entre el 90%-95%, es decir, 5 EUR million. Este valor fue convertido a moneda nacional¹⁹ y en dólares americanos, además de actualizado de acuerdo al Índice de Precios al Consumidor (IPC).

Respecto a los costos operacionales, se asumieron igual a la media del rango respectivo y también fueron convertidos a dólares americanos, y actualizados según IPC.

De esta forma, los costos de inversión y operacionales del Precipitador Electrostático a implementar en el cracking catalítico considerados en el análisis son los que se presentan en la Tabla IX.9.

Los costos operacionales se asumieron constantes en todo el periodo analizado (hasta el 2030) y a partir del año siguiente a la inversión, la cual se considera ejecutada en su totalidad en 2018. Además, estos valores se consideran iguales a los de un rango de eficiencia de un 99%.

Tabla IX.9: Costos de inversión y operacionales Precipitador Electrostático

	Valor (M USD)
Inversión	8.362
Costo operacional promedio anual	627

¹⁹ Valor EUR al 04/9/2015 = \$772,13

◦ **Indicadores económicos**

De esta forma, los valores en dólares americanos (USD) para cada uno de los indicadores, se muestran en la Tabla IX.10.

Tabla IX.10: Indicadores de costo precipitador electrostático en cracking catalítico

Indicador	Valor (USD)
INVA	6.623.229
VAC	10.787.837
CAE	1.067.480

Para esta medida, el CUE para un escenario de 99% de eficiencia es de 1.240 USD/ ton abatida MP.

Medida M5: Conversión de quemadores convencionales a quemadores tipo Low NO_x

De acuerdo a lo reportado por ENAP, en 8 de los 30 hornos y calderas de la refinería Aconcagua se tienen implementados quemadores tipo bajo NO_x (Low NO_x), mientras que en todo el resto se tienen del tipo convencional.

La Tabla IX.11 muestra una breve descripción de sistemas de control para reducir emisiones de NO_x, con sus respectivos rangos de eficiencia típica.

Tabla IX.11: Sistemas de control de emisiones de NO_x y eficiencia típica

Medida	Principio	Aplicabilidad	Eficiencia de reducción típica de NO _x
Inyección de agua (WI)	Disminuye la temperatura de combustión a través de la inyección de agua.	Para turbinas de gas y ciclos combinados	15-70
Quemadores de bajo NO _x (LNB)	Evita la combinación de N ₂ con O ₂ mediante el escalonamiento del aire que entra al quemador.	Para calderas o turbinas de vapor. Para turbinas a gas o ciclos combinados que queman gas natural	50
Reducción catalítica selectiva (SCR)	Reducción química por medio de un agente reductor y un catalizador	Para calderas de vapor y ciclos combinados.	70-90

Fuente: Análisis técnico-económico de la aplicación de una norma de emisión para termoeléctricas, 2010

Las Tablas IX.12 y IX.13 muestran los rangos de costos de inversión y operacionales para el reemplazo de quemadores convencionales por low-NO_x de acuerdo a la guía BREF for the Mineral Oil and Gas Refinery Industry (2003):

Tabla IX.12: Costos de inversión unitarios de reemplazo a quemadores low-NO_x

Aplicación	Costo de inversión
Reemplazo de quemadores convencionales con quemadores low-NO _x	0.3 a 0.9 EUR million por cada quemador

Fuente: Reference Document on Best Available Techniques for Minerals Oil and Gas Refineries, 2003

Tabla IX.13: Costos de inversión y operacionales quemadores low-NO_x

	Costo de inversión para quemadores convencionales (EUR million)	Costo de inversión para quemadores low-NO _x (EUR million)	Costos operacionales anuales (excluye cargo de capital) (EUR million)
Baja a ppm @ 3 % O ₂	30	150	150
Costo de inversión (1998) (EUR million)	0.2 - 0.6	0.3 - 0.9	0.3 - 0.9
Costos operacionales anuales (excluye cargo de capital) (EUR million)	0	0 - 0.02	0 - 0.02

Fuente: Reference Document on Best Available Techniques for Minerals Oil and Gas Refineries, 2003

Metodología y supuestos de estimación de costos

De acuerdo a los datos de la guía BREF, se consideró un costo de inversión unitario igual a la media del rango indicado, es decir, 0,6 EUR million. Este valor fue convertido a dólares americanos²⁰, además de actualizarlo de acuerdo al Índice de Precios al Consumidor (IPC).

Respecto a los costos operacionales unitarios, se asumieron igual a la media del rango respectivo y también fueron convertidos a dólares americanos, y actualizados según IPC.

De esta forma, los costos de inversión y operacionales para el recambio de cada uno de los quemadores convencionales a low-NO_x considerados en el análisis se muestran en la Tabla IX.14:

Tabla IX.14: Costos de inversión y operacionales quemadores low-NO_x

	Valor (USD)
Inversión	1.003.401
Costo operacional promedio anual	16.723

Los costos operacionales se asumieron constantes en todo el periodo analizado (hasta el 2030) y a partir del año siguiente a la inversión, la cual se considera ejecutada en su totalidad en 2018.

²⁰ Valor EUR al 04/9/2015 = \$772,13

Indicadores económicos

De esta forma, los valores en dólares americanos (USD) para cada uno de los indicadores de costo, se muestran en la Tabla IX.15:

Tabla IX.15: Indicadores de costo recambio a quemadores low-NO_x

Indicador	Valor (USD)
INVA	17.485.324
VAC	19.928.561
CAE	1.971.974

El CUE estimado para esta medida es de 9.253 USD/ ton abatida NO_x.

Medida M6: Cambio de tecnología de la URA 1 al tipo WSA

Respecto a la evaluación económica de la medida de reemplazo de la Unidad Recuperadora de Azufre N°1 (URA I) por un sistema de mayor eficiencia, se consideró la información entregada por parte de ENAP.

El sistema escogido corresponde a una del tipo WSA (Wet gas sulphuric acid process), cuya eficiencia en la remoción de SO₂ es de un 99% según la Guía BREF para refinerías de petróleo.

Metodología y supuestos de estimación de costos

De acuerdo a ENAP, el costo de inversión asociado a la implementación de esta nueva tecnología de recuperación de azufre es de US\$45.000.000, lo cual se asumió ejecutada en su totalidad el año 2018.

Por otro lado, debido a los altos montos de inversión, el aumento en los costos operacionales debido al recambio de una tecnología URA por una de mayor eficiencia puede considerarse despreciable²¹.

Indicadores económicos

De esta forma, los valores en dólares americanos (USD) para cada uno de los indicadores de costo asociados a esta medida, se muestran en la Tabla IX.16:

Tabla IX.16: Indicadores de costo recambio a URA tipo WSA

Indicador	Valor (USD)
INVA	35.644.215
VAC	35.644.215
CAE	3.527.071

²¹ Reference Document on Best Available Techniques for Minerals Oil and Gas Refineries, 2003, section 4.2.3.5.2.2.

9.4 MEDIDAS APLICABLES A LOS ACOPIOS

Medida M7: Encapsulamiento de zonas de acopio

Se evaluó como alternativa de mitigación de las emisiones fugitivas asociadas a los acopios de materiales, el encapsulamiento de estas superficies por medio de la instalación de domos.

La Tabla IX.17 muestra las superficies asociadas a los acopios identificados (en metros cuadrados), además de las respectivas emisiones fugitivas de material particulado, para cada una de las empresas:

Tabla IX.17: Superficie y emisiones de MP fino asociadas a acopios

Empresa	Superficie acopio (m ²)	Emisión MP10 (ton/a)	Emisión MP2.5 (ton/a)
Codelco	175.312 ²²	27,196	4,080
Puerto Ventanas	94.316	12,337	1,851
Planta Cemento	22.881	3,234	0,485
AES Gener	43.703	5,453	0,818

Las estructuras tipo domo se han utilizado para resolver diversos problemas constructivos por sus distintas prestaciones, estética, resistencia, grandes luces y volúmenes. Otra característica relevante que ha fomentado la implementación masiva de este tipo de soluciones son los cortos plazos de construcción que durante los últimos años se han alcanzado, gracias al desarrollo de tecnologías como hormigón proyectado en domos inflados²³.

Entre las alternativas de domos se encuentran los de hormigón proyectado con membrana exterior (Método Turner) y los con membrana interior (Método Binishell). Ambos tienen como ventaja principal el corto periodo de ejecución de los proyectos así como la versatilidad del sistema para lograr diversas configuraciones mediante la superposición de más de un domo, además son utilizados en diversos propósitos, de uso civil e industrial.

Metodología y supuestos de estimación de costos

En este caso, se analizaron distintas alternativas de tecnologías de encapsulamiento con el fin de determinar un rango de costos de inversión y operacionales en el mercado chileno.

²² No incluye los 4.200 m² encapsulados por CODELCO en la División Ventanas como acopio de concentrado de cobre, lo cual fue informado durante el desarrollo de este estudio.

²³ "Evaluación de soluciones de encapsulamiento de graneles sucios para control de dispersión de polvos contaminantes", Memoria para obtener título de Ingeniero Civil, Gonzalo Tapia Valencia, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, 2012

De esta forma, se consideró como valor máximo del rango de costos los asociados a un domo tipo Turner, cuyo costo de inversión por superficie a cubrir es de 1.090 USD/m² de acuerdo a lo estimado en el Trabajo de Título de G. Tapia (2012)¹⁰. Este valor fue actualizado de acuerdo al Índice de Precios al Consumidor (IPC) y expresado en moneda nacional, según el tipo de cambio al 04 de Septiembre de 2015.

El límite inferior del rango de costos de inversión está dado por un domo de tipo geodésico, formado por tubos de acero y una cubierta de acero galvanizado. El valor de este tipo de estructura es de 741 USD/m² actualizada a 2015. Esta información fue entregada por el Ministerio de Medio Ambiente y está basada en datos de cotizaciones del Sistema de Evaluación Ambiental.

Indicadores económicos

La Tabla IX.18 muestra los rangos de indicadores de costo (mínimo-máximo) expresados en dólares americanos para cada una de las empresas con acopios considerados en el análisis:

Tabla IX.18: Indicadores de costo para el encapsulamiento de acopios, por empresa (Miles de dólares americanos, MUS\$)

	INVA	AES/Gener	Otras
INVA	102.898-168.919	25.651-42.109	68.788-112.923
VAC	102.898-168.919	25.651-42.110	68.788-112.923
CAE	10.182-16.715	2.538-4.167	6.807-11.174

Cabe destacar que la categoría "Otras" incluye los costos asociados a acopios de Puerto Ventanas, Catamutún y Planta Cementera.

En tanto, el rango de indicadores con los valores agregados se muestra en la Tabla IX.19, en dólares americanos (USD).

Tabla IX.19: Indicadores de costo para el encapsulamiento de acopios, totales (Miles de dólares americanos, MUS\$)

Indicador	Valor (USD)
INVA	197.334-323.952
VAC	197.334-323.952
CAE	19.527-32.056

El CUE para el MP10 está en un rango entre de 1.694.806-2.782.228 USD/ton abatida MP10. En tanto, el CUE para el MP2.5 va desde 11.296.873 a 18.545.180 USD/ton abatida MP2.5.

9.5 RESUMEN DE COSTOS DE MEDIDAS APLICADAS

La Tabla IX.20 resume los indicadores de Inversión Actualizada (INVA), Valor Actualizado de Costos (VAC) y el Costo Anual Equivalente (CAE) de las medidas mencionadas anteriormente, por contaminante abatido y para cada una de las empresas.

Como se puede apreciar, los mayores costos de inversión son para el encapsulamiento de zonas de acopio, lo cual está en directa relación a las importantes superficies que se deberá recubrir. Del mismo modo, esta medida es la que presenta mayor CAE.

El menor Costo Anual Equivalente se tiene para la implementación de un sistema de control de material particulado en la unidad Horno de Refino en la Fundición Ventanas.

Tabla IX.20: Costos de inversión y operacionales de sistemas de control de material particulado (Miles de Dólares Americanos MUS\$)

Miles de Dólares Americanos MUS\$					
Empresa	ENAP	AES GENER	CODELCO	Otras	
Medida:	Precipitador Electrostático en Cracking Catalítico	Encapsulamiento zonas de acopio	Sistema de control en Horno Refino	Encapsulamiento zonas de acopio	Encapsulamiento zonas de acopio
INVA	6.623	25.651-42.109	5.419-6.623	102.898-168.919	68.788-112.923
VAC	10.788	25.651-42.110	8.577-10.788	102.898-168.919	68.788-112.923
CAE	1.068	2.538-4.167	849-1.068	10.182-16.715	6.807-11.174
SO ₂					
Empresa	ENAP	AES GENER	CODELCO	Otras	
Medida:	Reemplazo a URA (WSA)	Aumento eficiencia desulfurizador	--	--	--
INVA	35.644	0	0	0	0
VAC	35.644	10.399	0	0	0
CAE	3.527	1.029	0	0	0
NO _x					
Empresa	ENAP	AES GENER	CODELCO	Otras	
Medida:	Reemplazo a quemadores low-NO _x	--	--	--	--
INVA	17.485	0	0	0	0
VAC	19.929	0	0	0	0
CAE	1.972	0	0	0	0
Total					
INVA	59.753	25.651-42.109	108.317-175.542	68.788-112.923	
VAC	66.361	36.050-52.508	111.475-179.707	68.788-112.923	
CAE	6.567	3.567-5.196	11.031-17.782	6.807-11.174	

Fuente: Elaboración propia

De esta forma, el rango de valores totales para cada indicador se muestra en la Tabla IX.21:

Tabla IX.21: Indicadores de costo totales (agregados) de las medidas propuestas

	Valor mínimo (MUS\$)	Valor máximo (MUS\$)
INVA	262.508.516	390.327.829
VAC	282.673.441	411.499.308
CAE	27.971.143	40.718.739

Sin considerar la medida de encapsulamiento de los acopios, la distribución del Costo Anual Equivalente (CAE) total de la propuesta entre las distintas empresas incluidas en el análisis, se muestra en la Figura 9.1:

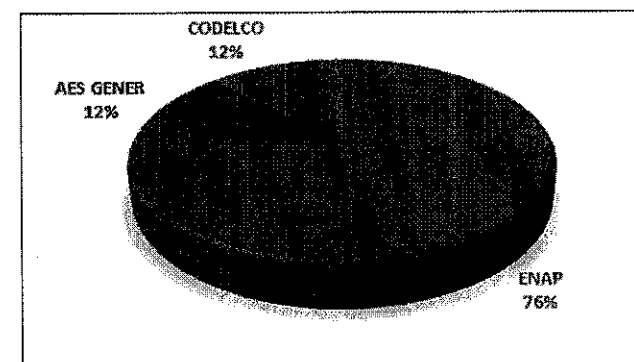


Figura 9.1: Distribución del Costo Anual Equivalente (CAE) según empresa

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la Tabla IX.22 muestra los distintos Costos Unitarios Equivalentes (CUE) para cada una de las medidas y escenarios de eficiencia considerados. Como se puede apreciar, el encapsulamiento de zonas de acopio presenta niveles de CUE muy por sobre el resto de las medidas debido a los altos niveles de inversión que requiere y a la baja proporción que representan las emisiones fugitivas que se mitigan en relación al resto.

Por otro lado, el aumento de la eficiencia en los desulfurizadores semi-húmedos de 3 unidades del complejo termoelectrónico Ventanas de AES Gener tiene el menor valor del CUE, debido a que sólo aumenta costos operacionales y mitiga una importante proporción adicional de las emisiones de SO₂.

²⁴ MUS\$: Miles de dólares americanos.

Tabla IX.22: Costo Unitario Equivalente (CUE) según medida y empresa

Empresa	ENAF	RES. GENERAL	MP10	MP10	Otras
Medida:	Precipitador Electrostático en Cracking Catalítico	Encapsulamiento zonas de acopio	Sistema de control en Horno de Refino	Encapsulamiento zonas de acopio	Encapsulamiento zonas de acopio
CUE	1.240 USD/ ton abatida MP (99% de eficiencia)	465.500 - 764.176 USD/ton abatida MP10	21.541 - 27.093 USD/ ton abatida MP	374.393 - 614.611 USD/ton abatida MP10	854.913 - 1.403.441 USD/ton abatida MP10
		3101835-5.092.045 USD/ton abatida MP2,5		2.495.580-4.096.792 USD/ton abatida MP2,5	5.699.459-9.356.343 USD/ton abatida MP2,5
Empresa	ENAF	RES. GENERAL	SO2	CODELCO	Otras
Medida:	Reemplazo a URA (WSA)	Aumento eficiencia desulfurizadores semi-húmedos		--	--
CUE	388.872 USD/ton abatida SO2	276 USD/ton abatida SO2	0	0	0
Empresa	ENAF	RES. GENERAL	NOx	CODELCO	Otras
Medida:	Reemplazo a quemadores low-NOx	--		--	--
CUE	9.293 USD/ ton abatida NOx	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

10. CRONOGRAMA DE ENTRADA EN VIGENCIA DEL PLAN

Dado que las medidas del Plan consideran una serie de estudios para el diseño de ellas, así como los estudios de factibilidad y tiempos de licitación, ejecución, e implementación, se requerirá un gradualismo en su aplicación.

El periodo de implementación se ha establecido en base a información sobre tiempos de instalación y conexión de equipos de abatimiento entregadas por proveedores. Como se muestra en la Tabla X.1 al tiempo de instalación de los equipos de abatimiento puede durar hasta 2 años, pero el periodo en el que se hace la conexión del equipo es reducido, en torno a dos semanas. Entre las tecnologías, el sistema de desulfurización es el más extensivo en uso de tiempo ya que para su instalación se requiere una mayor obra civil.

Tabla X.1: Tiempos de instalación y conexión para sistemas de abatimiento

Tecnología de Abatimiento	Tiempo de instalación	Tiempo de conexión
Sistema de desulfurización	18-24 meses	10-15 días
Abatimiento para material particulado	12-16 meses	10-15 días

En el caso de reacondicionamiento para equipos de abatimiento de material particulado (filtros de mangas y precipitadores), se requeriría un tiempo de alrededor de 4 meses, incluidos estudios de ingeniería, reacondicionamiento y puesta en marcha.

Los tiempos descritos no consideran los lapsos de licitaciones, propuestas y negociaciones de contratos que en la realidad ocurren, así como los tiempos de diseño y desarrollo de aplicaciones específicas. La experiencia en medidas aplicadas a sistemas de control de las normas de emisión de Termoeléctricas y Fundiciones de cobre indican que un período de 2 a 3 años es un tiempo mínimo para su implementación.

Por lo anterior, se estima que un periodo de 3 a 5 años, sería suficiente para permitir que todas las medidas estén implementadas.

11. CONCLUSIONES

Este estudio tuvo por objetivo evaluar medidas de reducción de emisiones que permitiesen salir de la categoría de saturación por MP2,5, al área conformada por las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.

En relación a los gases SO₂ y NO₂, se obtuvo que en las estaciones ubicadas en las tres comunas en estudio, las concentraciones registradas se encuentran bajo los niveles establecidos por las normas de calidad del aire primaria para estos contaminantes. No obstante lo anterior, es de interés seguir monitoreando estos gases dado que existen fuentes industriales que los emiten, y porque además, ambos son gases precursores de material particulado fino MP2,5 el cual está en latencia por métrica diaria y saturación por métrica anual en la zona.

De la Meteorología

Se analizó la meteorología de la zona en base a las mediciones registradas en 12 estaciones ubicadas en el área de estudio, encontrándose que la interface Tierra-Agua modula las direcciones de viento al ocurrir las brisas de mar al interior durante las horas diurnas y de tierra a mar en las horas nocturnas. Además, la baja intensidad de las velocidades del viento, en conjunto con la radiación solar y alta humedad relativa, generan condiciones óptimas para la formación de material particulado secundario a partir de las emisiones de óxidos de azufre y de nitrógeno, emitidos por las fuentes industriales de la zona, principalmente las debidas a las termoeléctricas, fundición de cobre, y refinería de petróleo.

Dado que las estaciones meteorológicas dan cuenta sólo del comportamiento atmosférico en su localización, se realizó una modelación meteorológica 3D de toda la zona de estudio, a través del uso del modelo de mesoescala WRF, el cual se postprocesó con el modelo CALMET para bajar la resolución espacial a 200 m. Del análisis de bondad de ajuste del modelo meteorológico, se obtuvo que éste logra reproducir los ciclos diarios y estacionales, y las medidas de desempeño dan cuenta de un nivel satisfactorio, sin embargo, la temperatura se sobreestima. Esto influye en el desarrollo de la capa de mezcla, por tanto se espera que el modelo de transporte y dispersión de contaminantes subestime las concentraciones de MP2,5.

De las Emisiones

Las emisiones de MP2,5 consideradas en este estudio, son 2.021 ton/año de las cuales un 95% se debe a fuentes puntuales. Siendo la refinería de ENAP la que contribuye con 1.140 ton/año (56% del total de las emisiones).

La Fundición Ventanas es la responsable del 53% de las emisiones de SO₂, seguida por AES GENER con un 40%. Respecto a las emisiones de NO_x, AES GENER y ENAP emiten en conjunto 9.754 ton/año, lo cual representa un 82% de la emisión total.

Las emisiones Areales consideradas en este estudio emiten un total de 110,5 ton/año de MP2,5, 9,5 ton/año de SO₂, y 1153,9 ton/año de NO_x.

De la modelación de Caso Base

Se utilizó el modelo CALPUFF para estimar las concentraciones de MP2,5 primario y secundario (sulfatos y nitratos).

Los resultados de la modelación del caso base, en relación a las concentraciones de MP2,5 muestran una subestimación al compararlo con las concentraciones medidas para el mismo año 2013, en la mayoría de las estaciones monitoras, excepto en la estación Concón donde lo estimado es similar a lo observado. Esta sub estimación de las concentraciones puede deberse a varias causas, entre las cuales se destacan las siguientes:

- La modelación meteorológica resultó ser aceptable de acuerdo a los estadígrafos de la USEPA, sin embargo, la humedad relativa fue subestimada, por tanto, se espera menor formación de sulfatos y nitratos. Además la temperatura fue sobreestimada, lo cual genera un mayor desarrollo de la capa de mezcla y por tanto una concentración menor de MP2,5 debido a que se espera un mayor volumen donde se mezclan los contaminantes.
- La modelación del MP2,5 consideró sólo la formación de sulfatos y nitratos, sin embargo, se reconoce que los COV también aportan al MP2,5 secundario, lo que no fue incluido en este estudio.
- El inventario de emisiones de MP2,5 y sus precursores al año 2013 se estructuró en base a la mejor información disponible lo cual incluyó la declaración de emisiones vía D.S. N°138 del año 2012, informes de emisiones de las principales empresas al año 2013, trabajo en terreno (2015), y proyecciones del inventario Regional del 2008, todo lo cual conlleva incertidumbres.
- Finalmente se reconoce que la validez de la modelación radica en evaluar en términos relativos, las reducciones esperadas al aplicar medidas de control de emisiones a las principales fuentes emisoras de las comunas declaradas saturadas y latentes por MP2,5.

Los resultados indican que en las estaciones La Greda, Los Maitenes, Ventanas, y Sur la Fundición de Cobre de Ventanas aporta con 3,8 µg/m³, 3,2 µg/m³, 4,7 µg/m³, y 2,5 µg/m³, respectivamente a la media anual de MP2,5.

En la estación Valle Alegre las emisiones de AES-GENER contribuyen en 1,5 µg/m³ a la media anual del MP2,5.

En las estaciones Puchuncaví y Quintero la Fundición de Cobre de Ventanas aporta con 2 µg/m³ a la media anual del MP2,5.

Por su parte, la refinería de ENAP contribuye con 16,9 µg/m³, 4,9 µg/m³, 9 µg/m³ de MP2,5 anual en las estaciones de Concón, Colmo, y Las Gaviotas.



Por tanto, la validez de la modelación realizada radica en conocer el aporte del MP_{2,5} de las principales fuentes industriales de las comunas y no reproducir las concentraciones medidas.

De las medidas evaluadas

Se evaluaron 7 medidas, las cuales afectarían a las grandes empresas de la zona, y con las cuales se lograría salir de la categoría de saturación por MP_{2,5}.

AES GENER debería aumentar su eficiencia de su desulfurizar para llegar a una emisión de 200 ppm en su chimenea.

La Fundición Ventanas de Codelco, debería limitar sus emisiones de MP en el horno de refinado a 50 mg/m³N. En su Planta de ácido debe cumplir con 200 ppm de SO₂.

La empresa ENAP tiene tres medidas. Una de ellas es la instalación de un precipitador electrostático en el cracking catalítico, con una eficiencia del 99%. La otra medida es realizar un cambio de quemador convencional a quemadores del tipo Low-NOx en hornos y calderas. Finalmente se propone el cambio de la URA 1 a Euro Claus con 99% de eficiencia en el control de S.

Dado que los acopios generan emisiones debido a la erosión eólica, se propone su encapsulamiento a través de domos. Estos sistemas se aplicarían a acopios localizados en el Puerto de Ventanas (AES-GENER y CODELCO).

Con las medidas se logra reducir en un 48% las emisiones de MP_{2,5} respecto a la situación con la norma de termoeléctrica y fundición de cobre implementadas, en un 22% las emisiones de SO₂, y en un 3% las emisiones de NOx. Estas medidas permitieron salir de la condición de saturación por MP_{2,5} anual en las estaciones de monitoreo.

Del análisis de riesgo

Al implementar las medidas propuestas, se lograría reducir el riesgo a la salud de la población sensible en un 50% respecto a la situación actual en La Greda y Ventanas, mientras que en Concón se reduciría en un 20%.

De los Costos

Para cada medida se estimaron los valores presentes de la inversión (INVA), de los costos totales (VAC) y el Costo anual Equivalente (CAE) en un horizonte hasta el año 2030 y con una tasa de descuento de 6% anual. A su vez, se obtuvo el Costo Unitario Equivalente (CUE) relacionando el CAE con la reducción esperada de las emisiones de cada medida. Para los costos unitarios se realizaron revisiones bibliográficas sobre mejores técnicas disponibles en la industria, y luego fueron expresados en dólares americanos y actualizado según índice de precios.

Para AES GENER, el aumento de eficiencia en los desulfurizadores semi-húmedos (SDA) no requiere incurrir en costos de inversión, sino más bien en un aumento de los



costos operacionales para alcanzar los niveles de eficiencia estimados. El CUE de esta medida es de 276 USD/ton abatida SO₂.

El recambio de los 22 quemadores convencionales a quemadores low-NOx con 50% de eficiencia, por parte de ENAP Refinerías, implica un CAE de 1.971.974 USD durante el periodo analizado (hasta el año 2030) y con la inversión ejecutándose en 2018. De esta forma el CUE para esta medida es de 9.293 USD/ ton abatida NOx.

El CAE de la implementación de un sistema de control de material particulado (en este caso, un Precipitador Electrostático) de un 99% de eficiencia de remoción en el Cracking Catalítico de ENAP es de 1.067.480 USD y el CUE de 1.240 USD/ ton abatida MP. En tanto, para CODELCO, el CAE de la implementación de un sistema de control de material particulado, con un 90% de eficiencia, en la unidad Horno de Refino de la Fundición Ventanas, se traduce en un CAE que estaría en un rango entre 848.729 y 1.067.480 USD y un CUE entre 21.541 y 27.093 USD/ ton abatida MP.

El encapsulamiento de los acopios, específicamente a través de domos (tipo Binishell o uno de tipo geodésico, formado por tubos de acero y una cubierta de acero galvanizado), implica altos niveles de inversión (INVA entre 197.334 y 323.952 MUS\$) y un CAE total entre 19.337 y 32.056 MU\$. Esto se traduce en un CUE máximo de 764.176 USD/ton abatida MP₁₀ para AES Gener y de 614.611 USD/ton abatida MP₁₀ para CODELCO Fundición Ventanas. En tanto, respecto a las emisiones de MP_{2,5} el valor más alto estimado de CUE es de 5.092.045 USD/ton abatida MP_{2,5} para AES GENER y de 4.096.792 USD/ton abatida MP_{2,5} para CODELCO Fundición Ventanas.

Considerando todas las medidas propuestas, el CAE total estaría en el rango entre 27.971.143 y 37.373.360 USD. Adicionalmente, sin considerar la propuesta de encapsulamiento de los acopios, el CAE total se distribuye en un 76% para ENAP Refinerías, 12% para AES Gener y un 12% para CODELCO.

Del Cronograma de implementación

Finalmente, se propone un plazo entre 3 y 5 años para implementar las medidas, lo cual considera los tiempos para que todas las medidas estén en plena operación.

12. REFERENCIAS

- 1) D.S. N°59/1998, "Establece Norma de Calidad Primaria para Material Particulado Respirable MP10", modificado por el D.S. N°45/2001, ambos del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República.
- 2) D.S. N°12/2011 del Ministerio del Medio Ambiente, "Establece Norma Primaria de Calidad Ambiental para Material Particulado Fino Respirable MP 2,5".
- 3) D.S. N°113/2002 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República, "Norma Primaria de Calidad del Aire para Dióxido de Azufre SO₂".
- 4) D.S. N°114/2002 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República, "Norma Primaria de Calidad del Aire para Dióxido de Nitrógeno NO₂".
- 5) D.S. N° 20/2013 del Ministerio del Medio Ambiente, "Norma de calidad primaria para material particulado respirable MP10"
- 6) D.S. N°13/11 del Ministerio de Medio Ambiente, "Norma de emisión para Centrales Termoeléctricas"
- 7) D.S. N°28/13 del Ministerio de Medio Ambiente, "Norma de emisión de Fundiciones de cobre y Fuentes Emisoras de Arsenico"
- 8) Estudio Diagnostico Plan de Gestión Atmosférica Región de Valparaíso, Construcción de un Inventario de Emisiones Regional, Ambiosis, 2011.
- 9) "Evaluación de costos de escenarios regulatorios para una norma de emisión de fundiciones de cobre", Informe Final. Estudio realizado por COPRIM Ingeniería para Ministerio del Medio Ambiente, 2012.
- 10) "Análisis técnico-económico de la aplicación de una norma de emisión para termoeléctricas", Informe Final. Estudio realizado por +MG Medioambiente en asociación con Luis A. Cifuentes PhD, 2010.
- 11) "Reference Document on Best Available Techniques for Minerals Oil and Gas Refineries" (Guía BREF para Refinerías), European Commission, 2003.

- 12) "Evaluación de soluciones de encapsulamiento de graneles sucios para control de dispersión de polvos contaminantes", Memoria para obtener título de Ingeniero Civil, Gonzalo Tapia Valencia, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, 2012.
- 13) D.S. N°252/1992 del Ministerio de Minería, Aprueba Plan de Descontaminación del complejo industrial Las Ventanas, 1993-2004.
- 14) El Anteproyecto del Plan Ventanas, elaborado en reuniones de trabajo de la SEREMI del Ministerio de Medio Ambiente de la región de Valparaíso.
- 15) D.S. N° 10/2015 del MMA "Declara zona saturada por MP 2,5, como concentración anual y latente como concentración diaria, y zona latente por MP 10, como concentración anual, a las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví"
- 16) Resolución N° 573/2015 del MMA "Da inicio al proceso de elaboración del plan de descontaminación atmosférica por MP 2,5 como concentración anual, al de prevención por MP 2,5 como concentración diaria y por MP 10 como concentración anual, para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví, y ordena la acumulación que indica".



13. ANEXOS

ANEXO 1: Análisis de variables meteorológicas

ANEXO 2: Análisis de la calidad del aire

ANEXO 3: Registros Fotográficos

1871