

INFORME FINAL DE TRABAJO Nº 2011-241-11

“Elaboración Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) del plan de Prevención Atmosférica de Concepción Metropolitano”

EQUIPO DE TRABAJO

Jefe de Proyecto
Dr. Cristian Mardones Poblete

Investigadores
Dr. Cristian Mardones Poblete
Dr. Jorge Jiménez del Río

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN EJECUTIVO	4
1. ANTECEDENTES PRELIMINARES	7
2. OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. DESCRIPCIÓN SOCIOECONÓMICA ZONA LATENTE.....	12
3.1 ANÁLISIS ECONÓMICO REGIÓN DEL Bío Bío.....	13
3.2 ANÁLISIS ECONÓMICO ZONA LATENTE DEL GRAN CONCEPCIÓN.....	18
4. ESTIMACIÓN DE EMISIONES	23
5. DESCRIPCIÓN DE MEDIDAS INCORPORADAS EN EL PPACM.....	38
5.1 MEDIDAS CON POTENCIAL DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DEL PPACM	38
5.2 INSTRUMENTOS ECONÓMICOS DEL PPACM	42
5.3 PROGRAMAS COMPLEMENTARIOS DEL PPACM	44
6. ESTABLECIMIENTO DE LAS MEDIDAS A SER EVALUADAS.....	57
6.1 MEDIDA COMPLIND	57
6.2 MEDIDA CONGEMIND	59
6.3 MEDIDA NCOMPLIND	60
6.4 MEDIDA COMPEMIND	61
6.5 MEDIDA NORMAIND	63
6.6 MEDIDA DISTRGAS	65
6.7 MEDIDA CEQUIPOS	68
6.8 MEDIDA RLEÑA.....	70
6.9 MEDIDA PCHIMENEAS.....	73
6.10 MEDIDA TERMICOVIV	75
6.11 MEDIDA NEQUIPOS	78
6.12 MEDIDA PQUEMAS.....	81
7. ESTIMACIÓN DE LAS RELACIONES EMISIÓN CONCENTRACIÓN PARA LAS FUENTES EMISORAS DEL GRAN CONCEPCIÓN	84
7.1 MODELACIÓN DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS.....	84
7.2 HERRAMIENTAS DE MODELACIÓN	85
7.3 SELECCIÓN DEL MODELO DE DISPERSIÓN.....	86
7.4 DOMINIO DE LA MODELACIÓN.....	88
7.5 PERIODO DE SIMULACIÓN.....	88
7.6 RECEPTORES PUNTUALES.....	92
7.7 TOPOGRAFÍA Y USO DE SUELO.....	93
7.8 CONSIDERACIONES DE LA APLICACIÓN DEL MODELO	95
7.9 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA EMISIÓN DE CONTAMINANTES PARA LAS PRINCIPALES FUENTES DEL CONCEPCIÓN METROPOLITANO.....	96
7.10 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN CON CALMET-CALPUFF	105
7.11 FACTORES DE EMISIÓN CONCENTRACIÓN (FEC) PARA MP10	108
8. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS.....	111

8.1	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL	111
8.2	ESCENARIOS DE MEDIDAS	112
8.3	IMPACTOS DE LAS MEDIDAS SOBRE LAS CONCENTRACIONES	116
8.4	POBLACIÓN AFECTADA POR EL PPACM	122
8.5	ANTECEDENTES PARA EL CÁLCULO DE BENEFICIOS DIRECTOS EN SALUD	125
8.6	VALORACIÓN DE BENEFICIOS DIRECTOS EN SALUD	127
8.7	BENEFICIOS INDIRECTOS EN VISIBILIDAD DEL PPACM	131
8.8	COSTOS DEL PPACM	132
8.9	COSTO EFECTIVIDAD Y EVALUACIÓN ECONÓMICA SOCIAL	138
8.10	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	140
8.11	SIMULACIÓN DE MONTECARLO	142
8.12	CUANTIFICACIÓN DE IMPACTOS ECONÓMICOS INDIRECTOS.....	145
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	148
	BIBLIOGRAFÍA.....	150

RESUMEN EJECUTIVO

La zona de Concepción Metropolitana en la Región del Bío Bío fue declarada Zona Latente por concentraciones diarias de Material Particulado Respirable MP10. El área está constituida por las comunas de Lota, Coronel, San Pedro de la Paz, Hualqui, Chiguayante, Concepción, Hualpén, Talcahuano, Penco y Tomé. Ante esta situación, comenzó el proceso de elaboración del Plan de Prevención Atmosférica de Concepción Metropolitana (PPACM) tal como se señala en el artículo 6º del Reglamento que fija el procedimiento y etapas para establecer planes de prevención y descontaminación.

En este marco el presente informe realiza el Análisis General del Impacto Económico y Social del PPACM, el cual evalúa un conjunto de medidas para la reducción de emisiones propuestas por el anteproyecto del PPACM, considerando sus opciones de regulación, posibles instrumentos económicos, herramientas de gestión ambiental, y sus impactos económicos y sociales.

De acuerdo al inventario de emisiones atmosféricas 2005 realizado por la Universidad Católica de Temuco (2009) y el estudio "Evaluación de Medidas para Reducir la Contaminación Atmosférica en Complejos Industriales y Grandes Fuentes del Gran Concepción" desarrollado por UDT y PROTERM (2010), se dispone de una estimación para las emisiones de diversos contaminantes como MP10, SO₂, NO_x, CO, COV y NH₃.

Los resultados para el escenario 2008 por categoría de fuente muestran que el total de fuentes estacionarias y móviles alcanza las 20.399 ton/año. La combustión de leña residencial siendo la fuente principal aporta el 47,6% de este total, luego vienen las emisiones industriales con un 42,1%, las quemas agrícolas y forestales con un aporte de 3,9%, las fuentes móviles con 2,2%, y el restante 4,2% corresponde a otras fuentes de área.

Los datos de este inventario de emisiones para el año 2008 junto con información meteorológica de la zona son los insumos para realizar una modelación de la calidad del aire con el modelo CALPUFF. De este modo se establece la relación que existe entre las emisiones de MP10 y la concentración ambiental generando un indicador de la relación factor de emisión concentración (FEC) para cada comuna y por fuente. Esta relación permite estimar cambios en la concentración ambiental en función de cambios en las emisiones de MP10 a partir de las distintas medidas de reducción de emisiones evaluadas que se encuentran incorporadas en el PPACM.

Específicamente, las medidas con potencial reducción de emisiones evaluadas en el AGIES son las siguientes:

- Aquellos complejos industriales con emisiones superiores o iguales a 100 ton MP/año y si la fuente emisora está dentro de las 25 mayores fuentes de MP

deberán incorporar tecnología indicada en estudio UDT-PROTERM y si además tienen emisiones superiores o iguales a 250 ton SO₂/año deberán reducir en un 30% sus emisiones de SO₂.

- Congelamiento de emisiones de MP y SO₂ de cada complejo industrial.
- Todas las nuevas fuentes al interior de complejos industriales o nuevos complejos industriales deberán incorporar tecnología de control de emisiones de MP y SO₂.
- Las nuevas emisiones de MP deben ser compensadas en un 100%.
- Establecimiento de límites máximos de emisión para hornos y calderas que se encuentran especificados en el plan.
- Evaluar factibilidad técnico-económica de abastecer al sector industrial y residencial con gas natural licuado y/o comprimido.
- Exigencia en el cumplimiento de norma de emisión para calefactores nuevos de combustión a biomasa.
- Prohibición de uso de chimeneas en zona urbana.
- Recambio de al menos 40.000 equipos antiguos por nuevos de parte del Estado.
- Regular el mercado de la leña en la zona saturada para dar cumplimiento a la NCh 2907 del INN.
- Mejoramiento térmico de las viviendas nuevas y existentes.
- Prohibición de quemas agrícolas en toda la zona latente.

A partir de los antecedentes del inventario de emisiones y algunos supuestos sobre su evolución temporal se establece un escenario base, el cual contempla la situación proyectada sin la existencia del PPACM, y adicionalmente se generan tres escenarios (cumplimiento de plan, pasivo y agresivo) con su correspondiente potencial de reducción de emisiones producto de las medidas implementadas en el PPACM. Las principales diferencias entre estos tres escenarios es el año de implementación de cada medida y/o su grado de eficiencia. Entre las medidas con mayor potencial de reducción de emisiones y concentraciones destaca RLEÑA, CEQUIPOS y COMPLIND.

Los resultados muestran que aunque el escenario cumplimiento de plan permite una reducción de las concentraciones, no permite alcanzar y cumplir la normativa vigente al final del año de evaluación. El escenario pasivo es aún menos efectivo en lograr el objetivo de cumplir con la concentración promedio anual, pero el escenario agresivo sí lo permite, a partir del año 2014 (en promedio para todas las comunas). La principal diferencia del escenario agresivo es que considera un número mucho mayor de cambio de equipos por parte del Estado, por lo que puede lograr un 13,8% de reducción de las concentraciones respecto al 6,9% del escenario cumplimiento de plan.

Una vez obtenido el impacto en la reducción de las concentraciones de MP10, se procede a evaluar el impacto económico de las medidas incorporadas en el análisis, para establecer indicadores económicos de costo efectividad y de rentabilidad social.

El horizonte temporal para la evaluación económica se propone que sea de 10 años, tiempo suficiente para que las medidas propuestas en el PPACM, se encuentren funcionando plenamente. Es decir, el horizonte a evaluar será desde el año 2011 al 2020. Los costos y beneficios del plan corresponden a aquellos marginales, es decir, aquellos que se pueden asignar completamente como resultado de las medidas implementadas en el PPACM.

A partir del análisis de costos se desprende que las medidas más costo efectivas son aquellas asociadas la quema de leña para combustión residencial como RLEÑA y CEQUIPOS, mientras que las menos costo efectivas son las asociadas al control de emisiones industriales y prohibición de quemas forestales y agrícolas. En conclusión se puede obtener un menor costo social a un mismo nivel dado de reducción de emisiones si se concentran los esfuerzos de reducción en las medidas asociadas a la quema de leña residencial.

Al realizar la evaluación económica y social de todos los beneficios económicos en salud y visibilidad, así como también considerando los costos de implementación, regulación y fiscalización de cada una de las medidas evaluadas en el AGIES es posible determinar que el VAN social del PPACM en el escenario cumplimiento de plan es MM\$ 728.197, en el escenario pasivo es MM\$ 319.657, y en el escenario agresivo se obtiene un VAN social de MM\$ 970.778.

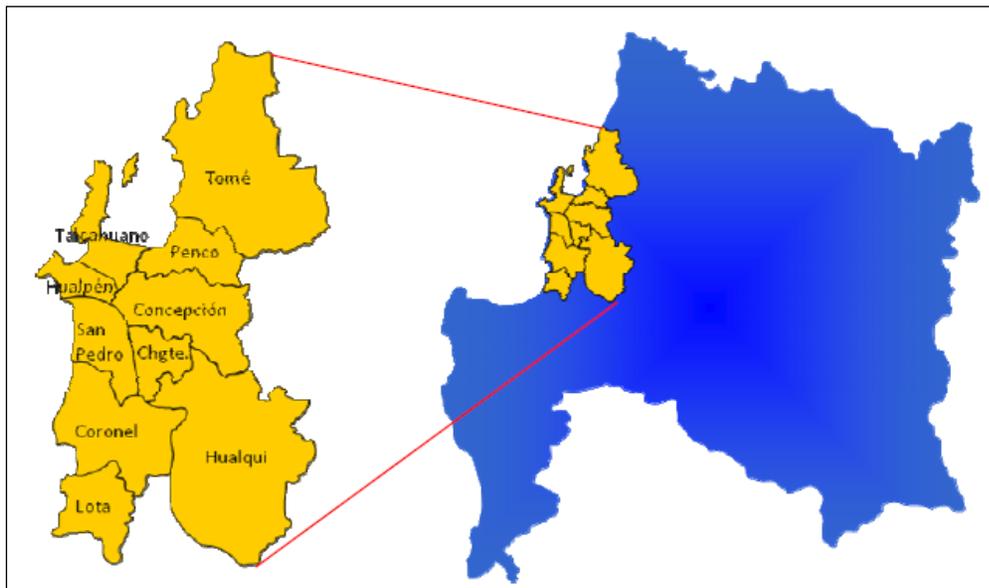
La conveniencia económica de llevar a cabo el PPACM es robusta en los distintos escenarios propuestos, ante una sensibilización de variables clave como la tasa de descuento social, el valor de la vida estadística y coeficientes C-R, así como también ante una simulación de Montecarlo que le asignó distribución de probabilidades a estas variables.

Del estudio se desprende la necesidad de generar medidas agresivas para poder cumplir con la norma primaria de calidad del aire por material particulado respirable, y también utilizar criterios económicos para reasignar recursos a las medidas más costo efectivas, con el fin de minimizar los costos sociales para hogares, industria y Estado, así como también alcanzar la meta de reducción de concentraciones del plan de prevención para el Concepción Metropolitano.

Estos resultados también permiten recomendar a la autoridad una potencial reasignación de recursos de fiscalización e implementación de medidas más eficientes en términos económicos. Lo que implica un cambio de enfoque en la regulación desde las fuentes industriales hacia las emisiones domésticas.

1. ANTECEDENTES PRELIMINARES

La zona denominada Concepción Metropolitano está constituida por las comunas de Lota, Coronel, San Pedro de la Paz, Hualqui, Chiguayante, Concepción, Hualpén, Talcahuano, Penco y Tomé. Esta zona se caracteriza por tener una importante actividad industrial en diversas áreas como alimentos, forestal, maderera, pesquera, acerera, petroquímica, energética y metalmeccánica.



Fuente: Seremi de Medio Ambiente

Figura 1: Comunas del Plan de Prevención Atmosférica del Concepción Metropolitano

Este desarrollo local ha propiciado la expansión de centros urbanos, lo que sumado al uso intensivo de la leña como fuente de calefacción en los hogares durante los meses de invierno, constituyen una fuente importante de emisión de contaminantes del aire.

Según el Informe "Proyecciones de Población años 1990-2020" del INE (2005), la zona del Concepción Metropolitano tiene una población de 996.793 habitantes el año 2011, con una tasa de crecimiento de 0,8%. Esta población corresponde a un 97,7% de la población de la Provincia de Concepción y a un 48,4% de toda la población de la Región del Bío Bío (para más detalles ver sección 8.4).

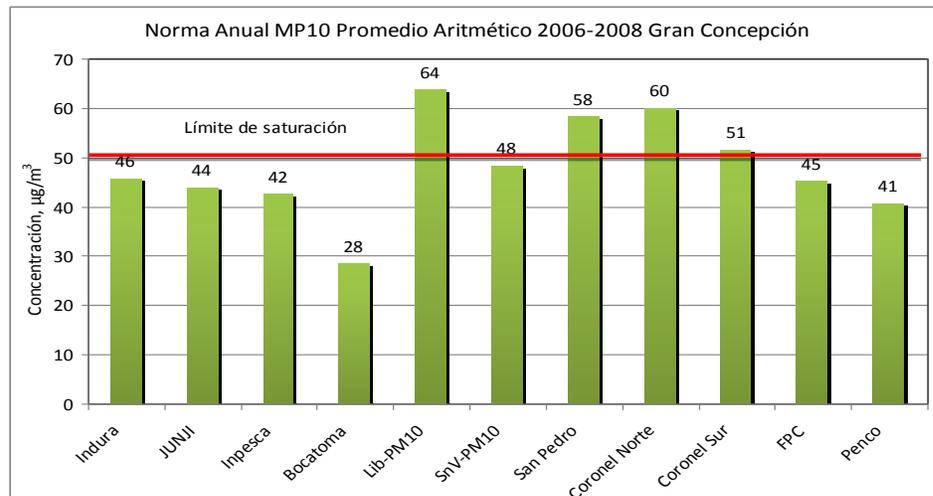
Las condiciones climáticas y geográficas locales generan niveles de ventilación que han sido favorables para mantener los rangos en niveles aceptables. Sin embargo, existen zonas específicas del Concepción Metropolitano que se ven negativamente afectadas por la actividad industrial y por las propias emisiones residenciales, alcanzándose niveles que superan los estándares que definen los límites considerados seguros para la salud de la población que se ve expuesta. Históricamente, los niveles de dióxido de

azufre (SO₂), Benceno y Material Particulado Respirable (MP10) han sido especialmente altos en la comuna de Talcahuano, comuna en la que se concentra la mayor red de monitoreo de calidad de aire de la región.

Las condiciones meteorológicas afectan la estacionalidad de las concentraciones ambientales de material particulado en el Concepción Metropolitano. Entre los meses de abril y julio se observan niveles más altos de material particulado respirable en las zonas residenciales, mientras que las concentraciones bajan significativamente en el período de octubre a marzo, correspondiendo al período cálido del año.

Sin embargo, durante los meses de verano se observa un mayor impacto de las emisiones industriales sobre las zonas residenciales cercanas, dado el transporte advectivo asociado al viento predominante en magnitud y dirección en la zona costera. Mientras, durante el invierno, el cambio en la dirección predominante de los vientos reduce el impacto de las grandes fuentes industriales en las zonas urbanas, por lo cual el mayor aporte a las concentraciones de material particulado se atribuye a fuentes residenciales como el uso de calefactores a leña y en menor magnitud, la industria y el transporte.

Según los antecedentes disponibles entre el año 2006 y 2008 en aquellas estaciones que cumplen con el criterio de completitud de datos que establece la norma respectiva, la norma anual está siendo superada en cuatro estaciones, mientras que otras seis estaciones superan el nivel de latencia. Sólo la estación de Bocatoma registra un promedio anual de MP10 por debajo del nivel de latencia.

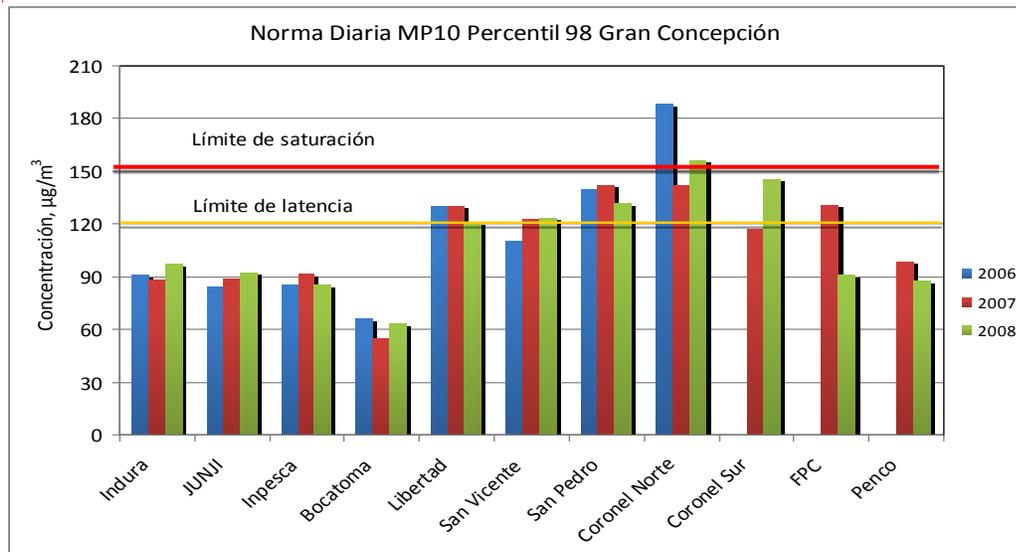


Fuente: Seremi de Medio Ambiente

(*) Datos estación libertad corresponden al año 2007, último año con datos que cumplen con criterio de completitud.

Figura 2: Evaluación del cumplimiento de la norma anual de MP10

Al analizar las concentraciones de MP10 para el promedio de 24 horas, y aplicando el criterio del percentil 98% que establece el D.S. 59/98, se observa que una estación (Coronel Norte) supera la norma de calidad de MP10, mientras que otras cinco estaciones superan el nivel de latencia.



Fuente: Seremi de Medio Ambiente

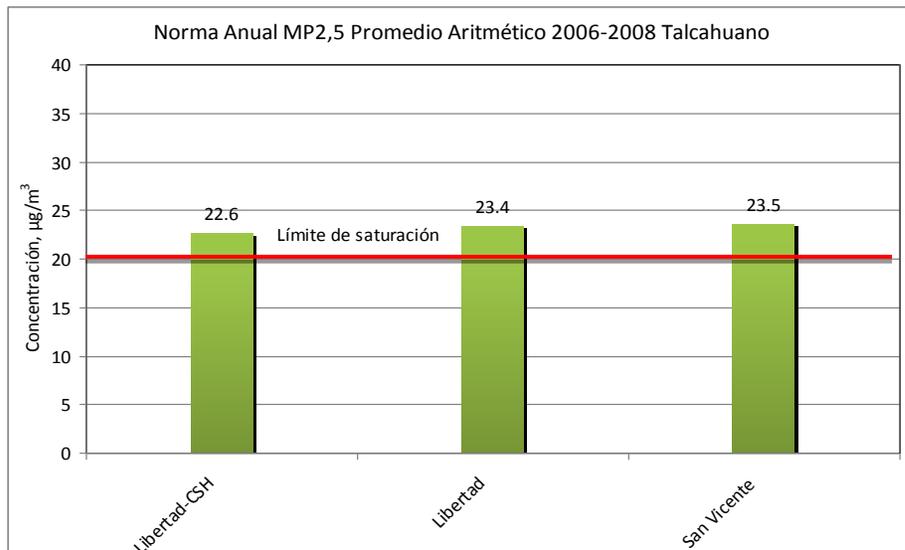
(*) Datos estación libertad corresponden al año 2006, último año con datos que cumplen con criterio de completitud.

Figura 3: Evaluación del cumplimiento de la norma diaria de MP10

Recientemente fue publicado en el diario oficial el Decreto que Establece Norma Primaria de Calidad Ambiental para Material Particulado Fino Respirable MP2,5 por lo cual el escenario a partir del 1 de enero del año 2012 incorporaría el MP2,5 a las normas vigentes para MP10.

En el área de Concepción Metropolitano se ha monitoreado la evolución del MP2,5 desde fines de la década pasada. En los gráficos siguientes, se presenta la evolución del promedio anual y el percentil 98% de la norma diaria de MP2,5 comparado con las referencias de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para este contaminante, que corresponden a 10 y 25 µg/m³ respectivamente.

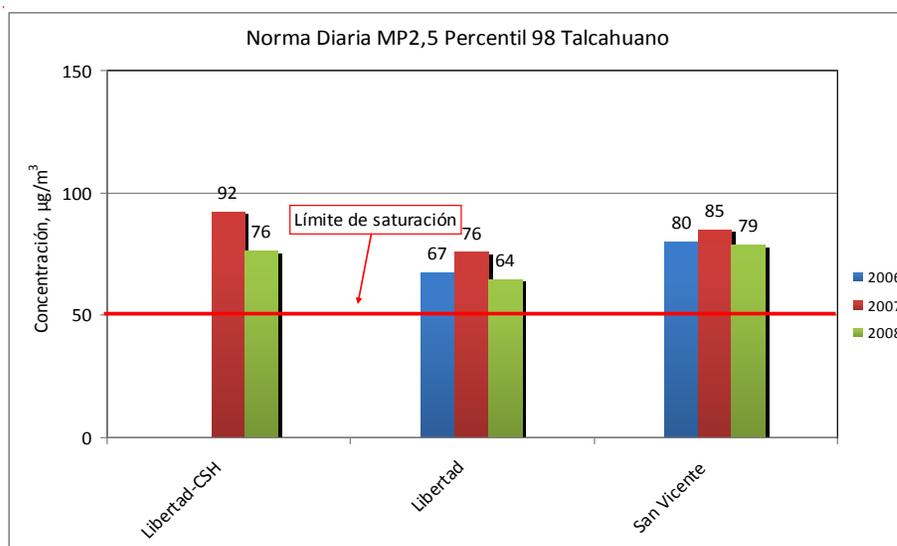
La importancia de centrarse en el MP10 y MP2,5 es que diversos estudios muestran que el aumento en la concentración ambiental de estos contaminantes se asocia a incrementos en la mortalidad debido a problemas pulmonares y cardiopulmonares, aumento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, agravamiento en casos de asma, entre otros (Pope et al.,1995; Künzli et al.,2000;Green y Armstrong, 2003; Colburn y Johnson, 2003; Dominici et al., 2003; Ostro et al., 1999).



Fuente: Seremi de Medio Ambiente

Figura 4: Evolución promedio anual comparado con referencia Norma Chilena de MP2,5

Las concentraciones medidas superan ampliamente la referencia OMS para ambas normas y lo que resulta más preocupante es que muestran una tendencia creciente desde que se inició el monitoreo de este contaminante a comienzos de la década.



Fuente: Seremi de Medio Ambiente

Figura 5: Evolución percentil 98 comparado con referencia Norma Chilena de MP2,5

En el año 2006, el Decreto Supremo N° 41 de MINSEGPRES declaró Zona Latente por concentraciones diarias de MP10 al Gran Concepción o Concepción Metropolitana, dado que las concentraciones del contaminante se encontraban entre el 80% y el 100% del valor norma diaria establecida en el D.S. N° 59/98 por lo cual la Autoridad Ambiental debía proceder a la elaboración de un Plan de Prevención de la Contaminación Atmosférica, instrumento de gestión ambiental que tiene por finalidad evitar la superación de la norma respectiva. Las acciones del Plan de Prevención Atmosférica de Concepción Metropolitana (PPACM) se deben orientar al control de las emisiones directas de material particulado de fuentes residenciales, procesos de combustión y de los contaminantes peligrosos provenientes de algunos procesos industriales. Así como también, avanzar en el control de las emisiones de precursores de material particulado secundario, con énfasis en el control de emisiones de óxidos de azufre.

En este proceso de dictación de zona de latencia de acuerdo a la Ley 19.300, de Bases Generales del Medio Ambiente, y al reglamento para la dictación de normas de calidad y emisión (D.S. N°93/95 MINSEGPRES), se exige el requisito de evaluación económica y social de los anteproyectos de planes y normas ambientales. La Ley, en términos generales establece que dentro de la etapa de dictación de normas se debe realizar un "Análisis Técnico y Económico". El reglamento especifica que este análisis "deberá evaluar los costos y beneficios para la población, ecosistemas o especies directamente afectadas o protegidas; los costos y beneficios a él o los emisores que deberán cumplir con la norma; y los costos y beneficios para el estado como responsable de la fiscalización del cumplimiento de la norma".

En este contexto, surge la necesidad de elaborar el estudio para el Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) del Plan de Prevención Atmosférica del Concepción Metropolitana (PPACM), el cual contempla proporcionar antecedentes técnicos, económicos y sociales que permitan complementar y facilitar la óptima construcción del plan señalado. Considerando el impacto económico social como el nivel de eficiencia económica del plan, es decir, corresponde a una comparación de la totalidad de los costos y beneficios sociales, independiente de la forma en que ellos se distribuyen entre los diferentes actores sociales, mientras el impacto social incorpora los aspectos distributivos del plan. Cabe señalar que dados los nuevos escenarios y las modificaciones realizadas al plan, este trabajo apunta a actualizar el AGIES realizado para esta zona el año 2008.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Desarrollar de manera integral la evaluación económica y social de las eventuales medidas contempladas en el Anteproyecto del Plan de Prevención de Concepción

Metropolitano y participar en actividades de apoyo que exige el proceso de elaboración del Plan.

2.2 Objetivos específicos

1. Identificar el nivel de emisiones a partir de otros estudios ya realizados por la Seremi de Medio Ambiente en el Gran Concepción.
2. Recomendar medidas adicionales que van a ser consideradas para efectos de su evaluación económica y social, estableciendo su alcance y definiendo un conjunto de escenarios de evaluación de las mismas.
3. Desarrollar una propuesta metodológica para la valoración de beneficios y costos asociados a cada medida la cual debe ser aprobada por la contraparte técnica.
4. Estimar los costos asociados a la implementación de cada medida, considerando sus respectivos costos de inversión, operación, mantención y de fiscalización.
5. Estimar el cambio en la concentración ambiental de la aplicación de cada medida en análisis, según metodología acordada con la contraparte técnica del estudio.
6. Estimar los beneficios de la aplicación de las medidas propuestas.
7. Identificar los impactos generados, cuantificar el cambio en el número de efectos o nivel de impacto y valorizar los efectos en términos monetarios.
8. Realizar el análisis económico de la agregación de costos y beneficios de las medidas evaluadas en la propuesta.

3. DESCRIPCIÓN SOCIOECONÓMICA ZONA LATENTE

La presente sección entrega una revisión de los aspectos fundamentales relacionados al entorno socioeconómico de la zona de latencia constituida por las comunas del Gran Concepción. El objetivo es mostrar cómo este entorno se relaciona con los demás componentes del análisis económico y social del Plan de Prevención Atmosférica para el Concepción Metropolitano.

La importancia de contar con información socioeconómica se fundamenta en el hecho que cualquier acción que se lleve a cabo en el marco de este estudio tendrá un efecto

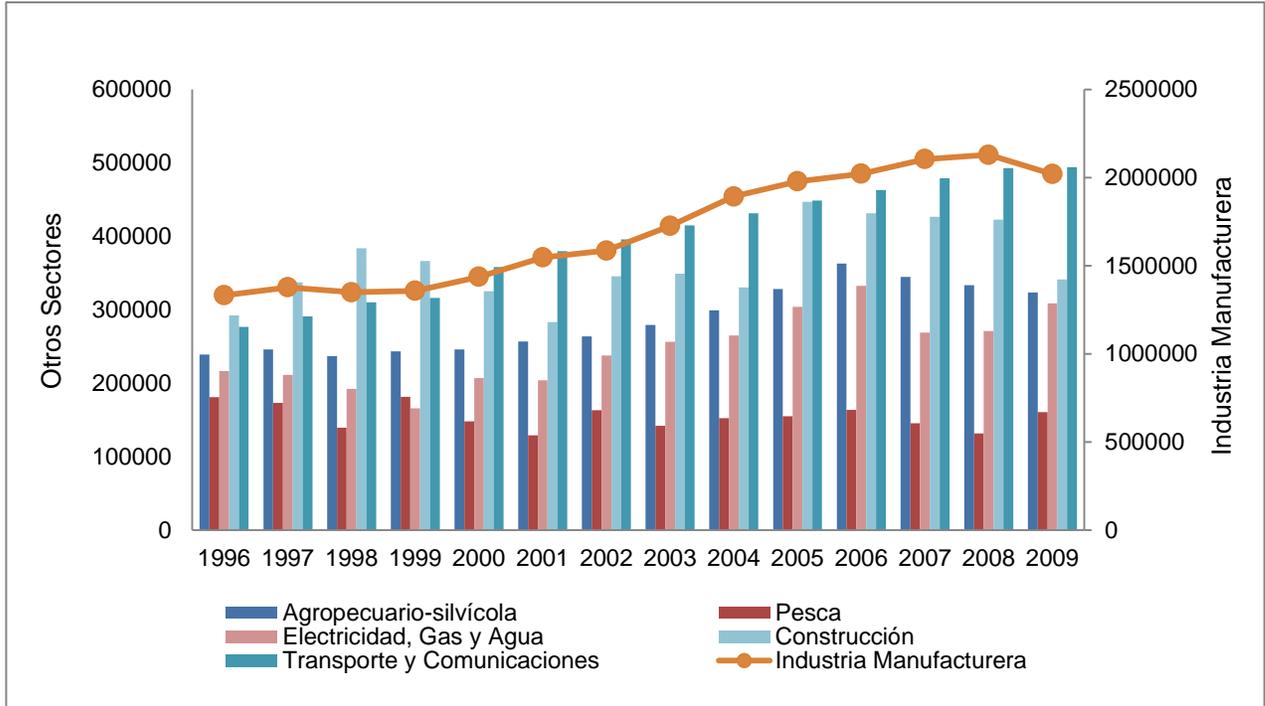
directo o indirecto sobre las empresas y la comunidad en general. Por lo tanto, contar con una línea de base socioeconómica, que describa la situación actual del área considerada dentro del Plan y la región, permitirá a la autoridad respectiva tomar decisiones sobre regulación, planes de gestión, fiscalización u otros. Lo anterior, considerando la capacidad que tiene el ente regulado de asumir obligaciones y compromisos, que deben ser incorporados en el análisis de los posibles costos y beneficios sociales.

3.1 Análisis Económico Región del Bío Bío

La Industria Manufacturera es la principal actividad económica de la Región del Biobío, aportando algo más que un tercio al PIB Regional, según las Cuentas Nacionales disponibles a nivel de regional y sectorial, exactamente representa un 35,3% del total en el año 2009. En tanto, a nivel nacional esta actividad contribuye en promedio con el 19,5% del PIB Industrial de todo el país, lo cual refleja la importancia de la región y específicamente el polo industrial del Concepción Metropolitano dentro de la economía del país.

La actividad económica de la región, medida como el PIB regional corresponde a un 9,0% del total nacional el año 2009. Además entre los años 1996 y 2009 tuvo una tasa de crecimiento de 3%, con bastante variabilidad anual influenciada en gran medida por las condiciones económicas externas debido a su orientación exportadora.

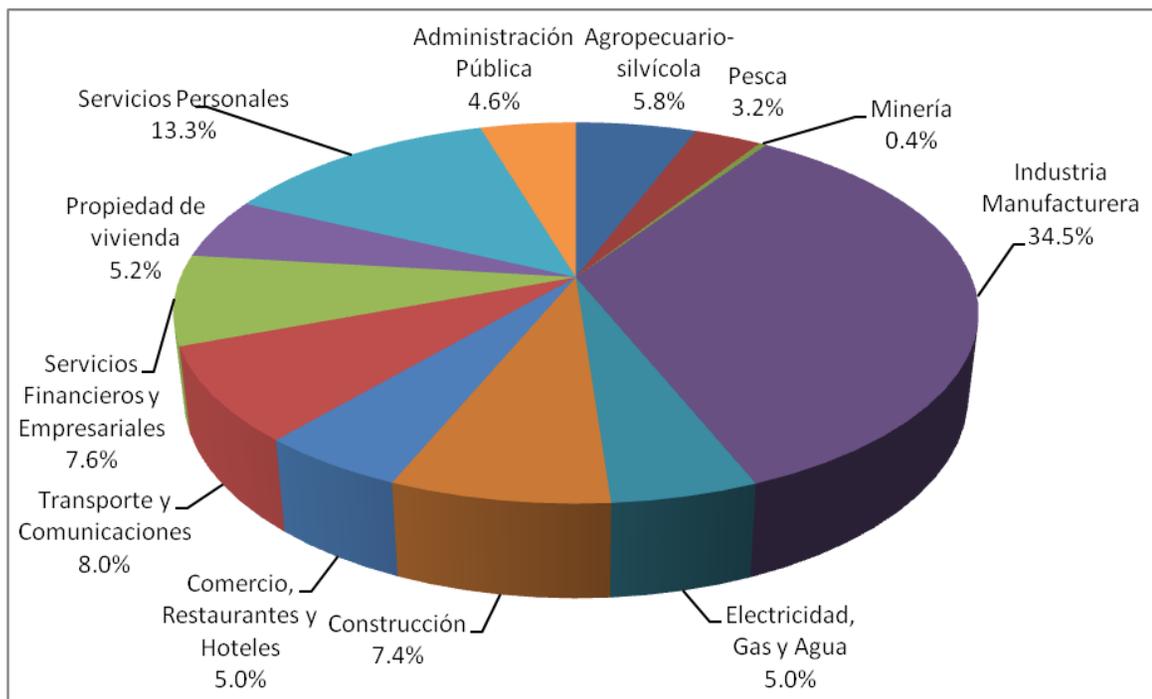
La evolución del PIB regional por actividad económica para algunos sectores seleccionados se presenta en la siguiente figura. Se observa una creciente actividad industrial, que se ha venido desacelerando a partir del 2005 y que fue fuertemente golpeada en la crisis económica del año 2009. De mantenerse esta tendencia se vislumbra una menor presión de este sector en el impacto sobre la calidad del aire en la zona del Concepción Metropolitano, del mismo modo la actividad del sector transporte, logística y comunicaciones han crecido pero a tasas decrecientes. La generación eléctrica, gas y agua ha tenido un comportamiento bastante variable, con tasas de crecimiento positivas y negativas, en particular se espera un mayor impacto de este sector con las inversiones de termoeléctricas que se están materializando actualmente y las que existen en carpeta. De incrementarse las tendencias de crecimiento en estos sectores sin aplicar un plan que ayude a controlar las emisiones ni tomar medidas de mitigación por parte de las empresas, claramente se vislumbra un escenario con mayores concentraciones de material particulado.



Fuente: Elaboración Propia en Base a Cuentas Nacionales del Banco Central de Chile

Figura 6: Evolución para Sectores Seleccionados de la Actividad Económica Regional 1996-2009 (en millones de pesos de 2003)

Adicionalmente, a la tasa de crecimiento de estos sectores, es importante tomar en consideración cuál es su participación en la actividad económica regional. Evaluando el período 1996 a 2009, la participación promedio de la actividad industrial ha sido de un 34,5%. El sector transporte, almacenamiento y comunicaciones aporta con un 8,0% y el sector electricidad, gas y agua con un 5,0% respecto al PIB total regional. Estos últimos son importantes en lo que respecta a emisiones, ya que incorporan a los sectores transporte y energía termoeléctrica.



Fuente: Elaboración Propia en Base a Cuentas Nacionales del Banco Central de Chile

Figura 7: Participación en el PIB Regional por Actividad Económica 1996-2009

Al interior de la actividad manufacturera de la Región del Bío Bío, las actividades predominantes en las ventas totales son “Fabricación de sustancias industriales” la que aporta el 42,8%; “Industria de la madera y productos de madera, excepto muebles” aportando 14,6%; y “Fabricación de papel y de productos de papel” contribuye en 14,5% (Fuente: ENIA 2007).

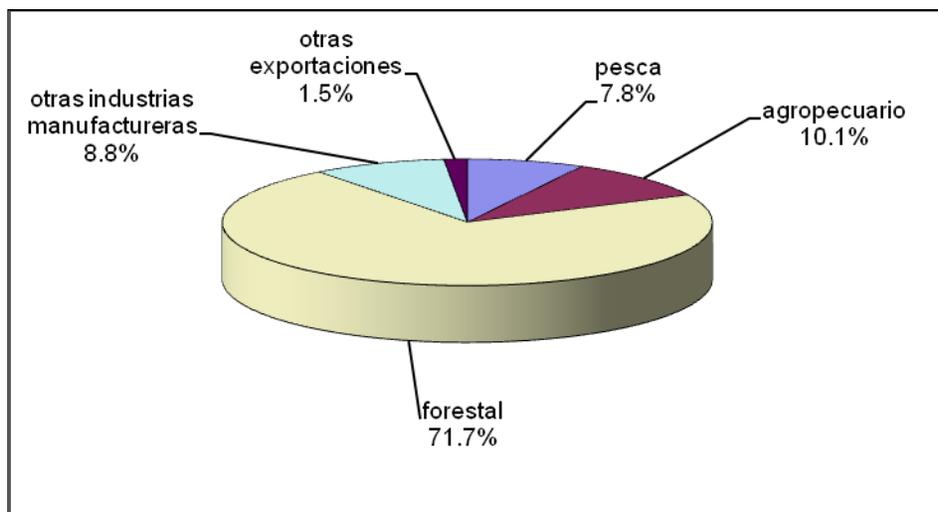
Al analizar la distribución de los establecimientos industriales, es evidente la alta concentración de éstos en la provincia de Concepción, la zona más urbana y más densamente poblada de nuestra región, alcanzando un 62% en 2003, porcentaje que se ha mantenido en el tiempo. Igualmente se presenta esta tendencia en la ocupación industrial de la provincia, que durante 2003 alcanzó el 60% del total regional (Fuente: La Industria Regional una Mirada de Catorce Años 1990-2003, INE 2006)

Con respecto a la energía, la región cuenta con centrales hidroeléctricas y termoeléctricas que pertenecen al Sistema Interconectado Central (SIC). Aportando a este un 16% de la electricidad generada, lo que la transforma en una de las principales proveedoras de energía eléctrica del país.

El gran número de industrias manufactureras existentes en la región y su gran envergadura generan una alta demanda de energía eléctrica dentro de las industrias manufactureras. En primer lugar se encuentran las dedicadas a la fabricación de papel

y productos de papel, las plantas de celulosa llegan a consumir cerca del 31,4% del total, en segundo lugar están las industria de la madera y productos de madera excepto muebles con un 20,6%, y en tercer lugar la fabricación de productos metálicos excepto maquinaria con 18,0%. También existe alto consumo industrial de otros combustibles como leña en industrias dedicadas a la fabricación de papel y productos de papel con un 32,0% del total, fabricación de productos metálicos excepto maquinaria con 29,0%, y la industria de alimentos con un 28,2%. El consumo de petróleo está principalmente ligado a la industria de la fabricación de papel y productos de papel con un 39,4% del total, industria de alimentos con un 22,2% e industria de la madera y productos de madera excepto muebles con un 13,7% del total (Fuente: ENIA 2007).

La actividad económica regional cuenta con una fuerte base exportadora proveniente del sector industrial basado en productos forestales (como celulosa, madera, tableros, chips, papel, puertas, perfiles y molduras), productos pesqueros (harina de pescado, jurel congelado), productos alimentarios (frambuesas, moras y grosellas congeladas o azucaradas, leche condensada y manzanas), productos derivados del petróleo (gasolina) y productos de acero, entre los principales. En general, estos productos exportados emergieron en la década de los 80, uniéndose al sector tradicional industrial el cual está compuesto por la fabricación de productos de la refinación del petróleo; la industria básica de hierro y acero; fabricación de sustancias químicas básicas; fabricación de vidrio y productos de vidrio, entre otras.



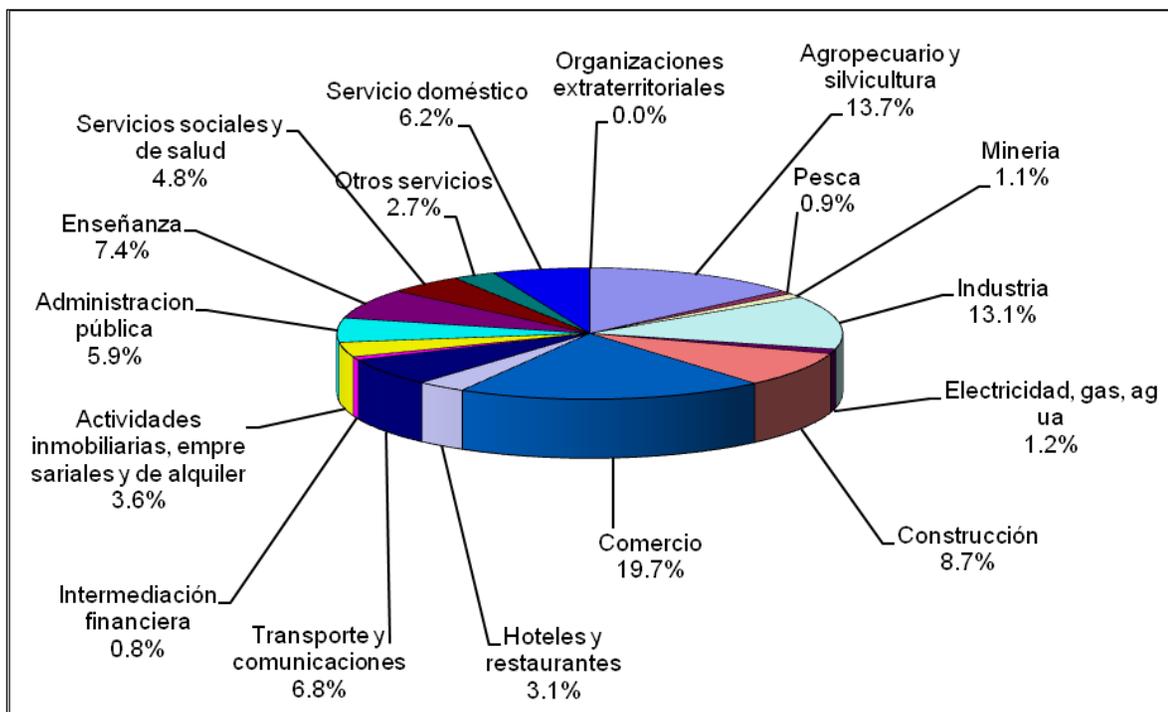
Fuente: Elaboración Propia en Base a INE Bío Bío

Figura 8: Participación en Volumen de Exportaciones Regionales

En el ámbito del mercado laboral para la región del Bío Bío según la Nueva Encuesta de Empleo del INE la fuerza de trabajo tiene una participación promedio de 55,1%, la tasa de ocupación alcanza el 50,2%, y una tasa de desempleo permanentemente más

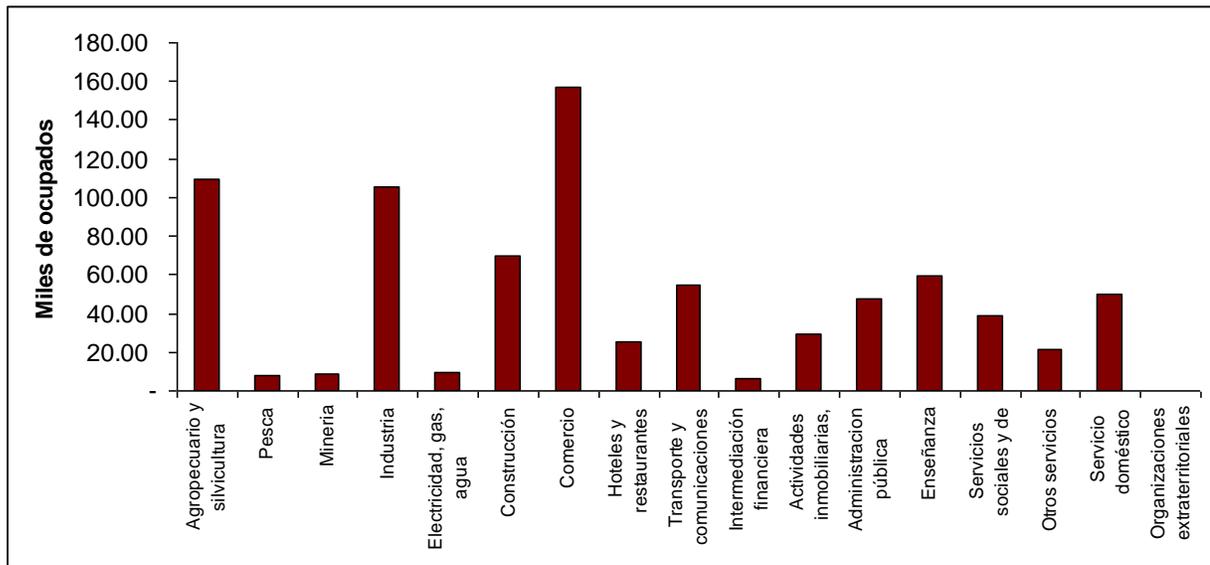
alta que a nivel nacional con un 8,9%, que refleja en parte los cambios estructurales de la economía regional. Entre ellos, el cierre de minas a carbón, crisis por escasez de recursos pesqueros, y efectos de las crisis económicas internacionales, dada su fuerte orientación exportadora.

Desde el punto de vista de la ocupación, la actividad que genera más empleo es el comercio con un 19,7%, le sigue la agricultura, ganadería, caza y silvicultura con un 13,7%, y en tercer lugar como generadora de empleos se ubica la industria manufacturera aporta con un 13,1% de la ocupación regional.



Fuente: Elaboración Propia en Base a INE Bío Bío

Figura 9: Participación del Empleo Regional por Rama de Actividad Económica 2010-2011



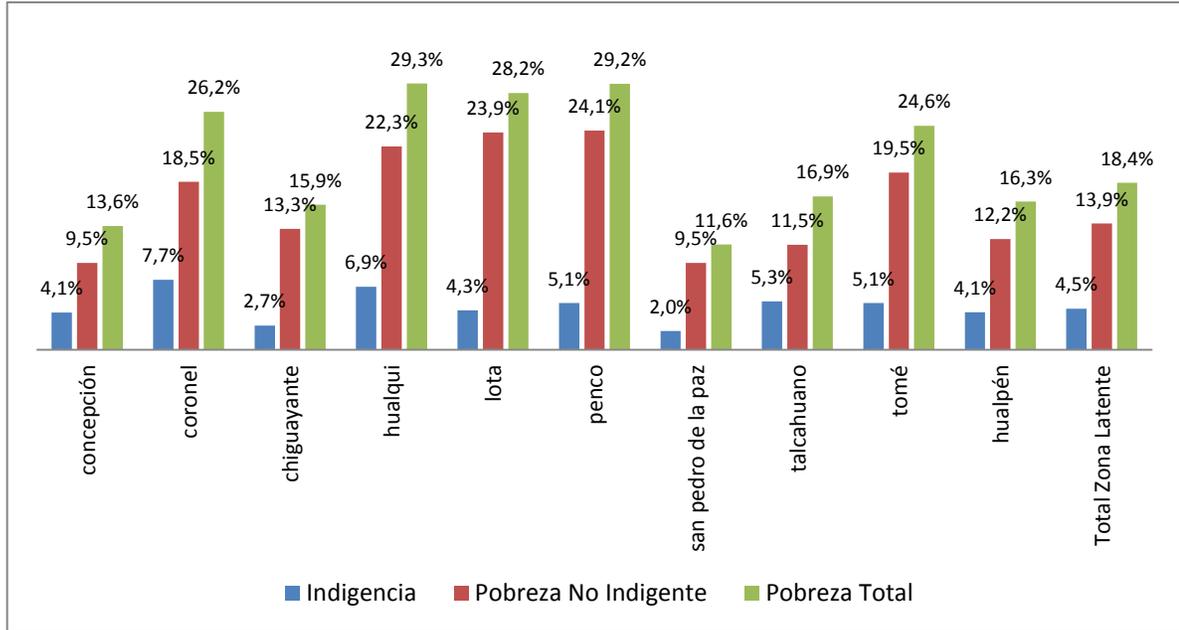
Fuente: Elaboración Propia en Base a INE Bío Bío

Figura 10: Promedio de Ocupados 2010-2011 por Actividad Económica Región del Bío Bío

En lo que respecta a los posibles efectos del plan de prevención en el mercado laboral, se podría prever un menor dinamismo en las inversiones de la actividad industrial producto de los mayores costos por la compensación de emisiones. Sin embargo, estos costos ya han estado siendo internalizado por las empresas debido a las exigencias impuestas por la Seremi del Medioambiente en los proyectos ingresados al SEIA. Por lo que deberíamos esperar un efecto negativo, pero acotado y no tan significativo como para creer que existirá una paralización en la inversión y el empleo producto de la normativa ambiental, este shock típicamente se ha producido más bien por las condiciones internacionales debido a la orientación exportadora regional.

3.2 Análisis Económico Zona Latente del Gran Concepción

Según la última encuesta CASEN 2009, la región tiene un 21,0% de pobres, de los cuales un 5,2% caen en indigencia y un 15,8% en pobres no indigentes. Esta situación de pobreza es muy superior a la media del país la cual alcanza sólo a un 15,1%. La pobreza cayó sostenidamente en la región desde los años 90's hasta fines de la década del 2000, situación que fue revertida con la última crisis internacional que golpeó a la zona el 2009. En la siguiente figura se presentan los siguientes indicadores de pobreza e indigencia de las comunas que conforman la zona del plan de prevención.



Fuente: Elaboración Propia en Base a CASEN 2009

Figura 11: Situación Socioeconómica y Pobreza en las Comunas Relevantes

Esta caracterización socioeconómica en la cual predominan comunas con altas tasas de pobreza respecto al nivel país pudiese hacer pensar que tiene un efecto negativo sobre la contaminación, ya que la leña es un combustible relativamente barato en comparación a sus sustitutos y que sería consumido por las familias de menores recursos. Por lo tanto, regulaciones sobre artefactos y leña comercializadas podrían impactar más significativamente a estas familias más desposeídas.

Sin embargo, al analizar los datos de consumo de leña de la encuesta CASEN 2006¹ se observa que la participación de la utilización de leña por quintil de ingreso (el quintil 1 es el más pobre y el quintil 5 el más rico) es bastante homogénea en las comunas relevantes para el plan de prevención. Además apreciamos que el consumo de leña en algunas comunas como Hualqui, Lota y Coronel es sustancialmente superior que en el resto de las comunas de la zona de latencia.

¹ La Encuesta CASEN 2009 no incluyó información sobre consumo de leña en su cuestionario.

Tabla 1: Utilización de Leña por Quintil de Ingreso en las Comunas Zona de Latencia

Comuna	Quintil 1	Quintil 2	Quintil 3	Quintil 4	Quintil 5	Total
Concepción	40%	58%	58%	39%	49%	49%
Coronel	71%	76%	83%	71%	70%	75%
Chiguayante	50%	56%	69%	60%	52%	57%
Hualqui	83%	83%	75%	85%	70%	82%
Lota	79%	79%	78%	80%	59%	78%
Penco	65%	65%	55%	62%	45%	61%
San Pedro de la Paz	50%	69%	62%	66%	62%	61%
Talcahuano	41%	45%	59%	42%	59%	49%
Tomé	64%	64%	56%	47%	34%	59%
Hualpén	31%	34%	51%	53%	43%	41%
Total	53%	59%	63%	52%	54%	54%

Fuente: Elaboración Propia a Partir de Casen 2006

Pasando al mercado laboral, es necesario entender el contexto económico en el cual se aplicará el Plan de Prevención de Contaminación Atmosférica para el Concepción Metropolitano y su posible impacto indirecto en el empleo de las comunas pertenecientes a esta zona. Para una descripción se presentan las siguientes tablas en el cual se detalla el número de empleados por sector económico según oficio y el nivel de ingresos promedio por sector económico (Fuente: Elaboración Propia en Base a CASEN 2009).

Tabla 2: Número de Empleados Zona Latente por Sector Económico

Oficio/Sector	Actividades no Especificadas	Agricultura, caza y pesca	Minería	Industria	Electricidad, Gas y Agua	Construcción	Comercio	Transporte	Servicios Financieros	Servicios	Total
FF. AA.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	768	768
Poder Ejecutivo, legislativo	359	883	0	1257	0	550	1138	644	1024	2311	8166
Profesionales y científicos	154	1285	207	1989	457	1289	1028	410	5113	30853	42785
Técnicos y profesionales medios	234	589	0	4380	284	2316	2872	2185	4979	16634	34473
Empleados de oficina	438	545	0	2802	393	1960	4849	4773	3827	7574	27161
Trab. servicios y Vendedores	367	674	0	2417	105	570	38783	2377	4558	11963	61814
Agricultores y trab. Calificados	206	6007	0	625	76	0	240	53	0	1614	8821
Oficiales, operarios y oficios	394	1564	1043	20808	1440	22635	2019	1574	786	10601	62864
Operadores de instal. y maquinaria	147	2395	437	8535	527	1976	1689	15472	182	2104	33464
Trabajadores no calificados	571	5513	106	4226	0	9551	11141	1638	3251	33869	69866
Ocupación no especificada	331	0	0	0	0	0	0	0	283	0	614
Total	3201	19455	1793	47039	3282	40847	63759	29126	24003	118291	350796

Fuente: Elaboración propia en base a CASEN 2009

Debemos señalar que el sector industrial es el principal emisor de fuentes fijas en la zona latente, por ello es necesario entender cómo el mercado laboral de este sector se puede resentir con regulaciones ambientales, producto de un potencial desincentivo en la inversión.

El sector industrial emplea a 47.039 trabajadores el cual corresponde a un 13,4% de los ocupados de las comunas pertenecientes a la zona del Gran Concepción, demostrando su importancia como tercera fuente generadora de empleos luego de servicios (33,7%) y comercio (18,2%).

El nivel promedio de las remuneraciones del sector industrial corresponde a \$364.680 al año 2009, siendo uno de los sectores con menores remuneraciones promedios de la zona de estudio. Específicamente por tipo de cargo u oficio, en el sector industrial las remuneraciones promedio en el nivel gerencial alcanzan a \$1.038.188, profesionales \$975.071, técnicos \$505.759, empleados de oficina \$279.852, operarios \$291.267, operadores \$346.496 y trabajadores no calificados \$262.995 (Fuente: Elaboración Propia en Base a CASEN 2009).

Tabla 3: Nivel de Ingresos Promedio Zona Latente por Sector Económico (Miles de pesos 2009)

Oficio/Sector	Acts. No Especific.	Agric. Caza y Pesca	Minería	Industria	Elect Gas y Agua	Construcción	Comercio, Rest. y Hoteles	Transporte y comunicaciones	S. Financieros y seguros	Servicios
FF. AA.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	866
Poder Ejecutivo, legislativo	3998	2762	.	1038	.	608	435	1691	1403	983
Profesionales y científicos	177	1049	1015	975	651	1074	1210	408	1169	644
Técnicos y profesionales de nivel medio	497	451	.	506	132	695	653	383	562	417
Empleados de oficina	257	726	.	280	348	627	269	409	411	308
Trab. servicios y Vendedores	205	276	.	188	84	246	299	260	252	290
Agricultores y trabajadores calificados	646	247	.	291	88	339	192	133	365	160
Oficiales, operarios y oficios	347	349	656	307	363	335	237	359	474	352
Operadores y montadores de instalación y maquinaria	508	317	632	347	319	196	212	455	188	312
Trabajadores no calificados	304	212	456	263	.	.	259	189	884	160
Ocupación no especificada	217	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Total	751	447	681	365	359	366	319	433	596	385

Fuente: Elaboración propia en base a Casen 2009

4. ESTIMACIÓN DE EMISIONES

De acuerdo al informe del Anteproyecto del Plan de Prevención de Contaminación Atmosférica para el Concepción Metropolitano (PPACM)² a partir del inventario de emisiones atmosféricas 2005 realizado por la Universidad Católica de Temuco (2009) y el estudio “Evaluación de Medidas para Reducir la Contaminación Atmosférica en Complejos Industriales y Grandes Fuentes del Gran Concepción” desarrollado por UDT y PROTERM (2010), se dispone de una estimación para las emisiones de los siguientes contaminantes: MP10, SO₂, NO_x, CO, COV y NH₃.

La estimación de emisiones para calefacción residencial de leña, quemas agrícolas e incendios forestales, fuentes móviles, procesos industriales y fuentes biogénicas proviene del inventario 2005 (Universidad Católica de Temuco, 2009). Las emisiones por combustión de fuentes fijas son estimadas por el estudio de UDT y PROTERM (2010). Los resultados para el escenario 2008 por categoría de fuente se presentan a continuación.

Tabla 4: Inventario de Emisiones de Concepción Metropolitano (Escenario 2008)

Categorías	Subcategorías	MP10 ton/año	SO ₂ ton/año	NO _x ton/año	CO ton/año	COV ton/año	NH ₃ ton/año
Fuentes Fijas	Combustión	5423	15276	5438	7490	6302	241
	Procesos	3159	8045	4320	163552	2884	231
	Total Fuentes Fijas	8582	23321	9758	171042	9187	473
Quema de Biomasa	Calefacción residencial leña	9716	637	95	98347	62706	0
	Quemas agrícolas y forestales	788	85	296	7377	3063	6768
	Total quema de leña-biomasa	10504	722	391	105724	65769	6768
Otras Fuentes de Área	Total Otras Fuentes de Área (*)	859			3	139270	585
Emisiones Biogénicas	Total Biogénicas			4	7	676	
Fuentes Móviles	Buses	322	78	5760	1666	619	0
	Camiones	98	27	1250	599	379	0
	Vehículos livianos-medianos-motos	34	247	5206	53209	6068	168
	Total Fuentes Móviles	454	352	12216	55474	7066	168
TOTAL		20399	24395	22369	332247	221967	7995

Fuentes: Inventario de Emisiones Atmosféricas de Concepción Metropolitano, Universidad Católica de Temuco (2009). Evaluación de Medidas para Reducir la Contaminación Atmosférica en Complejos Industriales y Grandes Fuentes del Gran Concepción, UDT y PROTERM (2010).

(*) Emisiones evaporativas residenciales y comerciales, disposición de residuos, actividades agrícolas, emisiones difusas de actividades de construcción.

² Página 15, Tabla 1 del Anteproyecto del PPACM

El 47,6% de las emisiones totales de MP10 en la zona corresponden a utilización de leña para calefacción residencial. El detalle por comuna se describe a continuación:

Tabla 5: Emisiones Combustión de Leña Residencial año base 2005 (Ton/año)

Comuna	MP10	MP2,5	CO	NOx	SO ₂	COV
Concepción	2481,6	2406,4	25118,7	162,7	24,3	16015,5
Coronel	1375,5	1333,8	13922,8	90,2	13,4	8877,1
Chiguayante	1010,6	980,0	10229,4	66,3	9,9	6522,2
Hualqui	1030,4	999,1	10429,3	67,6	10,1	6649,7
Lota	234,3	227,2	2371,5	15,4	2,3	1512,1
Penco	366,6	355,5	3710,9	24,0	3,6	2366,0
San Pedro de la Paz	724,6	702,6	7334,0	47,5	7,1	4676,1
Talcahuano	1414,3	1371,5	14316,0	92,8	13,8	9127,8
Tomé	496,9	481,8	5029,4	32,6	4,9	3206,7
Hualpén	581,4	563,8	5885,3	38,1	5,7	3752,4
Total	9716,2	9421,7	98347,3	637,2	95,0	62705,6

Fuente: Inventario 2005 Universidad Católica de Temuco (2009)

Existen tres estimaciones de emisiones por combustión residencial de biomasa en esta zona. La primera aplicación de una encuesta fue desarrollada por la UDT de la Universidad de Concepción (2005) utilizando 2.070 encuestas con un 5% de error. Para la actualización del inventario 2005 la Universidad Católica de Temuco (2009) aplicó 414 encuestas con un 11% de error. Finalmente, en este informe se presentan datos de la CASEN 2006 de las comunas pertenecientes al plan, específicamente se consideran 2.739 hogares, pero al utilizar los factores de expansión de la misma encuesta, cada hogar se pondera de tal forma que la muestra se vuelve representativa de todos los hogares de la zona latente.

Al comparar la tabla anterior con las emisiones estimadas a partir de la encuesta de la UDT (2005)³ se observa un fuerte aumento significativo de las emisiones, lo cual se puede explicar por un mayor consumo de leña, modificación en el tipo de equipos y humedad de la leña, pero también por una diferencia en los factores de emisión utilizados.

³ El periodo de aplicación de esta encuesta fue el año 2004.

Tabla 6: Emisiones Combustión de Leña Residencial año 2004 (Ton/año)

Comuna	MP10
Concepción	1408,7
Coronel	827,3
Chiguayante	754,1
Hualqui	787,0
Lota	172,0
Penco	325,4
San Pedro de la Paz	517,2
Talcahuano	1351,4
Tome	221,1
Total Gran Concepción	6364,3

Fuente: UDT (2005)

Para obtener una comparación más equivalente al inventario de la Universidad Católica de Temuco (2009) se realiza una estimación para el Concepción Metropolitano con las emisiones calculadas a partir de los consumos de leña de la encuesta CASEN 2006, utilizando los mismos factores de emisión, humedad de la leña, pero con el número de hogares y consumos de leña que aparecen en esta encuesta, a partir de esta información es posible concluir que las emisiones de MP10 al año 2006 habrían alcanzado las 7.548,9 ton/año.

Tabla 7: Emisiones Combustión de Leña Residencial año base 2006 (Ton/año)

	Comuna	MP10	MP2,5	CO	NOx	COV	SO ₂	NH ₃
Urbano	Tome	1089	1058	11833	77	7237	12	63
	Hualqui	210	204	2277	15	1393	2	12
	Lota	348	338	3777	25	2310	4	20
	Hualpén	121	118	1319	9	807	1	7
	Coronel	686	667	7458	49	4562	7	40
	Chiguayante	858	834	9326	61	5704	9	50
	Penco	792	769	8606	56	5263	8	46
	San Pedro de la Paz	1023	993	11112	72	6796	11	59
	Concepción	1008	979	10957	71	6702	11	58
	Talcahuano	651	632	7074	46	4326	7	38
	Total Urbano	6787	6592	73740	481	45100	72	393
Rural	Tome	374	364	4068	27	2488	4	22
	Hualqui	76	74	830	5	508	1	4
	Lota	0	0	0	0	0	0	0
	Hualpén	0	0	0	0	0	0	0
	Coronel	111	108	1210	8	740	1	6
	Chiguayante	0	0	0	0	0	0	0
	Penco	38	37	412	3	252	0	2
	San Pedro de la Paz	0	0	0	0	0	0	0
	Concepción	143	139	1556	10	952	2	8
	Talcahuano	19	18	205	1	126	0	1
	Total Rural	762	740	8282	54	5065	8	44
Total Urbano y Rural	7549	7332	82022	535	50165	80	438	

Fuente: Elaboración Propia en Base a CASEN 2006

Dados los diferentes valores de las estimaciones de cada encuesta aplicada en las comunas del plan, es necesario evaluar su consistencia temporal. Para ello se construye la siguiente tabla que incorpora el consumo total de leña en m³ estéreo, y se calcula el crecimiento anual entre los años de levantamiento de información de cada encuesta.

La primera conclusión es que las estimaciones de consumo total de leña no son sustancialmente diferentes, considerando distintas combinaciones de encuestas se llega a un crecimiento entre 5,7% y 3,1% anual, mientras al evaluar años más recientes el crecimiento fluctúa entre 3,5% y 3,1% anual. Se desprende de lo anterior que hay una desaceleración en la tasa de crecimiento del consumo de leña, lo cual se puede explicar porque se están alcanzando mayores niveles de penetración en Concepción Metropolitana.

Tabla 8: Comparación Consumo de Leña Residencial

Año	Estudio	M3 Estéreo	Crecimiento Anual	
			Respecto UDT	Respecto CASEN
2004	UDT	983.299	-	-
2006	CASEN 2006	1.097.886	5,7%	-
2008	U. Católica de Temuco	1.167.519	3,5%	3,1%

Fuente: Universidad Católica de Temuco (2009), UDT (2005) y CASEN 2006

Para los propósitos de este estudio se recomienda utilizar como base para los escenarios de reducción de emisiones las estimadas con la CASEN 2006, actualizando al año base 2008 según crecimiento anual de consumo, lo cual equivale a 7.993,1 ton/año de MP10. Los argumentos son que se dispuso de una cantidad de hogares mucho mayor que en el estudio más reciente, tiene representatividad poblacional comunal mediante los factores de expansión⁴, y existe una diferenciación en el consumo de leña y tenencia de equipos urbano y rural por comuna, por lo cual es más útil para evaluar escenarios de medidas con potencial de reducción de emisiones. El resumen de este inventario se presenta en la siguiente tabla.

⁴ Este factor se interpreta como la cantidad de hogares en la población, que representa un hogar en la muestra.

Tabla 9: Emisiones Combustión de Leña Residencial Año Base 2008 (Ton/año)

	Comuna	MP10	MP2,5	CO	NOx	COV	SO ₂	NH ₃
Urbano	Tome	1153	1120	12529	82	7663	12	67
	Hualqui	222	216	2411	16	1475	2	13
	Lota	368	358	3999	26	2446	4	21
	Hualpén	129	125	1397	9	854	1	7
	Coronel	727	706	7897	52	4830	8	42
	Chiguayante	909	883	9874	64	6039	10	53
	Penco	839	815	9112	59	5573	9	49
	San Pedro de la Paz	1083	1052	11766	77	7196	11	63
	Concepción	1068	1037	11602	76	7096	11	62
	Talcahuano	689	670	7490	49	4581	7	40
	Total Urbano	7186	6979	78079	509	47753	76	417
Rural	Tome	396	385	4307	28	2634	4	23
	Hualqui	81	79	879	6	538	1	5
	Lota	0	0	0	0	0	0	0
	Hualpén	0	0	0	0	0	0	0
	Coronel	118	114	1281	8	783	1	7
	Chiguayante	0	0	0	0	0	0	0
	Penco	40	39	436	3	267	0	2
	San Pedro de la Paz	0	0	0	0	0	0	0
	Concepción	152	147	1648	11	1008	2	9
	Talcahuano	20	19	217	1	133	0	1
Total Rural	807	784	8769	57	5363	9	47	
Total Urbano y Rural	7993	7763	86848	566	53116	85	7993	

Fuente: Elaboración Propia en Base a CASEN 2006

De las emisiones totales de MP10 en la zona sólo el 2,2% corresponden a fuentes móviles. A partir del informe de la Universidad Católica de Temuco no es posible distinguir el nivel de emisiones por comuna ni tampoco cómo se generaron las proyecciones de emisiones. El detalle por categoría vehicular se describe a continuación:

Tabla 10: Emisiones Fuentes Móviles Año Base 2005 (Ton/año)

CATEGORIA VEHICULAR	MP10	SO ₂	NO _x	CO	COV	NH ₃
Veh. Particulares	10,97	94,11	1872,84	25169,07	2811,13	70,53
Veh. De Alquiler	0,15	11,73	182,72	1933,29	150,65	11,49
Taxis Colectivos	0,39	37,55	497,17	6114,92	539,35	33,50
Veh. Comerciales	22,31	103,02	2652,77	19386,04	2440,28	52,96
Camiones Livianos	26,50	8,20	351,81	292,15	187,47	0,03
Camiones Medianos	60,39	13,57	645,55	258,20	169,92	0,03
Camiones Pesados	11,06	4,98	252,68	48,45	21,61	0,01
Buses Particulares	10,99	1,58	172,66	52,04	14,49	0,00
Buses Licitados	311,23	76,79	5587,35	1614,37	604,25	0,12
Buses Rurales e Interurbanos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Motos	0,00	0,55	0,27	605,93	126,38	0,01
Total	453,99	352,09	12215,80	55474,46	7065,55	168,68

Fuente: Inventario 2005 Universidad Católica de Temuco (2009)

Las emisiones por quemas forestales y agrícolas provienen del inventario de la Universidad de Temuco (2009) las cuales se presentan a continuación:

Tabla 11: Emisiones Generadas por Quemas Forestales (Ton/año) año 2005

Comuna	MP10	MP2,5	CO	NH ₃	NO _x	SO ₂
Concepción	4,19	3,55	38,31	0,38	1,70	0,52
Talcahuano	2,12	1,80	19,75	0,20	0,81	0,25
Penco	8,98	7,61	83,37	0,84	3,46	1,06
Tomé	45,19	38,32	427,12	4,32	16,40	5,04
Coronel	11,15	9,46	109,08	1,10	3,53	1,10
San Pedro de la Paz	2,20	1,87	21,06	0,21	0,76	0,24
Hualqui	103,80	87,98	974,24	9,91	38,58	11,74
Lota	177,62	150,60	1672,93	16,96	65,24	19,95
Chiguayante	25,58	21,68	242,12	2,46	9,22	2,81
Total	746	633	7034	71	273	84

Fuente: Inventario 2005 Universidad Católica de Temuco (2009)

Tabla 12: Emisiones generadas por quemas agrícolas (Ton/año) año 2005

Comuna	MP10	MP2,5	NOx	SO ₂	COV	CO
Concepción	0,84	0,79	0,56	0,01	0,68	7,11
Penco	1,40	1,31	0,93	0,02	1,13	11,84
Coronel	1,67	1,56	1,11	0,02	1,35	14,09
Lota	10,78	10,09	7,19	0,14	8,71	91,25
Chiguayante	0,46	0,43	0,26	0,01	0,36	3,74
Hualqui	13,73	12,83	7,82	0,23	10,69	112,33
Tomé	13,31	12,54	5,43	0,36	9,62	102,40
Total	42,19	39,55	23,30	0,78	32,53	342,77

Fuente: Inventario 2005 Universidad Católica de Temuco (2009)

Adicional a las emisiones residenciales, el 42,1% de las emisiones totales de MP10 en la zona corresponden a fuentes fijas industriales (procesos y combustión). El detalle de emisiones industriales por combustión y por procesos para cada comuna se describe a continuación.

Tabla 13: Emisiones Fuentes Fijas Combustión Año Base 2008 (Ton/año)

Sector Industrial	MP Total	MP10	MP2,5	SO ₂	NOx	CO	COV
Productos de Hierro y Acero	1664	1072	647	931	2421	148983	3668
Aserraderos y Madera Elaborada	1012	483	407	8	239	2802	50
Producción de Cemento	786	338	11	22	602	9925	0
Generación Eléctrica	710	622	489	5658	1824	449	2
Industria Pesquera	487	405	128	3482	1113	92	6
Producción de Vidrios y Fritas	206	196	187	719	727	14	0
Producción de Combustibles	195	172	137	3117	192	33	0
Elaboración de Telas	82	48	17	96	32	11	0
Calderas Industriales	78	70	59	15	27	167	3
Industria Química	27	10	4	269	18	108	0
Producción de Bebidas Alcohólicas	18	7	2	325	28	18	0
Fabricación y Reciclaje de Papel	20	18	13	35	122	370	0
Faenamiento de Animales	4	2	1	4	5	81	0
Tratamiento de Superficies	0	0	0	0	0	5	0
Fabricación de Alimentos	10	7	1	153	123	28	1
Procesamiento de feldespato	2	9	13	0	2	14	2
Productos de Aluminio	0	0	0	3	8	2	0
Tratamiento de lodos	0	0	0	0	12	4	0
Astilleros y maestranzas	0	0	0	1	2	0	0
Calderas de Calefacción	9	9	2	217	192	81	5
Panaderías	96	86	56	1	22	185	17
Grupos Electrónicos	15	13	12	219	420	182	19
Total	5423	3566	2186	15276	8134	163552	3776

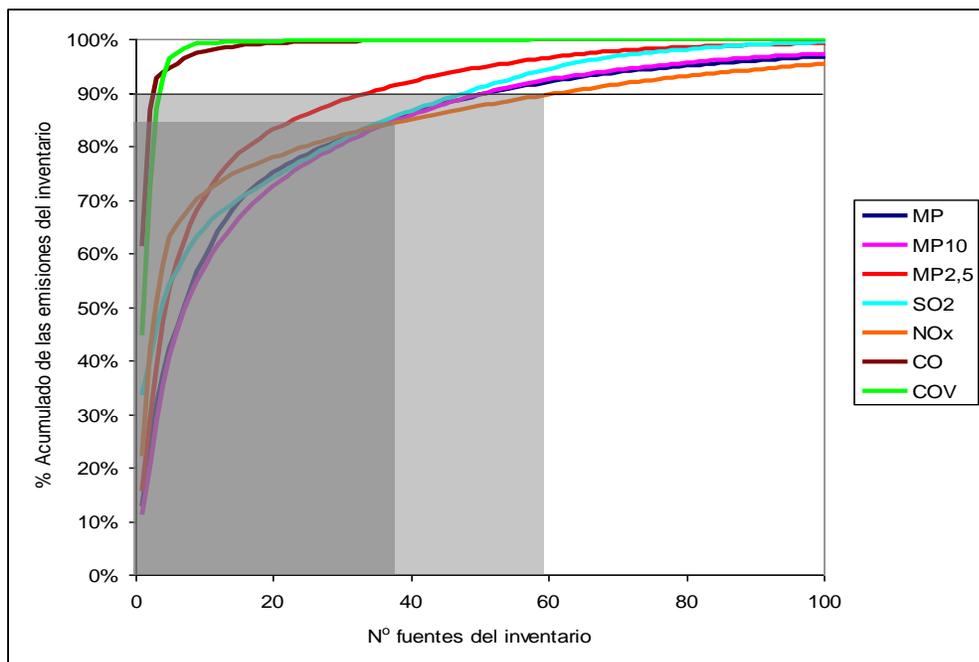
Fuente: UDT y PROTERM (2010)

Tabla 14: Emisiones Fuentes Fijas Procesos Año Base 2005 (Ton/año)

Sector Industrial	MP10	MP2,5	SO ₂	NO _x	CO	COV	NH ₃
Industria Metalúrgica Secundaria ⁵	1340,5	1306,7	2857,7	463,8	105419,1	1842,9	0,0
Industria de Productos Minerales	1103,8	309,3	2159,7	2417,5	43,2	8,4	20,9
Industria Química	234,5	0,0	2509,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Industria Madera y el Papel	141,4	83,3	327,9	976,9	486,9	97,4	209,2
Industrias Alimentaria y Agropecuaria	338,8	30,8	192,5	457,4	114,9	935,7	1,1
Evaporativas puntuales	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Industria textil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Industria sanitaria	0,3	0,0	0,0	12,2	3,7	0,2	0,0
Total Procesos	3159,2	1730,0	8044,9	4319,6	106065,6	2884,4	231,2

Fuente: Universidad Católica de Temuco (2009)

En el inventario de emisiones de fuentes fijas del Concepción Metropolitano con base en el año 2008 el 85% de las emisiones totales (ton/año) de MP, MP10, MP2,5, SO₂, NO_x, CO y COV está constituido por menos de 40 fuentes identificadas en el inventario de emisiones atmosféricas con base en el año 2008 como se muestra en la figura siguiente.

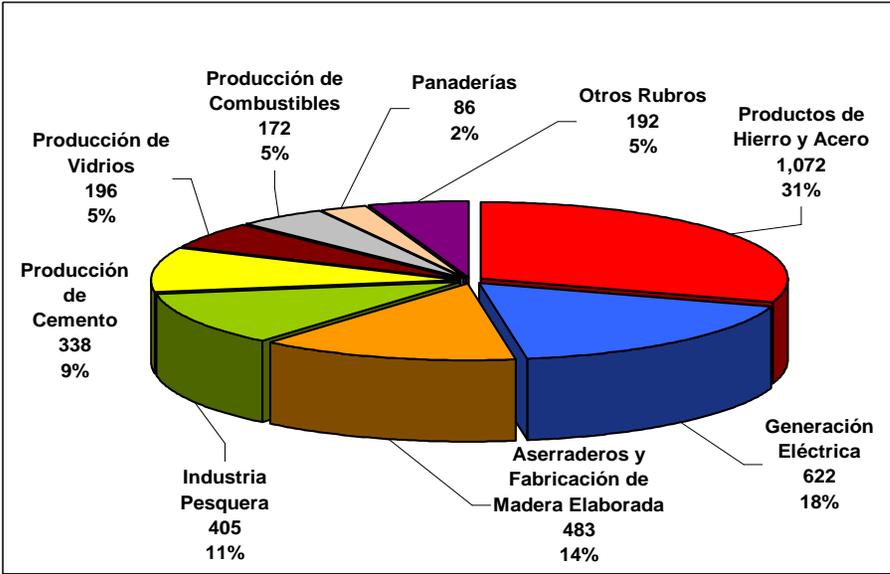


Fuente: Elaboración propia en base a UDT-PROTERM (2010)

Figura 12: Número de fuentes que explican el 90% y 85 % del total de las emisiones atmosféricas registradas en el inventario

⁵ Se agregan las emisiones por producción de aluminio, hierro y acero según inventario de UCT (2009).

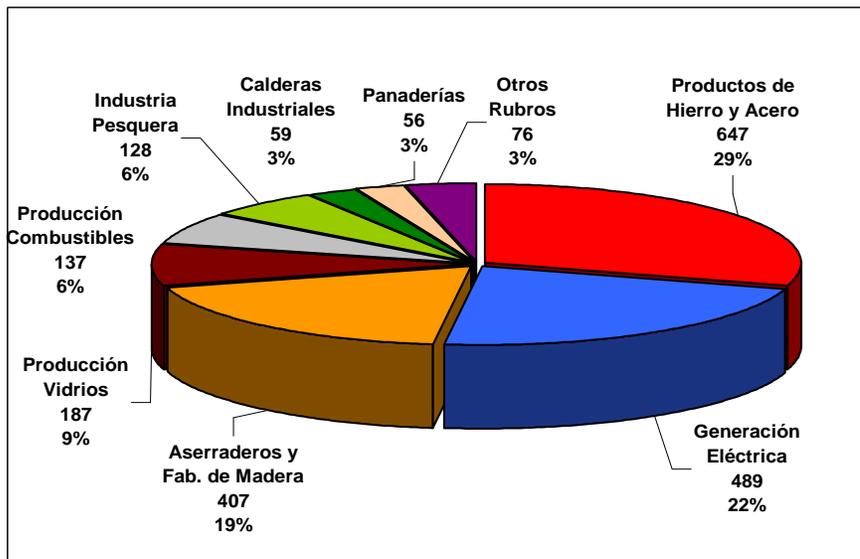
Las emisiones de MP provienen principalmente de los rubros productores de hierro y acero, generación eléctrica, aserraderos y fabricación de madera elaborada, industria pesquera, producción de cemento, producción de vidrios y fritas y producción de combustible, mientras que el resto de las emisiones de material particulado respirable reportadas en el inventario corresponden a panaderías, calderas industriales y elaboración de telas entre otros rubros.



Fuente: UDT-PROTERM (2010)

Figura 13: Emisiones de MP10 por rubro en el Concepción Metropolitano

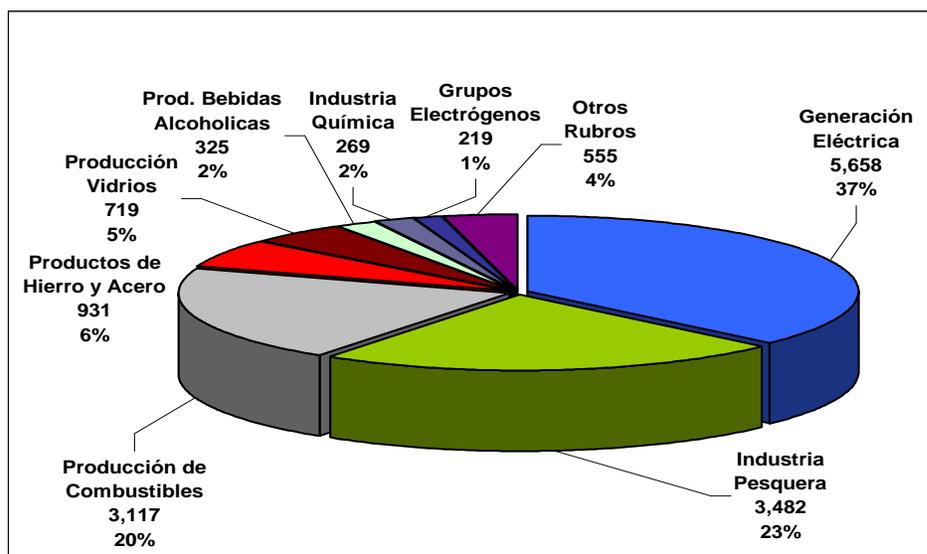
Esta tendencia es similar en cuanto a las emisiones de material particulado fino (MP2,5) donde el 90% de las emisiones corresponde a los rubros productos de acero y hierro, generación eléctrica, aserraderos y fabricación de madera elaborada, producción de vidrios y fritas, producción de combustible e industria pesquera.



Fuente: Elaboración propia en base a UDT-PROTERM (2010)

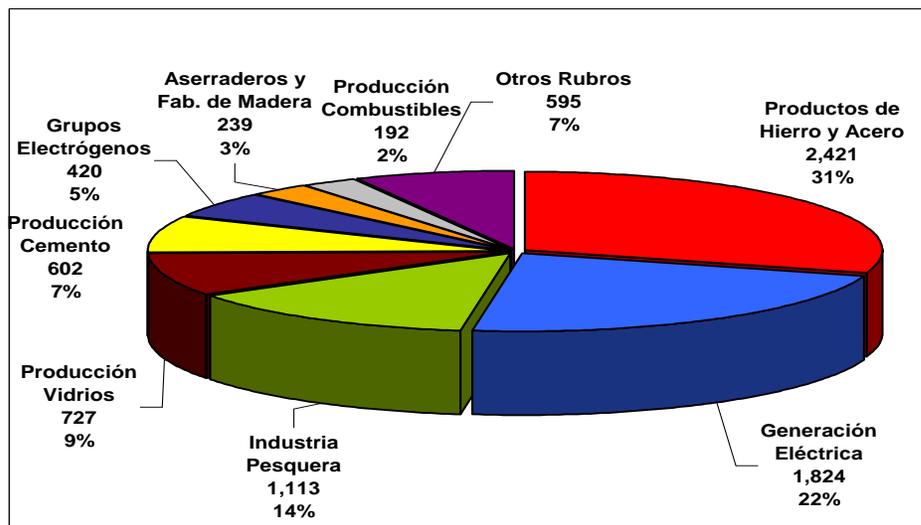
Figura 14: Emisiones de MP 2,5 por rubro en el Concepción Metropolitana

Con respecto a las emisiones de gases precursores de material particulado secundario, entre ellos, SO_2 y NO_x , el 90% de las emisiones totales proviene de los rubros generación eléctrica, industria pesquera, producción de combustibles, productos de hierro y acero, producción de vidrios y fritas, producción de cemento y aserraderos y fabricación de madera elaborada.



Fuente: UDT-PROTERM (2010)

Figura 15: Emisiones de SO_2 por rubro en el Concepción Metropolitana



Fuente: UDT-PROTERM (2010)

Figura 16: Emisiones de NOx por rubro en el Concepción Metropolitano

Por otro lado la distribución comunal del número de fuentes industriales y el total de emisiones atmosféricas reportadas en el inventario se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 15: Distribución de las fuentes industriales del inventario de emisiones en las comunas del Concepción Metropolitano (ton/año)

Comuna	Nº fuentes	MP	MP10	MP2.5	SO ₂	NOx	CO	COV
Coronel	158	1.348	1.424	779	7.568	2.680	1.470	13
Talcahuano	125	2.637	1.294	723	2.544	3.500	159.150	3.673
Concepción	106	11	10	3	226	193	83	5
San Pedro de la Paz	38	266	33	27	11	176	502	5
Hualpén	35	226	173	137	3.509	204	73	0
Penco	27	216	212	206	720	731	46	2
Chiguayante	18	266	35	21	1	114	68	0
Lota	14	298	247	207	132	42	1.779	40
Tome	10	45	38	15	345	51	14	0
*Todas las comunas	2	111	99	67	220	442	367	37
Total	533	5.423	3.566	2.186	15.276	8.134	163.552	3.776

* Corresponde al total de las panaderías y grupos electrógenos en todas las comunas del Concepción Metropolitano

Fuente: UDT-PROTERM (2010)

Como se aprecia en esta tabla, la mayoría de las fuentes industriales del inventario se encuentran en las comunas de Coronel, Talcahuano y Concepción. Sin embargo, con respecto al total de las emisiones atmosféricas existentes en el inventario de emisiones, las comunas de Coronel y Talcahuano registran las mayores emisiones de material particulado, tanto en la fracción respirable como la fina.

Las emisiones de contaminante reportadas en el inventario de emisiones del 2008 por tipo de combustible se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 16: Distribución de las fuentes industriales del inventario de emisiones en las comunas del Concepción Metropolitano (ton/año)

Combustible	MP	MP10	MP2,5	SO₂	NOx	CO	COV
Sin Combustible	1917,69	655,99	441,62	27,46	297,79	42953,01	1827,95
Biomasa	1209,07	1043,14	880,87	9,12	250,63	3649,69	49,96
Gases mixtos	923,64	503,64	275,69	3166,74	2085,28	104011,99	1844,35
Fuel Oil	709,64	624,67	332,40	3872,09	1690,42	100,41	7,24
Carbón Mineral	262,79	179,63	93,97	6233,36	1859,74	244,37	0,43
Fuel Oil + gases	192,92	171,09	79,25	957,33	466,99	2121,30	1,19
*Todos panaderías	96,35	86,02	55,70	1,16	22,49	185,21	17,48
**Todos grupos electrógenos	15,08	12,54	11,63	219,26	419,66	182,04	19,50
Petcoke	38,63	6,92	5,21	412,60	563,88	9956,79	0,00
Fuel Oil + polvo	35,89	0,00	0,00	0,10	26,52	30,90	0,29
Gas Natural	18,56	19,03	2,62	375,09	427,52	98,78	5,35
GLP	2,97	3,55	7,03	1,34	21,75	17,21	2,15
No Identificado	0,08	259,47	0,00	0,07	1,12	0,24	0,09
Total	5423,31	3565,69	2185,99	15275,71	8133,80	163551,94	3775,97

* Considera el total de las emisiones por concepto de combustibles utilizados en las panaderías

** Considera el total de las emisiones por concepto de combustibles utilizados los grupos electrógenos

Fuente: UDT-PROTERM (2010)

El mayor aporte de las emisiones de material particulado proviene de procesos sin combustión. Sin embargo al considerar las fracciones MP10 y MP2,5 el mayor aporte de emisión de estos contaminantes del aire proviene del uso de biomasa forestal como combustible.

Las emisiones de SO₂ y NOx están asociadas principalmente a la combustión de carbón mineral, Fuel Oil N° 6 y gases, mientras que las emisiones de monóxido de carbono surgen principalmente en procesos que queman gases mixtos y petcoke, y también en forma importante a través de procesos sin combustión, principalmente el de Acería Conox de la Compañía Siderúrgica Huachipato.

Al combinar los tipos de fuente de combustión con los combustibles utilizados en las fuentes declaradas en el inventario de emisiones con base en el año 2008, se aprecia que las mayores emisiones conjuntas de MP10 y MP2,5 proviene de las calderas industriales que utilizan biomasa forestal, seguidas por aquellas que utilizan Fuel Oil N° 6. Por otro lado, existe un importante aporte de emisiones de estos contaminantes proveniente de procesos industriales que no involucran combustión.

Tabla 17: Distribución emisiones por tipo de fuente y combustible (ton/año)

Tipo de Fuente	Combustible	MP	MP10	MP2,5	SO ₂	NOx	CO	COV
Caldera Generación Eléctrica	Biomasa Forestal	539,80	485,82	410,25	0,00	0,00	402,07	1.55
	Carbón de Petróleo	30,48	0,00	0,00	391,57	0,00	36,97	0.00
	Carbón Mineral	137,71	133,35	76,45	5107,37	1785,29	0,00	0.00
	Subtotal	707,99	619,17	486,70	5498,94	1785,29	439,04	1.55
Caldera Industrial	Biomasa Forestal	661,19	550,05	464,49	8,38	245,68	3230,54	47.55
	Carbón Mineral	98,36	36,39	13,77	877,21	64,90	137,50	0.43
	Carbón Mineral + Ácido Graso	26,72	9,89	3,74	248,78	9,55	106,87	0.00
	Fuel Gas Refinería	177,52	168,92	136,63	639,77	0,00	0,00	0.00
	Fuel Oil N°1	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	0,01	0.00
	Fuel Oil N°2	3,39	1,74	0,47	166,88	151,48	31,90	2.85
	Fuel Oil N°2 + Gas Natural	1,68	0,84	0,20	31,80	9,10	0,83	0.05
	Fuel Oil N°5	2,45	2,11	1,37	60,40	16,67	1,95	0.24
	Fuel Oil N°6	447,91	382,60	128,82	2692,23	689,92	41,99	2.96
	Fuel Oil N°6 + Gas Natural	10,26	8,76	2,95	197,38	58,83	6,93	0.42
	Fuel Oil N°6 + Gas Mezcla, Gas Alto Horno	133,70	114,21	38,45	380,75	210,20	2110,98	0.00
	Gas Natural	1,98	1,81	0,61	0,55	82,88	47,62	2.19
	GLP	0,91	0,91	0,12	0,01	10,72	4,50	0.00
	NO Identificado	0,08	0,08	0,00	0,07	1,12	0,24	0.09
Sin Combustible	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	
Subtotal	1566,16	1278,32	791,62	5304,26	1551,10	5721,85	57.34	
Calderas de Calefacción	Fuel Oil N°1	0,09	0,06	0,02	0,09	1,31	0,28	0.11
	Fuel Oil N°2	0,06	0,03	0,01	0,05	0,79	0,25	0.07
	Fuel Oil N°5	0,07	0,06	0,04	0,43	0,28	0,03	0.01
	Gas Natural	2,91	2,91	0,00	215,71	105,90	32,21	2.11
	GLP	1,04	1,04	0,00	0,00	9,08	5,08	0.67
Subtotal	4,17	4,11	0,07	216,29	117,36	37,85	2.97	

Continuación Tabla 17

Tipo de Fuente	Combustible	MP	MP10	MP2,5	SO ₂	NOx	CO	COV
Grupos Electrógenos todos los combustibles		15,08	12,54	11,63	219,26	419,66	182,04	19.50
Horno Industrial	Carbón de Petroleo	8,15	6,92	5,21	21,02	563,88	9919,82	0.00
	Fuel Gas Refineria	1,83			48,18	0,00	0,00	0.00
	Fuel Oil N°1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00
	Fuel Oil N°2	0,14	0,08	0,05	2,59	8,11	2,15	0.23
	Fuel Oil N°6	35,98	30,73	10,35	132,30	28,89	0,14	0.00
	Fuel Oil N°6 + Gas Mezcla	47,28	47,28	37,65	347,40	188,86	2,56	0.00
	Fuel Oil N°6 + Aceite Reciclado	205,86	195,57	187,33	719,46	727,08	14,19	0.73
	Gas Coke	7,74	3,93	1,93	0,06	37,79	1650,71	0.34
	Gas Natural	0,00	0,11	0,00	0,00	4,00	1,20	0.08
	Gas Natural, Gas Coke, Gas Alto Horno	6,08	4,68	2,92	0,51	144,30	0,23	0.00
	GLP	1,02	1,06	6,38	0,00	1,44	7,02	0.91
	Sin Combustible	335,98	170,65	82,89	0,00	1,12	6,84	0.00
	Subtotal		650,05	461,00	334,71	1271,51	1705,46	11604,87	3.18
Hornos Panaderos todos los combustibles		96,35	86,02	55,70	1,16	22,49	185,21	17.48
Incineración	Fuel Oil N°2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00
	Gas Coke	5,17	5,06	3,97	0,51	43,45	0,35	221.63
	GLP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00
	NO IDENTIFICADO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00
	Subtotal		5,17	5,06	3,97	0,51	43,45	0,35	221.63
Proceso con combustión	Biomasa Forestal	8,08	7,27	6,14	0,74	4,95	17,08	0.86
	Fuel Gas Etileno	3,29	3,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00
	Fuel Gas Refineria	10,12	0,00	0,00	1454,88	181,29	32,37	0.00
	Fuel Gas Refineria + Coker	0,80	0,00	0,00	5,47	10,97	0,32	0.00
	Fuel Oil N°2	0,02	0,01	0,01	0,32	0,23	0,06	0.00
	Fuel Oil N°2 y polvo de madera	12,79	0,00	0,00	0,10	14,60	3,10	0.29
	Fuel Oil N°5 y Polvo de Madera	23,10	0,00	0,00	0,00	11,92	27,80	0.00
	Fuel Oil N°6	11,41	9,74	3,28	22,36	53,09	6,31	0.48
	Gas Coke	0,10	0,10	0,10	0,50	0,90	2,10	0.00
	Gas Coke, Gas Alto Horno	707,59	315,76	128,29	48,23	1665,68	2054,91	1622.38
	Gas Natural	11,66	12,19	0,00	4,61	197,92	10,07	0.66
	Gases Residuales de Refineria	1,50			968,63	0,00	0,00	0.00
	NO IDENTIFICADO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00
	Sin Combustible	139,36	0,00	0,00	0,40	63,90	53,29	0.00
	Subtotal		929,80	348,35	137,81	2506,24	2205,45	2207,41	1624.67

Continuación Tabla 17

Tipo de Fuente	Combustible	MP	MP10	MP2,5	SO ₂	NO _x	CO	COV
Proceso sin Combustión	Fuel Oil N°6	2,26	1,93	0,65	74,50	12,43	1,13	0.29
	Gas Coke	1,90	1,90	1,85	0,00	0,90	100271,00	0.00
	Gas Natural	2,01	2,01	2,01	154,23	36,82	7,67	0.00
	NO IDENTIFICADO	0,00	256,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00
	Sin Combustible	1442,35	485,34	358,73	27,06	232,77	42892,88	1827.05
	Subtotal	1448,51	747,35	363,24	255,78	282,92	143172,68	1827.65
Generación eléctrica s/n	Fuel Oil N°2	0,01	0,01	0,01	0,42	0,10	0,02	0.00
	GLP	0,00	0,54	0,53	1,33	0,51	0,60	0.00
	Subtotal	0,01	0,55	0,53	1,75	0,61	0,63	0.00
No identificado	NO IDENTIFICADO	0,00	3,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00
TOTAL EMISIONES		5423.31	3565.69	2185.99	15275.71	8133.80	163551.94	3775.97

Fuente: Elaboración propia en base a UDT-PROTERM (2010)

5. DESCRIPCIÓN DE MEDIDAS INCORPORADAS EN EL PPACM

A partir del anteproyecto del Plan de Prevención de Contaminación Atmosférica para Concepción Metropolitana (PPACM) se generó una revisión y clasificación de distintas medidas propuestas. En consecuencia, según este análisis se diferencian medidas con potencial de reducción, instrumentos económicos y programas complementarios. Particularmente, las medidas con potencial de reducción debiesen permitir una reducción considerable de emisiones de material particulado respirable, y además, debiesen cumplir con las características de ser realizables en el largo plazo, verificables, fiscalizables y tener respaldo económico de parte del gobierno.

5.1 Medidas con Potencial de Reducción de Emisiones del PPACM

En esta sección se describen detalladamente cada una de las medidas con potencial de reducción de emisiones identificadas en el PPACM bajo esta clasificación e incluyendo las actividades afectadas.

Tabla 18: Resumen de Medidas Analizadas en el PPACM⁶

N°	Nombre	Descripción	Actividad y Contaminantes Afectados
1	COMPLIND	Aquellos complejos industriales con emisiones superiores o iguales a 100 ton MP/año y si la fuente emisora está dentro de las 25 mayores fuentes de MP deberán incorporar tecnología indicada en estudio UDT-PROTERM y si además tienen emisiones superiores o iguales a 250 ton SO ₂ /año deberán reducir en un 30% sus emisiones de SO ₂ .	Actividad: Industrial Contaminantes: MP10, MP2,5 y SO ₂
2	EMINDFUG	Incorporación de medidas para reducir y minimizar emisiones fugitivas e implementar un programa de buenas prácticas de operación.	Actividad: Industrial Contaminantes: MP10 y MP2,5
3	CONGEMIND	Congelamiento de emisiones de MP y SO ₂ de cada complejo industrial.	Actividad: Industrial Contaminantes: MP10, MP2,5 y SO ₂
4	NCOMPLIND	Todas las nuevas fuentes al interior de complejos industriales o nuevos complejos industriales deberán incorporar tecnología de control de emisiones de MP y SO ₂ .	Actividad: Industrial Contaminantes: MP10, MP2,5 y SO ₂
5	COMPEMIND	Las nuevas emisiones de MP deben ser compensadas en un 100%.	Actividad: Industrial Contaminantes: MP10 y MP2,5
6	NORMAIND	Establecimiento de límites máximos de emisión para hornos y calderas que se encuentran especificados en el plan.	Actividad: Industrial Contaminantes: MP10, MP2,5, NO _x y SO ₂
7	MEJCOMBUS	Reducción progresiva de los niveles de azufre en los combustibles.	Actividad: Industrial Contaminantes: SO ₂
8	DISTRGAS	Evaluar factibilidad técnico-económica de abastecer al sector industrial y residencial con gas natural licuado y/o comprimido.	Actividad: Industrial Contaminantes: MP10, MP2,5 y SO ₂
9	NEQUIPOS	Exigencia en el cumplimiento de norma de emisión para calefactores nuevos de combustión a biomasa.	Actividad: residencial Contaminantes: MP10, MP2,5, SO ₂ , CO y COV
10	PCHIMENEAS	Prohibición de uso de chimeneas en zona urbana.	Actividad: residencial Contaminantes: MP10, MP2,5, SO ₂ , CO y COV

⁶ Para una estimación del potencial de reducción de emisiones ver sección 6.

Continuación Tabla 18

N°	Nombre	Descripción	Actividad Afectada
11	CEQUIPOS	Recambio de al menos 40.000 equipos antiguos por nuevos de parte del Estado.	Actividad: residencial Contaminantes: MP10, MP2,5, SO ₂ , CO y COV
12	RLEÑA	Regular el mercado de la leña en la zona saturada para dar cumplimiento a la NCh 2907 del INN.	Actividad: residencial y productores de leña Contaminantes: MP10, MP2,5, SO ₂ , CO y COV
13	TERMICOVIV	Mejoramiento térmico de las viviendas nuevas y existentes.	Actividad: residencial Contaminantes: MP10, MP2,5, SO ₂ , CO y COV
14	PQUEMAS	Prohibición de quemas agrícolas en toda la zona latente.	Actividad: productores agrícolas Contaminantes: MP10, MP2,5, SO ₂ , CO, NOx y COV
15	NVEHNUEVOS	El MMA durante el 2011 iniciará un proceso normativo para extender su aplicación a nivel nacional.	Actividad: transporte Contaminantes: MP10, MP2,5, SO ₂ , CO, NOX y NH ₃
16	TRANSPUB	Establecimiento de condiciones mínimas para que buses presten servicio, incentivo para ingreso de buses con filtro de partículas, modificar estándar Euro III por Euro IV. Además, se considera la introducción de objetivos ambientales en la licitación del transporte público.	Actividad: transporte Contaminantes: MP10, MP2,5, SO ₂ , CO, NOX y NH ₃
17	TRANSCARGA	Programa voluntario de retiro de camiones antiguos que carecen de sistemas de certificación de emisiones, a través de la utilización de distintos fondos públicos. Fiscalizar el cumplimiento de normativa que impide circulación de camiones con más de 28 años. Establecimiento de norma para camiones nuevos que cumplan con estándar Euro IV o filtros.	Actividad: transporte Contaminantes: MP10, MP2,5, SO ₂ , CO, NOX y NH ₃
18	PAVIMENFUG	Pavimentación de calles para evitar emisiones fugitivas Plan de pavimentación al interior de industrias.	Actividad: transporte Contaminantes: MP10 y MP2,5
19	AREASVERDES	Elevar estándar de m2 de áreas verdes por habitante para nuevos proyectos inmobiliarios. Aumento y mantenimiento de áreas verdes públicas	Actividad: construcción y municipios Contaminantes: MP10 y MP2,5

Fuente: Elaboración Propia en base a Anteproyecto del PPACM

Las 19 medidas identificadas a partir del PPACM poseen distintos potenciales de reducción de emisiones, por lo tanto, es recomendable que los mayores esfuerzos en este estudio se centren en aquellas medidas con alto potencial de reducción que sea cuantificable claramente, con el fin de alcanzar los objetivos de concentraciones ambientales. Además, es necesario identificar y cuantificar económicamente las medidas que modifiquen el escenario base temporal de estimación de emisiones, es decir, identificar aquellas medidas cuya reducción de emisiones sean atribuibles al plan y no aquellas que corresponden a normativas implementadas a nivel nacional. En este último caso, lo que se modifica es el escenario base temporal de emisiones, pero sus costos o beneficios no son atribuibles al plan de prevención.

Las medidas priorizadas en este estudio para su evaluación dado el potencial de reducción de emisiones son: COMPLIND, CONGEMIND, NCOMPLIND, COMPEMIND, NORMAIND, DISTRGAS, CEQUIPOS, RLEÑA, PCHIMENEAS, TERMICOVIV, y PQUEMAS. Las cinco primeras están asociadas al sector industrial que aporta un 42,1% de las emisiones totales, por lo cual existe un alto potencial de reducción de emisiones. La sexta medida asociada a la distribución de gas natural licuado, no es totalmente atribuible al plan, pero en la decisión de factibilidad técnico económica de ENAP puede influir la condición ambiental de la zona, y además, tiene un alto potencial de reducción de emisiones. Luego, existen cuatro medidas para abordar el problema de la combustión de biomasa para calefacción residencial que aporta un 47,6% de las emisiones totales. Finalmente, se incorpora una medida de prohibición de quemas agrícolas y forestales que aporta un 3,9% de las emisiones totales. En conjunto las once medidas priorizadas dan cuenta de regulaciones a fuentes que aportan un 93,6% de las emisiones totales.

Las medidas que no serán evaluadas económicamente por ser independientes del plan, en el sentido que están vinculadas a normativas a nivel nacional y por lo tanto sus costos y beneficios no son atribuibles al PPACM corresponden a MEJCOMBUS, NEQUIPOS, NVEHNUEVOS, TRANSPUB, y TRANSCARGA. No obstante, por su importancia en el cambio de las emisiones del escenario base en su perspectiva temporal sí se estimará la disminución de emisiones asociada a la medida NEQUIPOS. Adicionalmente, existen otras tres medidas (EMINDFUG, PAVIMENFUG y AREASVERDES) que en distintos estudios previos han mostrado ser muy poco costo-efectivas debido al alto costo por tonelada reducida de MP10⁷, de difícil cuantificación en cuanto al aporte real en reducción y que por su escaso aporte a las emisiones

⁷A modo de ejemplo en el AGIES del Valle Central de O'Higgins la medida de pavimentación de calles para disminuir las emisiones fugitivas tiene un costo de \$7314,1 millones por μm^3 de MP10 reducido. Mientras en el AGIES de Santiago (DICTUC, 2008) se puede estimar a partir de los datos presentados en la Tabla 5-1 un costo efectividad asociada a la medida de áreas verdes de \$18556 millones por μm^3 de MP2,5 reducido. En contraste los resultados de este estudio (ver Tabla 76) arrojan que la medida menos eficiente en términos de costo efectividad es la prohibición de quemas con un costo de \$4875,8 millones por μm^3 de MP10 reducido, y luego le siguen otras menos costosas de carácter industrial como el congelamiento y compensación de emisiones industriales por \$1476,5 y \$1285,4 millones por μm^3 de MP10 reducido.

totales, no serán evaluadas para concentrar los esfuerzos en las medidas con mayor impacto en el logro de los objetivos ambientales.

5.2 Instrumentos Económicos del PPACM

Bajo los antecedentes del PPACM se identifican algunas propuestas que pueden ser interpretadas como instrumentos económicos. Estas medidas apuntan a incentivos para el cambio de calefactores a leña para las viviendas, desarrollo de centros de acopio, y secado de leña, infraestructura y regularización de productores de leña, y programa de compensación de emisiones atmosféricas. A continuación se describen cada una de las propuestas identificadas en el plan:

- En el plazo de seis meses contados desde la publicación en el Diario Oficial del Plan de Prevención Atmosférico, en conjunto con los organismos competentes, habrá identificado y diseñado los instrumentos económicos más adecuados para fomentar el recambio de calefactores a leña existentes.
- En el plazo de doce meses contados desde la publicación en el Diario Oficial del Plan de Prevención, en conjunto con los organismos competentes, diseñará y pondrá en marcha un programa de recambio de calefactores a leña existentes, que contendrá elementos para focalizar los instrumentos económicos diseñados, priorizar los beneficiarios e implementar un sistema de seguimiento del recambio. Dicho programa deberá contemplar un recambio de al menos 40.000 calefactores en el período de implementación del PPACM.
- En el plazo de seis meses contados desde la publicación en el Diario Oficial del Plan de Prevención, definirá un procedimiento para incorporar el recambio de calefactores a leña como una alternativa para compensar emisiones de material particulado de proyectos con exigencias de compensación surgidas en el marco del SEIA.
- Se desarrollará un programa de fomento a la aplicación del subsidio a la incorporación de calefactores solares de agua, en diversos tipos de viviendas.
- La Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente Región del Biobío concretará acciones con los Municipios de la zona latente y con otros diversos organismos, tales como, la Secretaría Regional de Producción Limpia, SERCOTEC, CORFO y otras para generar y promover instrumentos de incentivo para el desarrollo de centros de acopio y secado de leña, nuevas leñerías, mejoras y regularización del modelo de negocio del sector productor leñero de la zona, y en general, para crear de manera conjunta un Programa de Apoyo a la formalización, mejoramiento de infraestructura y condiciones de comercialización de los comerciantes de leña, a fin de mejorar y ordenar el comercio de la leña en

las áreas urbanas de estas comunas.

- Los proyectos o actividades, y sus modificaciones, que deban someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental y que deban compensar sus emisiones, deberán presentar un Programa de Compensación de Emisiones (PCE) que contemple la estimación de sus emisiones por año, señalando el año y etapa (construcción, operación y abandono) en que se prevé se superará el umbral de 1 ton/año de MP10, la propuesta de programa de seguimiento que contemple un mecanismo de verificación, y las medidas de compensación que se proponen (la naturaleza de dichas fuentes y la forma en que se produce la compensación), y el cronograma que grafique el período de tiempo o plazo en que se harán efectivas.

Considerando todas las propuestas anteriores del anteproyecto del plan y dada la situación particular del Concepción Metropolitano (en la que las principales fuentes emisoras se pueden dividir en industria y hogares que utilizan artefactos a leña) la recomendación es que los instrumentos económicos deberían apuntar a dos objetivos principales.

- Primero, modificar el comportamiento del gran número de pequeñas fuentes, como son los hogares que utilizan artefactos a leña. Este cambio puede ser conseguido mediante la incorporación de subsidios y/o créditos blandos para el recambio de artefactos antiguos por otros de doble cámara que cumplan con la normativa de artefactos a leña, subsidios y/o créditos blandos para el cambio a otros equipos y combustibles menos contaminantes (como gas, parafina o electricidad).
- Segundo, se debería lograr que las fuentes industriales internalicen el costo ambiental de sus emisiones atmosféricas dentro de los costos de su proceso productivo, a través de impuestos a las emisiones o bien dado ciertos estándares ambientales generar las facilidades para que las fuentes con menores costos de abatir sean aquellas que realicen los mayores esfuerzos de reducción, lo cual se puede lograr simplemente con un sistema de compensación de emisiones o bien con un mecanismo de mercado más sofisticado como los permisos de emisión (o de concentraciones ambientales) transable.

Por lo anterior, recomendamos tres instrumentos económicos aplicables para la particularidad de la zona latente del Concepción Metropolitano, los cuales son:

Instrumento Económico Nº 1: instrumentos de incentivo a la renovación o cambio de artefactos a leña.

Un programa gubernamental que incluya algún tipo de subsidio parcial o total para la renovación o cambio de equipos a leña, acelerará el recambio tecnológico natural, sin

embargo, es necesario determinar dadas las condiciones de mala operación de los equipos a biomasa vegetal, si pudiese ser más eficiente para la reducción de emisiones permitir flexibilidad para cambiar un equipo que utilice leña por otro tipo de combustible que genere menores emisiones de contaminantes del aire.

Instrumento Económico N° 2: subsidio para cambio de combustible para calefacción

Básicamente los dos principales motivos para la alta penetración de la leña en los hogares es su capacidad para calefaccionar y porque este combustible es relativamente económico y de fácil acceso. Dado que los agentes económicos responden a los incentivos basados en precios (aunque se puede discutir el grado en función de la elasticidad de la demanda) otro instrumento económico que debiese ser evaluado por las autoridades es subsidiar un combustible sustituto como el kerosene. Se propone este combustible en particular porque al contrario del gas, este energético se utiliza para calefacción y no para cocinar. Además este subsidio puede ser altamente focalizado ya que podría operar en los meses de invierno en la zona central y sur del país. Actualmente, está en desarrollo una tesis de magister en ingeniería industrial en la cual los consultores están como tutores y que de acuerdo al avance del levantamiento de información podría entregar preliminarmente medidas de costo efectividad hacia el final de la presente consultoría.

Instrumento Económico N° 3: fortalecer y simplificar el sistema de compensación de emisiones

El alto atractivo que surge del sistema para compensar emisiones es que es menos costoso que regulaciones que especifiquen requerimientos tecnológicos, ya que los agentes regulados pueden escoger aquellas alternativas de reducción que sean más baratas dado un cierto nivel de emisiones a compensar. Este mecanismo para ser eficiente requiere que los costos de transacción sean bajos, por lo tanto, una simplificación del procedimiento para autorizar esta compensación, bases de datos con información de fuentes que deseen ser parte del sistema, entre otros esfuerzos, unidos a un nivel de fiscalización suficiente para el cumplimiento de las regulaciones, facilitará su utilización como instrumento económico.

5.3 Programas Complementarios del PPACM

Dentro del marco del plan de prevención se incluye un conjunto de actividades o programas complementarios que sin tener un potencial de reducción de emisiones permiten alcanzar las metas propuestas, los cuales se detallan a continuación.

Programa Complementario N° 1: Monitoreo continuo de emisiones atmosféricas del sector industrial

Las fuentes emisoras existentes y nuevas deberán instalar y certificar un Sistema de Monitoreo Continuo de Emisiones para material particulado (MP), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NOx) y de otros parámetros de interés. Las fuentes emisoras existentes tendrán un plazo de dos años para instalar y certificar el sistema de monitoreo continuo de emisiones, contado desde la fecha de entrada en vigencia del presente Plan. Mientras que las fuentes emisoras nuevas deberán incorporar el sistema de medición continuo desde su puesta en servicio.

Tabla 19: Exigencias de monitoreo del PPACM

Potencia térmica	Exigencias de Monitoreo
< 3MWt	<ul style="list-style-type: none"> - Valores son indicativos, utilizables p.e. para efectos de compensaciones - Mínimo de 1 medición puntual al año. - Fuentes que demuestran usar combustibles limpios por más del 95% de sus horas de operación, se eximen de medir.
3a < 25MWt	<ul style="list-style-type: none"> - Mínimo de 2 mediciones puntuales por año - Mínimo de 1 medición por año para fuentes que utilicen combustibles limpios
25 a < 50MWt	<ul style="list-style-type: none"> - Mínimo de 2 mediciones puntuales por año. - Mínimo de 1 medición por año para fuentes que utilicen combustibles limpios. - Valores norma y exigencia de monitoreo, aplican a fuentes que operen regularmente, más de un 75% de las horas del año.
≥ 50MWt	<ul style="list-style-type: none"> - Operen con combustibles sólidos o petróleos 5/6, en forma exclusiva o mezclas con otros combustibles más limpios, deberán implementar CEMS. - Fuentes que operen exclusivamente, es decir más de 95% del tiempo de operación, con combustibles limpios podrán optar por métodos continuos alternativos a los CEMS. A definir por protocolo casos de excepción.

Fuente: Anteproyecto del PPACM

La sugerencia de los consultores con respecto a este programa es que lo consideramos adecuado para el monitoreo y regulación de estos emisores.

Programa Complementario N° 2: Registro del sector industrial

El objetivo del registro del sector industrial es facilitar el seguimiento de las fuentes existentes y nuevas en términos de sus emisiones y cumplimiento a las medidas del Plan. El registro que se implemente será operado por la SEREMI del Medio Ambiente.

La información base del registro del sector industrial se encuentra disponible en la declaración de emisiones exigida a través del D.S. N° 138 de 2005, del MINSAL. Sin embargo, la información base deberá ser complementada para los complejos industriales y extendidas a otras fuentes que hoy no tienen exigencia de reportar, por ejemplo fuentes emisoras relevantes como producción de madera y productos

derivados de la madera, sistemas neumáticos y líneas de secado, producción de tableros y chapas, ciclones y multiciclones, incineradores y crematorios, plantas térmicas, procesos de pirolisis, y hornos de panaderías.

Además, en el caso de fuentes pertenecientes a complejos industriales⁸ y/o que estén dentro de las 25 mayores emisoras de la zona, su declaración deberá realizarse de manera oficial y sobre la base de mediciones a las fuentes identificadas, salvo casos expresos evaluados por la SEREMI de Salud y la SEREMI del Medio Ambiente.

La sugerencia de los consultores con respecto a este programa es que lo consideramos adecuado para la regulación de estos emisores.

Programa Complementario N° 3: Vigilancia de la calidad del aire y seguimiento de los parámetros meteorológicos

La vigilancia permanente de la calidad del aire permite a las autoridades tomar medidas oportunas para enfrentar los problemas de contaminación atmosférica e informar a la comunidad sobre la calidad del aire que se respira, hacer seguimiento de largo plazo de los impactos de las estrategias implementadas, el logro de las medidas y evaluar el impacto que la contaminación produce sobre la salud de las personas.

Se requiere entonces la implementación de un sistema que asegure de forma adecuada el cumplimiento de los siguientes temas:

- Establecer procedimientos para la operación de la red de monitoreo.
- Establecimiento de procedimientos para asegurar la calidad de las mediciones de emisiones y de calidad del aire, sobre la base de estándares internacionales de referencia. Al respecto, existen protocolos que han de considerarse para efectos de velar por la representatividad de las mediciones y que incluyen la toma de muestras, calibración de equipos y procedimientos para el manejo y validación de los datos obtenidos.
- Consideraciones de auditorías a la implementación de las exigencias establecidas, que obligatoriamente cuenten con la participación de expertos de nivel internacional.
- Establecer mecanismos y protocolos de validación de los datos medidos.
- Cobertura de la red, especialmente respecto de su capacidad para hacerse cargo de contaminantes de interés como es el MP10, MP2,5 y sus precursores.
- Establecer el equipamiento necesario en la red para el seguimiento de las sustancias normadas.
- Equipamiento adicional requerido para hacerse cargo de los desafíos que enfrenta el Plan de Prevención a partir del año publicación del mismo.

⁸ Se definen como complejos industriales aquellos establecimientos cuya suma de emisiones desde fuentes fijas sea igual o superior a 100 ton de MP/año o 250 ton de SO₂/año.

Considerando que las variables meteorológicas son fundamentales para el estudio, caracterización y seguimiento de los fenómenos atmosféricos, la SEREMI del Medio Ambiente de la región del Biobío en conjunto con los organismos técnicos competentes, deberán gestionar los recursos presupuestarios que se requieran para la implementación de una red de monitoreo meteorológico regional y asegurar su funcionamiento, sistema de control y su calidad.

Con cargo al presupuesto regular del Plan, se propone implementar auditorías técnicas nacionales y/o internacionales que permitan un proceso de mejoramiento continuo y flexible de esta red.

La sugerencia de los consultores con respecto a este programa es que lo consideramos adecuado para monitorear cambios en las condiciones que afecten los objetivos del plan.

Programa Complementario Nº 4: Generación de información estratégica para la gestión de la calidad del aire

Se desarrollarán estudios de caracterización de emisiones de procesos productivos para los principales establecimientos industriales presentes en la Región, entre ellas Refinería, Siderurgia, Cementeras, Industria Forestal, Industria Pesquera, Industria Química y Generación Termoeléctrica. Otros estudios para la caracterización del Material Particulado MP10 incluyendo fracciones fina y ultrafina, según se priorice, en distintos lugares dentro de la región, atendidos los criterios de emplazamiento de estaciones internacionalmente en uso y de acuerdo con las recomendaciones de diseño de red disponibles. En particular, se deberá mejorar la caracterización de sitios de monitoreo urbanos no directamente afectados por fuentes específicas, en sitios representativos de la situación de background regional y en sitios directamente afectados por actividades industriales y del transporte.

También se deberán generar estudios de análisis de riesgo y epidemiológicos, que incluyan gradientes de toxicología, para distintas áreas directamente afectadas por actividades específicas. Por ejemplo, actividades industriales, la combustión residencial de leña y/o las emisiones del transporte, las que podrían resultar de mayor importancia relativa en términos de impacto en salud de la población afectada. Para lo anterior, se requiere diseñar e implementar bases de datos de morbilidad y mortalidad que antecedan el desarrollo de estudios epidemiológicos y de indicadores de seguimiento asociados.

Abordar el diseño e implementación de un modelo de exposición a contaminantes atmosféricos en la zona de latencia, que dé cuenta del tipo de exposición al que se ven expuestos habitantes de la zona latente durante sus actividades diarias. Este tipo de información permitirá precisar niveles de contaminación INDOOR y OUTDOOR lo que ayudará en la priorización de acciones en términos de impacto a la salud de la

población.

Adicionalmente, se debe considerar la definición de criterios para las exigencias de monitoreo que se establezcan en el marco de la operatoria del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Esto ha de permitir evitar la sobre representatividad de determinadas áreas, optimizando el diseño de las exigencias, en el marco de una red de vigilancia establecida por el Ministerio del Medio Ambiente. La obligatoriedad de entrega de información para determinadas actividades comerciales específicas dentro de la Región, tales como la venta de equipos de calefacción a leña. Así como también, la obligatoriedad de efectuar un seguimiento de la evolución de la matriz energética regional, específicamente en lo concerniente a consumos de combustibles.

La sugerencia de los consultores con respecto a este programa es que lo consideramos adecuado para monitorear cambios en las condiciones que afecten los objetivos del plan.

Programa Complementario Nº 5: Registro voluntario de calefactores

La SEREMI del Medio Ambiente Región del Biobío en conjunto con la SEC, la SEREMI de Salud, la SEREMI de Energía y el Gobierno Regional coordinará el desarrollo de los procedimientos para establecer un catastro de calefactores a leña en uso instalados en zonas urbanas de Concepción Metropolitano en un plazo de seis meses a contar de la entrada en vigencia del Plan.

Una vez que el catastro haya entrado en funcionamiento, toda nueva instalación en las zonas urbanas de Concepción Metropolitano de un artefacto residencial de combustión de leña (u otro combustible de biomasa vegetal) deberá ser declarada por el usuario a la SEREMI del Medio Ambiente.

La SEREMI de Salud mantendrá este registro actualizado, el que será utilizado como insumo del Programa de Recambio Tecnológico. En consecuencia, aquellas personas que registren su calefactor podrán optar al recambio de su calefactor en uso.

La sugerencia de los consultores con respecto a este programa es que para que sea efectivo debe involucrar un registro total de los calefactores y no solo un registro voluntario.

Programa Complementario Nº 6: Información al consumidor de leña

La Dirección Regional del SERNAC dará a conocer mensualmente a la comunidad los establecimientos que cuentan con stock de leña seca, según lo establecido en la Norma Chilena Oficial Nº 2907/2005. Dicha información será proporcionada al SERNAC por la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente Región del Biobío, en coordinación con el órgano fiscalizador respectivo, y el Consejo de Certificación de Leña Biobío (COCEL).

Además, el SERNAC con la colaboración de la SEREMI del Medio Ambiente Región del Bío Bío, adoptará todas las medidas, en el ámbito de sus competencias, a fin de elaborar un listado actualizado de carácter público, respecto de todos los modelos de calefactores que hayan obtenido el sello voluntario. Dicho listado tendrá como objetivo entregar información al consumidor respecto de las emisiones de los equipos que presentan menor emisión de contaminantes a la atmósfera según su tipo, además de informar y promover el recambio a equipos de baja emisión.

La sugerencia de los consultores con respecto a este programa es que lo consideramos adecuado para el monitoreo y regulación de estos emisores.

Programa Complementario Nº 7: Ordenanzas municipales para comercio de leña

Los municipios incluidos en la zona del Plan, deberán tener homologada una ordenanza municipal sobre el control y/o fiscalización del mercado de la leña, la que dispondrá de sanciones para el comercio de leña que no cumpla con la Norma Chilena Oficial Nº2907/2005 (que define como leña seca aquella que tiene un contenido de humedad menor o igual a 25% en base seca), que no cuente con un xilohigrómetro para verificar el cumplimiento de esta norma a solicitud o requerimiento del cliente, o que no comercialice leña usando como unidad de medida el metro cúbico (m³) o astillas.

La sugerencia de los consultores con respecto a este programa es que aún cuando lo consideramos adecuado, debería involucrar los suficientes recursos humanos y materiales para ser eficazmente fiscalizado y sancionado, de tal forma que cumpla con los objetivos.

Programa Complementario Nº 8: Mejoramiento Térmico

Transcurridos seis meses contados desde la fecha de publicación en el Diario Oficial del Plan de Prevención, el MINVU en coordinación con el Programa País de Eficiencia Energética, desarrollará un programa de fomento a la aplicación del subsidio a la incorporación de calefactores solares de agua, elaborará un estudio destinado a evaluar posibles intervenciones para el reacondicionamiento térmico del parque habitacional construido, desarrollará un modelo y una herramienta de certificación térmica de viviendas nuevas, un programa de difusión de buenas prácticas en esta materia y de los instrumentos de financiamiento disponibles, y un programa de capacitación orientado a comités de vivienda con el objeto de entregar recomendaciones de habitabilidad interior y soluciones constructivas posibles de realizar con el subsidio de mejoramiento térmico.

La sugerencia de los consultores con respecto a este programa es que se requieren estudios sobre el potencial de reducción de emisiones a partir de condiciones reales de uso en viviendas con y sin el aislamiento térmico que se proponga.

Programa Complementario N° 9: Mejoramiento de información para eliminación de quemas agrícolas y/o forestales

Transcurridos seis meses desde la publicación del Plan de Prevención Atmosférico, se iniciará un proceso de estudios y/o desarrollos que compatibilicen la prohibición de las autorizaciones de las quemas con nuevos métodos para el manejo o destino de la biomasa vegetal descartada. Este proceso de fomento e innovación deberá ser liderado por CONAF y con apoyo de la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente Región del Biobío. Además, CONAF deberá mantener estadísticas adecuadas que permitan mejorar las estimaciones de emisión producto de las quemas agrícolas y forestales de la zona.

La sugerencia de los consultores con respecto a este programa es que lo consideramos adecuado para los objetivos del plan.

Programa Complementario N° 10: Mejoramiento de información para reducción de emisiones en el sector transporte

Se realizará un estudio de diagnóstico de las emisiones vehiculares medidas en plantas de revisión técnica de tipo A1, A2 y B. En base a los resultados del estudio, se elaborará una propuesta de fortalecimiento del sistema de inspección y mantención vehicular para el área de Concepción Metropolitano.

Se desarrollarán estudios y programas piloto necesarios para evaluar la incorporación de tecnologías de postcombustión tales como filtros de partículas (DOC y DPF). Para esto se requerirá disponer de recursos FNDR. En base a los resultados, se podrá evaluar la factibilidad de establecer programas de financiamiento para la incorporación de tecnologías de mejoras para camiones existentes (retrofit).

La sugerencia de los consultores con respecto a este programa es que lo consideramos adecuado para los objetivos del plan.

Programa Complementario N° 11: Introducción del componente medioambiental en licitación del transporte público

Actualmente la operación del sistema de transporte público urbano en Concepción Metropolitano está definida a través de la Resolución Exenta N°2246, del 14 de octubre de 2005, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Esta resolución establece el tamaño de la flota, límites de edad de los buses, tecnologías, formas de operación, trazados, frecuencias y restricciones, entre otras condiciones para los buses que prestan servicios de transporte público. La resolución mencionada establece las condiciones de operación del sistema de transporte público para un periodo de 5 años. Por lo cual transcurridos los 5 años, existe la oportunidad de introducir objetivos ambientales en el próximo proceso de licitación del transporte público.

La sugerencia de los consultores con respecto a este programa es que lo consideramos adecuado para los objetivos del plan.

Programa Complementario N° 12: Estudios y Fomento de áreas verdes

Realización de estudios para mejorar la información de áreas verdes existentes que incluya información relativa a áreas verdes consolidadas, sitios eriazos, cobertura vegetal actual y proyectada, tipos de especies presentes, etc., que sirva de base al diseño y aplicación de instrumentos de gestión, pero además que especifique un diseño de la red de áreas verdes más eficaz para la obtención de los objetivos ambientales de remoción de contaminantes del aire y sociales, entre ellas la recreación, y esparcimiento.

La Secretaría Regional de Vivienda y Urbanismo coordinará el programa de generación de áreas verdes, de manera que los responsables asociados a cada instrumento cumplan con las acciones encomendadas; mantendrá y actualizará la información referente a áreas verdes, incluyendo ubicación (referenciada geográficamente), el organismo responsable de la mantención, grado de consolidación del área, cobertura arbórea, nivel de madurez, etc.; gestionará la asignación de recursos presupuestarios que permitan crear y mantener áreas verdes, y fomentará la canalización e inversión de recursos privados en áreas verdes; fomentará la creación, mantención y cuidado de las áreas verdes y el arbolado urbano; propondrá nuevos instrumentos de gestión que permitan cumplir con los objetivos anteriores.

Los Municipios incorporarán la temática de áreas verdes en diversos instrumentos tales como: la mantención de un catastro actualizado de los terrenos que pueden ser utilizados para la creación de áreas verdes; los fondos de desarrollo vecinal, FONDEVE podrán o deberán incorporar la generación de áreas verdes en los distintos sectores poblacionales; los Municipios postularán proyectos de Mejoramiento Urbano para la creación de áreas verdes de acuerdo a los catastros construidos, priorizando por sectores más carenciados; y los Municipios deberán informarse y postular a los Fondos Concursables o financiamientos disponibles para la construcción de áreas verdes.

También se deberán generar facilidades para que los privados inviertan en la construcción y mantención de áreas verdes. Puede ser mediante la incorporación en los programas de responsabilidad Social Empresarial líneas de apoyo a las organizaciones sociales para la creación de áreas verdes u oficiar como asociados en postulaciones a Fondos Concursables que aborden esta temática.

La sugerencia de los consultores con respecto a este programa es que lo consideramos poco prioritario para los objetivos de reducción de emisiones del plan, en términos de recursos involucrados.

Programa Complementario N° 13: Programa de Fortalecimiento de las Capacidades para la Implementación del PPACM

Para la adecuada gestión del Plan de Prevención, se considera incorporar en el PPACM los siguientes elementos:

- Establecimiento de procedimientos para asegurar la calidad de las mediciones de emisiones atmosféricas en fuentes fijas sobre la base de estándares internacionales de referencia.
- La consideración de auditorías a la implementación de las exigencias establecidas, que obligatoriamente cuenten con la participación de experticia internacional.
- Desarrollo de programas de acreditación y/o certificación que cuenten con experticia y/o capacidades internacionales para el caso de certificación de emisiones de equipos a leña y acreditación de las características de las tecnologías de control de emisiones.
- Desarrollo de programas de capacitación de profesionales y técnicos involucrados en el diseño e implementación del PPACM, tanto a nivel público como privado.
- Fortalecimiento y capacitación de los equipos técnicos encargados del diseño, implementación y seguimiento del PPACM en los organismos competentes.
- Apoyo a proyectos y programas dirigidos a lograr mayor eficiencia energética, tanto en bienes públicos como de propiedad privada.

Un último elemento de interés para esta línea de acción se relaciona con la posibilidad de establecimiento de instancias de cooperación con entidades internacionales para los distintos aspectos constitutivos del PPACM, pero especialmente respecto de dos ámbitos de monitoreo y caracterización de la calidad del aire, así como de la implementación de exigencias tecnológicas en la industria, referidas a la medición de emisiones y los sistemas de control de emisiones.

La sugerencia de los consultores con respecto a este programa es que lo consideramos adecuado para los objetivos del plan.

Programa Complementario N° 14: Programa de Fortalecimiento de la Gestión Ambiental Local

A partir de la entrada en vigencia del Plan, la SEREMI de Medio Ambiente junto a la Intendencia Regional y a los Servicios competentes, definidos en el cuadro N°1, iniciará el diseño, desarrollo e implementación de los siguientes programas, que a su vez serán parte integral del Planes Comunales de Educación para el Desarrollo Sustentable:

- Programa de fortalecimiento de la gestión ambiental local y acceso a la información.

- Acciones de educación ambiental y calidad del aire combinado con el programa de Eficiencia Energética.
- Énfasis en el tema de contaminación atmosférica dentro del Sistema de Certificación Ambiental de Establecimientos Educativos

La SEREMI de Medio Ambiente y los organismos competentes, con el objetivo de fortalecer las capacidades de gestión ambiental local de los Municipios y de la comunidad en general, sistematizarán la información generada en el proceso de implementación y seguimiento del Plan de Prevención y promoverán la participación de los ciudadanos en la ejecución de la dimensión local de las medidas del PPACM, para lo cual desarrollarán las siguientes actividades:

- a) Plan de capacitación a los (as) funcionarios(as) municipales: A partir de la entrada en vigencia del Plan de Prevención, se implementará un plan de capacitación para los funcionarios municipales en la creación, gestión, promoción y aplicación de instrumentos de gestión ambiental local, con énfasis en la implementación de medidas del PPACM, incluyendo formación técnica.
- b) Plan de capacitación a los(as) líderes socio ambientales: A partir de la entrada en vigencia del PPACM, se implementará un plan de capacitación a través de distintas metodologías tales como, talleres, charlas educativas, foros, post títulos y seminarios, para establecer estrategias de trabajo consensuadas y participativas en las instancias comunales para el cumplimiento de las medidas en torno a la implementación del PPACM.
- c) Diseño e implementación de instrumentos de gestión a niveles local: La SEREMI del Medio Ambiente, junto a las Municipalidades de Concepción Metropolitano, iniciará a partir de la entrada en vigencia del PPACM, el diseño e implementación de herramientas de control de gestión a nivel local, para evaluar el avance y la eficiencia de las medidas implementadas en cada municipio y que se relacionen, a nivel local, con la prevención en la generación y exposición a contaminantes atmosféricos.
- d) Implementación de un portal de Internet para la Gestión Ambiental Local: A partir de la entrada en vigencia del PPACM, la SEREMI del Medio Ambiente junto a los municipios de Concepción Metropolitano, iniciará el diseño, desarrollo e implementación de un sistema de manejo de denuncias ciudadanas que permitan establecer canales de derivación y seguimiento de la información referente al PPACM, generada en los niveles ciudadanos, municipal y regional.
- e) Plan Comunicacional Anual: A partir de la entrada en vigencia del PPACM, la SEREMI del Medio Ambiente junto a la Intendencia Regional, desarrollará e implementará un Plan Comunicacional anual, que definirá actividades de difusión en medios de comunicación, tales como radio de transmisión local y regional, y canales de televisión, desarrollo de festivales y campañas informativas. Lo anterior con

objeto de informar a la ciudadanía sobre el avance y efectividad de las medidas del PPACM.

- f) Actividades de divulgación: A partir de la entrada en vigencia del PPACM, la SEREMI del Medio Ambiente junto a los Servicios competentes, diseñará, y desarrollará material de divulgación con información referente a los resultados de los estudios o antecedentes técnicos generados en el PPACM. Así mismo, se difundirán estos contenidos a través de la realización de actividades en terreno, Oficina de Información Reclamos y Solicitudes (OIRS) municipales y de la SEREMI del Medio Ambiente.

La sugerencia de los consultores con respecto a este programa es que lo consideramos adecuado para los objetivos del plan.

Programa Complementario Nº 15: Programa de Educación para el Desarrollo Sustentable

Con el objetivo de fortalecer la gestión educativa local relativa al PPACM, la SEREMI de Medio Ambiente en conjunto con las Unidades de Medio Ambiente y las Corporaciones o Direcciones Municipales de Educación, y con el apoyo del Comité Regional de Certificación (SEREMI de Medio Ambiente, SECREDUC, CONAF, MINSAL y DGA), diseñarán, desarrollarán e implementarán actividades de educación ambiental orientados a fortalecer la incorporación del tema de control de la contaminación atmosférica en la gestión y vida escolar. Las actividades a desarrollar serán:

- a) Plan de capacitación docente: A partir de la entrada en vigencia del PPACM, la SEREMI de Medio Ambiente junto la SEREMI de Educación, y las Corporaciones y/o Direcciones Municipales de Educación, desarrollará un Plan de Capacitación docente orientado al mejoramiento de herramientas pedagógicas que permitan una mejor comprensión de la contaminación atmosférica, sus impactos en salud y alternativas de control, en coordinación con el SNCAE.
- b) Red Escolar de Información Calidad del Aire: A partir de la entrada en vigencia del PPACM, la SEREMI del Medio Ambiente junto a las municipalidades, SEREMI de Educación y el Comité Regional de Certificación, implementará una red escolar de información del estado diario de la calidad del aire en el área Metropolitana de Concepción. La información estará orientada a educar respecto de los impactos en salud, la eficiencia energética, conductas preventivas y acciones concretas para descontaminar.
- c) Elaboración de Material Didáctico: La SEREMI del Medio Ambiente en conjunto con la SEREMI de Educación y los servicios competentes, diseñarán, desarrollarán y entregarán a la comunidad escolar del área Metropolitana material didáctico relacionado con el PPACM, y del uso correcto de estufas domiciliarias y leña.

- d) Encuentros Anuales de Educación para el Desarrollo Sustentable: A partir de la entrada en vigencia del PPACM, la Mesa Regional de Educación para el Desarrollo Sustentable, en conjunto con las Unidades de Medio Ambiente y las Corporaciones o Direcciones Municipales de Educación, y con el apoyo del Comité Regional de Certificación (Seremi de Medio Ambiente, SECREDUC, CONAF, Seremi de Salud y DGA), organizarán y llevarán a cabo encuentros anuales, tendientes a dar a conocer las experiencias y resultados de las practicas ambientales a nivel local.

La sugerencia de los consultores con respecto a este programa es que lo consideramos adecuado para los objetivos del plan.

Programa Complementario N° 16: Programa de Fiscalización de la Implementación del PPACM

El Ministerio de Medio Ambiente y en su momento la Superintendencia de Medio Ambiente, en su reemplazo, además de los Servicios competentes del Estado desarrollarán e implementarán un plan de fiscalización que contemplará la elaboración de indicadores de cumplimiento de las medidas del PPACM, dando cuenta de cada una de las medidas establecidas.

Cada Servicio deberá solicitar anualmente los requerimientos de presupuesto, fiscalización, inspección y medición asociados al Plan, estableciendo los mecanismos de aseguramiento de calidad y cumplimiento de las actividades desarrolladas.

Las actividades de fiscalización y los organismos responsables serán:

- Combustibles: Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC).
- Fuentes Móviles: SEREMI de Transportes y Telecomunicaciones.
- Fuentes Fijas: Superintendencia del Medio Ambiente - Autoridad Sanitaria Región del Bío Bío.
- Quemadas Agrícolas y Forestales: Ministerio de Agricultura, a través de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y Servicio Agrícola y Ganadero (SAG)
- Calefactores residenciales a leña: Autoridad competente

La sugerencia de los consultores con respecto a este programa es que sea considerado de máxima prioridad para lograr los objetivos del plan, por lo cual se deben tener a disposición todos los recursos necesarios en términos de personal, vehículos y materiales.

Programa Complementario N° 17: Programa de Seguimiento de la Implementación del PPACM

Con el objetivo de desarrollar un seguimiento continuo de la implementación de las distintas medidas definidas en el Plan y las actividades asociadas, así como su

efectividad en el cumplimiento de las metas establecidas, la SEREMI de Medio Ambiente de la Región del Biobío implementará un sistema de control de gestión del Plan. Este sistema facilitará el seguimiento de las actividades comprometidas y la generación de reportes internos y reportes públicos que faciliten la consulta de la ciudadanía.

La SEREMI del Medio Ambiente consolidará un informe anual que dé cuenta de los avances en calidad del aire, impactos en salud y desempeño de las medidas y disposiciones del Plan, así como de la ejecución presupuestaria asociada, para lo cual solicitará los informes pertinentes a los organismos competentes.

La SEREMI del Medio Ambiente y los Órganos de la Administración del Estado competentes, elaborarán un plan de financiamiento total de las medidas, actividades, programas y estudios asociados a la implementación, seguimiento y fiscalización del PPACM para períodos de cinco años, con el fin de dar continuidad al proceso de control y prevención de la zona latente del Concepción Metropolitano. Los principales aspectos que deben ser contemplados son:

- Programa de Mejoramiento de la Información para la Gestión de la Calidad del Aire.
- Programa de Fortalecimiento de las Capacidades Locales para la Implementación del PPACM.
- Programa de Fiscalización y Seguimiento de la Implementación de las Medidas del PPACM.

Cada servicio deberá dimensionar anualmente los requerimientos de fiscalización, inspección y medición asociados al PPACM, para solicitar el financiamiento que asegure el cumplimiento de las actividades establecidas en este anteproyecto.

La sugerencia de los consultores con respecto a este programa es que lo consideramos adecuado para los objetivos del plan.

6. ESTABLECIMIENTO DE LAS MEDIDAS A SER EVALUADAS

En esta sección se presenta para cada medida a evaluar las actividades afectadas, la identificación de contaminantes, reducción que se logra y su forma de cálculo.

6.1 Medida COMPLIND

Actividades afectadas por la medida: Los establecimientos clasificados como complejos industriales por la magnitud de sus emisiones, estimadas en el estudio de UDT-PROTERM (2010) que tengan emisiones mayores o iguales a los límites establecidos de MP10 y SO₂ que se mencionan en el siguiente párrafo.

Contaminantes afectados por la medida: Los contaminantes afectados por esta medida corresponden a MP10, MP2,5 y SO₂, los cuales tendrían una reducción en las emisiones en los complejos industriales que tienen emisiones igual o superior a 100 ton MP/año y/o con emisiones superiores a 250 ton SO₂/año⁹.

Características de la medida: Aquellos complejos que tienen emisiones igual o superior a 100 ton MP/año y la fuente emisora está dentro de las 25 mayores fuentes emisoras de MP, deberá incorporar tecnología de control, indicada en el estudio UDT-PROTERM (2010).

Los complejos que tienen emisiones igual o superior a 100 ton MP/año o emisiones iguales o superiores a 250 ton SO₂/año, deberán, adicionalmente a lo señalado en el punto anterior, reducir a nivel de complejo industrial en un 30% sus emisiones de SO₂. Es decir, esta reducción podrá realizarse en una o más fuentes puntuales de emisión de SO₂.

En todos los casos anteriores se trata de reducciones adicionales a otras exigencias, normas o medidas. Por otra parte, las reducciones establecidas en los puntos anteriores podrán ser también efectuadas mediante mecanismos de compensación de emisiones entre fuentes fijas, de acuerdo a los criterios establecidos en el PPACM.

Reducción probable: De acuerdo a las estimaciones del estudio UDT-PROTERM (2010) la instalación de BAT generaría una reducción de 3.105 ton MP/año y de 2.062 ton MP10/año¹⁰.

⁹ Estos límites fueron establecidos en el anteproyecto del PPACM basándose en las posibilidades de abatimiento del estudio de UDT-PROTERM (2010).

¹⁰ Este cálculo se realiza a partir de un exhaustivo análisis de la mejor tecnología disponible para cada una de las megafuentes industriales del inventario de emisiones 2008, estableciendo una estimación de la eficiencia de esta tecnología propuesta que incluye (filtros de manga móvil, precipitador electroestático seco, precipitador electroestático húmedo, cubrimiento, deflectores de reducción, entre otros).

Para estimar la evolución temporal en la reducción de emisiones producto de esta medida se hace el supuesto que el crecimiento de las emisiones por mayor actividad industrial está incorporado en la medida CONGEMIND, por lo cual no se incluye para no doble contabilizar la reducción. Se asume que las tecnologías de abatimiento comienzan su plena operación en el año 2014, dados los plazos de entrada en vigencia del plan y las obras necesarias para su instalación.

Los costos anuales de las tecnologías de abatimiento son las inversiones en dólares mencionadas en el estudio UDT-PROTERM (2010) ajustado por tipo de cambio, con una tasa de descuento social del 6% y un periodo de inversión de 9 años (este periodo se escoge para que coincida con el año final de evaluación del plan). La reducción de emisiones, costos totales y los costos por tonelada reducida se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 20: Reducción Temporal de Emisiones y Costos con Medida COMPLIND

Año	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Escenario Base	2787	2787	2787	2787	2787	2787	2787	2787	2787	2787
Escenario con Medida	2787	2787	2787	725	725	725	725	725	725	725
Costo total de medida en MM\$		5053	5053	5053	5053	5053	5053	5053	5053	5053
Costo por ton/reducida en MM\$		0.0	0.0	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4

Fuente: Elaboración Propia

Adicionalmente, para estimar la reducción de SO2 se realizó un exhaustivo análisis de las fuentes dentro de los grandes complejos industriales y las potenciales opciones para reducir esas emisiones, concluyendo que se requeriría invertir en treinta y cuatro Scrubber húmedos y para la empresa Endesa de generación eléctrica se requeriría un LSD (lime Spray dry). Se concluye que podría obtenerse una reducción potencial de 7695 ton de SO2, con un costo total estimado de US\$37,6 millones por año y un valor promedio anual de US\$4.885 por tonelada reducida de SO2.

Fórmula de Cálculo:

$$\Delta E_{COMPLIND}^{MP10} = \sum_i \left(F_i^{c/BAT^{MP10}} - F_i^{s/BAT^{MP10}} \right) \quad y/o \quad \Delta E_{COMPLIND}^{SO2} = \sum_i \left(F_i^{c/BAT^{SO2}} - F_i^{s/BAT^{SO2}} \right)$$

Donde,

$F_i^{c/BAT}$ = emisiones de complejo industrial i con BAT de MP10 o SO2

$F_i^{s/BAT}$ = emisiones de complejo industrial i sin BAT de MP10 o SO2

6.2 Medida CONGEMIND¹¹

Actividades afectadas por la medida: Los establecimientos clasificados como complejos industriales por la magnitud de sus emisiones, estimadas en el estudio de UDT-PROTERM (2010) tengan emisiones mayor o igual a los límites establecidos de MP10 y SO₂.

Contaminantes afectados por la medida: Los contaminantes afectados por esta medida corresponden a MP10, MP2,5 y SO₂ provenientes de los complejos industriales. Esta medida congela las emisiones de estos contaminantes por lo que no deberían incrementar en el tiempo las emisiones de estas sustancias desde estas fuentes.

Características de la medida: a partir de la publicación del Plan se les exigirá a los establecimientos clasificados como complejos industriales un congelamiento de las emisiones de MP y SO₂. Para los efectos de la aplicación de criterio de congelamiento de emisiones, se considerarán las emisiones globales de cada complejo industrial, establecidas en el Estudio. Se entenderá que tales emisiones no constituyen cupos de emisión para los complejos.

Reducción probable: De acuerdo al crecimiento de la actividad industrial del 3,3% promedio anual, la reducción corresponderá al incremento que hubiera ocurrido sin plan, aproximadamente estas serían unas 102 ton MP10/año.

Para estimar la evolución temporal en la reducción de emisiones producto de esta medida se hace el supuesto que el crecimiento de las emisiones producto de mayor actividad industrial es de 3,3% (fuente: Banco Central). Se asume que las industrias deben comenzar a compensar este aumento de sus emisiones a partir del año 2012 por lo cual se congelan sus emisiones en 3074,8 toneladas de MP10. Los costos anuales de las tecnologías de abatimiento por tonelada reducida son de \$4.2 millones (valor generado a partir del exhaustivo análisis de las fuentes del inventario de emisiones para las cuales se propone un sistema de abatimiento, por lo tanto el valor corresponde al costo total de reducir emisiones dividido por el potencial de reducción, más detalles del procedimiento en el Anexo. Para compensar emisiones de SO₂, se podría variar la capacidad de los scrubber húmedos, reducir el consumo de combustible bajando la producción o bien realizar un cambio de combustible limpio como el gas. La reducción de emisiones, costos totales y los costos por tonelada reducida se muestran en la siguiente tabla.

¹¹ A partir de la publicación del Plan se congelarán las emisiones de MP y SO₂. Para los efectos de la aplicación de criterio de congelamiento de emisiones, se considerarán las emisiones globales de cada complejo industrial, establecidas en el estudio UDT-PROTERM (2010). Además, se entenderá que tales emisiones no constituyen cupos de emisión para los complejos.

Tabla 21: Reducción Temporal de Emisiones y Costos con Medida CONGEMIND

Año	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Escenario Base	3075	3177	3283	3392	3505	3622	3743	3867	3996	4129
Compensación de emisiones		102	208	318	431	547	668	792	921	1054
Escenario con Medida	3075	3075	3075	3075	3075	3075	3075	3075	3075	3075
Costo total de medida en MM\$		425	864	1318	1787	2272	2772	3290	3825	4377
Costo por ton/reducida en MM\$		4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2

Fuente: Elaboración Propia

Fórmula de Cálculo:

$$\Delta E_{CONGEMIND} = \sum_i \left(F_i^{c/BAT^{MP10}} - F_i^{c/BAT^{MP10}} \cdot (1 + \delta) \right) \quad y/o \quad \Delta E_{CONGEMIND} = \sum_i \left(F_i^{c/BAT^{SO2}} - F_i^{c/BAT^{SO2}} \cdot (1 + \delta) \right)$$

Donde,

F_i^{c/BAT^j} = emisiones de MP10 o SO2 del complejo industrial i con BAT

δ = tasa de crecimiento de emisiones por incremento de actividad industrial

6.3 Medida NCOMPLIND

Actividades afectadas por la medida: Los establecimientos clasificados como complejos industriales por la magnitud de sus emisiones, estimadas en el estudio de UDT-PROTERM (2010) tengan emisiones mayor o igual a los límites establecidos de MP10 y SO₂.

Contaminantes afectados por la medida: Los contaminantes afectados por esta medida corresponden a MP10, MP2.5 y SO₂.

Características de la medida: Todas las nuevas fuentes al interior de complejos industriales o nuevos complejos industriales deberán incorporar tecnología de control de emisiones de MP y SO₂.

Reducción probable: no genera reducción incremental a la medida CONGEMIND, ni siquiera tratándose de un nuevo complejo industrial, ya que se atribuiría a la medida COMPEMIND. Los costos también ya están incorporados en la medida COMPEMIND¹².

¹² La medida NCOMPLIND no tiene costos incrementales si ya estamos contabilizando COMPEMIND, si bien es cierto que en éste caso a la firma se le exige tecnología de abatimiento y no necesariamente compensación, por lo cual podría existir una diferencia. Sin embargo, a priori no sabemos qué tipo de nuevas fuentes dentro de los complejos industriales podrían surgir, ni tampoco cual es la tecnología de

Fórmula de Cálculo:

$$\Delta E_{NCOMPLIND} = 0$$

6.4 Medida COMPEMIND

Actividades afectadas por la medida: Aquellos proyectos o actividades nuevas y sus modificaciones, en cualquiera de sus etapas, que tengan asociadas una emisión total anual que implique un aumento sobre la situación base superior a 1 ton/año de material particulado, deberán compensarlas en un 100%.

Contaminantes afectados por la medida: Los contaminantes afectados por esta medida corresponden principalmente a MP10 y MP2,5.

Características de la medida: Todas las nuevas emisiones de material particulado deberán ser compensadas en un 100%. Las alternativas disponibles para compensar emisiones de MP serán las siguientes:

- Reemplazo de calefactores domiciliarios a leña. La que deberá constituir además un equivalente mínimo del 35% del total de emisiones a ser compensadas.
- Fuentes fijas existentes, equivalentes en origen y naturaleza de las emisiones.
- Implementación o reemplazo de sistemas de calefacción distrital o de edificaciones.
- Otras alternativas presentadas por los proponentes, que serán evaluadas por la SEREMI de Medio Ambiente de la Región del Biobío, las cuales como mínimo deben cumplir con los criterios señalados en el Capítulo 6 del Anteproyecto del PPACM.

Como un mecanismo para acelerar el cumplimiento de la norma de MP en fuentes industriales existentes, proyectos con exigencia de compensación de emisiones podrán compensar utilizando aquellas reducciones adicionales al cumplimiento de la norma.

Reducción probable: De acuerdo al crecimiento de la actividad industrial del 3,3% promedio anual, la reducción corresponderá al incremento que hubiera ocurrido sin plan en aquellas industrias no consideradas como grandes complejos industriales, aproximadamente estas serían unas 28,6 ton MP10/año a partir del año 2012. Esta reducción es adicional a la medida CONGEMIND, ya que para su cálculo se utilizó un subconjunto de industrias no utilizados en dicha medida.

abatimiento que mejor se adapte a esa fuente, por lo tanto, ante esa incertidumbre el valor de los costos de COMPEMIND actúa como una aproximación del costo.

Los costos anuales de las tecnologías de abatimiento por tonelada reducida son de \$4.2 millones (para metodología de cálculo ver Anexo). La reducción de emisiones, costos totales y los costos por tonelada reducida se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 22: Reducción Temporal de Emisiones y Costos con Medida COMPEMIND

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Escenario Base	848	877	906	936	967	999	1033	1067	1103	1139
Compensación de emisiones		28	57	88	119	151	184	219	254	291
Escenario con Medida	848	848	848	848	848	848	848	848	848	848
Costo total de medida en MM\$		117	238	364	493	627	765	908	1055	1208
Costo por ton/reducida en MM\$		4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2

Fuente: Elaboración Propia

Fórmula de Cálculo:

$$\Delta E_{COMPEMIND} = \sum_i (F_i^{actual} - F_i^{actual} \cdot (1 + \delta))$$

Donde,

F_i^{actual} = emisiones industria i no pertenecientes a grandes complejos industriales

δ = tasa de crecimiento de emisiones por incremento de actividad industrial

6.5 Medida NORMAIND

Actividades afectadas por la medida: Fuentes emisoras existentes y nuevas, que incluyan procesos de combustión que se realicen en calderas y hornos.

Contaminantes afectados por la medida: Los contaminantes afectados por esta medida corresponden principalmente a MP10, MP2.5, SO₂ y NOx. Esta medida reduciría en el tiempo las emisiones de estos contaminantes desde los complejos productivos que utilizan calderas y reduciría las emisiones de MP10 y MP2,5 para el caso de los hornos industriales.

Características de la medida: Se establece los límites máximos de emisión de acuerdo a la tabla siguiente.

Tabla 23: Norma de Emisión de Material Particulado para Calderas en mg/Nm³

Potencia térmica MWt	Hornos y calderas ³ existentes mg/Nm ³	Hornos y calderas ³ nuevas mg/Nm ³
< 3	300	150
3 a < 25	300	100
25 a < 50	100	50
≥ 50	50	20

Fuente: Anteproyecto del PPACM

Las condiciones normales de volumen (Nm²) corresponden a 25°C y 1 atm en gas seco y corregido por el % de oxígeno. El porcentaje de corrección por oxígeno por tipo de combustible es de 3% para combustibles líquidos y gaseosos, 6% para combustibles sólidos y 11% para biomasa. La potencia térmica en MWt se define como la multiplicación de la demanda nominal y el poder calorífico superior del combustible.

Las fuentes emisoras existentes deberán cumplir con el límite de emisión en un plazo de 2 años; y para las fuentes nuevas el límite aplica desde la publicación en el Diario Oficial del Plan de Prevención. Por otra parte se establece que las fuentes existentes deberán alcanzar el límite de las fuentes nuevas en un plazo a definir en la primera actualización del Plan.

Se establece además para las fuentes nuevas, hornos y calderas, con potencias superiores a los 50 MWt, las siguientes exigencias:

Tabla 24: Norma de Emisión de MP, SO₂ y NO_x para Calderas Nuevas Potencia Nominal ≥ 50 MWt

Tipo de fuente	Potencia Térmica MWt	MP mg/Nm ³	SO ₂ mg/Nm ³	NO _x mg/Nm ³
Calderas	≥50	20	200	200
Hornos	≥50	20	200	400

Fuente: Anteproyecto del PPACM

En el caso de las normas para los gases de las fuentes nuevas con potencias ≥ 50 MWt, se establecen plazos especiales de cumplimiento, 2 años para SO₂ y 4 años para NO_x, en ambos casos contados desde la fecha de publicación del PPACM.

Reducción probable: Según estudio UDT-PROTERM (2010) la reducción alcanzaría 777 ton/año de MP y 576,2 ton/año de MP10.

Dado que no conocemos específicamente el tipo de caldera y horno que utiliza cada industria ni sus opciones para reducir emisiones, asumiremos como cota superior que tienen la opción de compensar sus emisiones adicionales. Por la complejidad de cumplimiento de esta norma se asume que empieza a operar el año 2014. También se asume que no existe crecimiento en sus emisiones, porque este ya se está contabilizando en la medida CONGEMIND. Los costos anuales de las tecnologías de abatimiento por tonelada reducida es de \$4,2 millones (metodología de cálculo en Anexo). La reducción de emisiones, costos totales y los costos por tonelada reducida se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 25: Reducción Temporal de Emisiones y Costos con Medida NORMAIND

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Escenario Base	814	814	814	814	814	814	814	814	814	814
Escenario con Medida	814	814	814	298	298	298	298	298	298	298
Costo total de medida en MM\$		0	0	2891	2891	2891	2891	2891	2891	2891
Costo por ton/reducida en MM\$		0	0	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6

Fuente: Elaboración Propia

Fórmula de Cálculo:

$$\Delta E_{NORMAIND} = \sum_i (F_i^{c/lim} - F_i^{s/lim})$$

Donde,

$F_i^{c/lim}$ = emisiones de horno o caldera i que cumple límite máximo de emisión

$F_i^{s/lim}$ = emisiones de horno o caldera i que supera límite máximo de emisión

6.6 Medida DISTRGAS

Actividades afectadas por la medida: La Empresa Nacional de Petróleo quien estará a cargo del proyecto de abastecer a la zona con gas natural licuado y/o comprimido. Los sectores que verían incrementadas sus opciones de uso de combustible son el sector industrial y residencial.

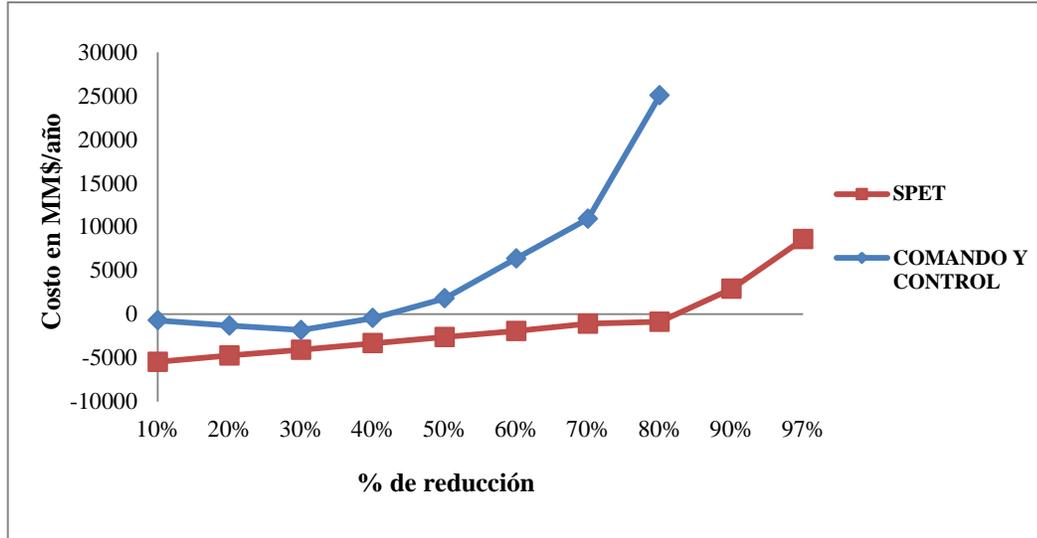
Contaminantes afectados por la medida: Los contaminantes afectados por esta medida corresponden principalmente a MP10, MP2.5 y SO₂. Esta medida reduciría en el tiempo las emisiones de estos contaminantes desde los complejos productivos y en función de su disponibilidad también en el sector residencial.

Características de la medida: La SEREMI del Medio Ambiente Región del Biobío y los órganos competentes del Estado deberán analizar en conjunto con la Empresa Nacional de Petróleo, la factibilidad técnico-económica de abastecer al sector industrial y residencial de la zona con Gas Natural Licuado y/o Comprimido, con la finalidad de contribuir a modificar la matriz energética regional, para potenciar el uso de combustibles limpios con menor impacto ambiental y mantener y mejorar la competitividad global de la zona.

Reducción probable: En el estudio desarrollado por Alegría, Mardones y Jimenez (2011) asumiendo disponibilidad de gas natural en la región del Bío Bío a través del proyecto de regasificación de ENAP y utilizando datos de la ENIA 2007, se simula el impacto en las emisiones de MP10 respecto al uso actual de combustibles por las industrias de la zona.

El análisis de cambio de combustible se realizó sólo para las industrias que en la ENIA 2007 registraban consumo de gas natural (42 industrias), puesto que esto garantiza que poseen el equipo necesario para hacer uso de este energético y si existiera mayor disponibilidad serían los primeros en ser satisfechos dado que se trata de grandes empresas. Además, en el año 2007 ya había disminuido de manera notable la disponibilidad de gas natural con respecto a años anteriores, por lo tanto, fue posible suponer que ante una mayor disponibilidad estas industrias serían las primeras que utilizarían el gas natural dejando de lado el consumo de otros combustibles más caros y contaminantes. El total de emisiones de MP10 de las 42 empresas es 413 ton/año, el potencial de reducción de emisiones es 382 ton/año, lo que equivale a un 92,5% de reducción. Si se extrapola este escenario al total de emisiones industriales reportado por el inventario industrial 2008 de UDT-PROTERM (2010) se podría alcanzar una reducción potencial mucho mayor. Bajo un escenario de alta disponibilidad de gas natural, el diferencial de precios del gas respecto a otros combustibles sería suficiente para motivar a las industrias a cambiarse a este combustible limpio, incluso sin necesidad de exigirlo mediante regulación. Alegría, Mardones y Jimenez (2011) demostraron que la reconversión genera ahorros para las industrias (costo efectividad negativa por tonelada reducida), por lo anterior las otras medidas evaluadas en este plan para al menos algunas fuentes industriales dejarían de ser costo-efectivas y necesarias para inducir la reducción de emisiones.

Esto se justifica dado que los autores muestran que bajo una disponibilidad de gas natural para abastecer todas las necesidades de las industrias, dados los precios del gas natural del año 2010, se generan importantes ahorros de costos para las industrias que se cambian de combustible y como beneficio adicional se pueden obtener importantes reducciones de emisiones de MP10. Estos ahorros de costos y reducción de emisiones se pueden obtener bajo un esquema de regulación de comando y control fijando un porcentaje de reducción constante para todas las industrias o permitiendo un sistema de permisos de emisión transable (compensación de emisiones).



Fuente: Alegría, Mardones y Jiménez (2011)

Figura 17: Costos Totales de Abatimiento de MP10 con total disponibilidad de Gas Natural

Los ahorros de costos se explican por la diferencia de precios que ocurre con la sustitución de combustibles. Con el fin de encontrar un precio al cual ya no existían ahorros de costos al implementar un sistema de permisos de emisión transable utilizando la opción de sustitución a gas natural, se realizaron simulaciones considerando los precios de los combustibles del año 2010, variando sólo el precio del gas natural. Luego de varias simulaciones se determinó que ese precio es 17,1 US\$/MMbtu. Es decir, existiría una ganancia en términos de ahorro de costos y disminución de emisiones con cualquier precio de gas natural bajo el precio límite establecido.

Dada la falta de antecedentes sobre la disponibilidad de gas natural en el periodo del AGIES, el cual dependerá de la escala de operación que se definirá finalmente para la planta de regasificación de Pemuco, así como tampoco del precio final al cual estará disponible este combustible no se incluye un análisis de la reducción temporal de emisiones. Sin embargo, la discusión previa sobre reducción en un contexto estático permite justificar la importancia de contar con este energético en la zona.

Fórmula de Cálculo:

$$\Delta E_{DISTRGAS} = \sum_i (F_i^{c/gas} - F_i^{s/gas})$$

Donde,

$F_i^{c/gas}$ = emisiones de fuente i que realiza cambio de combustible a gas natural

$F_i^{s/gas}$ = emisiones de fuente i que mantiene combustible actual

6.7 Medida CEQUIPOS

Actividades afectadas por la medida: Las actividades emisoras afectadas corresponden a los hogares que combustionan biomasa para la calefacción (según proyecciones al año 2012 para las 10 comunas afectadas se estiman 152.485 y 6.674 equipos en zonas urbanas y rurales, respectivamente que utilizan equipos poco eficientes, entre ellos salamandras 18,4%, estufas de cámara simple 24,8%, cocina de fierro 19,7%, otros 9,6%¹³ y que además cumplan con los requisitos establecidos para postular a dicho programa de incentivo, por ejemplo, puntaje de ficha de protección social, tipo de artefacto, zona geográfica u otra condición. Si se considera a los equipos de doble cámara de combustión lenta existentes como actualmente los más eficientes, podemos restringir las fuentes potencialmente afectadas al porcentaje de los hogares que no utilizan doble cámara, es decir, un 72,5% de los hogares que utilizan leña en el Concepción Metropolitano, sin considerar el uso de chimeneas.

Contaminantes afectados por la medida: Los contaminantes afectados por esta medida corresponden principalmente a MP10, MP2.5, SO₂, CO y COV, emitidos desde el sector residencial.

Características de la medida: La SEREMI del Medio Ambiente Región del Biobío en el plazo de doce meses contados desde la publicación en el Diario Oficial del Plan de Prevención, en conjunto con los organismos competentes, diseñará y pondrá en marcha un programa de recambio de artefactos existentes, que contendrá elementos para focalizar los instrumentos económicos diseñados, priorizar los beneficiarios e implementar un sistema de seguimiento del recambio. Dicho programa deberá contemplar un recambio de al menos 40.000 artefactos en el periodo de implementación del PPACM.

Reducción probable: Cada equipo reduciría su factor de emisión desde el factor actual hasta el factor de la norma señalada en la medida NEQUIPOS. Con el fin de lograr el máximo de eficiencia en la reducción se debería priorizar el recambio de equipos por aquellos que sean más contaminantes, cuyas familias utilicen más leña, y que exista mayor población potencialmente afectada por la emisión de ese MP10.

Suponiendo que se cumple completamente con un recambio de 40.000 equipos, considerando un recambio de 4.444 equipos anuales a partir del año 2012 hasta el año 2020, asumiendo que los equipos sujetos a recambio son aquellos que tienen mayores emisiones de contaminantes del aire, como salamandras, estufas de cámara simple, cocinas a leña y que el número de equipos nuevos se distribuye con igual ponderación

¹³El porcentaje por tipo de equipos se obtuvo de la Tabla 4-23 del informe "Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas de Concepción Metropolitano, VIII Región" UCT (2009).

que los equipos viejos en cada comuna y zona, se puede llegar a reducir 215,4 ton/año el año inicial hasta llegar al año final de evaluación con una reducción total de 2.268,1 ton/año¹⁴. Para el cálculo se considera el valor de consumo promedio de cada comuna diferenciando por zona urbana y rural, se utiliza un promedio ponderado de los factores de emisión de los equipos sujetos a recambio con respecto al factor de emisión del equipo nuevo el cual varía cada año de acuerdo a la normativa (se vuelve más bajo con el transcurso del tiempo).

Tabla 26: Reducción de Emisiones y Costos con Medida CEQUIPOS Año 2012

Año 2012	Nº Familias urbano	Nº Familias rural	Consumo Kg leña	Delta Ton MP10/Año	Costo \$MM	Costo \$MM/ton
Concepción	821	39	1975101	33	426	13,1
Coronel	599	45	1384342	23	319	14,0
Chiguayante	522	0	1489374	25	258	10,5
Hualqui	109	26	482754	8	67	8,4
Lota	298	0	603236	10	148	14,8
Penco	238	5	1440230	24	120	5,1
San Pedro de la Paz	466	0	1774677	29	231	7,9
Talcahuano	651	7	1160669	19	326	17,0
Tome	237	67	2536413	42	151	3,6
Hualpén	314	0	210704	4	155	44,6
Total	4255	189	14522772	215	2200	10,2

Fuente: Elaboración Propia

¹⁴ Si bien es cierto que la composición del tipo de artefactos puede variar en función de la disponibilidad al cambio que tengan los hogares del Concepción Metropolitano, afectando el potencial de reducción de emisiones. Como efectivamente ha sucedido en otras zonas como Temuco y Coyhaique. La sugerencia para lograr el mayor impacto de reducción de emisiones es escoger equipos con alto factor de emisión, que utilice altas cantidades de leña, y bajo contenido de humedad, de tal forma de optimizar el cambio de equipo, lo cual incluso podría ir en contra de principios de distribución del ingreso.

Tabla 27: Reducción de Emisiones y Costos con Medida CEQUIPOS Año 2020

Año 2012	Nº Familias urbano	Nº Familias rural	Consumo Kg leña	Delta Ton MP10/Año	Costo \$MM	Costo \$MM/ton
Concepción	7390	354	17775905	343	3833	11,2
Coronel	5391	404	12459077	241	2869	11,9
Chiguayante	4697	0	13404362	259	2325	9,0
Hualqui	978	238	4344787	84	602	7,2
Lota	2684	0	5429120	105	1328	12,7
Penco	2138	48	12962066	250	1082	4,3
San Pedro de la Paz	4193	0	15972096	308	2075	6,7
Talcahuano	5861	60	10446024	202	2931	14,5
Tome	2137	600	22827719	441	1355	3,1
Hualpén	2822	0	1896338	37	1397	38,2
Total	38291	1705	130704950	2268	19798	8,7

Fuente: Elaboración Propia

Fórmula de Cálculo:

$$\Delta E_{CEQUIPOS} = \sum_i H_i^n \cdot C_i (fe^n - fe^a)$$

Donde,

H_i^n = equipos en el hogar i que se recambia

C_i = consumo de leña por hogar i

fe^n = factor de emisión de equipo que cumple normativa

fe^a = factor de emisión de equipo actual

6.8 Medida RLEÑA

Actividades afectadas por la medida: Todos los oferentes de leña de la zona latente deben dar cumplimiento de la NCh 2907 del INN.

Contaminantes afectados por la medida: Los contaminantes afectados por esta medida corresponden principalmente a MP10, MP2.5, SO₂, CO y COV, emitidos desde el sector residencial.

Características de la medida: Toda la leña que sea comercializada en las comunas de la zona latente deberá cumplir los requerimientos técnicos de la Norma Chilena Oficial N° 2907/2005, la cual define como leña seca aquella que tiene un contenido de humedad menor o igual a 25% en base seca. La verificación del contenido de humedad de la leña se realizará acorde a lo establecido en Norma Chilena Oficial

NCh2965.Of2005. Además, se deberá Comercializar la leña usando como unidad de medida de comercialización, metro cúbico (m³) o astillas, y contar con un xilohigrómetro que permita verificar el cumplimiento de esta norma, que deberá ser utilizado a requerimiento del cliente.

Reducción probable: Se generaría una disminución en los factores de emisión de los hogares que utilizan leña húmeda y semi-húmeda a un factor de emisión de leña seca de los distintos artefactos existentes en la zona del plan. Como supuesto adicional, se considera que al reducirse la humedad el poder calorífico de la leña aumentaría en 15% (UdeC, 2002).

Considerando los consumos de leña promedio por zona urbana y rural para cada comuna, así como también los porcentajes de leña seca, semi-húmeda y húmeda generados en la actualización del inventario de emisiones de la Universidad Católica de Temuco (2009) se llega a la conclusión que las emisiones podrían reducirse en 2.024 ton MP10/año considerando la actualización de equipos al año 2012 y un perfecto cumplimiento en la utilización de leña seca. Sin embargo, para determinar la reducción efectiva de emisiones que se logrará se debe tomar en consideración que un cumplimiento perfecto de la medida es difícil en el corto plazo, por los elevados costos de fiscalización e incentivo privado a no cumplir.

En este informe se propone que se evalúe como escenario pasivo un cumplimiento de entre 30% y 60% de la leña húmeda para el año 2012 y 2020, lo que implicaría una reducción de MP10 de 607,5 ton/año y 1496 ton/año de reducción, respectivamente, y además se propone que en el escenario estricto del plan un cumplimiento del 100% al inicio y final del periodo de evaluación con una reducción de 2025 ton/año y 2493 ton/año de reducción de MP10 respectivamente.

El supuesto utilizado sobre el número de equipos en las comunas del PPACM es de 152.485 en zonas urbanas y 6.674 en zonas rurales al año 2012, y de 190.420 en zonas urbanas y 7.121 en zonas rurales al año 2020. También se utiliza el supuesto de 79,9% de leña seca, 15,6% de leña semi-húmeda y 4,5% de leña húmeda¹⁵. Como aproximación a los costos del mercado regulado se toma como referencia los valores de precios de leña seca y húmeda del estudio “Modelos de Negocios para el Acopio y Secado de Leña” (2009). Específicamente el valor de pre-secado natural más artificial en Rancagua es de \$27.443 por m³ estéreo respecto al precio de leña sin secar de \$21.560. También se produce un ahorro de costos ya que al utilizar leña seca es posible disminuir el consumo de kg de leña para generar el mismo nivel de calefacción, ya que al reducirse la humedad se eleva el poder calorífico de la leña.

¹⁵El porcentaje de humedad se obtiene del estudio UDT (2005) página 42 Figura 19.

Tabla 28: Medida RLEÑA Año 2012 con 30% de Cumplimiento

Comuna	Total leña húmeda	Costo \$ MM Compra Leña Seca	Ahorro por menor compra de leña	Costo \$MM Real	ahorro kg leña	Reducción ton mp10	Costo \$MM/ton
Concepción	4259048	69,2	33,9	35,3	638857	91,8	0,4
Coronel	2986683	48,5	23,7	24,8	448002	64,4	0,4
Chiguayante	3218835	52,3	25,6	26,7	482825	69,4	0,4
Hualqui	1038285	16,9	8,3	8,6	155743	22,4	0,4
Lota	1303713	21,2	10,4	10,8	195557	28,1	0,4
Penco	3112625	50,6	24,7	25,8	466894	67,1	0,4
San Pedro de la Paz	3835434	62,3	30,5	31,8	575315	82,7	0,4
Talcahuano	2507128	40,7	19,9	20,8	376069	54,1	0,4
Tome	5454297	88,6	43,4	45,3	818145	117,6	0,4
Hualpén	455374	7,4	3,6	3,8	68306	9,8	0,4
Total	28171421	457,8	224,0	233,8	4225713	607,5	0,4

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 29: Medida RLEÑA Año 2020 con 60% de Cumplimiento

Comuna	Total leña húmeda	Costo \$ MM Compra Leña Seca	Ahorro por menor compra de leña	Costo \$MM Real	ahorro kg leña	Reducción ton mp10	Costo \$MM/ton
Concepción	10462662	170,0	83,2	86,8	1569399	225,6	0,4
Coronel	7308521	118,8	58,1	60,7	1096278	157,6	0,4
Chiguayante	8039228	130,6	63,9	66,7	1205884	173,4	0,4
Hualqui	2500892	40,6	19,9	20,8	375134	53,9	0,4
Lota	3256099	52,9	25,9	27,0	488415	70,2	0,4
Penco	7732833	125,7	61,5	64,2	1159925	166,7	0,4
San Pedro de la Paz	9579219	155,7	76,2	79,5	1436883	206,6	0,4
Talcahuano	6237706	101,4	49,6	51,8	935656	134,5	0,4
Tome	13121102	213,2	104,3	108,9	1968165	282,9	0,4
Hualpén	1137323	18,5	9,0	9,4	170598	24,5	0,4
Total	69375587	1127,3	551,5	575,8	10406338	1496,0	0,4

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 30: Reducción de Emisiones y Costos con Medida RLEÑA Año 2020 con 100% de Cumplimiento

Comuna	Total leña húmeda	Costo \$ MM Compra Leña Seca	Ahorro por menor compra de leña	Costo \$MM Real	ahorro kg leña	Reducción ton mp10	Costo \$MM/ton
Concepción	17437770	283,4	138,6	144,7	2615665	376,0	0,4
Coronel	12180869	197,9	96,8	101,1	1827130	262,7	0,4
Chiguayante	13398713	217,7	106,5	111,2	2009807	288,9	0,4
Hualqui	4168154	67,7	33,1	34,6	625223	89,9	0,4
Lota	5426832	88,2	43,1	45,0	814025	117,0	0,4
Penco	12888055	209,4	102,5	107,0	1933208	277,9	0,4
San Pedro de la Paz	15965365	259,4	126,9	132,5	2394805	344,3	0,4
Talcahuano	10396177	168,9	82,6	86,3	1559427	224,2	0,4
Tome	21868503	355,3	173,9	181,5	3280276	471,6	0,4
Hualpén	1895539	30,8	15,1	15,7	284331	40,9	0,4
Total	115625978	1878,8	919,2	959,6	17343897	2493,3	0,4

Fuente: Elaboración Propia

Fórmula de Cálculo:

$$\Delta E_{RLEÑA} = \sum_i H_i \cdot A (fe^h - fe^s) - \sum_i H_i \cdot A (fe^h)$$

Donde,

H_i = Consumo de Leña húmeda en kg. hogar i

A = porcentaje de ahorro de consumo de leña húmeda en kg. por aumento de poder calorífico

fe^h = factor de emisión de leña húmeda

fe^s = factor de emisión de leña seca

6.9 Medida PCHIMENEAS

Actividades afectadas por la medida: Las actividades emisoras afectadas corresponden a los hogares que poseen chimeneas al año 2012 en las 10 comunas del plan, es decir, aproximadamente 6.759 chimeneas en zonas urbanas. El número de chimeneas se obtuvo a partir de la proyección del número total de equipos a leña en la zona urbana (152.485 equipos a leña al año 2012), que fue estimado en base a la Encuesta CASEN, la tasa de crecimiento de equipos y la tasa de crecimiento de los hogares. Mientras el porcentaje de chimeneas de 6.4% se obtuvo de la Tabla 4-

23 del informe “Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas de Concepción Metropolitano, VIII Región” UCT (2009).

Contaminantes afectados por la medida: Los contaminantes afectados por esta medida corresponden principalmente a MP10, MP2.5, SO₂, CO, COV y NO_x, emitidas desde el sector residencial que utiliza chimeneas de hogar abiertas destinadas a calefacción.

Características de la medida: A partir de doce meses de la publicación del Plan de Prevención, se prohíbe la utilización de chimeneas de hogar abierto destinadas a la calefacción de viviendas y de establecimientos públicos o privados instalados al interior del límite urbano de las comunas incluidas en la zona declarada en estado de latencia.

Reducción probable: Bajo este escenario lo más lógico es que esos hogares se cambien a otro equipo a biomasa que cumpla con la nueva norma cuyo costo de compra es asumido por estos hogares. Por lo tanto, podemos estimar el cambio en el factor de emisión de una chimenea respecto a la de un nuevo equipo que cumple con la norma, bajo un escenario de leña seca (para no doble contabilizar la reducción de la medida RLEÑA). Considerando estos supuestos es posible estimar una reducción de 327 ton/año de MP10 si todas las chimeneas existentes se renuevan por nuevos equipos al año 2020.

El supuesto utilizado sobre el número de chimeneas en las comunas del PPACM es de 9.759 en zonas urbanas al año 2012.

Tabla 31: Reducción de Emisiones y Costos con Medida PCHIMENEAS

Comuna	Nº Familias	Consumo Kg. Leña	Delta Ton MP10/Año	Costo \$MM	Costo \$MM/ton
Concepción	1883	4014068	49	932	19,2
Coronel	1374	2732269	33	680	20,6
Chiguayante	1197	3416342	41	593	14,3
Hualqui	249	834319	10	123	12,2
Lota	684	1383709	17	339	20,2
Penco	545	3152698	38	270	7,1
San Pedro de la Paz	1069	4070775	49	529	10,7
Talcahuano	1494	2591375	31	739	23,6
Tome	545	4334860	53	270	5,1
Hualpén	719	483316	6	356	60,9
Total	9759	31524170	327	4831	14,8

Fuente: Elaboración Propia

Fórmula de Cálculo:

$$\Delta E_{CEQUIPOS} = \sum_i H_i^n \cdot C_i (fe^n - fe^a)$$

Donde,

H_i^n = chimenea en el hogar i que se recambia

C_i = consumo de leña por hogar i

fe^n = factor de emisión de equipo que cumple normativa

fe^a = factor de emisión de chimenea

6.10 Medida TERMICOVIV

Actividades afectadas por la medida: En el caso de viviendas antiguas las actividades afectadas son hogares en los cuales las viviendas presentan problemas de déficit en su materialidad o aislación. En el caso de viviendas nuevas las actividades afectadas son las constructoras y los hogares.

Contaminantes afectados por la medida: Los contaminantes afectados por esta medida corresponden principalmente a MP10, MP2.5, SO₂, CO, COV y NO_x, emitidas desde el sector residencial que posee deficiencias en la aislación de sus viviendas.

Características de la medida: Una vez que entre en vigencia el PPA, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) focalizará en las comunas de Concepción Metropolitano el subsidio especial para el mejoramiento térmico de la vivienda existente, ello de acuerdo al Programa de Protección del Patrimonio Familiar (PPPF).

Reducción probable: Considerando los antecedentes de Ambiente Consultores (2006) se estimó que un subsidio que permitiera la aislación de muros y cielo, generaría una reducción del 35% en el consumo de leña por hogar, con el consiguiente impacto en reducción de emisiones atmosféricas.

Luego de generar un listado con los estados de materialidad de las viviendas por comuna con datos de la CASEN determinamos que existen 19,2% viviendas deficitarias, 9,2% recuperables, 6,2% aceptables y 65,4% buenas. Suponiendo un número de 1.500 subsidios por año y utilizando una vivienda promedio que consume leña en una zona urbana se estimó las potencialidades de este subsidio en términos de reducción de emisiones de MP10 que alcanza 27,2 ton/año por 1.500 viviendas, este potencial de reducción va disminuyendo en función de la caída en la reducción de los factores de emisiones por el recambio normal de los equipos, llegando al año final de evaluación a una reducción total de 195,3 ton/año por 15.000 viviendas en los diez años de evaluación del plan. El costo de la aislación por vivienda se asume en \$1,3 millones y un ahorro máximo de 35% por menor consumo de leña.

Tabla 32: Reducción de Emisiones y Costos con Medida TERMICOVIV para viviendas antiguas

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Nº Viviendas antiguas Aislación	1500	3000	4500	6000	7500	9000	10500	12000	13500
Ahorro 35% Leña en kg	1518189	3036378	4554568	6072757	7590946	9109135	10627325	12145514	13663703
Reducción de emisiones	27,2	53,3	77,3	99,2	118,9	136,4	151,7	164,8	175,7
Costo \$MM/ton MP10	68,3	69,6	72,0	74,8	78,0	81,6	85,6	90,1	95,1

Fuente: Elaboración Propia

Para el mejoramiento de aislación de viviendas nuevas se toma como base la proyección del universo de personas que habitan el Concepción Metropolitano el año 2012 (1.004.217 habitantes), luego se calcula el número de personas por vivienda (4,3 personas), con esto obtenemos el número de viviendas el año 2012 que alcanzaría a aproximadamente 233.539 viviendas. Asumiendo que la tasa de crecimiento en el número de viviendas es idéntica a la tasa de crecimiento de la población (0,8%) obtenemos el stock de viviendas nuevas por año. El costo del mejoramiento en la aislación es pagado por las constructoras, inmobiliarias y familias, cómo se reparten proporcionalmente estos costos va a depender de la elasticidad de oferta y demanda en cada mercado.

Según aproximaciones de la Agencia Chilena de Eficiencia Energética (www.acee.cl/577/articles-59499_recurso_2.ppt) el mejoramiento térmico de viviendas tendría un costo cercano a 39 UF. Específicamente, mejorar la capacidad aislante de muros y cubiertas, mejorar los sellos de puertas y ventanas, pintar la cubierta de color negro, tabiques ventilados, entre otras, generaría un ahorro cercano al 25%.

En la tabla siguiente se observa como el costo por tonelada reducida va disminuyendo a través de los años, esto se explica porque se asume que el costo de la aislación de la vivienda nueva se realiza el año de construcción de la vivienda, y para los años siguientes el costo de esa vivienda es cero, por lo cual los costos totales se incrementan solo por las viviendas que ingresan cada año, mientras los ahorros en consumo de leña y reducción de emisiones son acumulativos en función del incremento en el stock de viviendas.

Tabla 33: Reducción de Emisiones y Costos con Medida TERMICOVIV para viviendas nuevas

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Nº Viviendas nuevas Aislación	1868	1883	1898	1914	1929	1944	1960	1975	1991
Nº Viviendas nuevasacumulado	1868	3752	5650	7563	9492	11436	13396	15372	17363
Ahorro 25% Leña en kg	1350691	2712188	4084576	5467944	6862378	8267968	9684803	11112973	12552567
Reducción de emisiones	24,2	47,6	69,3	89,3	107,5	123,8	138,3	150,8	161,4
Costo \$MM/ton MP10	62,8	30,4	19,8	14,6	11,4	9,3	7,8	6,7	5,8

Fuente: Elaboración Propia

Fórmula de Cálculo:

$$\Delta E_{AISLACION} = \sum_i H_i^{subsidio} \cdot C \cdot fe_j \cdot R$$

Donde,

$H_i^{subsidio}$ = hogar i con subsidio de aislación térmica (1 tiene subsidio y 0 no tiene subsidio)

C = consumo promedio de leña por hogar

fe_j = factor de emisión de equipo tipo j existente en el hogar

R = reducción porcentual de consumo de leña gracias a mejor aislamiento

6.11 Medida NEQUIPOS

Actividades afectadas por la medida: Las actividades emisoras afectadas corresponden a los hogares que se cambien a combustible de biomasa o bien cambien su equipo actual de biomasa una vez la entrada en vigencia de la norma nacional de artefactos a biomasa.

Contaminantes afectados por la medida: Los contaminantes afectados por esta medida corresponden principalmente a MP10, MP2.5, SO₂, CO y COV, emitidos desde el sector residencial que compre o renueve sus equipos a leña.

Características de la medida: Todos los calefactores nuevos que se comercialicen en las comunas de la zona latente de Concepción Metropolitano, sean fabricados, construidos o armados en el país, o importados, que utilicen leña y otros energéticos de biomasa, deberán cumplir con la norma nacional de artefactos a biomasa.

Reducción probable: La reducción no es atribuible al plan pero si afecta el escenario base temporal.

Al entrar en vigencia la norma de artefactos eleva el costo de los equipos a leña por lo cual la tasa de crecimiento de estos equipos esperaríamos que bajara del 2,8% actual a una tasa más moderada, esto dependerá del aumento en el costo de este tipo de calefacción producto de las nuevas normativas relativo al costo de otro tipo de calefacción, ya que aun así este combustible es más económico que otros medios de calefacción. Para determinar el crecimiento en la penetración por comuna se debe considerar también que el crecimiento de la población y hogares en el análisis obtenido del INE es 0,8% anual.

Con estos antecedentes, bajo el supuesto que la norma empezará a regir el año 2012

de tal forma que todos los equipos nuevos que entran en operación cumplen con la normativa, los consumos promedio por comuna (urbano y rural) obtenidos de la CASEN (2006), bajo el supuesto que la leña utilizada mantiene su humedad promedio por comuna, se generó un escenario de reducción potencial para el largo plazo (el año 2020). Se asume que existe un recambio anual del 5% de los equipos al año.

El detalle metodológico del cálculo es el siguiente: 1) a partir de los datos de tenencia de equipos de la CASEN (2006), se actualiza el número de equipos a nivel comunal con las tasas de crecimiento anual que cumplen con los supuestos de penetración no mayor a 100%; 2) se calcula el aumento en el parque de equipos a leña hasta el año 2020; 3) el consumo de leña por zona urbana y rural en cada comuna se obtiene al multiplicar el número de equipos nuevos ingresados con el consumo promedio de leña por comuna y zona; 4) se utiliza un factor de emisión sin norma a partir del promedio ponderado de los contenidos de humedad de la leña; 5) la reducción en las emisiones se obtiene al multiplicar el consumo total de leña por el diferencial en los factores de emisión de equipos que cumplen la normativa versus la situación sin norma; 6) finalmente, a partir de todos estos cálculos de reducción de emisiones por año.

Tabla 34: Penetración de Artefactos a Leña en Zonas Urbanas por Comuna

Comuna	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Concepción	49%	50%	51%	52%	53%	54%	55%	56%	57%
Coronel	79%	81%	82%	84%	86%	87%	89%	91%	93%
Chiguayante	62%	63%	65%	66%	67%	69%	70%	71%	73%
Hualqui	84%	86%	88%	89%	91%	93%	95%	97%	99%
Lota	85%	86%	88%	90%	92%	94%	95%	97%	99%
Penco	64%	65%	67%	68%	69%	71%	72%	74%	75%
San Pedro de la Paz	66%	67%	69%	70%	71%	73%	74%	76%	77%
Talcahuano	53%	54%	55%	56%	57%	58%	59%	60%	62%
Tome	59%	60%	61%	62%	64%	65%	66%	67%	69%
Hualpen	46%	47%	48%	49%	50%	51%	52%	53%	54%
Total	59%	61%	62%	63%	64%	66%	67%	68%	70%

Fuente: Elaboración Propia

El supuesto utilizado sobre el número nuevo de equipos en las comunas del PPACM es de 31.028 en zonas urbanas y 1057 en zonas rurales al año 2012, mientras para el año 2020 se asume un stock de 70.860 nuevos equipos ingresados a zonas urbanas y 1.526 a zonas rurales.

Tabla 35: Penetración de Artefactos a Leña en Zonas Rurales por Comuna

Comuna	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Concepción	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Coronel	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Chiguayante	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Hualqui	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Lota	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Penco	97%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
San Pedro de la Paz	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Talcahuano	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Tome	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Hualpen	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración Propia

El recambio de equipos que entran al mercado (2012 a 2020) y que deben cumplir la normativa reduciría en el largo plazo 2.441,9 ton MP10/año. Esta reducción se basa en el delta respecto al escenario base considerando los años en los cuales cambian los factores de emisión hasta el año 2020. Los costos incurridos por esta medida corresponden al diferencial del equipo debido a la normativa. Sin embargo, como esta norma se aplica a nivel nacional, no deberían incluirse estos costos en el PPACM, se entregan sólo a nivel informativo de costo efectividad, pero la reducción de emisiones sí debe considerarse como un cambio en el escenario base.

Tabla 36: Reducción de Emisiones y Costos con Medida NEQUIPOS Año 2012

Comuna	Nº Familias urbano	Nº Familias rural	Delta g/Kg leña	Delta Ton MP10/Año	Costo \$MM	Costo \$MM/ton
Concepción	846	12	30848951	30,8	210,2	6,8
Coronel	617	25	22061507	22,1	157,5	7,1
Chiguayante	538	0	25329499	25,3	131,8	5,2
Hualqui	112	8	6760904	6,8	29,3	4,3
Lota	307	0	10259115	10,3	75,3	7,3
Penco	245	6	24493715	24,5	61,4	2,5
San Pedro de la Paz	480	0	30181607	30,2	117,6	3,9
Talcahuano	671	2	19362525	19,4	164,9	8,5
Tome	245	20	35263655	35,3	64,8	1,8
Hualpén	323	0	3583407	3,6	79,2	22,1
Total	4385	72	238594019	238,6	1091,9	4,6

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 37: Reducción de Emisiones y Costos con Medida NEQUIPOS Año 2020

Comuna	Nº Familias urbano	Nº Familias rural	Delta g/Kg leña	Delta Ton MP10/Año	Costo \$MM	Costo \$MM/ton
Concepción	9357	249	364145303	364,1	2368,1	6,5
Coronel	6826	239	250902844	250,9	1741,5	6,9
Chiguayante	5947	91	299846516	299,8	1488,4	5,0
Hualqui	1238	91	79484880	79,5	327,6	4,1
Lota	3398	52	121445744	121,4	850,5	7,0
Penco	2708	68	282801624	282,8	684,1	2,4
San Pedro de la Paz	5309	81	357284995	357,3	1328,7	3,7
Talcahuano	7421	131	229067558	229,1	1861,8	8,1
Tome	2706	223	414459765	414,5	721,8	1,7
Hualpén	3573	54	42419798	42,4	894,3	21,1
Total	48482	1279	2441859025	2441,9	12266,6	5,0

Fuente: Elaboración Propia

Fórmula de Cálculo:

$$\Delta E_{NEQUIPOS} = \left(\sum_i H_i^a \cdot g \cdot fe^n + \sum H_i^a \cdot r \cdot fe^n \right) - \left(\sum_i H_i^a \cdot g \cdot fe^a + \sum H_i^a \cdot r \cdot fe^a \right)$$

Donde,

H_i^a = Nº de equipos existentes

g = tasa de crecimiento de equipos

fe^n = factor de emisión por equipo que cumple normativa

r = tasa de recambio de equipos

fe^a = factor de emisión por equipo que no cumple normativa

6.12 Medida PQUEMAS

Actividades afectadas por la medida: Las actividades emisoras afectadas son todos los productores agrícolas y forestales de las comunas incorporadas, quienes utilizan las quemas para control de heladas, deshacerse de desechos y podas.

Contaminantes afectados por la medida: Los contaminantes afectados por esta medida corresponden principalmente a MP10, MP2.5, CO, NOx y COV, debido a la reducción del tamaño (superficie) de las quemas agrícolas y forestales.

Características de la medida: Se establece una programación para implementar la prohibición gradual de las quemas forestales y/o agrícolas, según el cronograma propuesto:

Tabla 38: Cronograma de Prohibición de Quemas

Límite de hectáreas para autorizar quemas agrícolas (por predio)	Fecha en que comienza a regir la restricción
40	1 años
30	2 años
20	4 años
10	6 años
5	8 años
3	10 años

Nota: todas las fechas son relativas al primero de enero del año siguiente al de la publicación del decreto de Plan.

Fuente: Anteproyecto del PPACM

Para estos efectos, se entiende por Quema Forestal o Agrícola el uso del fuego para la quema de rastrojos, de ramas y materiales leñosos, de especies vegetales consideradas perjudiciales y, en general, cualquier quema de vegetación viva o muerta que se encuentre en los terrenos agrícolas, ganaderos o de aptitud preferentemente forestal. La implementación de este cronograma se realizará a través de las autorizaciones que realiza la Corporación Nacional Forestal o quien en sus funciones legales le suceda y será fiscalizada por la Superintendencia de Medio Ambiente.

Reducción probable: Para determinar la reducción de emisiones se asumirá que las quemas serán evitadas en cada año del periodo de evaluación de acuerdo a la normativa planteada. El número de hectáreas quemadas provienen del estudio “Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas de Concepción Metropolitano, VIII Región” UCT (2009) sección 4.6, las que fueron clasificadas por tipo de actividad para determinar si estaban sujetas a la normativa dado que el incendio fue forestal (fortuito) o asociado a desechos agrícolas y forestales quemados. También se asume que existe un crecimiento sin norma igual al crecimiento del PIB agropecuario silvícola de la región del Bío Bío (2,47%).

Tabla 39: Reducción de Emisiones por Prohibición de Quemadas

Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Límite Ha. según norma	40	30	30	20	20	10	10	5	5
Ha. Agrícolas y forestales de la zona	2127	2127	2127	2127	2127	2127	2127	2127	2127
Ha. afectadas norma	1426	1594	1594	1788	1788	1867	1867	2023	2023
Reducción ton MP10	593,3	679,5	696,3	800,3	820,1	877,5	899,2	998,3	1023,0
Costo \$MM / ton MP10	0,260	0,254	0,248	0,242	0,236	0,231	0,225	0,220	0,214

Fuente: Elaboración Propia en base a UCT (2009)

Fórmula de Cálculo:

$$\Delta E_{PQUEMAS} = \sum_i H_i^j \cdot fd_j \cdot fe_j \cdot C$$

Donde,

H_i^j = hectáreas de agricultor i por tipo de cultivo j

fd_j = factor de desecho por cultivo j

fe_j = factor de emisión por tipo de cultivo j

C = porcentaje de cumplimiento de normativa

7. ESTIMACIÓN DE LAS RELACIONES EMISIÓN CONCENTRACIÓN PARA LAS FUENTES EMISORAS DEL GRAN CONCEPCIÓN

Para efecto de caracterizar la zona bajo estudio se recopilará a través de la Seremi del Medio ambiente de la Región del Bío Bío antecedentes de las emisiones de MP10, calidad de aire y meteorología para las comunas del Gran Concepción declaradas como latente por Material Particulado Respirable, MP10. Esta información incluye:

- Inventario de emisiones con base 2008.
- Información meteorológica para el área de estudio con base en el año 2006, incluyendo datos de superficie.
- Campos tridimensionales de pronósticos meteorológicos para la región generados por el modelo de Mesoescala MM5 para el año 2006.
- Datos de calidad de aire para MP10 en las estaciones de monitoreo existentes para las comunas del Gran Concepción.

7.1 Modelación de las emisiones atmosféricas

La información meteorológica para el área de estudio considera los registros de vientos, temperatura, humedad relativa, presión y pluviometría para el año 2006, o bien 2009. Las estaciones meteorológicas ubicadas en Concepción, Talcahuano, y Coronel.

Tabla 40: Variables Meteorológicas Registradas en las Estaciones de Superficie ubicadas en el Concepción Metropolitano

Estación monitora	Propietario	altura (m)	Vel. Viento	Dir. viento	Temp.	Hum. Rel.	Pres. Atmos.	Precip.
Carriel Sur	Meteo Chile		X	X	X	X	X	X
Tigo	UdeC - UFZ		X	X	X	X	X	X
Coronel	Colbún		X	X	X			
Talcahuano	Huachipato		X	X	X	X		

Fuente: Elaboración propia

Los datos de calidad de aire para MP10, MP2,5, SO₂, NO₂, y CO a considerar en el estudio, consisten en los registros existentes de las estaciones de monitoreo ubicadas dentro de zona declarada latente del Gran Concepción se muestran en la Tabla siguiente.

Tabla 41: Estaciones de Monitoreo de calidad del aire en el Concepción Metropolitano

Estación	Coordenadas UTM		Contaminante monitoreado					
	X (km)	Y (km)	MP10	MP2,5	SO ₂	NO ₂	CO	O ₃
Kingston	673,840	5927,246	X	X	X	X	X	X
Coronel	664,618	5901,181	X		X			
Coronel N	667,773	5902,542	X			X	X	X
Coronel S	665,556	5899,980	X		X	X		X
Chiguayante	674,983	5912,937	X					
Chiguayante II	675,128	5912,733	X	X				
Bocatoma	667,670	5925,320	X					
ENAP	667,819	5926,622	X		X	X	X	
JUNJI	668,152	5927,795	X		X	X	X	
Masisa - MAPAL	665,684	5918,259	X		X			
Indura	668,347	5928,987		X	X			X
Inapesca	669,249	5932,589	X			X	X	X
Tomé	682,610	5947,361	X		X			

Fuente: Sistema Nacional de Información de Calidad de Aire

Para la meteorología de altura se utilizará una combinación de perfiles verticales de la atmósfera registrados dos veces al día (0z y 12z) en la estación de sondeo ubicada en Santo Domingo y las predicciones del modelo meteorológico MM5 con una resolución de 12 km.

7.2 Herramientas de Modelación

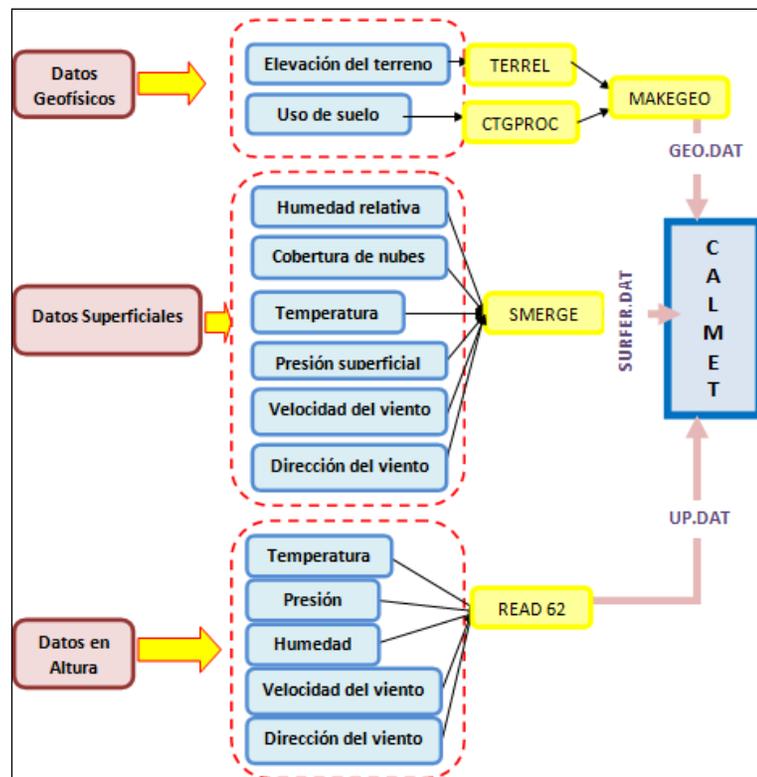
Para efecto de determinar la relación entre las emisiones de material particulado y la concentración ambiental observada en las estaciones de monitoreo de calidad del aire en las comunas del Gran Concepción de la región del Biobío se utilizará el sistema de modelación CALPUFF – CALMET. Cabe indicar, que el objetivo de la aplicación del modelo de dispersión es determinar la relación que existe entre los niveles de emisión de material particulado de la(s) fuente(s) emisora(s), o tipologías de fuentes (ej. combustión residencial de leña) y los niveles de concentración observados en receptores de interés (ej. estaciones de monitoreo de calidad de aire).

El uso de este modelo permitirá considerar la variable espacial y temporal del impacto de las emisiones de MP10 y la relación tasa de emisión – calidad ambiental con fines de evaluar las distintas medidas priorizadas en este AGIES según el potencial de reducción de la contaminación por MP10. Esta información es utilizada para complementar el análisis de los escenarios de mitigación de emisiones para fuentes puntuales o bien grupales permitiendo evaluar la reducción marginal de los niveles ambientales de MP10 al actuar sobre las fuentes emisoras de este contaminante.

7.3 Selección del modelo de dispersión

CALPUFF es un modelo de dispersión atmosférico reconocido por la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (US EPA), y es utilizado con fines regulatorios para evaluar el impacto de emisiones atmosféricas bajo condiciones de topografía y meteorología compleja. La implementación del modelo CALPUFF incluye el procesamiento de información meteorológica y topográfica con los siguientes modelos y programas:

CALMET: Consiste en el modelo meteorológico que procesa la información disponible en observaciones de superficie, altura y/o predicciones de modelos meteorológicos tridimensionales, CALMET genera campos tridimensionales de vientos y temperaturas, al igual que campos bidimensionales de estabilidad atmosférica y altura de capa de mezcla, utilizando la topografía y meteorología local. Para efectos de pre-procesamiento de la topografía y la meteorología de superficie y altura, se utilizan los procesadores TERREL, SMERGE y READ63 para procesar la información en un formato compatible con el modelo CALMET. El esquema metodológico de los requerimientos de datos del modelo CALMET se muestra en la figura siguiente.



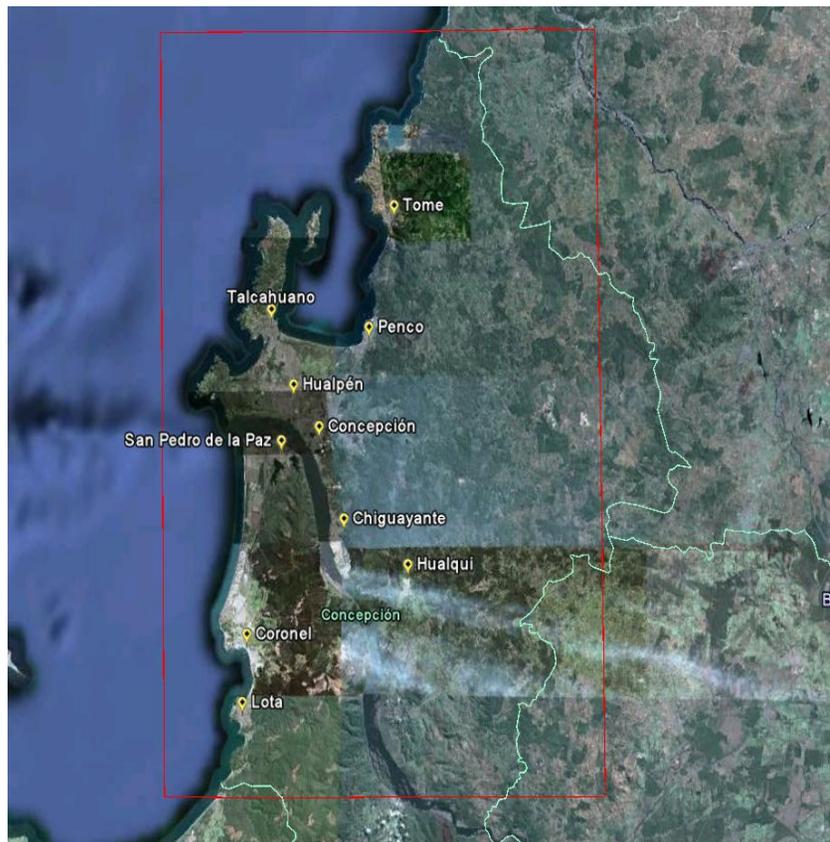
Fuente: Elaboración propia

Figura 18: Esquema de los datos requeridos por el modelo CALMET

CALPUFF: Consiste en un modelo Lagrangiano de dispersión de tipo puff, que permite simular el transporte advectivo y difusivo de una sustancia en la atmósfera, para predecir la concentración ambiental de esta sustancia (por ejemplo MP10). Este modelo utiliza la información meteorológica procesada por CALMET para interpretar las condiciones de transporte de una sustancia en la atmósfera.

Adicionalmente, el sistema de modelación CALPUFF utiliza las interfaces y programas PRTMET, y CALPOST para procesar y generar reportes de los campos generados por CALMET y CALPUFF.

Se utiliza el modelo CALPUFF para simular la concentración ambiental de MP10 en el dominio de la modelación. El modelo considera las características de las fuentes de emisión, incluyendo las emisiones registradas en inventario de emisiones para las fuentes industriales, móviles y residenciales. El resultado de la modelación entrega las concentraciones ambientales de MP10 para las comunas de interés incluidas en la zona declarada como latente del Gran Concepción.



Fuente: Elaboración propia en base a imagen Google Earth

Figura 19: Dominio seleccionado para la aplicación del modelo de dispersión CALPUFF incluido la zona declarada como saturada

7.4 Dominio de la modelación

El dominio seleccionado para la modelación cubre un área de 60 x 100 km con su origen (vértice inferior izquierdo) en las coordenadas UTM (18H) 644,976 km y 5877,099 km y la resolución de la grilla será de 0,5 km variable. Este dominio cubre en su totalidad las comunas delimitadas como latente del Gran Concepción.

Para efectos del procesamiento de la información meteorológica recopilada para la modelación con CALMET- CALPUFF se considerarán 9 niveles entre los 0 y 2400 m de altura.

Tabla 42: Niveles considerados para la modelación con CALMET

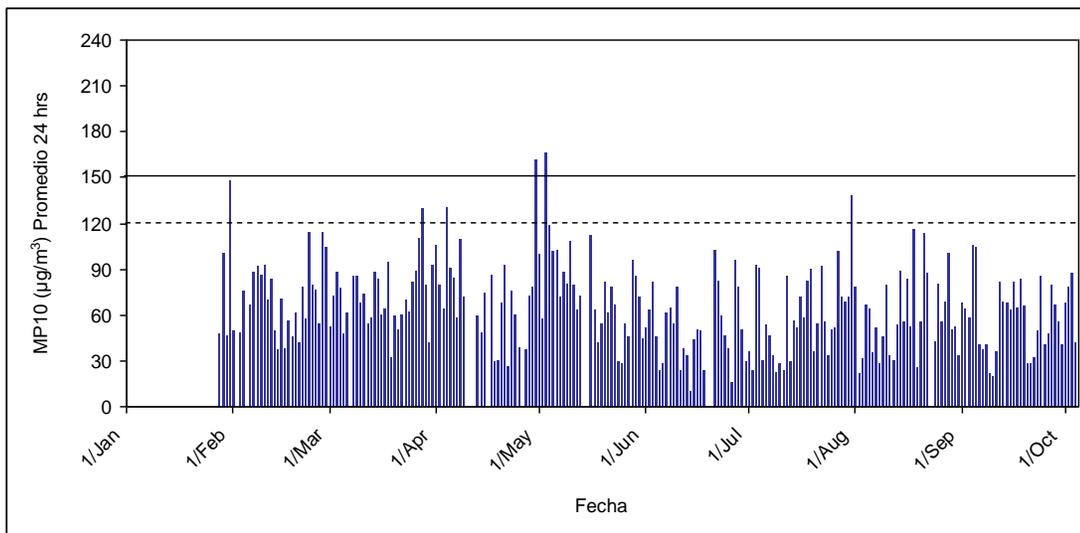
Nivel	Altura (m)
1	0
2	20
3	40
4	80
5	160
6	320
7	1000
8	1500
9	2400

Fuente: Elaboración propia

7.5 Periodo de simulación

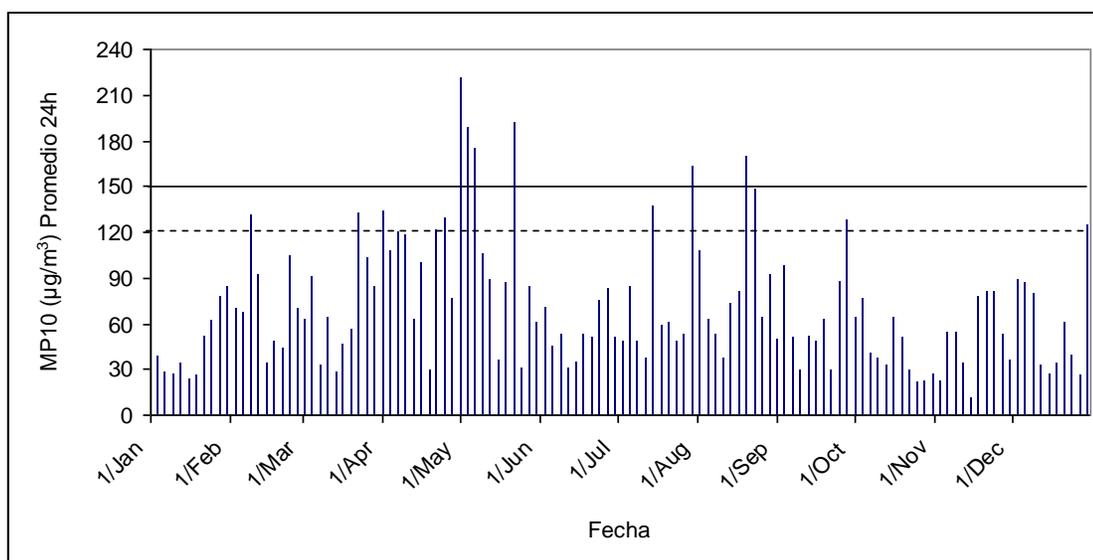
Con respecto al periodo de modelación y a la calibración del modelo, se consideran las emisiones del año base del 2008 utilizando la meteorología del año 2006. Se seleccionó el año meteorológico 2006 (enero a diciembre) dada la disponibilidad de información meteorológica del modelo MM5 generada para el año 2006. Esta situación no debería generar inconvenientes para evaluar escenarios de cambio en las emisiones, dado que las medidas a evaluar serán aplicadas en años futuros con condiciones meteorológicas representativas para la zona de estudio.

La variabilidad temporal de las concentraciones de MP10 y SO₂ registradas durante el año 2006 en las estaciones de monitoreo de las comunas de Talcahuano, Hualpén, San Pedro de la Paz y Coronel se presentan a continuación. En las figuras se incluyen las concentraciones diarias (promedio 24 hrs) de MP10 junto con los límites de saturación (150 µg/m³) y latencia (120 µg/m³). Como se puede apreciar en la figuras siguientes, las concentraciones diarias de MP10 aumentan entre los meses de mayo y agosto.



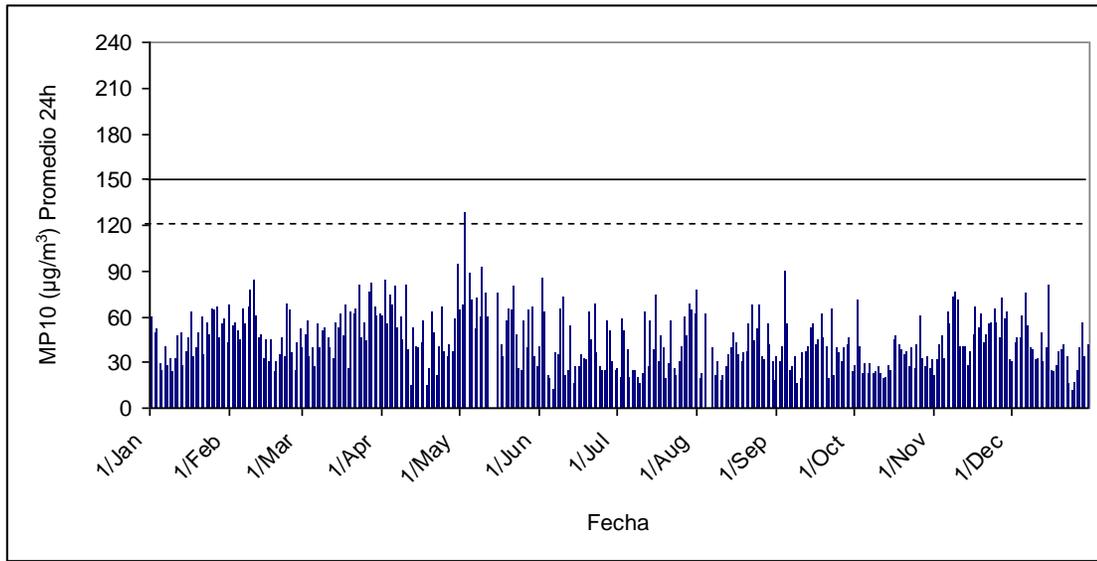
Fuente: Elaboración propia

Figura 20: Concentración de MP10 Estación Población Libertad año 2006



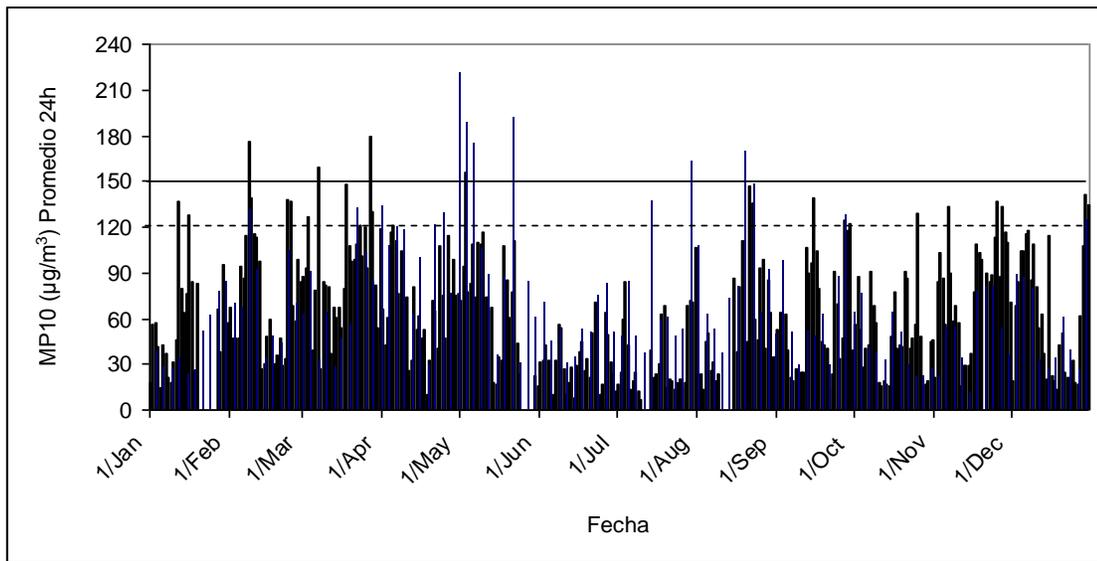
Fuente: Elaboración propia

Figura 21: Concentración de MP10 Estación Coronel Norte año 2006



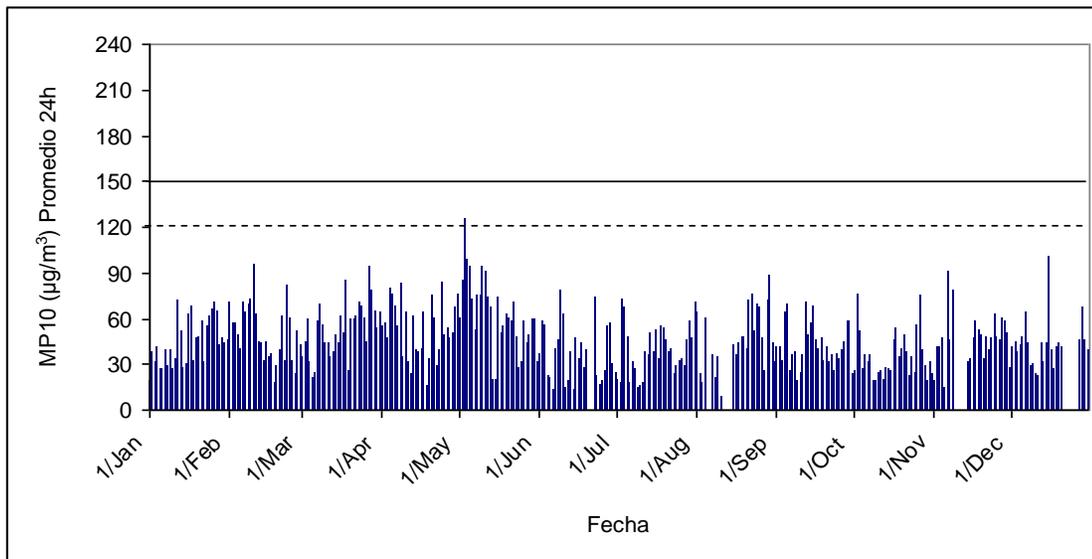
Fuente: Elaboración propia

Figura 22: Concentración de MP10 Estación JUNJI, Hualpén año 2006



Fuente: Elaboración propia

Figura 23: Concentración de MP10 Estación Mapal, San Pedro de la Paz 2006



Fuente: Elaboración propia

Figura 24: Concentración de MP10 Estación Indura, Talcahuano año 2006

Tabla 43: Concentración MP10 registradas en las estaciones de calidad del aire de la zona latente durante el periodo 2006

	Estación de monitoreo MP10					
	Unidad	Libertad	Coronel Norte	JUNJI	MAPAL	Indura
Promedio anual	µg/m ³	64,76	69,77	44,61	62,22	46,36
Percentil 98	µg/m ³	129,20	182,70	83,45	139,69	91,06
N	-	237	121	357	343	345

N: Número de días con mediciones

Fuente: Elaboración propia

Otro aspecto importante a destacar del análisis es la correlación existente entre los valores registrados en las estaciones de monitoreo de calidad del aire como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 44: Correlación entre las mediciones de MP10 registradas en las estaciones de calidad del aire de la zona latente para el año 2006

	Libertad	Coronel Norte	JUNJI	MAPAL	Indura
Libertad	1,00				
Coronel Norte	0,61	1,00			
JUNJI	0,69	0,64	1,00		
MAPAL	0,59	0,52	0,57	1,00	
Indura	0,67	0,60	0,84	0,64	1,00

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que existe una correlación importante ($r > 0,5$) entre las estaciones de monitoreo de MP10 para el año 2006, Esto implicaría que existe un patrón común que estaría afectando los niveles ambientales de MP10, entre ellos, la estacionalidad y temporalidad de las emisiones de MP10, y las condiciones meteorológicas,

7.6 Receptores puntuales

Para efectos de evaluar el impacto en las concentraciones ambientales de material particulado respirable se consideraran receptores puntuales localizados dentro del radio urbano de las comunas que se encuentran dentro de la zona de latencia. Se considerará como receptor puntual para la modelación las localizaciones de las estaciones de calidad de aire, con el fin de comparar los niveles medidos de material particulado con las predicciones del modelo.

Tabla 45: Receptores puntuales para la modelación con CALMET – CALPUFF

Estación	Coordenadas UTM (H18)	
	Coordenada X (km)	Coordenada Y (km)
Kingston	673,840	5927,246
Coronel	664,618	5901,181
Coronel N	667,773	5902,542
Coronel S	665,556	5899,980
Chiguayante	674,983	5912,937
Chiguayante II	675,128	5912,733
Bocatoma	667,670	5925,320
ENAP	667,819	5926,622
JUNJI	668,152	5927,795
Masisa	665,684	5918,259
Indura	668,347	5928,987
Inapesca	669,249	5932,589
Tomé	682,610	5947,361

¹Datum WGS84 y el huso 18

Fuente: Elaboración propia

7.7 Topografía y uso de suelo

La topografía considerada para la modelación con el sistema CALMET-CALPUFF considera información de elevación de la base de datos internacional de SRTM3 (Shuttle radar Topo Mission) con una resolución de 90 metros. El detalle del relieve del área de estudio se muestra en la figura 25 mientras que la representación tridimensional para la topografía del área de estudio se muestra en la figura 26.

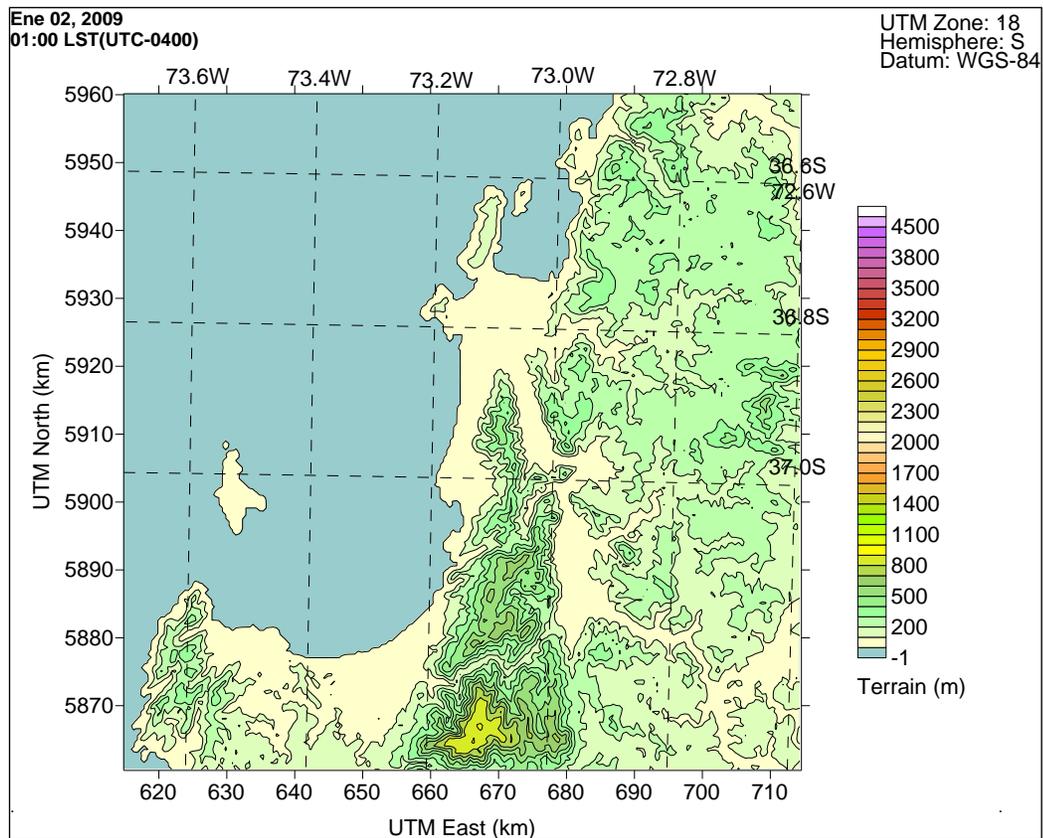
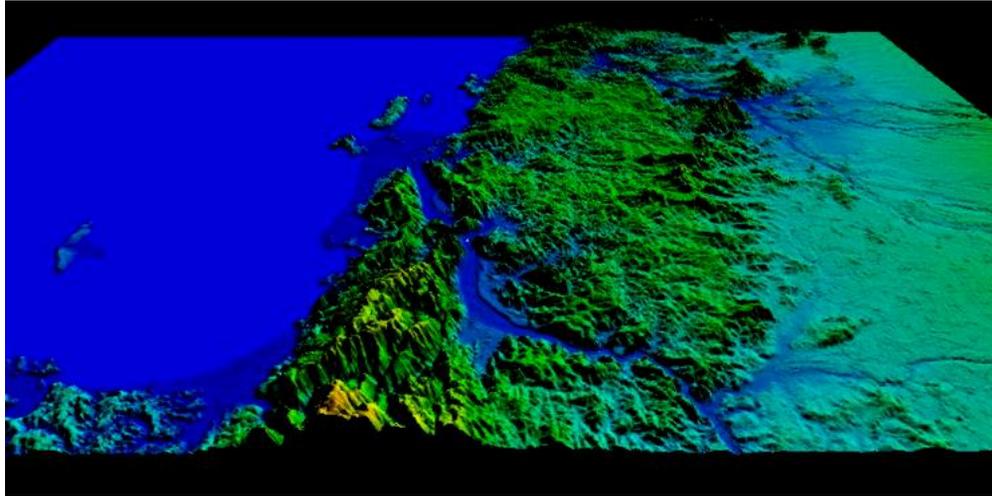


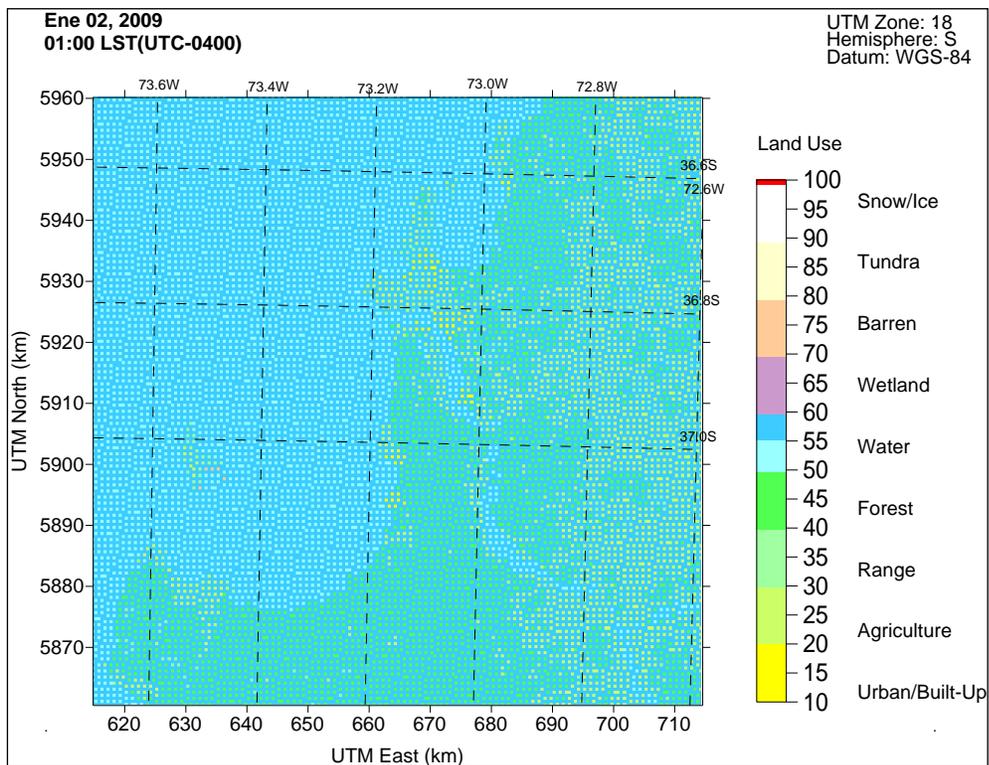
Figura 25: Detalle de la topografía para el área de estudio en el Concepción Metropolitano

Las características del uso de suelo a incluir en la modelación se muestran en Figura 27. Esta información fue obtenida de la base de datos internacional de la U.S. Geological Survey (USGS) y se puede apreciar que la mayor parte de la extensión comprendida en el Gran Concepción de la región se clasifica como suelo con cobertura de bosque.



Fuente: Elaboración propia

Figura 26: Topografía tridimensional para el área de estudio en el Concepción Metropolitano



Fuente: Elaboración propia en función de la base de datos de The U.S. Geological Survey (USGS)

Figura 27: Características del uso de suelo para el área de estudio en el Concepción Metropolitano

7.8 Consideraciones de la aplicación del modelo

Para la modelación de la concentración ambiental de MP10 en la zona de estudio, se consideró el inventario de emisiones atmosféricas con base de 2008, el cual fue complementado con los resultados de la “Evaluación de Medidas para Reducir la Contaminación Atmosférica en Complejos Industriales y Grandes Fuentes del Gran Concepción” elaborado por la UDT y PROTERM (2010).

a) Distribución espacial de las emisiones

La estimación del aporte de material particulado a las concentraciones ambientales observada en los sitios de interés se evaluará considerando que las fuentes que emiten MP10 y otros contaminantes que se encuentran distribuidas geográficamente de acuerdo a la ubicación declarada en el inventario. Para efectos de distribución de las emisiones de contaminantes del aire por combustión de leña residencial, se distribuirán las emisiones de MP y otros contaminantes en las distintas zonas pobladas.

b) Distribución temporal de las emisiones

Para efecto de la modelación se considera la variación estacional y horaria de las emisiones incluidas en el inventario de emisiones con base al 2005 y actualizado al año 2008.

c) Consideración del background

El valor background para MP10 fue calculado mediante el siguiente análisis. Se consideró el promedio anual de MP10 observados en la estación Bocatoma durante el año 2006 ($29,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Este valor fue corregido considerando el aporte de las fuentes industriales ($1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), fuentes móviles ($0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y combustión residencial de leña ($1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) estimados mediante la modelación para este receptor en particular. Mediante este procedimiento se estimó un background promedio anual de $26,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Otra consideración para estimar el background fue tomando los resultados del estudio “Optimización y análisis de las responsabilidades en las emisiones atmosféricas del área de Concepción metropolitana para efectos de la revisión del PPACM” desarrollado por el Centro Mario Molina (2008).

En el estudio se desarrolló una campaña de monitoreo de calidad del aire durante el mes de marzo-abril y agosto de 2008. El objetivo principal de estas campañas era medir la calidad del aire en un sitio representativo de background urbano o de exposición poblacional, no directamente impactado por actividad industrial.

Los resultados de la campaña de agosto registraron una concentración promedio de MP10 de $25,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en la campaña realizada en los meses de marzo-

abril se registraron niveles promedio de MP10 54,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En la campaña de agosto se incorporaron trazadores específicos como levoglucosano y otros compuestos para estimar el impacto de la quema de biomasa, traducida esencialmente en la quema de leña para calefacción. Mediante el análisis de estos trazadores se concluyó la existencia de un impacto de quema de biomasa en el sitio de la campaña. El cual podría estar aportando parte importante de carbón orgánico y hollín.

Si se asume que la mayor proporción (90%) de carbón orgánico (materia orgánica) y el hollín del MP10 corresponde a material particulado proveniente de combustión de biomasa se podría estimar que del promedio de MP10 de 25,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ observados en el sitio de monitoreo, 12,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ podrían ser aportados por la quema de biomasa, y el restante podría constituir el background del periodo (13,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Este valor es consistente con el valor estimado para el periodo considerando los registros de la estación de monitoreo de calidad del aire de Bocatoma y las correcciones efectuadas considerando los resultados del modelo de calidad del aire.

7.9 Distribución espacial de la emisión de contaminantes para las principales fuentes del Concepción Metropolitano

Fuentes Industriales

Las fuentes industriales consideradas para la modelación se muestran en la Tabla 46. Éstas corresponden a aquellas fuentes industriales que explican más del 85% de las emisiones de MP, MP10, MP2,5, SO_2 , NO_x , CO y COVs del inventario del emisiones año base 2008. La distribución espacial de las fuentes industriales incluidas en la modelación se muestra en la Figura 28.

Tabla 46: Fuentes Industriales consideradas en la modelación

ID	Empresa	Comuna	Identificación fuente	Emisión (ton/año)						
				MP	PM10	PM2,5	SO2	NOx	CO	COV
P1	Huachipato	Talcahuano	Bateria de Coque	690	299	115	5	1632	280	29
P2	Cementos Bio Bio	Talcahuano	Enfriador de Parrilla Horno FLS	576	50	3				
P3	ENESA	Coronel	Caldera N°3	447	403	340	0	0	38	2
P4	Huachipato	Talcahuano	Aceria Conox	317	317	297	5	38	41439	135
P5	Tulsa	Lota	Caldera Biochamn	271	244	206		13	1728	38
P6	Vidrios Lirquen	Penco	Horno Float	206	196	187	719	727	14	
P7	Huachipato	Talcahuano	Alto Horno 2	198	101	46				
P8	Cementos BioBio	Talcahuano	Enfriador de Parrilla Horno Miag	188	16	1				
P9	Enap	Hualpen	Caldera B-101	175	169	137	577			
P10	MasisaChiguayante	Chiguayante	Ciclon de Secado	139	0	0	0	64	53	0
P11	ENDESA	Coronel	Caldera Franco Tosi	138	133	76	5107	1785		
P12	Huachipato	Talcahuano	Alto Horno 1	134	69	31				
P13	Masisa Mapal	San Pedro de la Paz	Ciclones de Secado Línea N° 1	110	0	0				
P14	ENESA	Coronel	Caldera N°2	92	83	70			364	
P15	Maderas Iberia	Coronel	Caldera Aceite Térmico	71	64	54			90	
P16	Pesquera San Jose Coronel	Coronel	Caldera N°4 VISA SSSONC-92	69	59	20	56	16	1	0
P17	Huachipato	Talcahuano	Torre Apagado de Coque	54	52	41	2	37	1358	1688
P18	Huachipato	Talcahuano	Horno Planchones	47	47	38	347	189	3	1
P19	Tavex	Chiguayante	Caldera	46	17	6			9	
P20	Huachipato	Talcahuano	Caldera N° 5	43	36	12	121	66	5	
P21	Huachipato	Talcahuano	Caldera N° 6	43	36	12	121	66	5	
P22	MasisaMapal	San Pedro de la Paz	Ciclones de Secado Línea N° 2	38	0	0				
P23	Crosville	Tome	Caldera Briones	36	31	10	96	28	1	
P24	Huachipato	Talcahuano	Horno de Palanquillas/Laminador Barras Rectas	36	31	10	132	29	0	

Continuación Tabla 46

	Empresa	Comuna	Identificación fuente	Emisión (ton/año)						
				MP	PM10	PM2,5	SO2	NOx	CO	COV
P25	Forestal Tromen S.A.	Coronel	Caldera Weiss	32	29	24	0	7	44	0
P26	Pesquera Camanchaca	Coronel	Caldera N° 3 Visa SSSCONC-053	31	26	9	75	29	1	
P27	Petropower	Hualpen	Caldera Poder	30	0	0	392		37	
P28	Fundación Un Techo Para Cristo	Coronel	Caldera VAPOR INDUSTRIAL S.A.	28	25	21	0	7	60	1
P29	Pesquera Alimar	Talcahuano	Caldera N° 5 BABCOOK AND WILCOX LTDA	28	24	8	80	23	0	0
P30	Pesquera SPK Coronel Norte	Coronel	Caldera N° 1 ANDER HALVORSEN SSSCONC-34	27	23	8	45	16	0	
P31	Jabones Maritano	Talcahuano	Caldera N°1 y N°2	27	10	4	249	10	107	
P32	Forestal La Esperanza	Coronel	Caldera industrial de vapor del tipo mixta SSSCONC-124 7.300 KVH	27	0	0	2	17	46	1
P33	Rancowood	Coronel	Caldera Biochamn	25	23	19	0	6	299	
P34	CMPC Maderas Coronel	Coronel	Caldera Bremer	25	22	19	0	11	69	
P35	Pesquera SPK Coronel Sur	Coronel	Caldera N° 2 Vapor Industrial S.A. SSSCONC-67	25	21	7	52	20	0	
P36	Huachipato	Talcahuano	Caldera N° 1	24	21	7	69	39	1050	0
P37	Huachipato	Talcahuano	Caldera N° 2	24	21	7	69	39	1050	0
P38	Forestal Diezco	Coronel	Caldera	24	22	18		7	228	3
P39	Pesquera Landes	Talcahuano	Caldera N° 5 CLEAVER - BROOKS 600x1500	24	20	7	75	21	0	
P43	Pesquera San Jose Coronel	Coronel	Caldera N°3 H. Briones SSSCONC-52	20	17	6	64	18	0	0
P45	Masisa Chiguayante	Chiguayante	Caldera Danks	18	16	14	0	36	2	0
P46	Agroinversiones S.A.	Coronel	Caldera Visa	18	7	2	325	22	18	0
P48	NorskeSkog	San Pedro de la Paz	Caldera Distral	16	14	12		114	369	
P49	Hospital Higueras	Talcahuano	Caldera escocesa, igneotubularcilindrica horizontal, tres pasos con ante - hogar	16	14	12	0	4	33	1
P50	Productos Forestales y Minería Ltda.	Coronel	Caldera FUNDICION LIBERTAD INEMI	15	14	12	0	4	33	1
P52	Hospital Higueras	Talcahuano	mixta escocesa, igneotubularcilindrica horizontal, tres pasos con antehogar	14	13	11	0	3	31	0
P53	Pesquera Camanchaca	Coronel	Caldera N° 4 H. Briones SSSCONC-054	13	11	4	127	37	1	
P56	Pesquera Camanchaca	Coronel	Caldera N° 5 Conmetal SSSCONC-055	12	11	4	149	45	0	
P59	Masisa Mapal	San Pedro de la Paz	Chimenea Gases Calientes Linea MDF	11	10	8	1	27	7	4

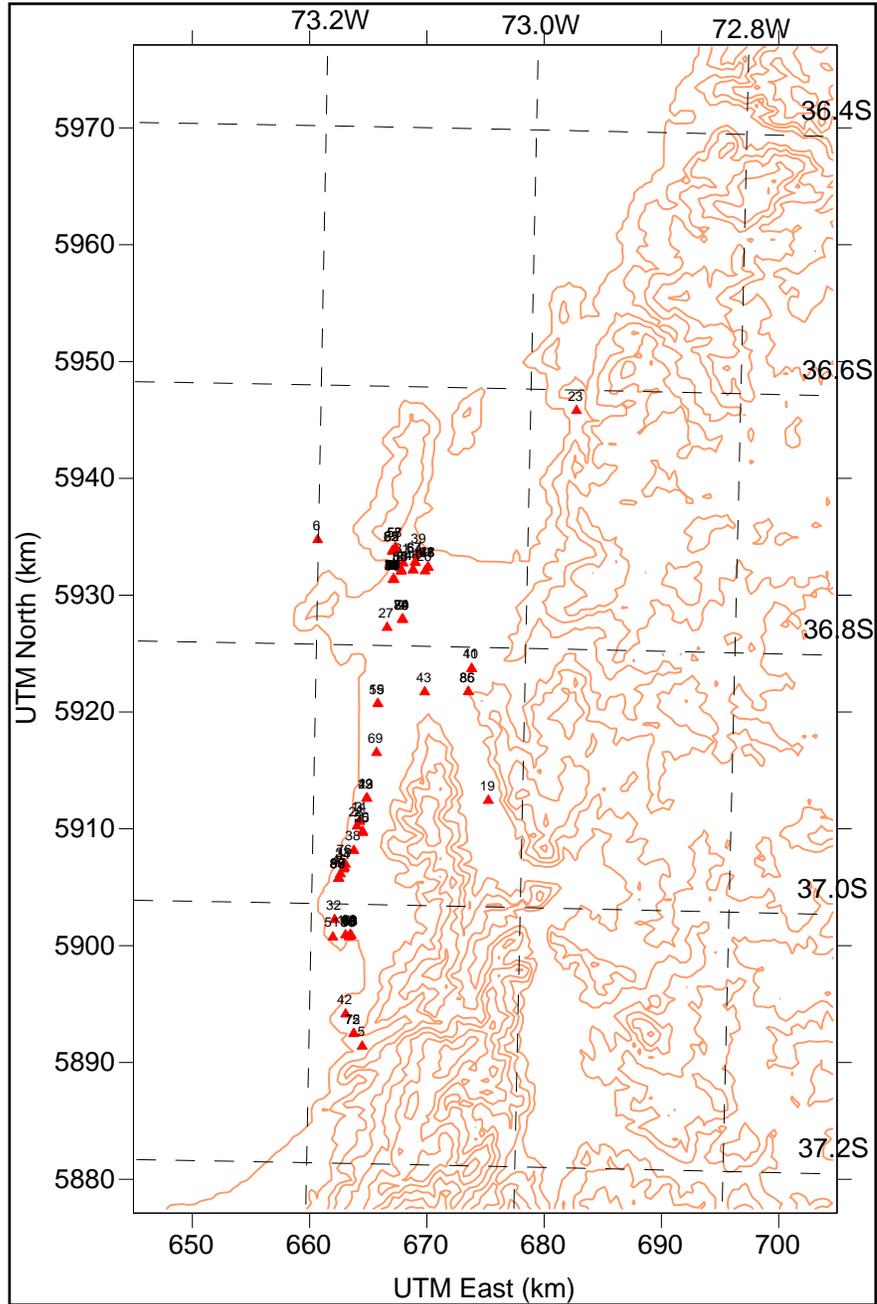
Continuación Tabla 46

	Empresa	Comuna	Identificación fuente	Emisión (ton/año)						
				MP	PM10	PM2,5	SO2	NOx	CO	COV
P61	Procesos Forestales Ltda.	Coronel	Caldera OOR SOMBOWER	11	10	8	0	3	23	0
P63	Schwager	Coronel	Caldera SSSCONC 124 IGNEOTUBULAR, 3 PASOS	9	8	7	0	2	20	0
P64	Huachipato	Talcahuano	Estufas Alto Horno 1	9	9	8	25	6	1509	553
P67	Huachipato	Talcahuano	Estufas Alto Horno 2	8	8	5	18	28	266	1041
P70	Cementos Bio Bio	Talcahuano	Molino Atox	7	6	2	1	38	5	
P72	Cementos Bio Bio	Talcahuano	Horno FLS	7	6	4	1	561	126	
P74	Huachipato	Talcahuano	Horno de Palanquillas/Laminador Barras Talcahuano	6	5	3	1	144	0	
P75	Pesquera San Jose Talcahuano	Talcahuano	Caldera Industrial Acuatubular CLEAVER BROOCKS	6	5	2	114	33	3	0
P76	Pesquera San Jose Talcahuano	Talcahuano	Caldera Industrial Igneotubular de Tres Pasos VISA	6	5	2	114	33	3	0
P78	Maderas Iberia	Coronel	Caldera San Juan	6	5	4			51	
P81	Pesquera Bahia Coronel	Coronel	VAPOR INDUSTRIAL	6	2	1	105	7	6	0
P82	Pesquera Bahia Coronel	Coronel	VAPOR INDUSTRIAL	6	2	1	105	7	6	0
P83	Pesquera Bahia Coronel	Coronel	VAPOR INDUSTRIAL	6	2	1	105	7	6	0
P84	Pesquera Bahia Coronel	Coronel	VAPOR INDUSTRIAL	6	2	1	105	7	6	0
P85	Pesquera Bio Bio	Talcahuano	Generador de Vapor , para la produccion de Harina y Aceite	5	5	2	102	29	3	0
P86	Pesquera Alimar	Talcahuano	Caldera Nº 4 NEBRASKA BOILER COMPANY S.A	5	5	2	100	29	3	0
P87	Huachipato	Talcahuano	Incinerador de subproductos	5	5	4	1	43	0	222
P90	Pesquera El Golfo	Talcahuano	Caldera VISA	5	4	1	88	25	2	0
P91	Pesquera San Jose Coronel	Coronel	Caldera Nº1 BABCOCK WILCOX FM-2833	4	4	1	84	24	2	0
P93	Agroindustrial Lomas Coloradas	San Pedro de la Paz	Caldera SOCOMETAL	4	2	1	4	5	81	0
P94	Huachipato	Talcahuano	Horno de Cal Nº 1	4	2	1	0	5	1298	
P106	Huachipato	Talcahuano	Horno de Cal Nº 2	3	2	1	0	14	349	
P111	Lota Protein	Coronel	Caldera Nº2 ERIE IRONS WORKS	3	2	1	94	16	1	0
P114	Huachipato	Talcahuano	Estación de Ajuste Metalurgico Nº 1	3	0	0	2	2	40	0
P117	Enap	Hualpen	B-1002		0	0	11			
P128	Lota Protein	Lota	SECADOR DE AIRE CALIENTE.	2	2	1	74	12	1	0
P133	Generación y Energía Chile Ltda (PSEG)	Coronel	TURBINA A GAS NATURAL Y PETROLEO 45.7 MW.	2	2	2	154	37	8	0
P134	Huachipato	Talcahuano	Bleeder Central	2	2	2	0	1	100271	0

Continuación Tabla 46

	Empresa	Comuna	Identificación fuente	Emisión (ton/año)						
				MP	PM10	PM2,5	SO2	NOx	CO	COV
P140	Pesquera Camanchaca	Tome	CALDERA INDUSTRIAL 078	2	1	0	136	9	1	0
P150	Enap	Hualpen	H-1401 Coker	2	0	0	8	83	1	0
P153	Enap	Hualpen	Antorcha Hidrocracking L-1320	2			108			
P155	Pesquera Camanchaca	Tome	CALDERA INDUSTRIAL 091	1	1	0	113	8	1	0
P162	Comercial Continental Chile Ltda	Talcahuano	CALDERA TIPO ESCOCESA	1	1	0	152	123	26	1
P164	Cementos Bio Bio	Talcahuano	HornoMiag/chim. Sec Allis	1	1	1	20	3	9794	
P202	Enap	Hualpen	B-850 CHBB	1	0	0	3	48	4	0
P284	Hotel Diego de Almagro	Concepción	Caldera de calefacción para agua sanitaria	0	0	0	108	0	0	0
P293	Hotel Diego de Almagro	Concepción	Caldera de calefacción para agua sanitaria	0	0	0	108	0	0	0
P415	Cemento Polpaico S.A.	Coronel	Almacenamiento de Puzolana Pudahuel	0	39	0	0	0	0	0
P417	Cemento Polpaico S.A.	Coronel	Almacenamiento de clinker	0	98	0	0	0	0	0
P422	Cemento Polpaico S.A.	Coronel	Almacenamiento de cemento en silo 1	0	39	0	0	0	0	0
P423	Cemento Polpaico S.A.	Coronel	Almacenamiento de cemento en silo 2	0	34	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia en base a los datos del Inventario de emisiones año 2008



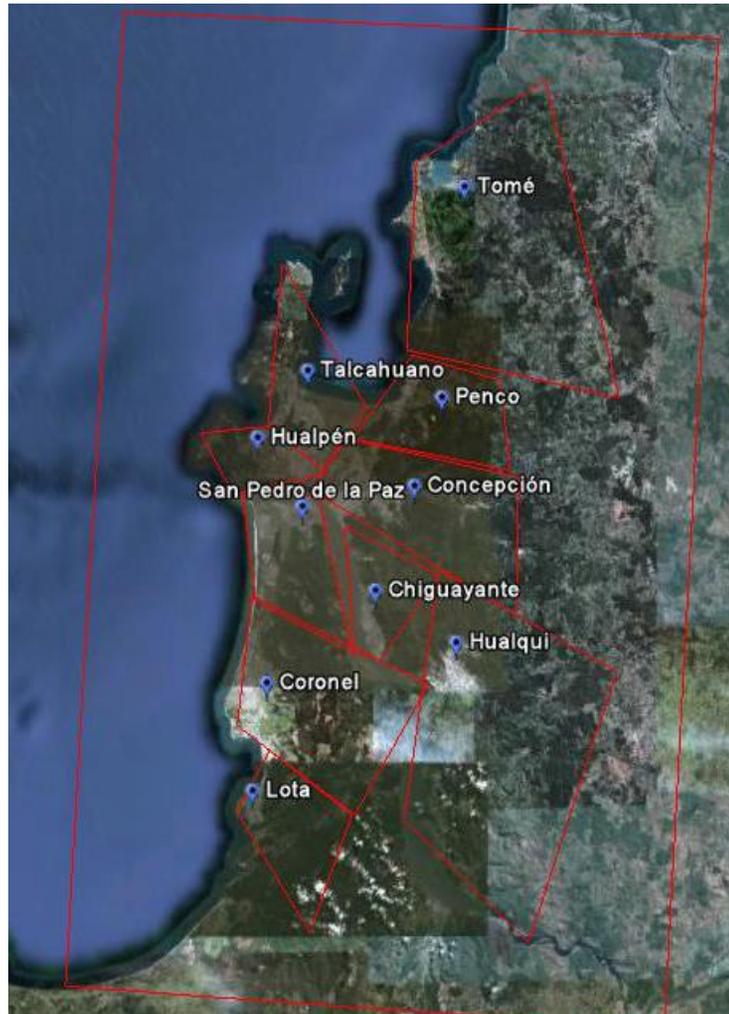
Fuente: Elaboración propia en base a los datos del Inventario de emisiones año 2008

Figura 28. Distribución espacial de las fuentes industriales en el área de estudio.

Como se puede apreciar en la figura anterior, la mayoría de las fuentes industriales se concentran en las comunas de Talcahuano y Coronel.

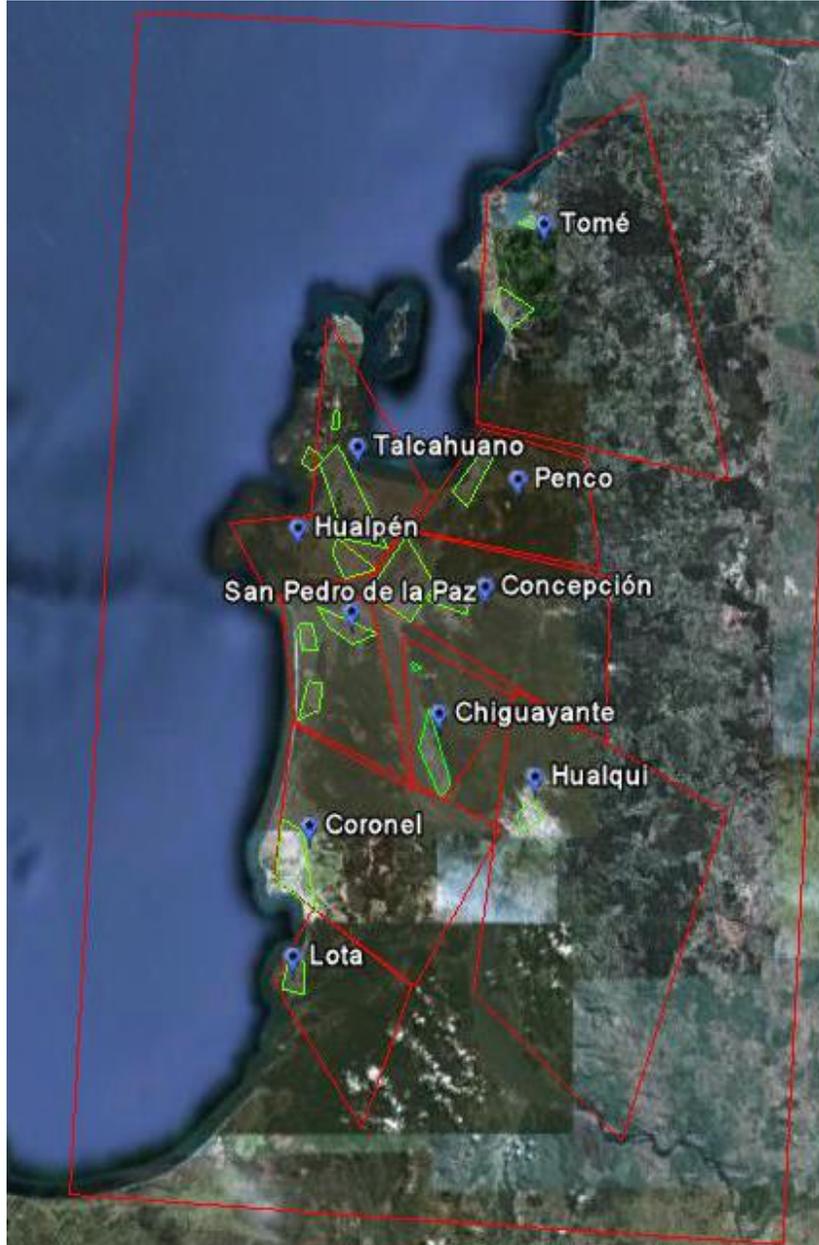
Combustión Residencial de Leña

La distribución espacial de las fuentes de combustión residencial de leña para las zonas urbanas del Gran Concepción se muestra en las figuras siguientes. Los polígonos de color rojo representan la distribución de la comuna en el modelo mientras que los polígonos de color verde corresponden a las zonas urbanas.



Fuente: Elaboración propia con imagen de Google Earth

Figura 29: Distribución de las fuentes de combustión de leña residencial en las zonas rurales de las comunas del Concepción Metropolitano



Fuente: Elaboración propia con imagen de Google Earth

Figura 30: Distribución de las fuentes de combustión residencial de leña en las zonas urbanas (verde) del Concepción Metropolitano

La distribución de las emisiones de MP10 dentro de la zona rural y urbana por concepto de utilización de leña en los artefactos de calefacción residencial se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 47: Emisiones distribuidas por combustión residencial de leña en las zonas urbanas del Concepción Metropolitano

Urbano	Ton/m ² /año						
	MP10	MP2.5	CO	NOx	COV	SO ₂	NH ₃
Tome	1,58E-04	1,54E-04	1,72E-03	1,12E-05	1,05E-03	1,68E-06	9,19E-06
Penco	1,32E-04	1,28E-04	1,43E-03	9,34E-06	8,76E-04	1,39E-06	7,64E-06
Talcahuano	2,98E-05	2,90E-05	3,24E-04	2,11E-06	1,98E-04	3,15E-07	1,73E-06
Hualpén	2,19E-05	2,13E-05	2,38E-04	1,55E-06	1,46E-04	2,32E-07	1,27E-06
San Pedro de la Paz	4,68E-05	4,55E-05	5,09E-04	3,32E-06	3,11E-04	4,95E-07	2,71E-06
Concepción	4,61E-05	4,48E-05	5,01E-04	3,27E-06	3,07E-04	4,88E-07	2,67E-06
Chiguayante	1,05E-04	1,02E-04	1,14E-03	7,46E-06	7,00E-04	1,11E-06	6,10E-06
Coronel	5,08E-05	4,94E-05	5,52E-04	3,60E-06	3,38E-04	5,38E-07	2,95E-06
Lota	8,46E-05	8,22E-05	9,19E-04	6,00E-06	5,62E-04	8,95E-07	4,90E-06
Hualqui	6,18E-05	6,01E-05	6,72E-04	4,38E-06	4,11E-04	6,54E-07	3,58E-06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 48: Emisiones distribuidas por combustión residencial de leña en las zonas rurales del Concepción Metropolitano

Rural	Ton/m ² /año						
	MP10	MP2.5	CO	NOx	COV	SO ₂	NH ₃
Tome	2,63E-06	2,56E-06	2,86E-05	1,87E-07	1,75E-05	2,78E-08	1,53E-07
Penco	7,68E-06	7,46E-06	8,34E-05	5,44E-07	5,10E-05	8,12E-08	4,45E-07
Talcahuano	8,15E-06	7,92E-06	8,86E-05	5,78E-07	5,42E-05	8,62E-08	4,72E-07
Hualpén	2,87E-06	2,79E-06	3,12E-05	2,04E-07	1,91E-05	3,04E-08	1,67E-07
San Pedro de la Paz	1,26E-05	1,22E-05	1,37E-04	8,91E-07	8,35E-05	1,33E-07	7,29E-07
Concepción	6,20E-06	6,02E-06	6,73E-05	4,39E-07	4,12E-05	6,55E-08	3,59E-07
Chiguayante	1,45E-05	1,40E-05	1,57E-04	1,02E-06	9,61E-05	1,53E-07	8,38E-07
Coronel	3,32E-06	3,23E-06	3,61E-05	2,35E-07	2,21E-05	3,51E-08	1,93E-07
Lota	3,66E-06	3,56E-06	3,98E-05	2,60E-07	2,43E-05	3,87E-08	2,12E-07
Hualqui	4,81E-07	4,67E-07	5,23E-06	3,41E-08	3,20E-06	5,09E-09	2,79E-08

Fuente: Elaboración Propia

Fuentes Móviles Urbanas y Rural

La distribución espacial de las fuentes móviles en el Concepción Metropolitano utiliza los mismos polígonos verdes para las zonas urbanas presentadas previamente. Las zonas urbanas tienen mayor densidad poblacional, y por lo tanto, se asume que el flujo vehicular se distribuye en esta zona.

Tabla 49: Emisiones distribuidas por de las fuentes móviles en las zonas urbanas del Concepción Metropolitano

Comuna	Ton/m ² /año					
	MP10	SO ₂	NO _x	CO	COV	NH ₃
Tomé	3,73E-06	3,03E-07	9,95E-05	4,50E-04	5,71E-05	1,36E-06
Penco	4,06E-06	3,32E-06	1,10E-04	5,00E-04	6,39E-05	1,53E-06
Talcahuano	3,58E-06	2,90E-06	9,47E-05	4,26E-04	5,39E-05	1,28E-06
Hualpén	6,99E-06	5,63E-06	1,83E-04	8,18E-04	1,03E-04	2,42E-06
San Pedro de la Paz	2,03E-06	1,67E-06	5,54E-05	2,53E-04	3,25E-05	7,79E-07
Concepción	4,78E-06	3,88E-06	1,27E-04	5,75E-04	7,28E-05	1,73E-07
Chiguayante	6,91E-06	5,80E-06	1,96E-04	9,15E-04	1,19E-04	2,93E-06
Coronel	3,70E-06	3,03E-06	9,99E-05	4,54E-04	5,80E-05	1,39E-06
Lota	5,31E-06	4,29E-06	1,39E-04	6,25E-04	7,86E-05	1,85E-06
Hualqui	3,03E-06	2,49E-06	8,26E-05	3,78E-04	4,84E-05	1,16E-06

Fuente: Elaboración Propia

7.10 Resultados de la Simulación con CALMET-CALPUFF

Los resultados del aporte de las fuentes Industriales, combustión residencial de leña, fuentes móviles en ruta y quemas agrícolas y forestales a los receptores seleccionados en las comunas latentes del Gran Concepción se muestran en las tablas siguientes. Cada tabla incluye el percentil 98 de los promedios de 24 horas y el promedio anual de MP10 para todo el año meteorológico 2006 (enero a diciembre), considerando el inventario base del año 2008.

Como se puede apreciar el mayor aporte de MP10 correspondería a la quema residencial de leña, seguido por el aporte de las industrias, fuentes móviles y quemas agrícolas y forestales.

Tabla 50: Resultados de la simulación del aporte de MP10 de las fuentes puntuales industriales a los receptores ubicados en las comunas latentes del Concepción Metropolitano

Aporte a la concentración ambiental de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
Estación	Comuna	Percentil 98	Promedio anual
Kingston	Concepción	6,3	1,7
Coronel	Coronel	11,3	2,9
Coronel N	Coronel	14,2	3,4
Coronel S	Coronel	7,3	1,8
Chiguayante	Chiguayante	3,7	1,2
Chiguayante II	Chiguayante	3,6	1,1
Bocatoma	Hualpén	9,2	2,3
ENAP	Hualpén	11,5	2,4
JUNJI	Hualpén	13,5	2,8
Masisa	San Pedro de la Paz	8,6	2,8
Indura	Talcahuano	12,6	2,8
Inpesca	Talcahuano	17,7	3,7
Tomé	Tomé	5,1	1,6
Libertad	Talcahuano	47,6	13,7
San Vicente (consultorio)	Talcahuano	23,3	6,5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51: Resultados de la simulación del aporte de MP10 del tránsito de vehículos en vías pavimentadas y no pavimentadas a los receptores ubicados en las comunas latentes del Concepción Metropolitano

Aporte a la concentración ambiental de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
Estación	Comuna	Percentil 98	Promedio anual
Kingston	Concepción	12,7	4,8
Coronel	Coronel	6,7	3,1
Coronel N	Coronel	3,1	1,0
Coronel S	Coronel	1,3	0,4
Chiguayante	Chiguayante	2,4	0,9
Chiguayante II	Chiguayante	3,3	1,3
Bocatoma	Hualpén	2,3	0,5
ENAP	Hualpén	4,0	1,2
JUNJI	Hualpén	4,7	1,5
Masisa	San Pedro de la Paz	0,9	0,2
Indura	Talcahuano	3,2	1,0
Inpesca	Talcahuano	3,0	1,0
Tomé	Tomé	4,7	1,6
Libertad	Talcahuano	3,0	0,9
San Vicente (consultorio)	Talcahuano	2,4	0,7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52: Resultados de la simulación del aporte de MP10 por combustión residencial de leña a los receptores ubicados a los receptores ubicados en las comunas latentes del Concepción Metropolitano

Estación	Comuna	Aporte a la concentración ambiental de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
		Percentil 98	Promedio anual
Kingston	Concepción	91,8	23,6
Coronel	Coronel	100,0	29,4
Coronel N	Coronel	101,8	14,1
Coronel S	Coronel	38,1	4,6
Chiguayante	Chiguayante	84,9	10,1
Chiguayante II	Chiguayante	112,1	13,4
Bocatoma	Hualpén	36,1	4,7
ENAP	Hualpén	43,9	6,1
JUNJI	Hualpén	53,3	7,4
Masisa	San Pedro de la Paz	22,3	3,3
Indura	Talcahuano	42,3	7,2
Inpesca	Talcahuano	70,4	9,8
Tomé	Tomé	105,0	30,8
Libertad	Talcahuano	68,0	9,4
San Vicente (consultorio)	Talcahuano	61,6	7,4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53: Resultados de la simulación del aporte de MP10 por quemas agrícolas y forestales a los receptores ubicados en las comunas latentes del Gran Concepción.

Estación	Comuna	Aporte a la concentración ambiental de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
		Percentil 98	Promedio anual
Kingston	Concepción	0,2	0,04
Coronel	Coronel	0,5	0,10
Coronel N	Coronel	0,3	0,05
Coronel S	Coronel	0,5	0,08
Chiguayante	Chiguayante	0,3	0,07
Chiguayante II	Chiguayante	0,4	0,09
Bocatoma	Hualpén	0,1	0,02
ENAP	Hualpén	0,1	0,02
JUNJI	Hualpén	0,1	0,02
Masisa	San Pedro de la Paz	0,1	0,02
Indura	Talcahuano	0,1	0,02
Inpesca	Talcahuano	0,1	0,02
Tomé	Tomé	0,7	0,18
Libertad	Talcahuano	0,1	0,02
San Vicente (consultorio)	Talcahuano	0,1	0,02

Fuente: Elaboración propia

7.11 Factores de Emisión Concentración (FEC) para MP10

Para conocer la relación que existe entre las emisiones de MP10 y la concentración ambiental que ésta genera se utiliza la relación factor de emisión concentración (FEC). Esta relación permite estimar cambios en la concentración ambiental en función de cambios en las emisiones de MP10 estableciendo una relación lineal entre las emisiones de un contaminante y el aporte a la concentración ambiental mediante la siguiente aproximación:

$$FEC_i^t = C_i^t / E^t$$

Donde,

FEC_i^t = Factor emisión – concentración en el receptor de interés i en al año t

C_i^t = concentración ambiental de MP10 en el receptor de interés i para el año t

E^t = Emisión de MP10 para el año t

Específicamente, la relación entre la tasa de emisión y la concentración promedio anual de MP10 para las fuentes Industriales, combustión residencial de leña, fuentes móviles en ruta, y quemas agrícolas y forestales en los receptores seleccionados para las comunas latentes del Concepción Metropolitano se muestra en las tablas siguientes. Los valores corresponden a la relación que existe entre los factores de carga asociados a cada de MP10 de cada fuente y el impacto que genera en la calidad del aire de las comunas estudiadas. Esta relación fue determinada considerando el inventario base del año 2008 y el año meteorológico 2006 (enero a diciembre).

Tabla 54: Relación emisión – concentración ambiental de MP10 por las industrias en el Concepción Metropolitano

Estación	Comuna	Tasa de emisión ton/año MP10	Aporte a la concentración de MP10 promedio anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Factor emisión concentración ¹ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ / Ton/año
Kingston	Concepción	0	1,7	-
Coronel	Coronel	1198,3	2,9	0,0024
Coronel N	Coronel	1198,3	3,4	0,0028
Coronel S	Coronel	1198,3	1,8	0,0015
Chiguayante	Chiguayante	203,5	1,2	0,0058
Chiguayante II	Chiguayante	203,5	1,1	0,0052
Bocatoma	Hualpén	209,1	2,3	0,0109
ENAP	Hualpén	209,1	2,4	0,0116
JUNJI	Hualpén	209,1	2,8	0,0134
Masisa	San Pedro de la Paz	179,6	2,8	0,0154
Indura	Talcahuano	2566,9	2,8	0,0011
Inpesca	Talcahuano	2566,9	3,7	0,0014
Tomé	Tomé	39,4	1,6	0,0410
Libertad	Talcahuano	2566,9	13,7	0,0053
San Vicente (consultorio)	Talcahuano	2566,9	6,5	0,0025

¹ Considera la suma de las emisiones zona urbana y rural

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 55: Relación emisión – concentración ambiental de MP10 por quema residencial de leña en el Concepción Metropolitano

Estación	Comuna	Tasa de emisión ton/año MP10	Aporte a la concentración de MP10 promedio anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Factor emisión concentración ¹ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ / Ton/año
Kingston	Concepción	1151,7	23,6	0,0205
Coronel	Coronel	797,8	29,4	0,0369
Coronel N	Coronel	797,8	14,1	0,0176
Coronel S	Coronel	797,8	4,6	0,0057
Chiguayante	Chiguayante	858,3	10,1	0,0117
Chiguayante II	Chiguayante	858,3	13,4	0,0156
Bocatoma	Hualpén	121,4	4,7	0,0388
ENAP	Hualpén	121,4	6,1	0,0501
JUNJI	Hualpén	121,4	7,4	0,0613
Masisa	San Pedro de la Paz	1022,7	3,3	0,0032
Indura	Talcahuano	669,9	7,2	0,0107
Inpesca	Talcahuano	669,9	9,8	0,0147
Tomé	Tomé	1463,4	30,8	0,0210
Libertad	Talcahuano	669,9	9,4	0,0141
San Vicente (consultorio)	Talcahuano	669,9	7,4	0,0111

¹ Considera la suma de las emisiones zona urbana y rural

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 56: Relación emisión – concentración ambiental de MP10 por fuentes móviles en ruta en el Concepción Metropolitano

Estación	Comuna	Tasa de emisión ton/año MP10	Aporte a la concentración de MP10 promedio anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Factor emisión concentración ¹ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ / Ton/año
Kingston	Concepción	104,4	4,8	0,0456
Coronel	Coronel	49,9	3,1	0,0615
Coronel N	Coronel	49,9	1,0	0,0204
Coronel S	Coronel	49,9	0,4	0,0071
Chiguayante	Chiguayante	56,3	0,9	0,0163
Chiguayante II	Chiguayante	56,3	1,3	0,0229
Bocatoma	Hualpén	38,8	0,5	0,0129
ENAP	Hualpén	38,8	1,2	0,0301
JUNJI	Hualpén	38,8	1,5	0,0381
Masisa	San Pedro de la Paz	44,4	0,2	0,0045
Indura	Talcahuano	78,1	1,0	0,0134
Inpesca	Talcahuano	78,1	1,0	0,0123
Tomé	Tomé	25,6	1,6	0,0636
Libertad	Talcahuano	78,1	0,9	0,0114
San Vicente (consultorio)	Talcahuano	78,1	0,7	0,0093

¹ Considera la suma de las emisiones zona urbana y rural

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 57: Relación emisión – concentración ambiental de MP10 por quemas agrícolas y forestales en el Concepción Metropolitano

Estación	Comuna	Tasa de emisión ton/año MP10	Aporte a la concentración de MP10 promedio anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Factor emisión concentración ¹ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ / Ton/año
Kingston	Concepción	5,4	0,04	0,0067
Coronel	Coronel	13,8	0,10	0,0071
Coronel N	Coronel	13,8	0,05	0,0034
Coronel S	Coronel	13,8	0,08	0,0060
Chiguayante	Chiguayante	28,0	0,07	0,0025
Chiguayante II	Chiguayante	28,0	0,09	0,0033
Bocatoma	Hualpén	0,0	0,02	-
ENAP	Hualpén	0,0	0,02	-
JUNJI	Hualpén	0,0	0,02	-
Masisa	San Pedro de la Paz	2,4	0,02	0,0099
Indura	Talcahuano	2,3	0,02	0,0082
Inpesca	Talcahuano	2,3	0,02	0,0077
Tomé	Tomé	62,9	0,18	0,0029
Libertad	Talcahuano	2,3	0,02	0,0074
San Vicente (consultorio)	Talcahuano	2,3	0,02	0,0069

¹ Considera la suma de las emisiones zona urbana y rural

Fuente: Elaboración Propia

8. Metodología de Análisis

Considerando la información disponible y las metodologías aplicables de la evaluación, se deben definir específicamente los alcances, estimar en términos cuantitativos la magnitud de los impactos y su valoración en términos económicos. Para ello se requiere identificar cómo las medidas y regulación del plan afectarán el comportamiento, beneficios y costos de los agentes involucrados.

8.1 Revisión Bibliográfica de Metodologías para la Evaluación de Impacto Económico y Social

La Ley 19.300, de Bases Generales del Medio Ambiente, establece que en la elaboración de los planes ambientales debe considerarse una estimación de los costos y los beneficios económicos y sociales. Para desarrollar esta estimación se ha sugerido como esquema conceptual el uso de la metodología de Análisis Costo/Beneficio, enfoque metodológico que busca identificar y valorar la totalidad de efectos económicos resultantes de la futura aplicación de la regulación ambiental.

Los alcances del estudio en términos de cuantificación de beneficios son la valoración de impactos sobre la salud y visibilidad por mejoras las concentraciones de MP10 en la zona bajo estudio.

Para la estimar la magnitud de los impactos en términos cuantitativos se realiza una estimación de beneficios directos para la población y el Estado por la reducción de los impactos del MP10 sobre la salud valorados económicamente mediante funciones concentración respuesta (Cifuentes et al., 2000; Ostro, 1996; entre otros), específicamente las funciones C-R utilizadas corresponden a aquellas sugeridas por el Ministerio del Medio Ambiente para otros AGIES que incluyen los siguientes artículos: Pope et al. (2004) para mortalidad prematura, Dockery et al. (1989) para asma, Schwartz (1997) para admisiones hospitalarias cardiovasculares y un meta-análisis para admisiones hospitalarias respiratorias.

En la valoración de los beneficios en las enfermedades que afectan la salud se utilizaron los valores reportados en el estudio “Estimación de Beneficios Sociales en Salud Anteproyecto de Revisión de las Normas de Calidad Primaria de Aire Contenidas en la Res N°1215/78 del Ministerio de Salud MINSAL” de Moreira (2000), que a su vez son extraídos de diversos estudios como Cifuentes (1998), Holz (2000) y Elixhauser et al. (1993).

La valoración de beneficios económicos de la vida humana utiliza el valor medio de beneficios utilizado en el “Análisis General del Impacto Económico y Social de la norma de calidad del aire por MP2,5” (DICTUC, 2010). Mientras, para los beneficios indirectos

por mejoras en visibilidad utiliza una metodología de transferencia de beneficios a partir un estudio de Sánchez et al. (1998) ajustado por los ingresos de la región de origen con respecto a la zona bajo estudio.

El cálculo de los costos de tecnologías de abatimiento proviene de diversas fuentes como la EPA, el estudio UDT y estudios desarrollados para Chile sobre modelación de sistemas de permisos de emisión transable (Ponce y Chavez, 2005; O’Ryan y Bravo, 2001; Villegas y Chávez, 2004).

La evaluación económica del Plan de Prevención Atmosférica del Concepción Metropolitano se realizará utilizando la metodología estándar de análisis costo/beneficio (ACB), la cual consiste en comparar las diferencias en beneficios y costos entre un escenario con plan de prevención y otro escenario base sin plan de prevención, ambos proyectados hacia el futuro.

Para la estimación de los costos y beneficios se sigue el enfoque utilizado en la evaluación social de proyectos que busca expresar la totalidad de estos costos y beneficios a precios sociales o precios sombra, con el fin de cuantificar las externalidades, efectos indirectos y otras distorsiones presentes en los precios privados. La principal diferencia de la evaluación social con la evaluación privada es que esta última evalúa la conveniencia económica a partir de los precios de mercado o privados. Esta es la razón principal de la necesidad de evaluar socialmente los proyectos que involucren cambios en los bienes ambientales, ya que estos bienes en general no se transan explícitamente en los mercados, por lo cual el precio de mercado o privado no refleja su verdadero valor para la sociedad.

Por lo anteriormente mencionado, el componente inicial para caracterizar el escenario del plan de prevención implica identificar los impactos de las medidas propuestas sobre los beneficios y costos de los distintos agentes económicos. Para este estudio estos escenarios se presentan a continuación.

8.2 Escenarios de Medidas

A partir de los antecedentes previos se han generado tres escenarios (Cumplimiento de Plan, Pasivo y Agresivo) con su correspondiente potencial reducción de emisiones producto de las medidas implementadas.

El escenario Cumplimiento de Plan se estructura bajo el criterio del cumplimiento estricto de las medidas incorporadas en el Plan de Prevención Atmosférica del Concepción Metropolitano. El escenario Pasivo se basa en la lógica que los procesos de adopción del cumplimiento de la normativa y problemas de fiscalización puedan alterar negativamente las metas del escenario de Cumplimiento de Plan. El escenario agresivo incluye mayores recursos y esfuerzos de reducción en el ámbito de la

combustión de leña residencial financiados por parte del Estado.

El cronograma de implementación para los tres escenarios se enfoca en las medidas que se dirigen a las principales fuentes contaminantes de MP10, es decir, aquellas que reducen la emisión industrial, combustión de leña residencial y quemas.

Las medidas asociadas al sector industrial se asumen con 100% de cumplimiento en los tres escenarios esto se justifica porque son relativamente pocas fuentes y existe mayor probabilidad de fiscalización por parte de la autoridad, lo cual facilita el cumplimiento. Se asume que se inicia la implementación el año 2014 en el escenario Cumplimiento del Plan (de acuerdo al PPACM el plazo para su efectiva reducción es el año 2014). También se plantea el año 2014 para el escenario Agresivo y un potencial retraso en la implementación fijando el año 2015 para el escenario Pasivo. Para las emisiones de combustión de leña residencial y quemas agrícolas se generaron distintos escenarios en términos de porcentaje de eficiencia de cumplimiento y respecto al año de inicio de su implementación, debido a que son muchas pequeñas fuentes lo cual dificulta la probabilidad de hacer cumplir la regulación. El detalle de cada medida para todos los escenarios se detalla en la tabla siguiente.

Tabla 58: Cronograma y Especificación de Medidas Propuestas según Escenario

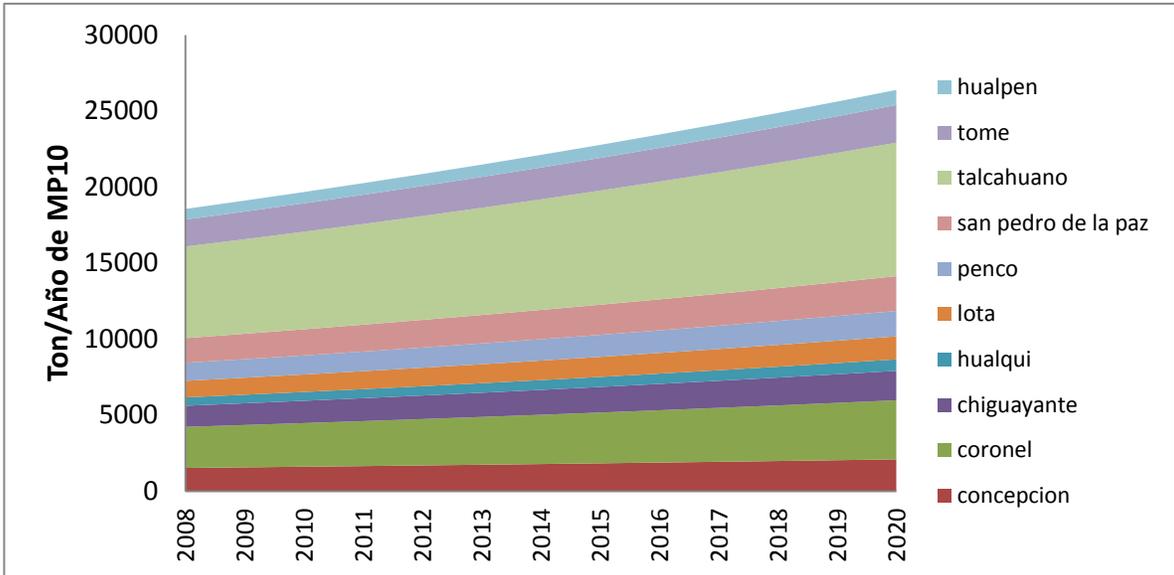
Fuente	Medida	Variable de Control	Pasivo	Cumplimiento del Plan	Agresivo
Industrial	COMPLIND	Año de Implementación	2015	2014	2014
	EMINDFUG	Año de Implementación	2015	2014	2014
	CONGEMIND	Año de Implementación	2015	2014	2014
	NCOMPLIND	Año de Implementación	2015	2014	2014
	COMPEMIND	Año de Implementación	2015	2014	2014
	NORMAIND	Año de Implementación	2015	2014	2014
ENAP	DISTRGAS	Año de Implementación y disponibilidad	2015	2014	2014
Combustión residencial	CEQUIPOS	Eficiencia y año de implementación	2000 equipos/año a partir de 2012	4444 equipos/año a partir de 2012	8889 equipos/año a partir de 2012
	NEQUIPOS	Año de Implementación y disponibilidad	2012	2012	2012
	RLEÑA	Eficiencia y año de implementación	30% en 2012 y 60% en 2020	100% desde el 2012 en adelante	100% desde el 2012 en adelante
	PCHIMENEAS	Eficiencia y año de implementación	30% en 2012 y 60% en 2020	100% desde el 2012 en adelante	100% desde el 2012 en adelante
	TERMICOVIV	Eficiencia y año de implementación	1000/año a partir de 2012	1500/año a partir de 2012	4500/año a partir de 2012
Quemas agrícolas y forestales	PQUEMAS	Eficiencia y año de implementación	30% en 2012 y 60% en 2020	100% desde el 2012 en adelante	100% desde el 2012 en adelante

Fuente: Elaboración propia

A partir de la actualización del inventario base para el año 2008 en el Concepción Metropolitano se genera una proyección hasta el año 2020 (el denominado escenario BAU, Business As Usual) en función del crecimiento del número de equipos, fuentes industriales (se asume tasa de crecimiento de emisiones anuales basado en el crecimiento promedio del sector industrial de un 3,3% anual en la Región del Bío Bío estimado a partir de datos del Banco Central), quemas agrícolas y forestales (se asume tasa de crecimiento de 2,5% de emisiones anuales estimada a partir del crecimiento promedio del PIB agropecuario-silvícola de la región), móviles (se asume una tasa de crecimiento de 5,0% de emisiones anuales proyectada a partir del crecimiento promedio del parque de vehículos). Este escenario BAU permite identificar la situación base y sus efectos de largo plazo sin considerar la reducción de emisiones por efecto de las medidas propuestas.

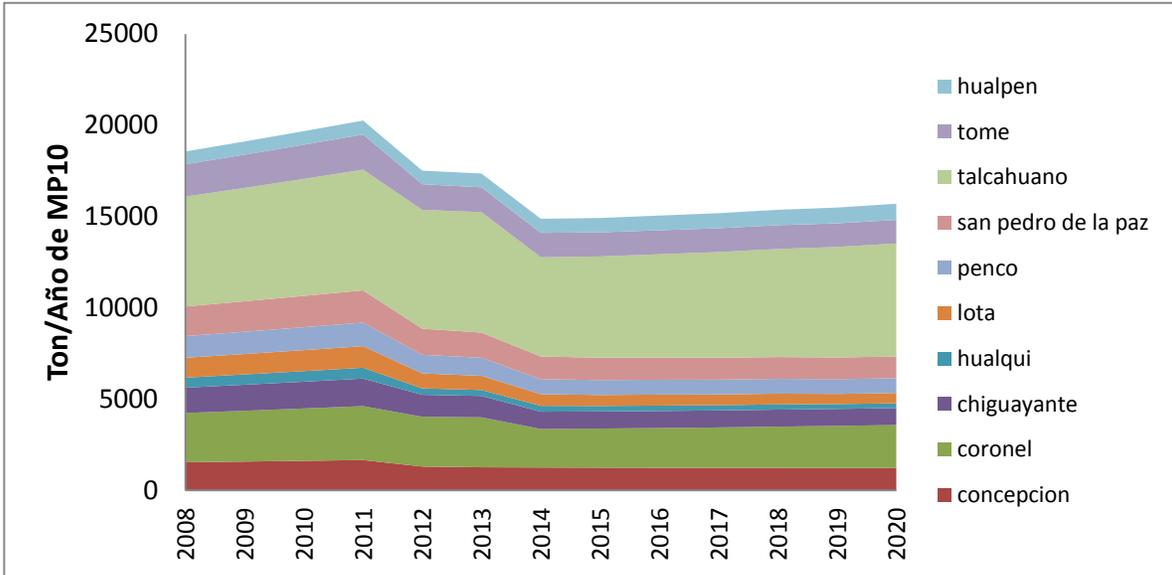
Luego, utilizando esta proyección bajo los distintos escenarios propuestos para el cumplimiento del PPACM, se evaluarán los efectos sobre las emisiones y concentraciones totales de cada una de las medidas desde el año base 2008 hasta el año 2020.

En las siguientes figuras se presenta la evolución de emisiones en cada comuna a través del tiempo para los escenarios Base, Cumplimiento de Plan, Pasivo y Agresivo, respectivamente.



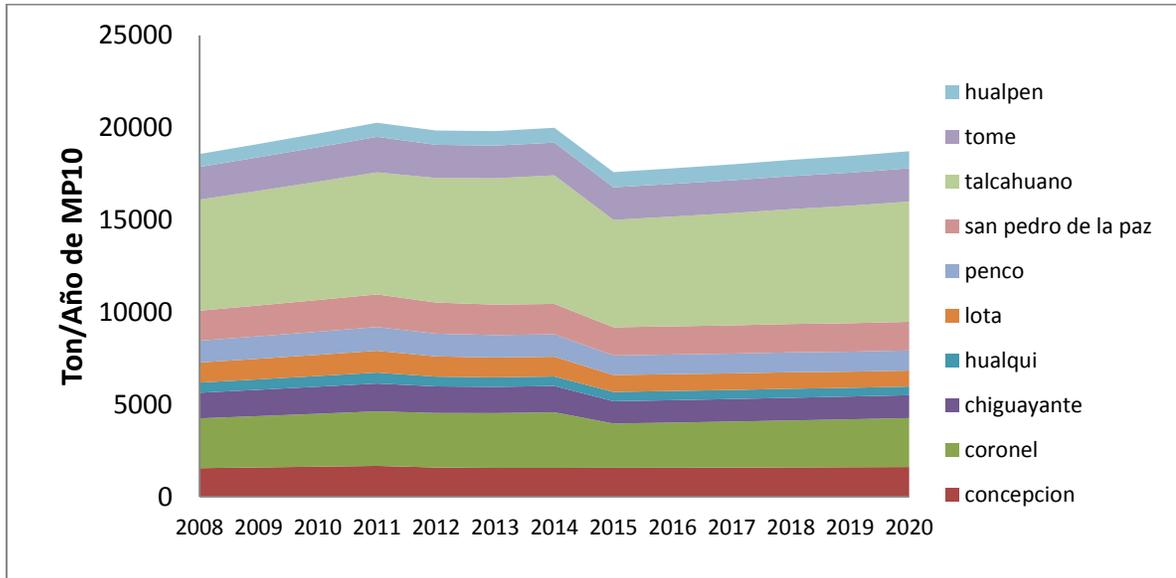
Fuente: Elaboración propia

Figura 31: Emisiones de MP10 Escenario Base



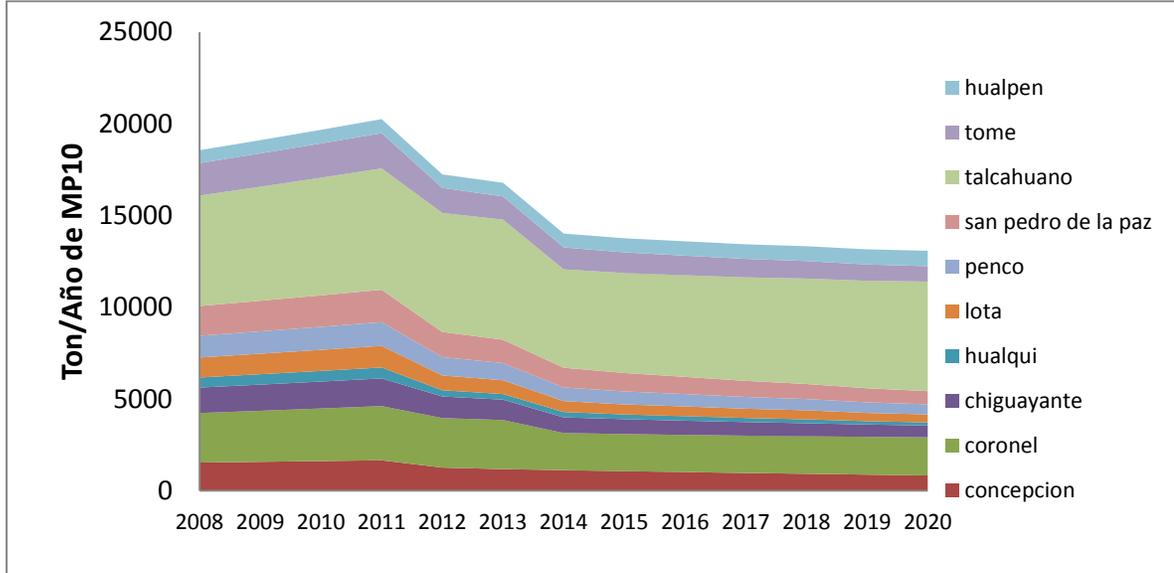
Fuente: Elaboración propia

Figura 32: Emisiones de MP10 Escenario Cumplimiento de Plan



Fuente: Elaboración propia

Figura 33: Emisiones de MP10 Escenario Pasivo



Fuente: Elaboración propia

Figura 34: Emisiones de MP10 Escenario Agresivo

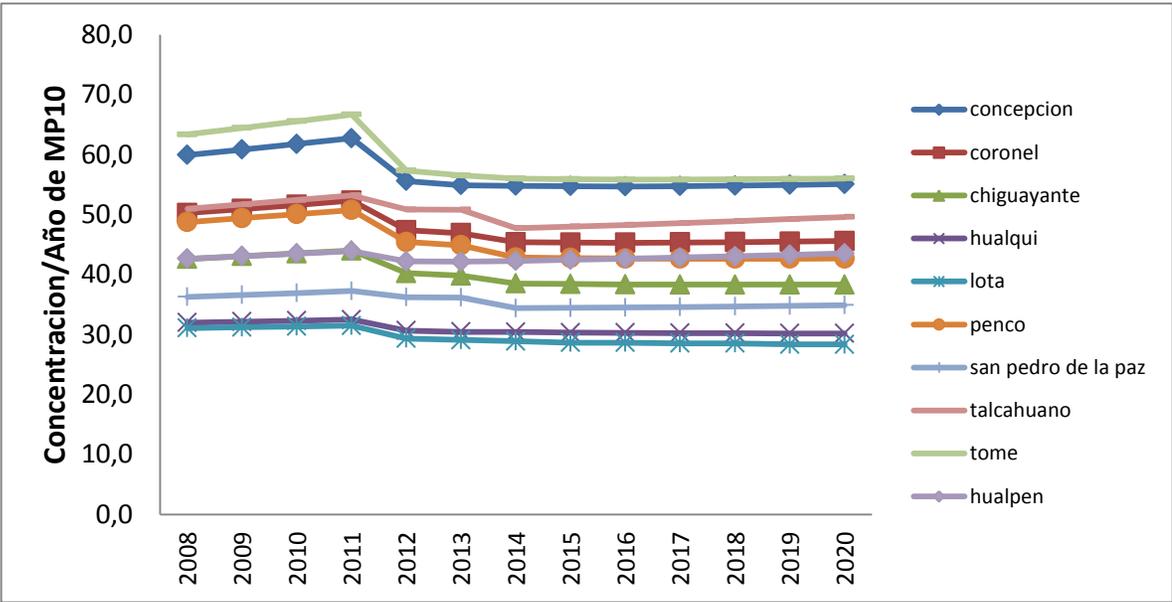
De las figuras anteriores se desprende que sin medidas que modifiquen el escenario base en el Concepción Metropolitano, las emisiones a través del tiempo se incrementarán de forma sustancial. También se concluye que sólo la aplicación de las medidas en los escenarios Cumplimiento de Plan y Agresivo permiten lograr una reducción significativa de las emisiones con respecto al año 2008, al contrario del escenario Pasivo. También se observa que el único escenario que permite que la reducción de emisiones continúe hasta el año final de evaluación del PPACM es el agresivo.

8.3 Impactos de las Medidas sobre las Concentraciones

Los impactos marginales de las medidas sobre las concentraciones en las comunas del Concepción Metropolitano, se traducen en beneficios sobre la salud y visibilidad de la población que habita en esas comunas a partir de las funciones concentración respuesta (reducción del riesgo de mortalidad, reducción de enfermedades, etc).

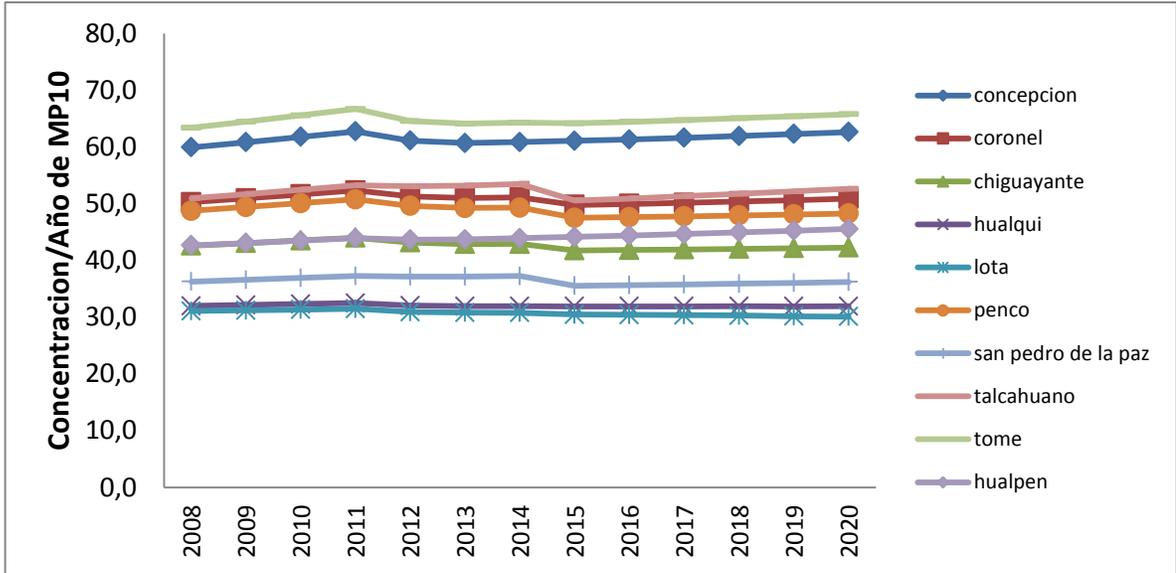
Para generar una aproximación al impacto de las medidas incluidas en los escenarios en las concentraciones se utilizó la modelación de los factores de emisión-concentración o FEC para cada una de las fuentes tipo consideradas (leña, quemas, móviles e industrias) estimadas en la sección 7.11, agregando el background correspondiente a la zona de estudio.

De este modo se multiplica cada FEC de cada fuente por cada comuna con el nuevo nivel de emisiones, el cual es menor respecto al escenario base debido al impacto de reducción de cada medida. Luego se obtiene el nuevo nivel de concentraciones para cada comuna, sumando a través de todas las fuentes de esa comuna. De este modo, es posible visualizar el impacto para todas las comunas tal como se aprecia en las siguientes figuras.



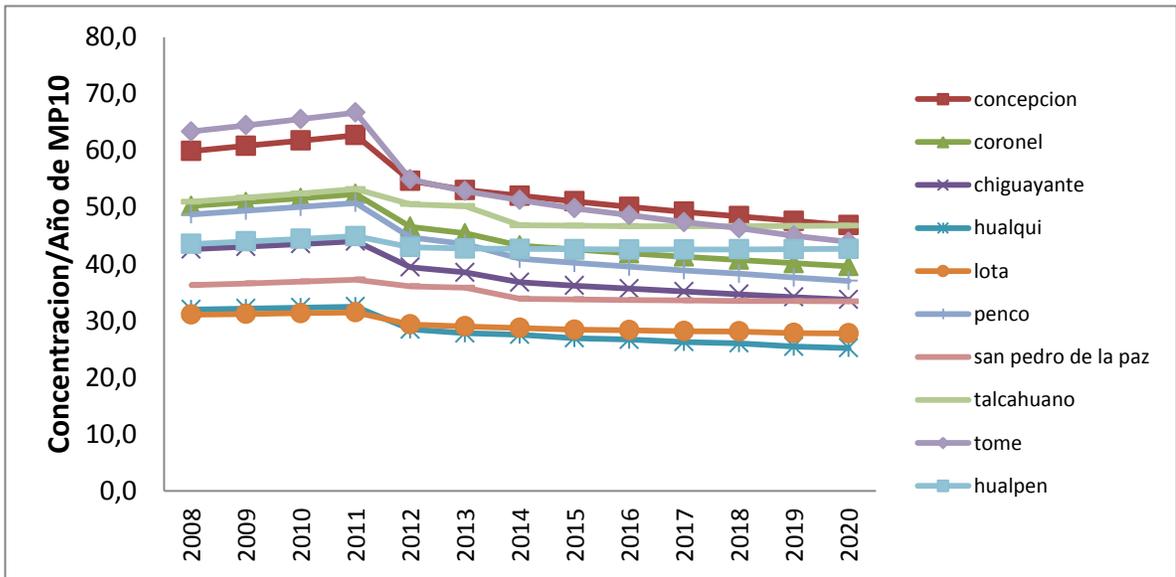
Fuente: Elaboración propia

Figura 35: Concentraciones de MP10 Escenario Cumplimiento de Plan



Fuente: Elaboración propia

Figura 36: Concentraciones de MP10 Escenario Pasivo



Fuente: Elaboración propia

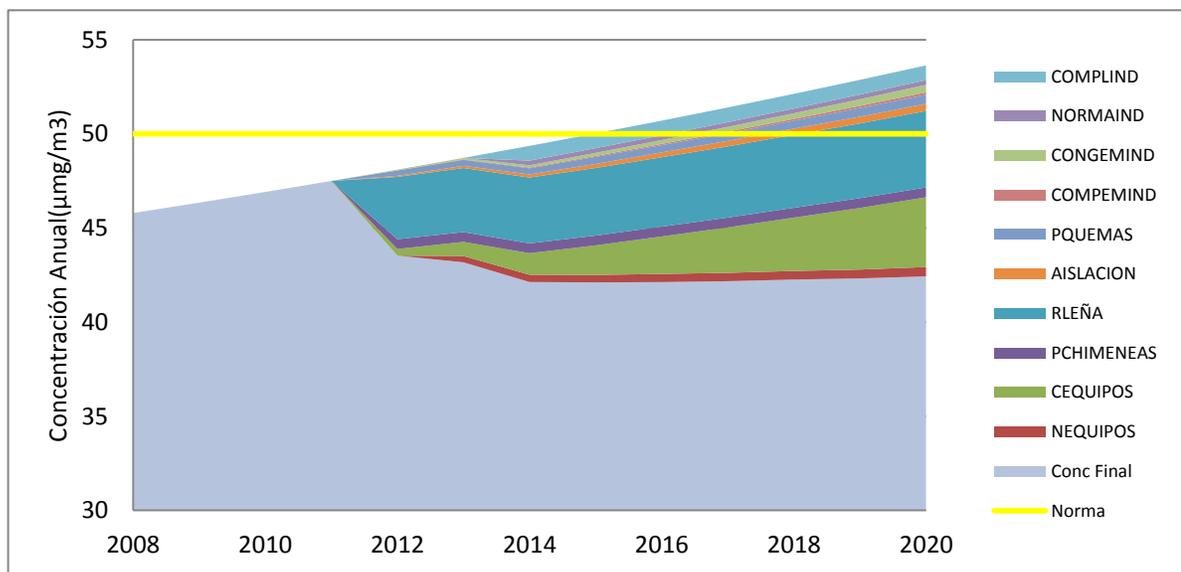
Figura 37: Concentraciones de MP10 Escenario Agresivo

De las tres figuras anteriores se concluye que si el plan se implementa en un escenario pasivo la reducción en las emisiones sólo permite estabilizar el crecimiento natural de las emisiones en el periodo considerado, por lo cual se requiere un cumplimiento

perfecto del plan para que la mayoría de las comunas puedan cumplir con la normativa al año 2020 (aunque esta situación no se logra en las comunas de Concepción y Tomé). Dado que las dos comunas anteriores tienen problemas de contaminación asociadas más a la leña que a emisiones industriales, por quemas o móviles, bajo un escenario agresivo con mayor focalización en el cambio de equipos y subsidio de vivienda se puede alcanzar una reducción de las concentraciones en todas las comunas.

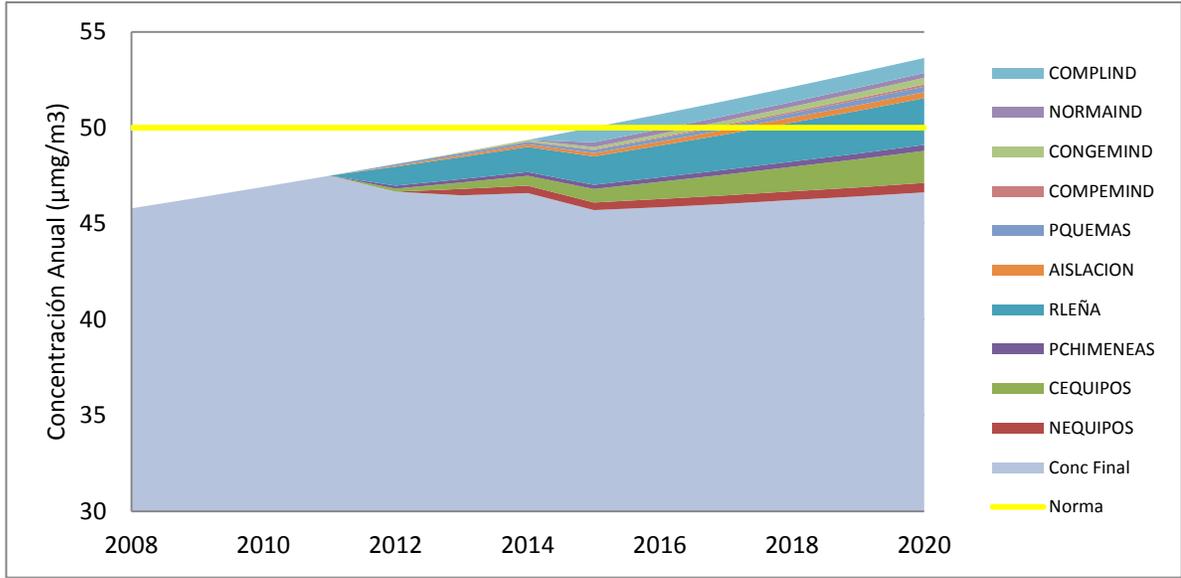
No obstante lo anterior, considerando la gran diferencia en las concentraciones por comuna, con algunas llegando a niveles muy bajos y otras apenas cumpliendo la norma, plantea una situación poco deseable ya que el objetivo es que todas las comunas puedan superar la situación de saturación y/o latencia. Se desprende del análisis que para lograr este objetivo de forma costo-efectiva simplemente habría que generar una reasignación de cambio de estufas desde aquellas comunas con bajos niveles de concentración a comunas con altos niveles de concentración.

Las figuras previas sólo permiten identificar los niveles de concentración a través del tiempo para cada comuna. Sin embargo, para identificar cuáles de las medidas propuestas son aquellas que generan las mayores reducciones en los niveles de concentraciones, se construyen figuras para cada escenario a partir de los efectos promedios en las comunas del Concepción Metropolitano, lo cual permite cuantificar el verdadero aporte de las medidas para cumplir con los objetivos del PPACM.



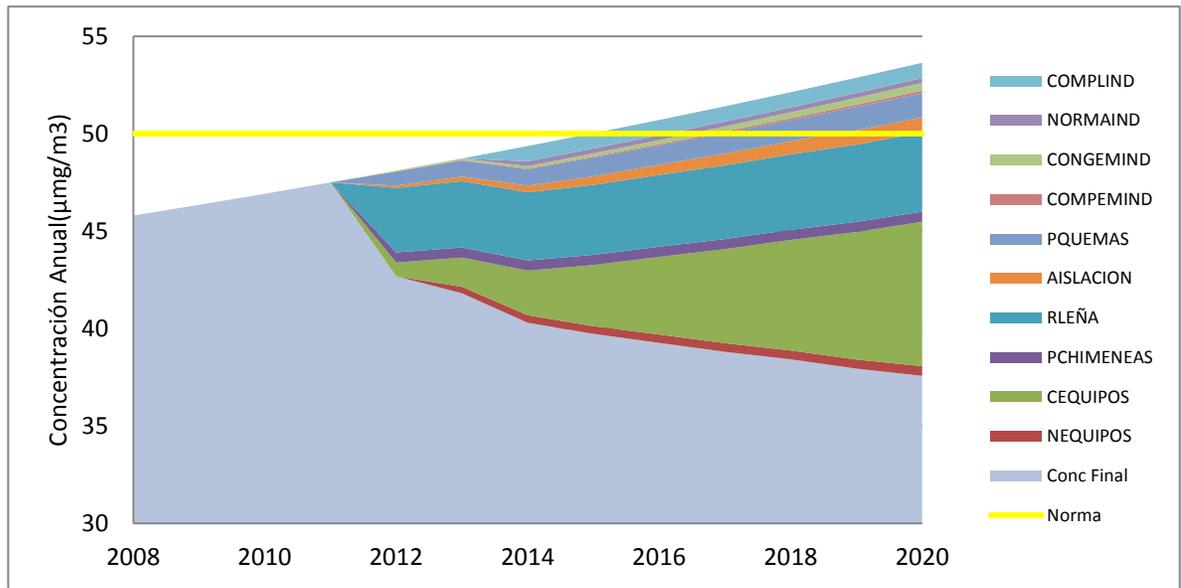
Fuente: Elaboración propia

Figura 38: Aporte de Medidas a Reducción de Concentraciones de MP10 Bajo Escenario Cumplimiento de Plan



Fuente: Elaboración propia

Figura 39: Aporte de Medidas a Reducción de Concentraciones de MP10 Bajo Escenario Pasivo

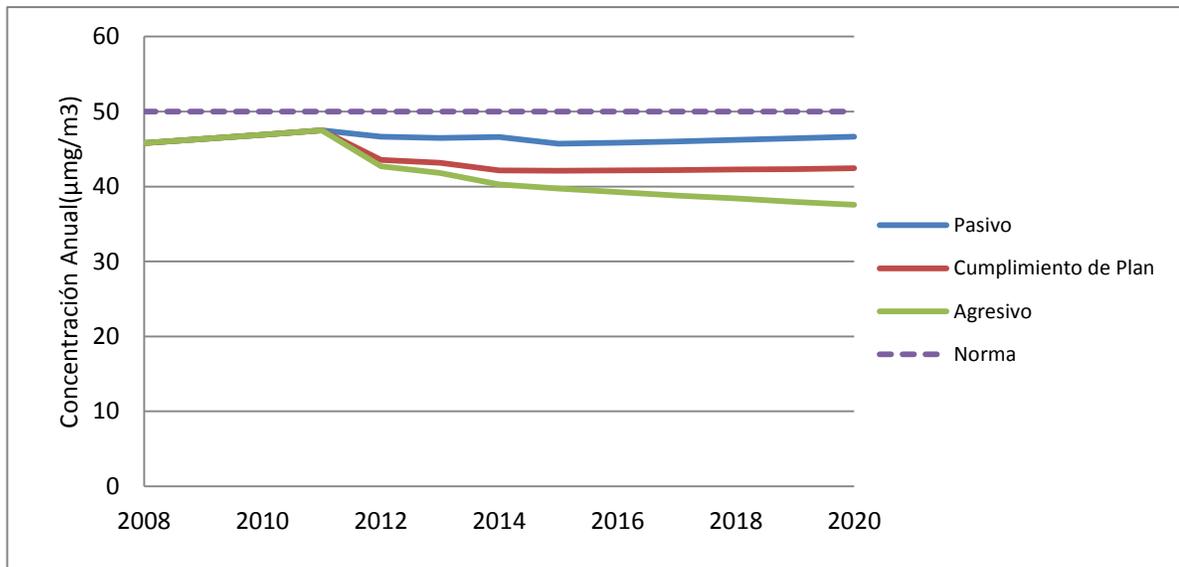


Fuente: Elaboración propia

Figura 40: Aporte de Medidas a Reducción de Concentraciones de MP10 Bajo Escenario Agresivo

Se desprende de los resultados de las figuras anteriores que aun cuando todas las medidas para reducir emisiones de fuentes industriales en el agregado aportan para reducir las concentraciones, las medidas enfocadas al consumo residencial de leña como el cambio de equipos y la regulación del mercado de leña son las que aportan más significativamente a la reducción de los niveles de concentración de MP10 en la zona del Concepción Metropolitano.

A continuación presentamos un resumen de los niveles promedios de concentraciones anuales de MP10 en el Concepción Metropolitano en la siguiente figura.



Fuente: Elaboración propia

Figura 41: Nivel de Concentraciones Anuales de MP10 Bajo los Tres Escenarios Considerados

Finalmente, se agrega una tabla resumen que identifica el impacto y efectividad de las medidas en términos de reducción de emisiones y concentraciones. De esta tabla se desprende que al año final de evaluación del plan las medidas CEQUIPOS y RLEÑA son las que más aportan a la reducción de emisiones (17,2% y 9,4% respecto a las emisiones totales del escenario base) y también a la reducción de concentraciones (13,8% y 7,6% respecto a las emisiones totales del escenario base). Otro elemento llamativo es que las medidas que apuntan a las fuentes industriales en total reducen en un 10,9% de las emisiones totales del escenario base y sólo un 2,2% de las concentraciones.

Tabla 59: Impacto y Efectividad de Medidas Año Final de Evaluación

Medidas	Escenario de Emisiones de MP10						Escenario de Concentraciones de MP10					
	Cumpl. de Plan		Pasivo		Agresivo		Cumpl. de Plan		Pasivo		Agresivo	
NEQUIPOS	308.9	1.2%	308.9	1.2%	308.9	1.2%	0.5	0.9%	5.0	0.9%	0.5	0.9%
CEQUIPOS	2268.1	8.6%	1020.7	3.9%	4536.2	17.2%	3.7	6.9%	16.7	3.1%	7.4	13.8%
PCHIMENEAS	326.9	1.2%	196.1	0.7%	326.9	1.2%	0.5	1.0%	3.1	0.6%	0.5	1.0%
RLEÑA	2493.3	9.4%	1496.0	5.7%	2493.3	9.4%	4.1	7.6%	24.4	4.5%	4.1	7.6%
TERMICOANT	175.7	0.7%	117.1	0.4%	527.1	2.0%	0.2	0.4%	1.3	0.2%	0.6	1.1%
TERMICONUE	161.4	0.6%	161.4	0.6%	161.4	0.6%	0.2	0.3%	1.8	0.3%	0.2	0.3%
PQUEMAS	1023.0	3.9%	613.8	2.3%	1023.0	3.9%	0.5	0.9%	2.9	0.5%	1.2	2.3%
COMPEMIND	294.7	1.1%	257.5	1.0%	294.7	1.1%	0.1	0.2%	1.1	0.2%	0.1	0.2%
NORMAIND	516.2	2.0%	516.2	2.0%	516.2	2.0%	0.2	0.5%	2.5	0.5%	0.2	0.5%
COMPLIND	2062.4	7.8%	2062.4	7.8%	2062.4	7.8%	0.8	1.5%	7.8	1.5%	0.8	1.5%

Fuente: Elaboración propia

8.4 Población Afectada por el PPACM

Para realizar una cuantificación de los beneficios para la población y el Estado, así como también de posibles costos indirectos en el empleo por menor actividad productiva, es necesario contar con información de la población afectada por la declaración de zona latente.

Según las proyecciones de población del INE, la zona del Gran Concepción tiene una población de 996.793 habitantes el año 2011, con una tasa de crecimiento de 0,8% la población hacia el año 2020 que corresponde al periodo final de evaluación del plan debería alcanzar 1.060.902 habitantes. La población expuesta de la Zona Latente del Concepción Metropolitano corresponde a 1.004.217 habitantes el año 2012 (fecha que se supone entra en vigencia el plan). Un mayor detalle por comuna se puede apreciar en la siguiente Tabla:

Tabla 60: Proyecciones de Población Zona Latente del Concepción Metropolitano

Comuna	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Concepción	229.138	229.665	230.217	230.676	231.233	231.310	231.446	231.540	231.591	231.690
Coronel	109.589	110.623	111.651	112.682	113.713	114.608	115.503	116.395	117.294	118.187
Chiguayante	123.664	128.110	132.559	137.004	141.451	146.449	151.445	156.445	161.443	166.444
Hualqui	22.561	22.880	23.203	23.523	23.845	24.151	24.464	24.773	25.081	25.389
Lota	47.932	47.675	47.417	47.162	46.902	46.429	45.957	45.483	45.010	44.533
Penco	53.538	54.102	54.665	55.225	55.785	56.265	56.738	57.218	57.693	58.172
San Pedro	97.571	98.936	100.304	101.675	103.042	104.301	105.564	106.829	108.091	109.351
Talcahuano	171.510	171.332	171.143	170.958	170.754	170.599	170.456	170.267	170.120	169.931
Tomé	56.210	56.410	56.613	56.812	57.014	57.132	57.252	57.371	57.492	57.613
Hualpén	85.080	84.484	83.885	83.282	82.686	82.069	81.449	80.833	80.209	79.592
Zona Latente	996.793	1.004.217	1.011.657	1.018.999	1.026.425	1.033.313	1.040.274	1.047.154	1.054.024	1.060.902

Fuente: INE

Uno de los objetivos del análisis económico es diferenciar los efectos en la salud según el tipo de previsión, para discriminar entre costos privados y sociales considerando que parte de los costos serán finalmente asignados al Estado y a la población de acuerdo al sistema previsional al cual pertenecen los afectados. La metodología fue utilizar la Encuesta CASEN 2009 para calcular los porcentajes de tipo de previsión de salud para el total de la población de las comunas del Concepción Metropolitano, tal como se aprecia en la siguiente tabla resumen.

Tabla 61: Previsión en Población Total del Concepción Metropolitano

Tipo de Previsión	Población	Porcentaje
Fonasa A	336.019	34.8%
Fonasa B	225.082	23.3%
Fonasa C	135.827	14.1%
Fonasa D	71.399	7.4%
Fonasa no sabe tramo	30.297	3.1%
FFAA y del orden	32.776	3.4%
ISAPRE	98.735	10.2%
Particular (ninguno)	11.356	1.2%
Otro Sistema	2.165	0.2%
No sabe	22.147	2.3%
Total	965.803	100,0%

Fuente: Elaboración Propia en Base a Casen 2009

Se puede observar que sólo un 10,2% del total de la población pertenece al sistema privado de ISAPRE, un 1,2% es particular, mientras el resto que corresponde a 88,6% pertenecen a FONASA, FFAA y del orden, otros sistemas o no sabe su sistema. Esta clasificación de las personas por sistema previsional permite categorizar los efectos distributivos del plan de acuerdo a la Guía metodológica para la Elaboración de AGIES (DICTUC, 2011) en tres agentes: el Estado (usuarios de FONASA), Privados (usuarios de ISAPRE) y Hogares (usuarios particulares)

El valor que paga el usuario por la atención en el sistema público depende de la modalidad de atención utilizada. Si escoge la modalidad institucional el pago que debe efectuar depende del grupo de ingreso en el cual se encuentre clasificado (grupos B, C o D). Si el beneficiario utiliza la modalidad de libre elección, el valor de la atención depende del nivel de inscripción del profesional o institución de salud en convenio con FONASA, que puede ser 1, 2 ó 3, donde el nivel 1 es el más barato y el nivel 3 el más caro.

Por lo anterior, no es posible determinar qué parte del monto desembolsado por la población que se atiende en el sistema público corresponde a gasto privado y que parte a desembolso público. Tomando esto en cuenta, se considera el supuesto que todos aquellos que pertenecen a un sistema particular financian los controles, tratamientos y medicamentos producto de problemas respiratorios completamente de manera privada y que el resto de la población se atiende en servicios públicos con cargo para el Estado. Si adicionalmente se supone que los costos son iguales en el sector público y privado por cada prestación de morbilidad, se podría asumir que del total de beneficios por una menor contaminación del aire producto del PPACM un 10,2% corresponde a beneficios

para las ISAPRES, un 1,2% de los beneficios para los hogares y un 88,6% son beneficios para el Estado. Mientras los beneficios de reducción en la mortalidad se asumen que benefician sólo a los hogares.

8.5 Antecedentes para el Cálculo de Beneficios Directos en Salud

Los beneficios sobre la salud de una reducción en la contaminación por material particulado respirable provienen de una menor probabilidad de mortalidad y menor incidencia de enfermedades de la población afectada. Hay tres enfoques principales para asociar valores monetarios a la mortalidad: el enfoque de valoración contingente, el enfoque de diferenciales salariales y el enfoque de capital humano. Mientras que para estimar los costos asociados a la morbilidad, generalmente se utilizan tres enfoques alternativos: costos directos asociados con la enfermedad, gastos preventivos (defensivos) y la valoración contingente (ver Sánchez *et al.*, 1998; Cerda *et al.* 2010, entre otros).

Para la valoración de los beneficios en las enfermedades que afectan la salud se utilizan los valores reportados en el estudio “Estimación de Beneficios Sociales en Salud Anteproyecto de Revisión de las Normas de Calidad Primaria de Aire Contenidas en la Res N°1215/78 del Ministerio de Salud MINSAL” de Moreira (2000), que a su vez son extraídos de diversos estudios como Cifuentes y Ojeda (1998), Holtz (2000) y Eixhauser (1993). Para la valoración de beneficios de la vida humana se utiliza el valor medio de beneficios utilizado en el “AGIES de la norma de calidad del aire por MP2,5” (valor medio por vida estadística entre escenario alto de 38.700 UF y bajo de 10.500UF).

Tabla 62: Valores Unitarios Utilizados en la Valoración Monetaria

Item	Valor Unitario MM\$ 2011
Mortalidad Prematura	537,9
Adm. Hosp. Respiratoria	3,4
Adm. Hosp. Cardiovascular	1,2
Adm. Hosp. Asma	0,0

Fuente: Citados en Moreira (2000) y AGIES de MP2,5 (2010)

La relación Concentración-Respuesta (C-R) se define como la función que permite asociar cuantitativamente la concentración de un contaminante atmosférico con la incidencia de un determinado efecto en la salud de la población. En la literatura se ha considerado preferentemente la utilización de impactos lineales de estas funciones (lo cual supone la no existencia de umbrales bajo el cual no existen impactos). Por lo general las funciones C-R son el resultado de estudios epidemiológicos, cuyo análisis proporciona el valor de la pendiente de la curva C-R, o el riesgo relativo para una variación de la concentración del contaminante. Las funciones Concentración-

Respuesta empleadas en el presente estudio han sido sugeridas por el Ministerio del Medio Ambiente en otros AGIES de acuerdo a estudios internacionales disponibles sobre MP10.

Se asume que todos los coeficientes C-R utilizados se aplican a toda la población, esto a falta de mayor información, aun cuando algunos de ellos fueron estimados sólo para adultos mayores y para un grupo etario de 18 a 64 años. Además, los coeficientes C-R señalados en la tabla siguiente son ajustados por la relación MP10 a MP2,5, en el caso que el coeficiente C-R en el estudio científico original hubiese sido calculado para este último contaminante (mortalidad prematura, admisión hospitalaria asma y admisión hospitalaria cardiovascular).

Tabla 63: Coeficientes de Funciones Concentración-Respuesta

Item	Coeficiente C-R ¹⁶	Desv. Estandar
Mortalidad Prematura	0,00620	0,00240
Adm. Hosp. Respiratoria	0,00307	0,00081
Adm. Hosp. Cardiovascular	0,00140	0,00034
Adm. Hosp. Asma	0.00332	0.00105

Fuente: Citadas por el Ministerio del Medio Ambiente de diversos estudios internacionales

La tabla siguiente muestra el resumen de los efectos base de salud proyectados para este estudio en el Concepción Metropolitano. Los valores de tasas bases de efectos son extraídos de Moreira (2000), autora que utiliza tasas base nacionales cuando existe disponibilidad de datos, pero cuando no existen datos locales utiliza datos de EE.UU., tanto de la EPA como de estudios originales.

¹⁶El coeficiente C-R para mortalidad prematura es extraído de Pope et al. (2004), para admisiones hospitalarias respiratorias de un meta-análisis, para admisiones hospitalarias cardiovascular de Schwartz (1997), y para admisiones hospitalarias por asma de Dockery et al. (1989).

Tabla 64: Tasa de Efectos Base

Ítem	Efectos Base/día por 100000p
Mortalidad Prematura	1,2300
Adm. Hosp. Respiratoria	2,0800
Adm. Hosp. Cardiovascular	0,6008
Adm. Hosp. Asma	0,0368

Fuente: Citados en Moreira (2000)

Tabla 65: Efectos Base para el Concepción Metropolitano

Zona Plan de Prevención	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Mortalidad Prematura	4476	4509	4542	4575	4609	4640	4671	4702	4733	4763
Adm. Hosp. Respiratoria	7568	7624	7680	7736	7793	7845	7898	7950	8002	8054
Adm. Hosp. Cardiovascular	2186	2202	2219	2235	2251	2266	2281	2296	2311	2327
Adm. Hosp. Asma	134	135	136	137	138	138	139	140	141	142

Fuente: Elaboración Propia en Base a Información de Moreira (2000)

8.6 Valoración de Beneficios Directos en Salud

Para estimar los beneficios directos de los efectos en salud se utiliza el método de la función de daño, descrita a continuación. La reducción de las emisiones de MP10 a través de las distintas medidas presentadas en este informe se modelaron con CALPUFF para obtener los efectos marginales en las concentraciones de MP10, las cuales a su vez se traducen en una disminución del número de casos en morbilidad y mortalidad al aplicar las funciones concentración-respuesta a la población expuesta del Concepción Metropolitano. La estimación de efectos en la salud producto de la reducción contaminación atmosférica requiere información sobre la población expuesta y las tasas bases para cada tipo de impacto en salud presentadas en las tablas anteriores. Finalmente, se estima el valor de un caso evitado para morbilidad y mortalidad y extrapolado al total de la población de la zona latente.

Los beneficios para la salud totales fueron actualizados mediante la variación del IPC hasta el año 2011 para los tres escenarios propuestos.

Tabla 66: Cálculo de Beneficios Totales para la Salud Escenario Cumplimiento de Plan (MM\$ de 2011)

Beneficios Totales MM\$	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	VAN Social
Mortalidad Prematura	78063	95824	127465	140348	153367	166188	178940	192318	205766	970341
Adm. Hosp. Respiratoria	127	156	208	229	250	271	292	314	336	1583
Adm. Hosp. Cardiovascular	41	50	67	74	81	87	94	101	108	510
Adm. Hosp. Asma	1	2	2	2	3	3	3	3	4	17
Total	78233	96033	127742	140653	153701	166550	179329	192736	206214	972451

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 67: Cálculo de Beneficios Totales para la Salud Escenario Pasivo (MM\$ de 2011)

Beneficios Totales MM\$	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	VAN Social
Mortalidad Prematura	24683	39267	48941	77707	87887	97906	108065	118716	129705	518697
Adm. Hosp. Respiratoria	40	64	80	127	143	160	176	194	212	846
Adm. Hosp. Cardiovascular	13	21	26	41	46	51	57	62	68	273
Adm. Hosp. Asma	0	1	1	1	2	2	2	2	2	9
Total	24737	39352	49048	77876	88078	98119	108300	118974	129987	519825

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 68: Cálculo de Beneficios Totales para la Salud Escenario Agresivo (MM\$ de 2011)

Beneficios Totales MM\$	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	VAN Social
Mortalidad Prematura	89284	115948	156065	178474	200455	222498	244228	267348	290030	1268303
Adm. Hosp. Respiratoria	146	189	255	291	327	363	399	436	473	2070
Adm. Hosp. Cardiovascular	47	61	82	94	105	117	128	141	152	667
Adm. Hosp. Asma	2	2	3	3	3	4	4	5	5	22
Total	89478	116200	156404	178863	200891	222982	244759	267930	290661	1271061

Fuente: Elaboración Propia

La metodología empleada para valorar los beneficios en la salud representa sólo una cuantificación incompleta del beneficio de la reducción en la contaminación sobre las poblaciones producto de la menor exposición al riesgo de mortalidad y morbilidad. Por tanto, no refleja todo el valor que las personas le asignan a evitar casos de enfermedad en ellos o familiares cercanos, ni otros costos como los de prevención. Tomando estas consideraciones en cuenta es posible afirmar que los resultados de los beneficios para la salud totales actualizados con la tasa de descuento social de un 6% (fuente: MIDEPLAN) son de aproximadamente \$972,5 mil millones de pesos para el escenario Cumplimiento de Plan, \$519,8 mil millones de pesos para el escenario Pasivo y \$1.271,1 mil millones de pesos para el escenario Agresivo, todo lo anterior producto de

la reducción en la concentración de material particulado y evaluando la incidencia sobre la población que habita en la zona del Concepción Metropolitano. Estos beneficios son directos, y no se ha considerado los posibles beneficios indirectos para la población.

La estimación total de beneficios en salud es posible desagregarla en función de los agentes afectados, es decir, entre hogares, privados y el Estado. Para estimar los beneficios para los hogares se requiere suponer que la menor mortalidad es un beneficio internalizado por los propios habitantes de la zona, cifra a la cual se le debe sumar la proporción de los beneficios en menor morbilidad de los hogares (1,2%). Sin embargo, debemos recordar que en la zona de estudio un 10,2% de la población tiene ISAPRE por lo que ese porcentaje corresponde a beneficios en morbilidad asociados a los privados (internalizados por las ISAPRE's) y un 88,6% son beneficios para el Estado (ahorro para el Estado por menor consulta de usuarios FONASA, públicos y sin previsión).

Bajo estos supuestos los beneficios totales en salud de la población del PPACM generan un VAN para los hogares por 970,4 mil millones de pesos en el escenario cumplimiento de plan, 518,7 mil millones en el escenario pasivo y 1.268,3 mil millones en el escenario agresivo. Los beneficios totales en salud para los privados (ISAPRE's) arroja un VAN de 0,2 mil millones de pesos en el escenario cumplimiento de plan, 0,1 mil millones en el escenario pasivo y 0,3 mil millones en el escenario agresivo. Finalmente, los beneficios totales en salud para el ESTADO generan un VAN de 1,9 mil millones de pesos en el escenario cumplimiento de plan, 1,0 mil millones en el escenario pasivo y 2,4 mil millones en el escenario agresivo.

Tabla 69: Cálculo de Beneficios en Salud para Escenario Cumplimiento de Plan por Agente Afectado (MM\$ de 2011)

Beneficios en Salud por Agente MM\$		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	VAN Social
Hogares	Mortalidad Prem.	78063.3	95824.5	127465.2	140347.8	153367.2	166188.4	178940.1	192317.6	205766.1	970340.6
	A. H. Respiratoria	1.5	1.9	2.5	2.7	3.0	3.3	3.5	3.8	4.0	19.0
	A. H. Cardiovascular	0.5	0.6	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	1.2	1.3	6.1
	A. H. Asma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
	Total	78065.3	95827.0	127468.6	140351.5	153371.2	166192.8	178944.8	192322.6	205771.4	970365.9
Privados	Mortalidad Prem.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	A. H. Respiratoria	13.0	15.9	21.2	23.4	25.5	27.7	29.8	32.0	34.2	161.5
	A. H. Cardiovascular	4.2	5.1	6.8	7.5	8.2	8.9	9.6	10.3	11.0	52.0
	A. H. Asma	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	1.7
	Total	17.3	21.3	28.3	31.1	34.0	36.9	39.7	42.7	45.6	215.2
Estado	Mortalidad Prem.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	A. H. Respiratoria	112.9	138.5	184.3	202.9	221.7	240.3	258.7	278.0	297.5	1402.8
	A. H. Cardiovascular	36.4	44.6	59.4	65.4	71.4	77.4	83.3	89.6	95.8	451.9
	A. H. Asma	1.2	1.5	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	14.9
	Total	150.4	184.6	245.6	270.4	295.5	320.2	344.8	370.6	396.5	1869.7

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 70: Cálculo de Beneficios en Salud para Escenario Pasivo por Agente Afectado (MM\$ de 2011)

Beneficios en Salud por Agente MM\$		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	VAN Social
Hogares	Mortalidad Prem.	24683.0	39266.9	48941.3	77707.3	87886.9	97906.4	108065.2	118716.1	129704.9	518696.7
	A. H. Respiratoria	0.5	0.8	1.0	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	10.2
	A. H. Cardiovascular	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	3.3
	A. H. Asma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
	Total	24683.6	39267.9	48942.6	77709.3	87889.2	97909.0	108068.0	118719.2	129708.3	518710.2
Privados	Mortalidad Prem.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	A. H. Respiratoria	4.1	6.5	8.1	12.9	14.6	16.3	18.0	19.8	21.6	86.3
	A. H. Cardiovascular	1.3	2.1	2.6	4.2	4.7	5.2	5.8	6.4	7.0	27.8
	A. H. Asma	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.9
	Total	5.5	8.7	10.9	17.2	19.5	21.7	24.0	26.3	28.8	115.1
Estado	Mortalidad Prem.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	A. H. Respiratoria	35.7	56.8	70.8	112.3	127.1	141.5	156.2	171.6	187.5	749.9
	A. H. Cardiovascular	11.5	18.3	22.8	36.2	40.9	45.6	50.3	55.3	60.4	241.6
	A. H. Asma	0.4	0.6	0.8	1.2	1.4	1.5	1.7	1.8	2.0	8.0
	Total	47.6	75.7	94.3	149.7	169.3	188.6	208.2	228.7	249.9	999.4

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 71: Cálculo de Beneficios en Salud para Escenario Agresivo por Agente Afectado (MM\$ de 2011)

Beneficios en Salud por Agente MM\$		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	VAN Social
Hogares	Mortalidad Prem.	89284.0	115948.2	156064.6	178474.5	200455.1	222498.3	244227.9	267348.4	290030.4	1268303.1
	A. H. Respiratoria	1.7	2.3	3.1	3.5	3.9	4.4	4.8	5.2	5.7	24.8
	A. H. Cardiovascular	0.6	0.7	1.0	1.1	1.3	1.4	1.5	1.7	1.8	8.0
	A. H. Asma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.3
	Total	89286.3	115951.3	156068.7	178479.1	200460.3	222504.1	244234.3	267355.4	290037.9	1268336.2
Privados	Mortalidad Prem.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	A. H. Respiratoria	14.9	19.3	26.0	29.7	33.4	37.0	40.6	44.5	48.3	211.1
	A. H. Cardiovascular	4.8	6.2	8.4	9.6	10.7	11.9	13.1	14.3	15.6	68.0
	A. H. Asma	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	2.2
	Total	19.8	25.7	34.6	39.6	44.5	49.4	54.2	59.3	64.3	281.3
Estado	Mortalidad Prem.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	A. H. Respiratoria	129.1	167.6	225.6	258.0	289.8	321.7	353.1	386.5	419.3	1833.6
	A. H. Cardiovascular	41.6	54.0	72.7	83.1	93.4	103.6	113.8	124.5	135.1	590.7
	A. H. Asma	1.4	1.8	2.4	2.7	3.1	3.4	3.8	4.1	4.5	19.5
	Total	172.0	223.4	300.7	343.9	386.2	428.7	470.6	515.1	558.8	2443.8

Fuente: Elaboración Propia

8.7 Beneficios Indirectos en Visibilidad del PPACM

Para realizar una valoración de los beneficios producto de mejoras en la visibilidad de la población se utiliza el estudio Sánchez et al. (1998) quienes realizan una evaluación de los beneficios por mejoras en visibilidad producto del PPDA de la Región Metropolitana. El estudio de valoración contingente realizado encuentra que la disposición media a pagar por una mejora en la visibilidad (la reducción corresponde a 42 µg/m³ de MP10) alcanza a US\$ 0,73 mensuales (dólares del año 1998). Para transferir dicho valor a la zona del Concepción Metropolitano se debe considerar la diferencia en concentraciones de MP10 y el diferencial de ingreso per cápita entre la Región Metropolitana y en el Concepción Metropolitano (para ello se utiliza el ingreso promedio de ambas zonas, Fuente: CASEN). Además se debe asumir una elasticidad ingreso que sea consistente con supuestos de transferencias de beneficios.

Tabla 72: Cálculo de Beneficios Totales por Mejoras en Visibilidad (MM\$ de 2011)

Beneficios Totales MM\$	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	VAN Social
Esc. Cumplimiento de Plan	446.5	548.1	729.1	802.7	877.2	950.5	1023.5	1100.0	1176.9	5550.0
Esc. Pasivo	141.2	224.6	279.9	444.5	502.7	560.0	618.1	679.0	741.9	2966.8
Esc. Agresivo	510.7	663.2	892.6	1020.8	1146.5	1272.6	1396.9	1529.1	1658.9	7254.3

Fuente: Elaboración Propia

El VAN a la tasa de descuento social de las mejoras en las visibilidad es de 5,6 mil millones en el escenario cumplimiento de plan, 3 mil millones en el escenario pasivo y 7,3 mil millones en el escenario agresivo.

8.8 Costos del PPACM

Los costos del PPACM corresponden a aquellos desembolsados de las empresas y los hogares asociados a cada una de las medidas propuestas, a los costos que deba realizar el Estado en el marco de las políticas de recambio de equipos, subsidios al aislamiento térmico de las viviendas, así como también los costos asociados a la regulación, diseño de programas, difusión y actividades de fiscalización. El detalle de los costos totales de las empresas y la población se presentaron previamente en distintas secciones de este informe, tanto para el corto como largo plazo, de todas formas a continuación se presenta un resumen de estos costos en la siguiente tabla:

Tabla 73: Detalle de Costos de las Medidas y Agentes Afectados

Medida	Resumen de Supuestos sobre los Costos	Agente Afectado	Costo Anual Promedio por Ton. Reducida
COMPEMIND	Se asume que todas las emisiones nuevas compensan emisiones para lo cual se establece como cota superior el costo de Mill\$ 4,2 por tonelada reducida de MP10	Privado (Industrias)	Mill\$ 4,2
CONGEMIND	Se asume que todas las emisiones nuevas compensan emisiones para lo cual se establece como cota superior el costo de Mill\$ 4,2 por tonelada reducida de MP10	Privado (Industrias)	Mill\$ 4,2
COMPLIND	Se consideran los costos de inversión en BAT mencionados en estudio UDT-Proterm (2010) de MillUS\$ 71,6, los cuales son anualizados bajo supuestos de tasas de costo del capital y periodo de vigencia del plan.	Privado (Industrias)	Mill\$ 5.052,9
NORMAIND	Mill\$ 2.143,1 estimado a partir de tonelada compensada, se utiliza como supuesto el costo de Mill\$ 4,2 por tonelada reducida de MP10.	Privado (Industrias)	Mill\$ 4,2
NCOMPIND	Costos ya incorporados en la medida COMPEMIND, no genera costos ni reducciones de emisiones adicionales.	Privado (Industrias)	Mill\$ 0
EMINDFUG	Costos ya incorporados en la medida COMPEMIND, no genera costos ni reducciones de emisiones adicionales.	Privado (Industrias)	Mill\$ 0
NEQUIPOS	Se considera el costo diferencial entre un equipo que cumple con la norma respecto uno que no cumple con la norma cuyo valor estimado es Mill \$0,245.	Población (Hogares)	Mill\$ 0,7
CEQUIPOS	Se utiliza un costo de Mill\$0,495 por cambio de equipo a leña que cumpla normativa.	Estado	Mill\$ 1,3
PCHIMENEAS	Se utiliza un costo de Mill\$0,495 por cambio de equipo a leña que cumpla normativa.	Población (Hogares)	Mill\$ 2,2
RLEÑA	Se considera un diferencial de costos de leña seca por \$27.443 m ³ estéreo y de leña sin secar por \$21.560 el m ³ estéreo.	Población (Hogares) y Privados (Productores o vendedores de Leña)	Mill\$ 0,4
TERMICOVIV	Se asume un costo de aislación para viviendas nuevas de Mill\$0,86, menos un ahorro de costos por menor consumo de leña de un 25%. También, se asume un costo de aislación para viviendas antiguas de Mill\$1,3 menos un ahorro de costos por menor consumo de leña de un 35%.	Estado	Mill\$ 2,8
PQUEMAS	Se considera un costo de incorporación de desechos por hectárea no quemada de Mill\$0,11.	Privado (Agricultores)	Mill\$ 0,2

Fuente: Elaboración Propia a partir de distintos estudios

A continuación, se presenta el total anual para cada medida bajo el escenario de Cumplimiento de Plan.

Tabla 74: Cálculo de Costos Totales por Medidas (Millones de pesos año 2011)

Medida	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	VAN Social
COMPEMIND	117.3	238.5	363.7	493.1	626.8	765.0	907.8	1055.3	1207.7	4007.2
CONGEMIND	425.1	864.3	1318.2	1787.2	2271.8	2772.5	3289.9	3824.5	4377.0	14522.9
COMPLIND ¹⁷	23097.4	23097.4	23097.4	23097.4	23097.4	23097.4	23097.4	23097.4	23097.4	157101.1
NORMAIND	0.0	0.0	2143.1	2143.1	2143.1	2143.1	2143.1	2143.1	2143.1	10647.5
NCOMPIND	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EMINDFUG	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NEQUIPOS	1091.9	1119.4	1150.4	1181.7	1214.7	1248.6	1283.5	1319.3	1356.2	8200.2
CEQUIPOS	2199.8	2199.8	2199.8	2199.8	2199.8	2199.8	2199.8	2199.8	2199.8	14962.2
PCHIMENEAS	4830.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4557.3
RLEÑA	779.3	801.9	824.4	847.0	869.5	892.0	914.6	937.1	959.6	5854.7
TERMICOVIV ¹⁸	3375.1	3209.4	3043.1	2876.3	2708.8	2540.8	2372.2	2202.9	2033.1	18852.3
PQUEMAS	154.5	172.7	172.7	193.7	193.7	202.3	202.3	219.2	219.2	1287.2
TOTAL	36071.2	31703.3	34312.8	34819.1	35325.5	35861.4	36410.4	36998.6	37593.0	239992.7

Fuente: Elaboración Propia

Cabe mencionar que dado que los costos de las medidas NCOMPIND y EMINDFUG ya están incorporadas en las otras medidas asociadas a las emisiones industriales su VAN social de los costos es cero.

Además de los costos anteriores existen costos de regulación, diseño e implementación para el Estado. A continuación se realiza una revisión de todos los programas complementarios y medidas generadoras de costos para el Estado.

Programa complementario 1: sistema de monitoreo continuo de emisiones para MP10, SO₂ y NO_x, instalado y certificado en un plazo de dos años iniciado el plan para cada mega fuente industrial. Este costo es para el regulado y no para el regulador, pero por ser un programa complementario es incluido en esta sección. Este costo fue obtenido de cotizaciones presentadas en el AGIES de Norma de Emisiones para Termoeléctricas del Año 2009 (US\$ 166.700 por fuente), además se considera un costo anual de certificación por \$6.798.000 y un costo estimado de 30 UF anual para mantención y calibración de equipos por cada fuente.

Programa complementario 2: implica mantener un registro actualizado de emisiones y fiscalización del sector industrial. Como valor referencial se utiliza el costo de licitación sobre sistematización de fiscalización (1593-75-LE10) por un monto total en el periodo

¹⁷ Incluye el costo para reducción de MP10 y SO₂

¹⁸ Incluye el costo de aislación para viviendas nuevas y el subsidio de aislación para las antiguas.

del plan de \$18.000.000.

Programa complementario 3: incluye la operación de red de monitoreo, equipamiento adicional necesario para la red, auditorias de implementación, participación de expertos internacionales. Una estimación del costo de los equipos, instalación, calibración, operación y mantención de una red de monitoreo involucra aproximadamente un costo anualizado y actualizado al año 2011 de aproximadamente \$143 millones (Fuente: AGIES del PPACM versión 2008). La participación de expertos internacionales la estimamos a un costo de \$20.000.000.

Programa complementario 4: estudios de caracterización de emisiones para principales establecimientos industriales, modelo de exposición a contaminantes, generación de bases de datos de mortalidad y morbilidad, y estudios epidemiológicos. Como valor referencial se utiliza el costo de licitación sobre diagnóstico de emisiones (1856-14-LP09) por un monto de \$55.000.000 y un estudio epidemiológico por un valor de \$17.000.000 (1856-28-LE08).

Programa complementario 5: personal para el registro de calefactores a leña, incluye SEREMI del MMA y SEREMI de Salud. Los costos de personal, equipos y materiales están incluidos en el programa complementario 16.

Programa complementario 6: estudios mensuales del SERNAC que en conjunto con la SEREMI del MMA entreguen información de locales donde se vende leña seca. Los costos de personal, equipos y materiales están incluidos en el programa complementario 16.

Programa complementario 7: personal para la fiscalización de mercado de leña. Los costos de personal, equipos y materiales están incluidos en el programa complementario 16.

Programa complementario 8: estudios para evaluar el reacondicionamiento térmico de viviendas, certificación térmica, y un programa de difusión y capacitación sobre instrumentos y recomendaciones para mejoramiento térmico. Asumimos que los estudios para reacondicionamiento térmico y certificación térmica de viviendas ya han sido realizados por el MINVU por lo cual no asignamos costos incrementales asociados al Plan. Como valor referencial se utiliza el costo de licitación sobre talleres de capacitación (1588-74-LE09) por un monto de \$17.000.000 anuales y el costo de campaña comunicacional (2122-17-L111) por \$4.000.000 y el costo de difusión de frases radiales por \$18.000.000 (1852-20-L110) y de televisión por \$36.000.000 (1657-94-LE10) anuales.

Programa complementario 9: fiscalización de quemas agrícolas y forestales, además de mejoramiento de estadísticas. Como valor referencial se utiliza el costo de licitación sobre sistematización de fiscalización (1593-75-LE10) por un monto de \$18.000.000.

Programa complementario 10: estudios sobre diagnóstico de plantas de revisión técnica y programas de financiamiento para mejora de tecnología en camiones. Como valor referencial se utiliza el costo de licitación sobre sistematización de fiscalización (1593-75-LE10) por un monto de \$18.000.000 y un estimado de estudio para mejora o recambio tecnológico en camiones de \$14.000.000 (1287-3-LE10).

Programa complementario 11: la resolución del ministerio de transporte y telecomunicaciones sobre la regulación de la operación del sistema de transporte público urbano en Concepción Metropolitano no incluye recursos adicionales.

Programa complementario 12: estudios sobre catastro de áreas verdes. Como valor referencial se utiliza el costo de licitación sobre catastro de bosques regional (633-69-LP10) por un monto de \$90.000.000.

Programa complementario 13: incluye programas de acreditación de emisiones y tecnologías, certificación y capacitación internacional al personal involucrado en el PPACM. Como valor referencial se utiliza el costo de licitación sobre capacitación de herramientas para la gestión de la calidad del aire (1588-130-LE09) por un monto de \$6.000.000, una licitación de análisis, diseño e implementación de emisiones (1588-132-LP10) por un monto de \$45.000.000. La participación de expertos internacionales la estimamos a un costo de \$20.000.000.

Programa complementario 14: incluye diseño, desarrollo e implementación de programas a funcionarios municipales, líderes sociales y ambientales, plan de comunicación anual y actividades de difusión. Como valor referencial se utiliza el costo de licitación sobre talleres de capacitación (1588-74-LE09) por un monto de \$17.000.000 anuales, el costo de campaña comunicacional (2122-17-L111) por \$4.000.000, el costo de difusión de frases radiales por \$18.000.000 (1852-20-L110) y de televisión por \$36.000.000 (1657-94-LE10) anuales.

Programa complementario 15: actividades de educación ambiental de la SEREMI del MMA y unidades educacionales, que incluyen capacitación a docentes, red de información escolar, elaboración de material didáctico, encuentros anuales. Como valor referencial se utiliza el costo de licitación sobre producción e implementación de talleres de capacitación (1588-6-LE09) por un monto de \$15.000.000 anuales.

Programa complementario 16: incluye personal, equipos y materiales para cada servicio que desarrolle actividades enmarcadas dentro del PPACM. Para el registro de calefactores y estudio sobre venta de leña seca en el mercado se considera un profesional grado 10 en la SEREMI del MMA, para la fiscalización del mercado de la leña y capacitación en talleres se consideran diez profesionales grado 10 en la SEREMI del MMA, para la fiscalización de quemas agrícolas y forestales se consideran dos profesionales de CONAF, además se considera un profesional adicional para la SEREMI de Salud (costo anual de remuneración bruta anual por cada uno de \$16.800.000) lo que en total da un costo por mano de obra de \$235.200.000 al año.

También se consideran combustible, equipos computacionales y materiales para estos profesionales por un monto de \$48.600.000 anual, y cuatro vehículos por \$4.800.000 valor anualizado a la tasa de descuento social.

Programa complementario 17: generación de informes anuales para el seguimiento del plan. Como valor referencial se utiliza el costo de licitación sobre seguimiento de impactos de PPDA sobre emisiones (1287-10-LP08) por un monto de \$40.000.000 anuales.

Las medidas COMPLIND, CONGEMIND, NCOMPLIND, COMPEMIND y NORMAIND no incluyen recursos adicionales a los ya incorporados en los programas complementarios. La medida DISTRGAS puede incluir costos de estudios de factibilidad o subsidios por parte del Estado a través de la empresa pública ENAP que dependen de la decisión de la empresa de concretar el proyecto de la planta de regasificación a una escala mayor, sin embargo estos costos deberían ser incorporados dentro de la medida detallada en la sección 6 y no dentro de los costos del Estado como regulador.

La medida CEQUIPOS incluye costos de estudios para el diseño y mecanismo de asignación de los equipos a renovar. Se asume que se utiliza la información y experiencia de otras regiones que ya han comenzado con el proceso de recambio de estufas, por lo que no incluimos costos adicionales.

Las medidas RLEÑA, CHIMENEAS, TERMICOVIV, NEQUIPOS y PQUEMAS no incluyen recursos adicionales a los ya incorporados en los programas complementarios.

Tabla 75: Cálculo de Costos Totales de Regulación (Millones de pesos año 2011)

Costos de Regulación	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Inversión Sistema de Monitoreo continuo de emisiones	2000.4	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5
Certificación de sistemas de monitoreo		170.0	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0
Registro y fiscalización diversos sectores	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
Comunicación y Difusión	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0
Red de monitoreo emisiones	163.0	163.0	163.0	163.0	163.0	163.0	163.0	163.0	163.0
Estudios para el PPACM	194.0				194.0				194.0
informes anuales de seguimiento	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
Capacitaciones	105.0	105.0	105.0	105.0	105.0	105.0	105.0	105.0	105.0
Fiscalizadores	235.2	235.2	235.2	235.2	235.2	235.2	235.2	235.2	235.2
Vehículos Fiscalización	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
Combustible y Materiales	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6
Total Costos Regulación (\$MM)	2943.0	935.1	935.1	935.1	1129.1	935.1	935.1	935.1	1129.1

Fuente: Elaboración Propia

8.9 Costo Efectividad y Evaluación Económica Social

En esta sección se define un conjunto de indicadores económicos que permiten evaluar la conveniencia de cada medida del PPACM en términos de costo efectividad. Este concepto económico es atractivo ya que permite orientar al regulador sobre qué medidas permiten alcanzar un mismo objetivo de reducción de concentraciones pero al costo más bajo posible dentro del conjunto de medidas analizadas. Cuando las emisiones de una fuente tienen diferentes impactos en los receptores, es decir, se analiza un contaminante no uniformemente mezclado el indicador de costo efectividad relevante es el costo por $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP10 reducida.

Para calcular el indicador de costo efectividad del costo por $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP10 se dividió el costo total de la medida por la reducción total en las concentraciones de MP10. Los resultados para el año final de evaluación 2020 se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 76: Costo Efectividad de las medidas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP10 año 2020 (Millones de pesos)

Escenario	Cumplimiento de Plan			Pasivo			Agresivo		
	Total Reducción $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Costo MM\$	Costo MM\$/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Total Reducción $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Costo MM\$	Costo MM\$/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Total Reducción $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Costo MM\$	Costo MM\$/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Indicador									
RLEÑA	40.6	959.6	23.6	24.4	575.8	23.6	40.6	959.6	23.6
CEQUIPOS	37.1	2199.8	59.3	16.7	990.0	59.3	74.1	4399.6	59.3
PCHIMENEAS	5.2	752.8	144.5	3.1	451.7	144.5	5.2	752.8	144.5
NEQUIPOS	5.0	1356.2	273.6	5.0	1356.2	273.6	5.0	1356.2	273.6
TERMICO VIV NUE	1.8	930.3	507.7	1.8	930.3	507.7	1.8	930.3	507.7
TERMICOVIV ANT	2.0	1102.9	552.8	1.3	735.2	552.8	6.0	3308.6	552.8
NORMAIND	2.5	2143.1	860.2	2.5	2143.1	860.2	2.5	2143.1	860.2
COMPEMIND	1.3	1207.7	940.8	1.1	1055.3	940.8	1.3	1207.7	940.8
CONGEMIND	4.0	4377.0	1094.6	3.5	3824.5	1094.6	4.0	4377.0	1094.6
COMPLIND	7.8	23097.4	2952.8	7.8	23097.4	2952.8	7.8	23097.4	2952.8
PQUEMAS	4.8	37593.0	7881.3	2.9	34839.2	12173.3	12.4	43859.0	3549.5

Fuente: Elaboración Propia

Una vez jerarquizados los indicadores de costo efectividad, podemos concluir que medidas enfocadas al secado de leña, cambio de equipos, prohibición de chimeneas y

norma de equipos son los más eficientes en la reducción de la contaminación. En el extremo opuesto las medidas más costosas para reducir las concentraciones están las asociadas a la prohibición de quemas y a la regulación de fuentes industriales. Estos resultados permiten recomendar a la autoridad la necesidad de una potencial reasignación de recursos de fiscalización e implementación de medidas más eficientes en términos económicos. Sin embargo, los resultados implican un cambio de enfoque en la regulación desde las fuentes industriales hacia las emisiones domésticas, por lo tanto, el efecto distributivo de la regulación debiese afectar más a los hogares o bien al gobierno si decide subsidiar la reducción de los hogares.

No obstante, el indicador anterior es necesario identificar si cada una de las medidas es socialmente rentable mediante un análisis de la evaluación económica social de proyectos. Para determinar el VAN social de cada una de las medidas propuestas en el PPACM, se descuentan los beneficios netos de cada medida a la tasa de descuento social (6%), los resultados se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 77: VAN Social de Medidas Escenario (Millones de pesos año 2011)

Escenario	Esc. Cumplimiento de Plan			Esc. Pasivo			Esc. Agresivo		
	Beneficios	Costos	Beneficios Netos	Beneficios	Costos	Beneficios Netos	Beneficios	Costos	Beneficios Netos
VAN Social									
COMPEMIND	7837	4007	3830	6086	3106	2980	7837	4007	3830
CONGEMIND	26911	14523	12388	20904	11257	9647	26911	19590	7321
COMPLIND	78661	157101	-78440	65579	135311	-69732	78661	157101	-78440
NORMAIND	19140	10647	8492	16058	8848	7210	19140	10647	8492
NCOMPIND	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EMINDFUG	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NEQUIPOS	45492	8200	37291	45492	8200	37291	45492	8200	37291
CEQUIPOS	229003	14962	214041	103062	6734	96328	458006	29924	428081
PCHIMENEAS	64294	4557	59737	28821	2734	26087	64294	4557	59737
RLEÑA	450591	5855	444736	199852	2588	197264	450591	5855	444736
TERMICOVIV	33015	18852	14163	27244	15416	11828	67641	56557	11084
PQUEMAS	21761	1287	20473	9841	574	9267	58447	1287	57160
Costos Regul.	0	8514	-8514	0	8514	-8514	0	8514	-8514
Total Medidas	976703	248507	728197	522938	203281	319657	1277018	306240	970778

Fuente: Elaboración Propia

Todas las medidas arrojan un VAN social positivo en los tres escenarios por lo que son económicamente atractivas para reducir las concentraciones de MP10 (en el caso de las medidas NCOMPIND y EMINDFUG debemos recordar que no implicaban un cambio marginal en la reducción de emisiones respecto a otras medidas relacionadas al sector industrial por ello su VAN social es cero.

Al agregar todas las medidas se obtiene el VAN social de los beneficios netos para cada escenario. El escenario cumplimiento de plan arroja el VAN social de \$728,2 mil millones, el escenario pasivo entrega un VAN social de \$319,7 mil millones, y el escenario agresivo entrega un VAN social de \$970,8 mil millones.

La magnitud del VAN positivo varía en los escenarios en función de la inversión requerida, de la mayor penetración, cumplimiento de la medida y de su capacidad para reducir concentraciones (que depende de los factores de emisiones estimados en este estudio, de la reducción de emisiones y su localización).

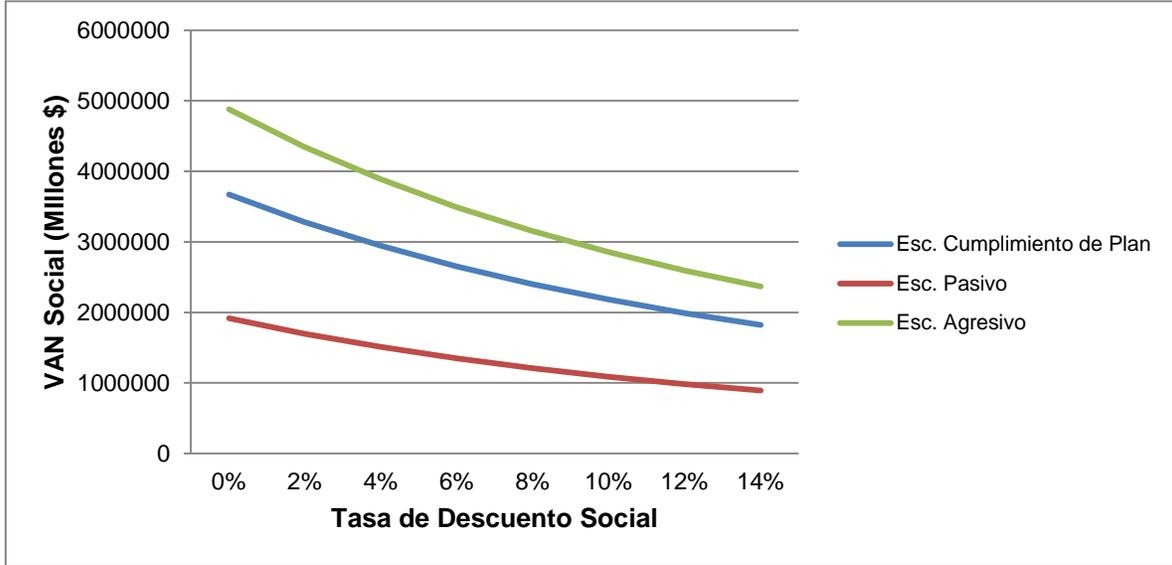
Se concluye que todas las medidas en conjunto permiten cumplir con el objetivo del plan al año final de evaluación (en su versión agresiva). Sin embargo, desde el punto de vista económico se recomienda por su eficiencia que se priorice y aumente la magnitud de medidas con menor índice de costo efectividad, este cambio de enfoque podría elevar aún más el VAN Social dado un nivel de reducción.

8.10 Análisis de Sensibilidad

Considerando que para obtener los resultados de la sección previa se han utilizado muchos supuestos, valores y parámetros de distintos estudios es crucial realizar un análisis de sensibilidad. De esta forma se puede identificar los impactos de distintos parámetros o variables de decisión sobre los resultados.

Específicamente, el análisis de sensibilidad consiste en estimar el efecto de cambios en las variables sobre los indicadores económicos bajo estudio. Por lo general solo se realiza análisis de sensibilidad sobre los parámetros más relevantes, para los AGIES se sugiere realizar análisis de sensibilidad en la tasa de descuento, valor de la vida estadística y coeficientes de riesgo relativo para efectos en la salud.

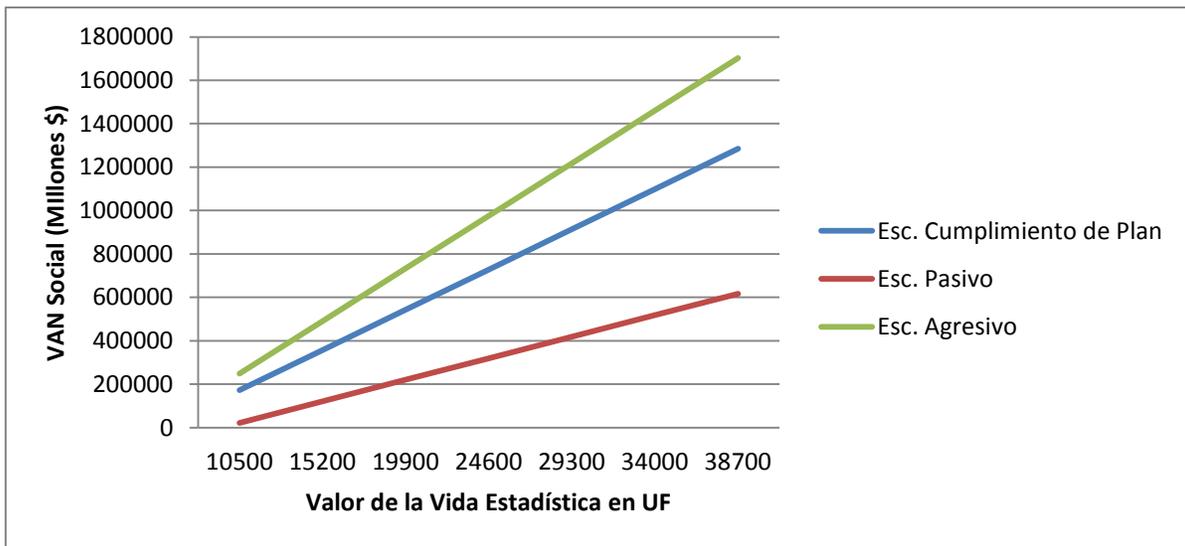
Para el caso de la tasa de descuento social se sensibiliza con valores desde una tasa de descuento de 0% a 14%. Una tasa de descuento baja ayuda a las evaluaciones económicas de proyectos ambientales, ya que en general los beneficios de tales proyectos están en el futuro, mientras las inversiones y costos en general se desembolsan en el corto plazo. Sin embargo, dados los flujos de beneficios netos de las medidas del PPACM observamos que es socialmente rentable incluso a tasas de descuento superiores al 14%, lo que permite concluir que el beneficio social neto a valor presente del PPACM es robusto a distintas tasas de descuento.



Fuente: Elaboración propia

Figura 42: Análisis de Sensibilidad de Tasa de Descuento Social

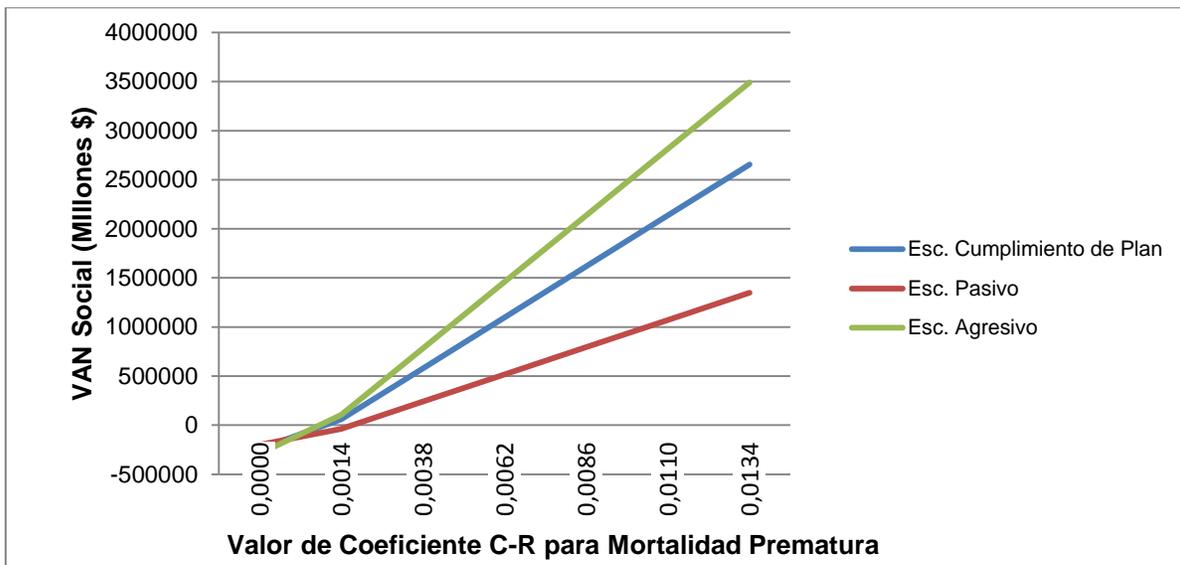
Para el caso del valor de la vida estadística se sensibiliza con las cotas mínima y máxima de 10500 UF y 38700 UF extraídos del AGIES para MP2,5, además se incluyen otros valores intermedios entre estos rangos. Se observa que incluso en la cota mínima de valor de la vida estadística el PPACM es socialmente rentable en los escenarios cumplimiento de plan, pasivo y agresivo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 43: Análisis de Sensibilidad de Valor de la Vida Estadística

Finalmente, se escoge sensibilizar el coeficiente de C-R de mortalidad prematura, que es el parámetro que explica la mayor parte de los beneficios monetarios del PPACM. Se utilizan valores para este parámetro que están dentro de una, dos y tres desviaciones estándares del C-R, lo cual implica aproximadamente un nivel de confianza de 66%, 95% y 99%. Se observa que a partir del rango inferior del 95% de confianza el VAN social del PPACM es positivo para los escenarios cumplimiento de plan, pasivo y agresivo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 44: Análisis de Sensibilidad de Coeficiente para Mortalidad Prematura

8.11 Simulación de Montecarlo

Un problema del análisis de sensibilidad es que además de considerar la variación en una sola variable, no se considera la distribución de probabilidades en el rango de valores que puede adoptar. Un método alternativo para superar esta limitación es la simulación de Monte Carlo, la cual asigna aleatoriamente el valor de una variable o varias variables respetando la distribución de probabilidad asumida para cada una de ellas, este procedimiento se repite n veces produciendo una distribución empírica del indicador económico a través de los escenarios simulados.

Para este análisis de Montecarlo se consideran las variables de valor de vida estadística con una distribución uniforme entre los rangos de 10500 UF y 38700 UF (Fuente: AGIES de MP2,5), C-R de la mortalidad y enfermedades con una distribución normal con media y desviación estándar igual al C-R citado en el respectivo estudio del

cual es extraído, el valor de la disposición a pagar por visibilidad con una distribución normal y la tasa de descuento social con una distribución triangular entre 0% y 12%.

Los resultados de las simulaciones luego de 1000 iteraciones se reporta en la siguiente tabla, en la cual se entregan los estadísticos descriptivos e intervalo de confianza al 90% del VAN social de cada una de las medidas que incorpora el PPACM (el intervalo de confianza al 95% del VAN social de todas las medidas del PPACM está entre \$59.131,7 millones y \$2.053.708,2 millones). El análisis demuestra que los resultados de la conveniencia económica de llevar a cabo el PPACM son robustos a los distintos escenarios simulados por lo que se recomienda su implementación.

Tabla 78: Simulación de Montecarlo VAN Social de Medidas para el Escenario Cumplimiento de Plan (Millones de pesos año 2011)

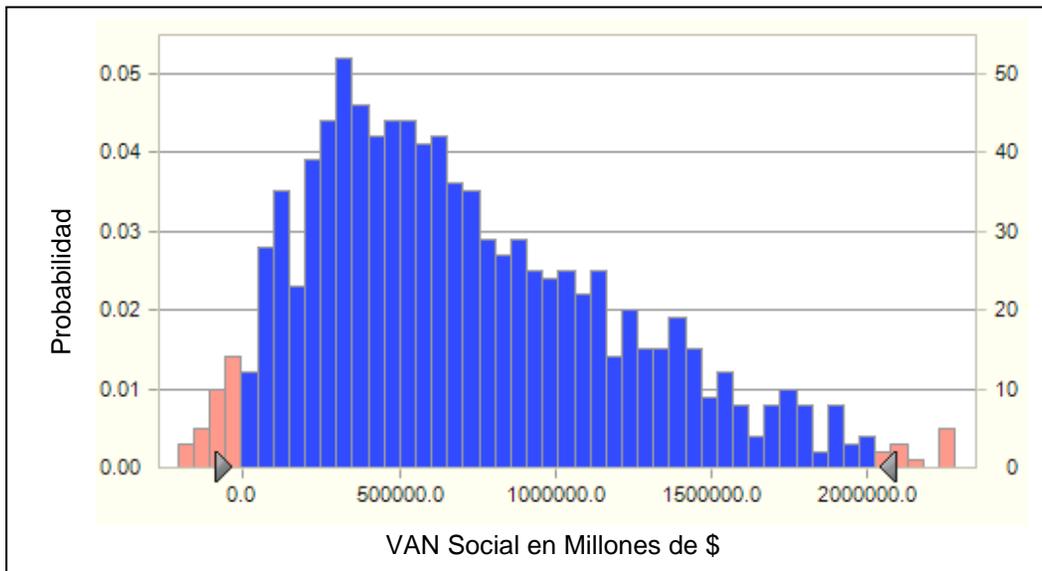
VAN Social	Iteraciones	Media	Mediana	Desv. Est.	Minimo	Maximo	Rango	Perc. 5%	Perc.95%
COMPEMIND	1000	3927.0	3035.6	4392.4	-4373.4	24121.6	28495.0	-2118.5	13996.5
CONGEMIND	1000	12709.2	9780.0	15060.1	-16012.2	81926.4	97938.6	-7944.6	47302.0
COMPLIND	1000	-78638.0	-84463.9	43020.9	-183982.1	107639.5	291621.6	-145395.9	19495.0
NORMAIND	1000	8698.2	6673.8	10650.8	-11609.9	57362.9	68972.8	-5975.3	33196.0
NCOMPIND	1000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EMINDFUG	1000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NEQUIPOS	1000	37976.2	32477.1	25734.1	-6500.5	155207.0	161707.5	2599.7	96256.6
CEQUIPOS	1000	218488.4	189984.1	132372.9	-8252.5	826832.6	835085.1	38334.3	510440.0
PCHIMENEAS	1000	60580.1	52973.3	36663.9	-3782.2	225287.6	229069.8	9319.0	144889.5
RLEÑA	1000	451222.8	398452.6	253791.1	6065.9	1594672.8	1588606.9	99739.7	1029230.8
TERMICOVIV	1000	14611.0	10778.7	18518.2	-19142.4	99399.7	118542.1	-10381.1	56988.7
PQUEMAS	1000	20796.3	18232.1	12283.9	-644.7	76357.4	77002.1	3821.4	48691.5
Costos Regulador	1000	8514.0	8514.0	0.0	8514.0	8514.0	0.0	8514.0	8514.0
Todas las Medidas	1000	741785.4	624809.1	549609.5	-208500.5	3239287.2	3447787.7	-5880.0	1996791.9

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 79: Resumen de Indicadores Económicos para la Simulación de Montecarlo en el Escenario Cumplimiento de Plan (Millones de pesos año 2011)

	Beneficio			Costo			Beneficio/Costo		
	Percentil 50	Mínimo	Máximo	Percentil 50	Mínimo	Máximo	Percentil 50	Mínimo	Máximo
VAN Social									
COMPEMIND	7009.9	196.7	28889.7	4016.0	2923.8	5701.6	1.8	0.1	6.1
CONGEMIND	24068.9	675.4	99206.8	14554.8	10596.4	20663.5	1.7	0.1	5.7
COMPLIND	70425.3	1984.4	286911.5	157360.9	124346.3	205809.0	0.5	0.0	1.6
NORMAIND	17137.1	482.5	69899.9	10669.5	7902.6	14822.6	1.6	0.0	5.6
NCOMPIND	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-
EMINDFUG	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-
NEQUIPOS	40582.1	1152.8	164612.0	8214.3	6430.2	10852.6	5.1	0.2	17.5
CEQUIPOS	204838.6	5748.3	843906.4	14987.0	11842.7	19601.1	13.8	0.4	49.4
PCHIMENEAS	57550.6	709.3	229974.6	4558.9	4323.6	4821.1	12.6	0.2	49.1
RLEÑA	404286.5	11530.8	1601386.2	5864.8	4592.7	7744.9	70.1	2.1	238.5
TERMICOVIV	29579.6	832.3	120671.2	18880.8	15229.1	24139.5	1.6	0.0	5.7
PQUEMAS	19481.2	555.0	77837.6	1289.5	1004.3	1712.4	15.4	0.5	52.6
Costos Regulador	0.0	0.0	0.0	8514.0	8514.0	8514.0	-	-	-
Todas las Medidas	874959.8	23867.5	3523295.9	248910.5	197705.6	324382.3	3.7	0.1	12.8

Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 45: Simulación de Montecarlo VAN Social

8.12 Cuantificación de Impactos Económicos Indirectos

Aun cuando en este informe se ha presentado una evaluación social de los impactos directos de las medidas incorporadas en el PPACM. Es necesario discutir al menos potenciales impactos indirectos en la actividad económica de la zona bajo estudio, considerando que uno de los sectores regulados como son las fuentes industriales representan más de un tercio de la actividad económica regional, y muy probablemente su importancia es mayor en la zona del Concepción Metropolitano.

Para realizar una cuantificación de los impactos económicos indirectos a nivel sectorial, se requiere contar con Matrices Insumo Producto para determinar los encadenamientos productivos entre los distintos sectores económicos. Estos análisis se basan en la metodología de multiplicadores de la matriz inversa de Leontief.

En nuestro país las Matrices Insumo Producto regionales disponibles tienen como año base 1996, por lo cual no dan cuenta de la transformación económica más reciente que han sufrido las regiones. Sin embargo, existen métodos de actualización que a partir de información incompleta (datos de encuestas industriales, cuentas nacionales, entre otras) permiten construir matrices actualizadas utilizando como base una matriz desactualizada. Un caso de aplicación de estas técnicas de optimización fue utilizada por Mardones y Saavedra (2011) para actualizar la Matriz Insumo Producto de la Región del Bío Bío Año Base 2006 y construir una Matriz de Contabilidad Social extendida Ambientalmente para la Región del Bío Bío.

Una Matriz de Contabilidad Social extendida Ambientalmente da cuenta de todos los flujos de transacciones económicas realizadas en la región del Bío Bío y el flujo de emisiones contaminantes al ambiente generada por la producción, permitiendo caracterizar la estructura económica y productiva de esta región, y además, ser la base para elaborar un análisis de multiplicadores sectoriales vinculados con las emisiones directas e indirectas de cada sector productivo.

Para ser más específico, las emisiones directas provienen del aumento (disminución) de la producción generada por un shock positivo (negativo) de la demanda final. Este shock podríamos asumirlo por ejemplo a una caída en la demanda final como resultado de una pérdida de mercados ocasionada por el alza en los costos sectoriales debido a regulaciones ambientales más estrictas. A su vez la caída en la actividad del sector inicialmente afectado, genera una menor demanda por insumos que provienen de otros sectores que lo abastecen, y que por menor actividad productiva inducida reducen emisiones indirectamente, este ciclo de retroalimentación se sigue repitiendo hasta que la economía converge a un nuevo equilibrio.

La tabla siguiente muestra el resumen del impacto directo e indirecto de las emisiones de cada sector económico en la región. Cada columna representa el sector económico afectado por un aumento o disminución en la demanda final. Del total de emisiones de

MP10 generadas en la economía por ese sector, cada fila representa el porcentaje de emisiones asociado a encadenamiento productivo. Por ejemplo, ante un shock en la demanda de la actividad en la industria de alimentos (*aalimentos*) un 43,8% del total de emisiones generadas corresponden a emisiones directas de ese sector, pero existe un 16,1% de emisiones indirectas generadas por la actividad de electricidad/gas/agua (*aega*), un 2,8% a emisiones de la actividad del transporte (*atransp*), un 23,8% de emisiones de la actividad metálica básica (*ametbas*), entre otras.

El simple ejercicio anterior, nos permite identificar claramente que la regulación debe ser considerada desde una perspectiva integral, ya que shocks económicos en un determinado sector productivo, pueden tener impactos sobre las emisiones de otros sectores encadenados económicamente con el primero.

Tabla 80: Impacto Económico Directo e Indirecto sobre Emisiones Sectoriales de MP10

Sector Económico	aagrpece	apesca	aminer	aalimen	atextil	amader	acelul	aquimic	anomet	ametbas	ametmec	arindus	aega	aconstr	acomer	atransp	acomun	assfin	asrvprop	aadmpub
aagrpece	2,7%	0,1%	0,2%	0,3%	0,1%	0,4%	0,2%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%
apesca	0,0%	0,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
aminer	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
aalimen	6,9%	4,3%	2,8%	43,8%	3,4%	4,5%	2,4%	3,1%	0,8%	0,3%	1,7%	2,0%	0,9%	2,3%	4,6%	3,5%	3,8%	5,3%	5,9%	5,5%
atextil	0,8%	0,6%	0,8%	0,5%	18,1%	0,7%	0,4%	0,4%	0,1%	0,0%	0,4%	0,7%	0,2%	0,4%	0,6%	0,6%	0,6%	0,9%	0,9%	0,9%
amader	0,3%	0,2%	0,1%	0,2%	0,2%	7,5%	0,2%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	0,3%	0,0%	0,2%	0,2%	0,2%	0,3%	0,2%	0,2%	0,2%
acelul	2,6%	2,2%	3,2%	1,8%	2,7%	2,8%	46,0%	2,0%	0,5%	0,2%	0,8%	1,2%	0,6%	1,1%	2,9%	2,0%	3,4%	5,7%	3,1%	2,9%
aquimic	3,5%	2,4%	1,7%	1,6%	2,4%	2,3%	1,4%	28,1%	0,4%	0,2%	0,9%	1,4%	0,4%	1,3%	2,3%	3,7%	1,8%	2,4%	2,5%	2,1%
anomet	14,1%	10,3%	17,0%	8,0%	8,1%	17,4%	5,0%	10,2%	84,3%	1,4%	8,4%	19,9%	3,2%	23,7%	12,0%	9,9%	16,8%	12,9%	13,9%	14,3%
ametbas	36,4%	53,0%	45,3%	23,8%	39,4%	31,7%	23,9%	31,5%	8,1%	94,3%	71,2%	49,3%	9,3%	49,8%	36,9%	29,5%	41,9%	37,4%	35,4%	36,5%
ametmec	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
arindus	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
aega	26,0%	21,4%	23,8%	16,1%	20,7%	25,6%	16,0%	19,9%	4,6%	3,0%	12,8%	20,4%	84,1%	12,2%	25,3%	19,0%	25,1%	27,6%	28,9%	30,5%
aconstr	0,8%	0,7%	0,4%	0,5%	1,0%	0,7%	0,4%	0,6%	0,2%	0,1%	0,5%	1,4%	0,2%	6,4%	0,7%	0,6%	1,1%	0,9%	1,3%	1,0%
acomer	1,0%	0,8%	1,1%	0,6%	0,9%	0,8%	0,5%	0,7%	0,2%	0,1%	0,5%	1,1%	0,2%	0,4%	8,1%	0,8%	1,1%	1,0%	1,0%	1,1%
atransp	4,7%	3,3%	3,4%	2,8%	2,8%	5,4%	3,6%	3,1%	0,7%	0,4%	1,8%	2,0%	0,8%	2,0%	6,1%	30,0%	4,0%	5,2%	5,1%	4,7%
acomun	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
assfin	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
asrvprop	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	1,4%	0,2%
aadmpub	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Fuente: Elaboración Propia

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La zona del Concepción Metropolitano enfrenta problemas de altas concentraciones de material particulado respirable, las cuales pueden atribuirse principalmente a dos fuentes: emisiones residenciales por combustión de leña para calefacción y emisiones de fuentes industriales. La población afectada por esta contaminación bordea el millón de habitantes, por lo cual la autoridad ambiental a través del Plan de Prevención Ambiental para el Concepción Metropolitano (PPACM) ha propuesto una serie de medidas con el fin de controlar las emisiones de material particulado de las distintas fuentes involucradas.

A partir de este estudio se concluye que se requiere un compromiso del Estado, hogares e industrias, con el fin de colaborar y asumir los costos que involucra el mejoramiento de la calidad del aire en el Concepción Metropolitano. Las megafuentes industriales deberán asumir los costos de instalación y operación de distintas tecnologías de abatimiento, industrias menores deben internalizar los costos de cumplir con nueva normativa de emisiones y congelamiento de emisiones, permitiéndose la compensación de emisiones. Por otra parte, los hogares que combustionan leña enfrentarán nuevas normas y prohibiciones, pero además existirán subsidios para cambio de equipos y el mejor aislamiento térmico de las viviendas, por lo que los costos se distribuirán entre el Estado y los hogares. Además, el Estado deberá incurrir en costos asociados a la regulación y adecuada fiscalización de las medidas propuestas en el PPACM.

La evaluación del impacto de las emisiones de cada grupo de fuentes sobre las concentraciones en el Gran Concepción fue estimada con un modelo de dispersión, lo cual permitió generar Factores de Emisión Concentración para cada fuente según su localización geográfica. Esto permitió determinar el impacto en las concentraciones de una reducción en las emisiones a partir de las medidas incorporadas en el PPACM. De este modo se concluyó que las medidas del PPACM con mayor potencial de reducción de emisiones y concentraciones son RLEÑA, CEQUIPOS y COMPLIND (todas reducen un 25,8% de las emisiones totales y un 16% de las concentraciones anuales promedio bajo el escenario cumplimiento de plan respecto al escenario base sin plan).

El cumplimiento de las normas de calidad del aire, no solo implica costos sino que también beneficios económicos asociados a la reducción de mortalidad, morbilidad y mejoras en visibilidad por la menor exposición a concentraciones de material particulado respirable. Por lo que la evaluación económica social de todos los beneficios económicos en salud y visibilidad, así como también los costos de implementación, regulación y fiscalización de cada una de las medidas evaluadas en el AGIES arroja que el VAN social del PPACM en el **escenario cumplimiento de plan es \$728,2 mil millones**, para contrastar este resultado se consideran otros dos escenarios, uno llamado **escenario pasivo que arroja un VAN social de \$319,7 mil millones** y un **escenario agresivo que genera un VAN social de \$970,8 mil millones**. Los resultados

de esta evaluación económica son robustas a análisis de sensibilización y simulación de Montecarlo.

A partir de los resultados que arroja el estudio podemos señalar que el PPACM debe llevarse a cabo en su versión de cumplimiento más exigente (dado que el VAN social total de las medidas es positivo, así como también el VAN social de cada una de las medidas por separado). Esto se debe a que el escenario agresivo es el único que asegura que en promedio las concentraciones cumplan con la normativa desde el año 2014 hasta el año 2020, periodo final de evaluación del AGIES.

Sin embargo, se observa alta heterogeneidad en las concentraciones por comuna, por lo que si las medidas fueran reasignadas siendo más exigentes en aquellas comunas con más altas concentraciones (por ejemplo mayor cambio de equipos en comunas donde las concentraciones son más altas y menos equipos en comunas con concentraciones más bajas) podría alcanzarse el objetivo del plan a menor costo.

Además, se concluye que se podrían priorizar o incrementar las metas de las medidas que ayudan a reducir fuertemente las concentraciones y que son relativamente menos costosas. En este sentido debiesen priorizarse principalmente las medidas enfocadas a la combustión de leña residencial, lo que implica un cambio de enfoque en la regulación desde las fuentes industriales hacia las emisiones domésticas.

BIBLIOGRAFÍA

AMBIENTE CONSULTORES (2006). "Programa de Inversión Pública para Fomentar el Reacondicionamiento Térmico del Parque Construido de Viviendas" informe Final preparado para el MINVU.

Agrupación Energía Limpia de la Biomasa (2009). "Modelos de Negocios para el Acopio y Secado de Leña".

Alegría, M., C. Mardones & J. Jimenez (2011). "Reducción de Emisiones de MP10 Bajo Escenarios de Regulación y Disponibilidad de Gas Natural Licuado en la Región del BíoBío-Chile", Documento de Trabajo 02-2011, DII Universidad de Concepción.

Centro Mario Molina (2008). "Optimización y análisis de las responsabilidades en las emisiones atmosféricas del área de Concepción metropolitana para efectos de la revisión del PPACM" desarrollado para CONAMA Región del BíoBío.

Cerda, A., L. García, A. Bahamondez & V. Poblete (2010). "Comparison of Willingness To Pay (WTP) for an Improvement in Air Quality between Users and Nonusers of Firewood in the City of Talca (Chile)," *Lecturas de Economía*, issue 72, pages 195-212.

Cifuentes (1998) Estudio Evaluación Económica de los Beneficios Sociales para el Estudio "Antecedentes para la Revisión de las Normas de Calidad de Aire contenidas en la Resolución N° 1215 del Ministerio de Salud, 1978" CONAMA (a través de SGA Ibersis)

Cifuentes, L., L. Lave, Vega, J., Kopfer, K. (2000). "Effect of the fine fraction of particulate matter vs the coarse mass and other pollutants on daily mortality in Santiago, Chile." *Journal of the Air & Waste Management Association*, 50:1287-1298.

Colburn K.A., Johnson P.R. (2003). "Public health. Air pollution concerns not changed by S-PLUS flaw". *Science* 2003; 299:665–6.

CONAMA (1998). "Metodología para el Estudio de los Efectos Económicos y Sociales de Planes y Normas Ambientales".

CNE (2009) "Modelos de Negocios para el Acopio y Secado de Leña", disponible en www.energialimpiabiomasa.cl

Dockery, D., Pope, C. A., Xu, X., Spengler, J., Ware, J., Fay, M., Ferris, B., and Speizer, F. (1993). "An association between air pollution and mortality in six U.S. cities." *New England Journal of Medicine*, 329, 1753-1759.

Dominici, F., McDermott, A., Daniels, M., Zeger, S. L., & Samet, J. M. (2003). A Special Report to the Health Effects Institute on the Revised Analyses of the NMMAPS II Data. The Health Effects Institute, Cambridge, MA.

DICTUC (2010) "Análisis General del Impacto Económico y Social de la norma de calidad del aire por MP2,5", preparado para el Ministerio del Medio Ambiente.

Elixhauser, A., R.M. Andrews and S. Fox (1993). "Clinical Classifications for Health Policy Research: Discharge Statistics by Principal Diagnosis and Procedure". Agency for Health Care Policy and Research (AHCPR), Center for General Health Services Intramural Research, U.S. Department of Health and Human Services.

GEOAIRE y KAS INGENIERIA (2009). "AGIES de Norma de Emisiones para Termoeléctricas" preparado para CONAMA.

Green, Laura and Sarah Armstrong (2003). "Particulate Matter in Ambient Air and Mortality: Toxicologic Perspectives." *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 38: 326-335.

INE (2005). "Proyecciones de Población años 1990-2020".

INE BÍO BÍO (2006) "La Industria Regional una Mirada de Catorce Años 1990-2003".

INE (2009). "Encuesta Nacional Industrial Anual (ENIA) 2007"

Kunzli, N., Medina, S., Kaiser, R., Quenel, P., Horak, F., and Studnicka, M. (2001). "Assessment of Deaths Attributable to Air Pollution: Should We Use Risk Estimates based on Time Series or Cohort Studies?" *American Journal of Epidemiology*, 153,

Mardones, C. (2008) "Análisis General del Impacto Económico y Social del Plan de Prevención del Concepción Metropolitano". Informe Final preparado para CONAMA BíoBío.

Mardones, C. & J. Saavedra (2011) "Matriz de Contabilidad Social Extendida Ambientalmente para Análisis Económico de la Región del Bío Bío", *Revista de Análisis Económico – Economic Analysis Review*, Vol. 26 N° 1, pp. 17-51

Moreira (2000). "Estimación de Beneficios Sociales en Salud Anteproyecto de Revisión de las Normas de Calidad Primaria de Aire Contenidas en la Res N°1215/78 del Ministerio de Salud MINSAL".

Moreno, V. y L. Cifuentes (1997). "Estimación de los Costos de Reducción de Emisiones de Material Particulado Proveniente de Calderas en la Región Metropolitana." *Apuntes de Ingeniería*, 20: 97-123.

O’Ryan, R. y R. Bravo (2001) “Permisos Transables frente a la Introducción de un Combustible Limpio: Estudio de Caso para PM-10 y NOx en Santiago, Chile”, Estudios de Economía, Vol. 28, N° 2, 267-291

Ostro, B., Sánchez J. M., Aranda C., Eskerland. G.S. “Air pollution and mortality: results from a study of Santiago, Chile”. J Exposure Anal Environ Epidemiol 1996; 6: 97-114.

Ostro BD, Eskeland GS, Sanchez JM, Feyzioglu T. Air pollution and health effects: A study of medical visits among children in Santiago, Chile. Environ Health Perspect. 1999; 107: 69-73.

Pope CA 3rd, Burnett RT, Thurston GD, Thun MJ, Calle EE, Krewski D. (2004). “Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: Epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease”. Circulation 2004; 109: 71-77.

Pope CA, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long term exposure to fine particulate air pollution. JAMA 2002; 287: 1132-41.

Pope, C. A., Thun, M., Namboodiri, M., Dockery, D., Evans, J., Speizer, F., and Heath, C. (1995). “Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults.” American Journal Respiratory Critical Care Medicine, 151, 669-674.

Ponce, R. y Chávez Carlos. (2005). “Costos de Cumplimiento de un Sistema de Permisos. Aplicación a Fuentes Fijas en Talcahuano, Chile”. El Trimestre Económico 72 (288): 847-876.

Sánchez J, Morel T. Una Estimación de los Beneficios en Salud de Reducir la Contaminación Atmosférica en Santiago. En: Economía del Medio Ambiente en América Latina, Juan I. Varas Editor, Ediciones Universidad Católica de Chile; Diciembre de 1995.

Sánchez J, Valdés S, Ostro B. (1998). “Estimación de los beneficios en salud del plan de descontaminación de Santiago”. El Trimestre Económico; 65: 363-406.

Schwartz J. (1997). “Air Pollution and Hospital Admissions for Respiratory Disease”. Epidemiol; 7(1): 20-27.

UDT (2005). “Análisis del Mercado de la Leña y Carbón en el Gran Concepción, I Etapa” Informe Final para CONAMA Bío Bío.

UDT y PROTERM (2011). “Evaluación de Medidas para Reducir la Contaminación Atmosférica en Complejos Industriales y Grandes Fuentes del Gran Concepción” Informe Final para CONAMA Bío Bío.

Universidad de Concepción (2002).“Priorización de Medidas de Reducción de Emisiones por Uso Residencial de Leña para la Gestión de la Calidad del Aire en Temuco y Padre Las Casas”. Estudio elaborado para la Ex CONAMA.

Universidad Católica de Temuco (2009) “Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas para Concepción Metropolitano” Informe Final para CONAMA Bío Bío.

Villegas, C. y Chávez, C. (2004). “Costos de cumplimiento y poder de mercado: Aplicación al programa de compensación de emisiones”. Cuadernos de Economía, Vol. 41, N° 122: 91-123.

ANEXO: Propuesta de tecnología y estimación de costos de abatimiento de MP y SOx para las fuentes estacionarias del Gran Concepción

Control de MP

La propuesta de sistemas de abatimiento de material particulado y la estimación de los costos de inversión para las 20 principales fuentes emisoras del Gran Concepción se basaron en la información contenida en el estudio en “Evaluación de Medidas para Reducir la Contaminación Atmosférica en Complejos Industriales y Grandes Fuentes del Gran Concepción” desarrollado por la UDT y Proterm (2011). Para el costo de operación y mantención de los sistemas de abatimiento se consideró los costos unitarios de reducción de emisiones estimados en el estudio de Ambiosis (2007), el cual considera una estimación de costos de operación, mantención, recambios de componentes, electricidad, y costos de disposición de residuos generados. El resumen de los costos de inversión y operación y mantención se muestran en la tabla siguiente:

Tabla A1. Propuesta de abatimiento de emisiones de MP para las grandes fuentes industriales del Concepción Metropolitano

Empresa	Fuente emisora	Propuesta sistema de abatimiento	Costo inversión ¹ (MM US\$)	Costo O&M ² (M US\$/año)
Huachipato	Bateria de Coque	Campana + filtro de mangas	30	189.2
Cementos Bio Bio	Enfriador de Parrilla Horno FLS	Filtro de mangas	4	323.1
ENESA	Caldera N°3	ESP seco	2.4	579.9
Huachipato	Aceria Conox	NA	-	-
Tulsa	Caldera Biochamn	ESP húmedo	2	197.2
Vidrios Lirquén	Horno Float	ESP húmedo	5	386.6
Huachipato	Alto Horno 2	Canaleta + filtro de mangas + disipar el O ₂ de contacto	5.7	377.2
Cementos Bio Bio	Enfriador de Parrilla Horno Miag	Misma fuente N 2/ filtro mangas	-	-
Enap	Caldera B-101	Filtro de mangas	3.4	1463.4
Masisa Chiguayante	Ciclón de Secado	ESP húmedo	2.3	172.9
ENDESA	Caldera Franco Tosi	NA	-	-
Huachipato	Alto Horno 1	Misma fuente N 7	-	-
Masisa Mapal	Ciclones de Secado Línea N° 1	ESP húmedo	3.5	328.1
ENESA	Caldera N°2	ESP seco	0.9	112.8
Maderas Iberia	Caldera Aceite Térmico	ESP seco	0.35	59.0
Pesquera San José Coronel	Caldera N°4 VISA SSSCONC-92	ESP seco	0.45	72.7
Huachipato	Torre Apagado de Coque	NA	-	-
Huachipato	Horno Planchones	ESP seco	4	579.8
Tavex	Caldera	Filtro de mangas	0.45	63.7
Huachipato	Caldera N° 5	ESP seco	0.9	100.0

NA: No aplica

¹Millones de USD

Fuente: UDT-Proterm (2011), AMBIOUSIS (2007)

²Miles de USD

Continuación Tabla A1

Empresa	Fuente emisora	Propuesta sistema de abatimiento	Costo inversión¹(MM US\$)	Costo O&M²(M US\$/año)
Huachipato	Caldera N° 6	Misma fuente 21	-	-
Masisa Mapal	Ciclones de Secado Línea N° 2	Misma fuente N 13	-	-
Crosville	Caldera Briones	Filtro de mangas	0.3	63.8
Huachipato	Horno de Palanquillas/Laminador Barras Rectas	ESP seco	0.7	200.7
Forestal Tromen S.A.	Caldera Weiss	ESP seco	0.25	40.7

Fuente: UDT-Proterm (2011), Elaboración propia en base a costos unitarios AMBIOSIS (2007)
¹Millones de USD ²Miles de USD

Para estimar el costo de inversión y operación de los sistemas de abatimiento de material particulado para el resto de las fuentes estacionarias no abordadas en el estudio de UDT-Proterm (2011), se consideraron los costos unitarios de reducción de emisiones estimados en el estudio de Ambiosis (2007). Estas fuentes corresponden principalmente a calderas industriales, que utilizan fuel oil, carbón y biomasa forestal como combustible y que emiten más de 0,5 ton/año de MP. Los valores de las estimaciones de costos de inversión se muestran en la tabla siguiente.

Tabla A2. Propuesta de abatimiento de emisiones de MP para las fuentes industriales del Concepción Metropolitano

Empresa	Fuente emisora	Propuesta sistema de abatimiento	Costo inversión¹(MM US\$)	Costo O&M²(M US\$/año)
Pesquera Camanchaca	Caldera N° 3 Visa SSSCONC-053	ESP seco	1.0	231.8
Petropower	Caldera Poder	Filtro de mangas	11.3	7047.7
Fundación Un Techo Para Cristo	Caldera VAPOR INDUSTRIAL S.A.	ESP seco	0.4	78.3
Pesquera Alimar	Caldera N° 5 BABCOOK AND WILCOX LTDA	ESP seco	0.9	205.9
Pesquera SPK Coronel Norte	Caldera N° 1 ANDER HALVORSEN SSSCON-34	ESP seco	1.1	255.6
Jabones Maritano	Caldera N°1 y N°2	Filtro de mangas	0.4	149.3
Forestal La Esperanza	Caldera industrial de vapor del tipo mixta SSSCONC-124 7.300 KVH	ESP seco	0.5	119.4
Ranowood	Caldera Biochamn	ESP seco	0.4	98.8
CMPC Maderas Coronel	Caldera Bremer	ESP seco	0.5	118.3
Pesquera SPK Coronel Sur	Caldera N° 2 Vapor Industrial S.A. SSSCON-67	ESP seco	0.8	183.2
Huachipato	Caldera N° 1	ESP seco	1.2	279.4
Huachipato	Caldera N° 2	ESP seco	1.2	279.4

Fuente: Elaboración propia en base a costos unitarios AMBIOSIS (2007)
¹Millones de USD ²Miles de USD

Continuación Tabla A2

Empresa	Fuente emisora	Propuesta sistema de abatimiento	Costo inversión (MM US\$)	Costo O&M (M US\$/año)
Forestal Diezco	Caldera	ESP seco	0.4	91.3
Pesquera Landes	Caldera Nº 5 CLEAVER - BROOKS 600x1500	ESP seco	1.0	231.8
Pesquera San Jose Coronel	Caldera Nº3 H. Briones SSSCONC-52	ESP seco	1.0	225.4
Masisa Chiguayante	Caldera Danks	ESP seco	0.3	231.8
Agroinversiones S.A.	Caldera Visa	Filtro de mangas	0.7	65.3
Norske Skog	Caldera Distral	ESP seco	0.4	371.5
Hospital Higueras	Caldera escocesa, igneotubular cilíndrica horizontal, tres pasos con ante - hogar	ESP seco	0.3	99.9
Productos Forestales y Minería Ltda.	Caldera FUNDICION LIBERTAD INEMI	ESP seco	0.3	63.1
Hospital Higueras	mixta escocesa, igneotubular cilíndrica horizontal, tres pasos con antehogar	ESP seco	0.3	73.9
Pesquera Camanchaca	Caldera Nº 4 H. Briones SSSCONC-054	ESP seco	0.9	62.1
Pesquera Camanchaca	Caldera Nº 5 Conmetal SSSCONC-055	ESP seco	1.0	207.0
Masisa Mapal	Chimenea Gases Calientes Linea MDF	ESP húmedo	0.9	222.1
Procesos Forestales Ltda.	Caldera OOR SOMBOWER	ESP seco	0.6	196.7
Schwager	Caldera SSSCONC 124 IGNEOTUBULAR, 3 PASOS	ESP seco	0.5	144.2
Huachipato	Estufas Alto Horno 1	ESP seco	3.3	112.9
Huachipato	Estufas Alto Horno 2	ESP seco	3.0	762.7
Cementos Bio Bio	Molino Atox	ESP seco	0.6	699.7
Cementos Bio Bio	Horno FLS	Filtro de mangas	2.0	136.7
Huachipato	Horno de Palanquillas/Laminador Barras Talcahuano	ESP seco	0.3	1199.2
Pesquera San Jose Talcahuano	Caldera Industrial Acuatubular CLEAVER BROOCKS	ESP seco	1.3	75.6
Pesquera San Jose Talcahuano	Caldera Industrial Igneotubular de Tres Pasos VISA	ESP seco	1.3	297.8
Maderas Iberia	Caldera San Juan	ESP seco	0.4	297.8
Pesquera Bahia Coronel	VAPOR INDUSTRIAL	Filtro de mangas	0.6	97.7
Pesquera Bahia Coronel	VAPOR INDUSTRIAL	Filtro de mangas	0.6	287.8
Pesquera Bahia Coronel	VAPOR INDUSTRIAL	Filtro de mangas	0.6	287.8

Fuente: Elaboración propia en base a costos unitarios AMBIOSIS (2007)

¹Millones de USD

²Miles de USD

Tabla A3. Propuesta de abatimiento de emisiones de SOx para las fuentes industriales del Gran Concepción

Empresa	Fuente emisora	Propuesta sistema de abatimiento	Costo inversión¹(MM US\$)	Costo O&M²(M US\$/año)
Vidrios Lirquén	Horno Float	Scrubber	4.2	433.4
Enap	Caldera B-101	Scrubber	6.2	643.0
ENDESA	Caldera Franco Tosi	LSD (lime Spray dry)	41.7	4290.6
Huachipato	Horno Planchones	Scrubber	6.3	652.2
Huachipato	Caldera N° 5	Scrubber	1.0	109.1
Huachipato	Caldera N° 6	Scrubber	1.0	109.1
Crosville	Caldera Briones	Scrubber	0.5	49.5
Huachipato	Horno de Palanquillas/Laminador Barras Rectas	Scrubber	2.2	223.1
Petropower	Caldera Poder	Scrubber	29.2	3011.3
Jabones Maritano	Caldera N°1 y N°2	Scrubber	0.8	85.7
Pesquera SPK Coronel Sur	Caldera N° 2 Vapor Industrial S.A. SSSCON-67	Scrubber	2.0	203.2
Huachipato	Caldera N° 1	Scrubber	3.0	312.2
Huachipato	Caldera N° 2	Scrubber	3.0	312.2
Pesquera Landes	Caldera N° 5 CLEAVER - BROOKS 600x1500	Scrubber	2.5	258.3
Pesquera San Jose Coronel	Caldera N°3 H. Briones SSSCONC-52	Scrubber	2.4	250.9
Agroinversiones S.A.	Caldera Visa	Scrubber	1.7	179.9
Pesquera Camanchaca	Caldera N° 4 H. Briones SSSCONC-054	Scrubber	2.4	230.1
Pesquera Camanchaca	Caldera N° 5 Conmetal SSSCONC-055	Scrubber	3.2	247.3
Pesquera San José Talcahuano	Caldera Industrial Acuatubular CLEAVER BROOCKS	Scrubber	3.2	333.0
Pesquera San José Talcahuano	Caldera Industrial Igneotubular de Tres Pasos VISA	Scrubber	1.4	333.0
Pesquera Bahía Coronel	VAPOR INDUSTRIAL	Scrubber	1.4	144.4
Pesquera Bahía Coronel	VAPOR INDUSTRIAL	Scrubber	1.4	144.4
Pesquera Bahía Coronel	VAPOR INDUSTRIAL	Scrubber	1.4	144.4
Pesquera Bahía Coronel	VAPOR INDUSTRIAL	Scrubber	1.6	167.7
Pesquera El Golfo	Caldera VISA	Scrubber	1.6	167.7
Pesquera San José Coronel	Caldera N°1 BABCOCK WILCOX FM-2833	Scrubber	3.7	386.8
Lota Protein	Caldera N°2 ERIE IRONS WORKS	Scrubber	1.8	180.9

Fuente: Elaboración propia en base a costos unitarios AMBIOISIS (2007)

¹Millones de USD

²Miles de USD

Continuación Tabla A3

Empresa	Fuente emisora	Propuesta sistema de abatimiento	Costo inversión¹(MM US\$)	Costo O&M²(M US\$/año)
Lota Protein	SECADOR DE AIRE CALIENTE.	Scrubber	8.6	190.1
GENERACION Y ENERGIA CHILE LTDA. (PSEG)	TURBINA A GAS NATURAL Y PETROLEO 45.7 MW.	Scrubber	2.4	889.5
PESQUERA CAMANCHACA PLANTA INTERPOLAR	CALDERA INDUSTRIAL 078	Scrubber	3.5	245.4
Enap	Antorcha Hidrocracking L-1320	Scrubber	2.4	357.0
PESQUERA CAMANCHACA PLANTA INTERPOLAR	CALDERA INDUSTRIAL 091	Scrubber	2.4	245.4
ALIMENTOS MARINOS: COMERCIAL CONTINENTAL CHILE LTDA,	CALDERA TIPO ESCOCESA	Scrubber	2.4	245.4
HOTEL DIEGO DE ALMAGRO_MAIFA LTDA	CALDERA DE CALEFACCIÓN PARA AGUA SANITARIA	Scrubber	2.4	245.4
HOTEL DIEGO DE ALMAGRO_MAIFA LTDA	CALDERA DE CALEFACCIÓN PARA AGUA SANITARIA	Scrubber	4.2	245.4

Fuente: Elaboración propia en base a costos unitarios AMBIOSIS (2007)

¹Millones de USD

²Miles de USD