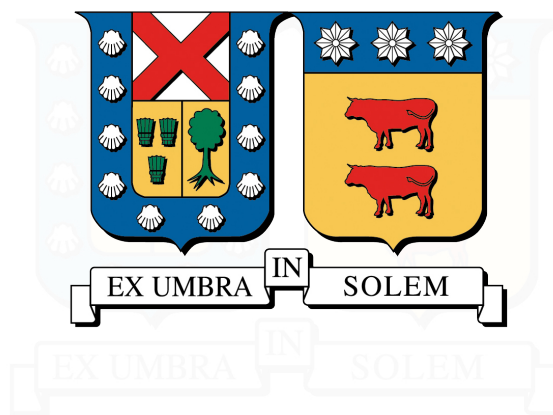


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
SANTIAGO - CHILE



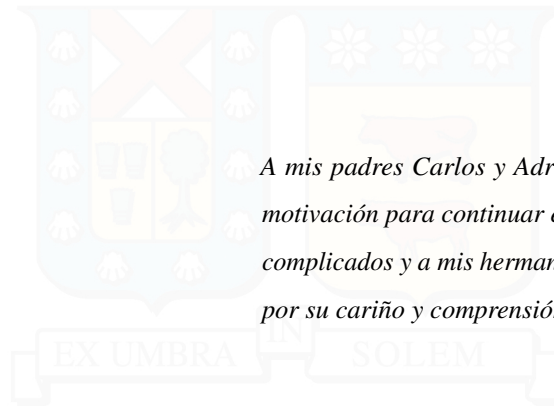
**PROPUESTA DE ETS DE CONTAMINANTES LOCALES PARA LA REGIÓN
METROPOLITANA**

JOAQUÍN ANDRÉS PINTO GODOY

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA : SR. FRANCISCO DALL'ORSO LEÓN
PROFESOR CORREFERENTE : SR. MARÍA PILAR GÁRATE CHATEAU

JUNIO 2020



A mis padres Carlos y Adriana por su apoyo y motivación para continuar en los momentos más complicados y a mis hermanos Carlos y Catalina por su cariño y comprensión.

Gracias familia . . .

RESUMEN EJECUTIVO

El siguiente documento desarrolla una propuesta de diseño de permisos de emisiones transables (ETS) de contaminantes locales para fuentes fijas dentro de la región Metropolitana, con el fin de entregar una herramienta de gestión ambiental que permita reducir los niveles de contaminación. Se utiliza como guía el texto de Banco Mundial “Comercio de Emisiones en la práctica: manual sobre el diseño y la implementación de sistemas de comercio de emisiones”. Además de esto se estudian y analizan experiencias internacionales de otros programas aplicados principalmente en Estados Unidos. Los datos utilizados son obtenidos del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC).

En primer lugar, se determinan las emisiones de fuentes puntuales en los cuales se aplican umbrales cercanos al 90 % de las emisiones totales para determinar los grupos de establecimientos que emiten óxidos nitrosos (NO_x), dióxido de azufre (SO_2) y material particulado (MP). La cantidad de establecimientos afectos al programa son 138, 139 y 144 respectivamente. Estos grupos de establecimientos no llegan a superar al 10 % de los establecimientos totales los cuales deben registrar sus emisiones anuales por medio del reporte RETC. La cantidad de NO_x que serán controlada por el programa son 5855,57 toneladas. Para el caso de SO_2 652,88 toneladas y para el MP 260,83 toneladas.

Luego una vez obtenido los grupos de establecimiento y los niveles los cuales serán parte del programa, se establecen los límites anuales de emisiones, en donde los porcentajes de reducción irán cambiando a medida que se van estableciendo las distintas fases del programa. En la fase uno no existe reducción de emisiones, en la fase dos se establece una reducción del 1 %, establecido por la tendencia de reducción de dichos contaminantes por parte de los países parte de la OCDE. Finalmente, en la fase tres se establece una reducción del 1,5 %. Se proyecta para el año 2040 obtener una reducción total del 20 % tomando como base las emisiones iniciales controladas. Con todo esto realizado se procede a describir como los permisos serán asignados, en donde en los primeros años las asignaciones serán gratuita para luego dar paso a venta de permisos a precio de mercado.

Ya en la segunda parte del trabajo, se estudia la opción de flexibilidad temporal de

los permisos, utilizando como referencia experiencias de otros programas de emisiones transables como también las características particulares que tiene este programa en relación con los cambios de fases y tipo de contaminantes con los que se trabaja. Se llega a la determinación que no es recomendable la utilización de esta herramienta. Posteriormente se establece la estructura legal del programa y como este velará en el cumplimiento y vigilancia de las emisiones de contaminantes de los establecimientos.

Para la implementación del programa, se establece una cantidad de tres años en donde se establecen dos importantes hitos, el primero es la preparación del programa ETS y el segundo es la preparación del sistema en donde se realizarán las ventas de los permisos.

Finalmente se entregan los costos asociados a dichas implementaciones. Para el caso del equipo encargado de la preparación del programa se estiman ocho profesionales en los cuales se encuentra el jefe de departamento, ingeniero analistas, certificadores e ingeniero informático. Durante el periodo de desarrollo se estima que los costos de mano de obra ascienden a 628.500 USD. Para el caso de la realización de la plataforma de manejo de permisos se toma como base una plataforma digital para el comercio de certificados verdes por medio de subastas, el costo total de la plataforma es de 19.000 USD. Además, se entregan distintas opciones con relación a los costos de mantención de dicha plataforma. Ya para finalizar Se hace una proyección de los ingresos percibidos anualmente por el programa logrados de dos maneras: Ingresos económicos por medio de las ventas de permisos y los ingresos sociales por medio del ahorro de costo social de contaminación.

Índice de Contenidos

1. Problema de investigación	1
1.1. Problemática	1
2. Objetivos	4
2.1. Objetivo General	4
2.2. Objetivos Específicos	4
3. Marco Teórico	5
3.1. Permisos de emisiones transables (ETS)	5
3.2. Diseño de un ETS	7
3.3. Antecedentes internacionales	8
3.3.1. Estados Unidos	8
3.3.1.1. Acid Rain Program	9
3.3.1.2. Regional Clean Air Incentives Market	11
3.3.1.3. The Cross-State Air Pollution Rule	12
3.3.2. Europa	13
3.3.3. Hong Kong	15
3.4. Antecedentes nacionales	16
3.5. Antecedentes normativos	18
3.6. Antecedentes meteorológicos	19
3.7. Calidad de aire	20
3.7.1. Contaminantes en la atmósfera	20
3.7.2. Efectos de los contaminantes	21
3.7.3. Episodios críticos	22
3.8. Conceptualización	24
4. Metodología	26
5. Análisis y desarrollo	27
5.1. Ámbito de aplicación	27
5.2. Umbrales	31
5.3. Punto de regulación	33
5.4. Límite de emisiones	34
5.5. Asignación de permisos	37
5.6. Flexibilidad temporal	41
5.6.1. Costos de abatimiento	41

5.6.2. Complicaciones en cambios de fases y programas	45
5.6.3. Contaminantes stock vs contaminantes flow	46
5.6.4. Caso programa RECLAIM	46
5.7. Banda de precios	49
5.7.1. Precio umbral	51
5.8. Cumplimiento y vigilancia	54
5.8.1. Estructura legal	54
5.8.2. Monitoreo, reporte y verificación	56
5.8.3. Sanciones por incumplimiento	57
5.9. Cronograma de implementación	57
5.10. Costos de la plataforma	58
5.11. Mano de obra	61
5.12. Ingresos del programa	63
6. Conclusiones	66
Bibliografía	69
A. ANEXOS	71

Índice de Tablas

5.1. Establecimientos a declarar en RETC	27
5.2. Datos de emisiones 2017	29
5.3. Umbral para emisiones de NO _x	32
5.4. Umbral para emisiones de SO ₂	32
5.5. Umbral para emisiones de MP	32
5.6. Costo de reducción promedio(USD-2016/ton) para calderas	42
5.7. Costo social de contaminación per cápita asociado a cada contaminante local	51
5.8. Valores permisos de emisión por tonelada	52
5.9. Valores permisos de emisión	53
5.10. Costo relacionados a la plataforma de subastas	59
5.11. Costos servicios de mantención y actualización de la plataforma	60
5.12. Sueldos de los cargos para el programa ETS	62
5.13. Sueldos de los cargos para el programa ETS en periodo de desarrollo	62
5.14. Ingresos por venta de permisos y ahorro de costo social de contaminante NO _x	64
5.15. Ingresos por venta de permisos y ahorro de costo social de contaminante SO ₂	65
5.16. Ingresos por venta de permisos y ahorro de costo social de contaminante MP	65
A.1. Emisiones declaradas por distintos rubros año 2016	80
A.2. Emisiones declaradas por distintos rubros año 2015	81
A.3. Establecimientos obtenidos para el cálculo de los umbrales	82
A.4. Cálculo de umbral de MP	82
A.5. Cálculo de umbral de SO ₂	83
A.6. Cálculo de umbral de NO _x	83
A.7. Proyección de emisiones de material particulado por año	84
A.8. Proyección de emisiones dióxido de azufre por año	84
A.9. Proyección de emisiones óxidos nitrosos por año	85
A.10. Emisiones anuales de NO _x RECLAIM desde 1994 a 2017	85
A.11. Emisiones anuales de SO _x RECLAIM desde 1994 a 2017	86
A.12. Valor promedio de permisos de NO _x Programa RECLAIM año 2019	86
A.13. Valor promedio de permisos de SO _x Programa RECLAIM año 2019	87

Índice de Figuras

3.1. Diseño de un ETS en 10 pasos	7
3.2. Número de días con episodios asociados a material particulado fino . . .	23
3.3. Número de días con episodios asociados a material particulado grueso . .	23
5.1. Distribución de emisiones por industria	30
5.2. Proyección de reducción de emisiones MP	35
5.3. Proyección reducción de emisiones NO _x	36
5.4. Proyección reducción de emisiones SO ₂	36
5.5. Emisiones de material particulado declaradas en RETC	43
5.6. Emisiones de óxidos nitrosos declaradas en RETC	44
5.7. Emisiones de dióxido de azufre declaradas en RETC	44
5.8. Límite de emisiones anuales y emisiones declaradas de óxido nitroso . . .	47
5.9. Límite de emisiones anuales y emisiones declaradas de dióxido de azufre	48
5.10. Control de precio mínimo de permisos de emisión	49
5.11. Control de precio máximo de permisos de emisión	50
5.12. Cantidad de establecimientos por rubro para cada contaminante	53
5.13. Cantidad de establecimientos por rubro para cada contaminante	54
5.14. Propuesta de organigrama para la Superintendencia de Medio Ambiente .	56
A.1. Interdependencia entre los pasos de una ETS	76
A.2. Registro diario MP2,5 - Estación Parque Ohiggins	77
A.3. Registro diario MP10 - Estación Independencia	77
A.4. Concentraciones MP2,5 trianuales región Metropolitana	78
A.5. Percentil 98 de concentraciones diarias MP2,5 región Metropolitana . . .	78
A.6. Concentraciones MP10 trianuales región Metropolitana	79
A.7. Percentil 98 de concentraciones diarias MP10 región Metropolitana . . .	79
A.8. Diagrama de flujo declaración de emisiones	88
A.9. Carta Gantt implementación programa ETS	89

1 | Problema de investigación

1.1. Problemática

La contaminación atmosférica es un suceso el cual ha existido desde siempre en el planeta, esto debido a eventos de tipo naturales tales como erupciones volcánicas, incendios forestales, tormentas de arenas, entre otros. A pesar de ello, la aparición del hombre ha implicado un aumento progresivo en la emisión de contaminantes a la atmósfera, provocando el empeoramiento en la calidad del aire en donde se concentra gran parte de la población mundial.

Sin lugar a duda, el momento donde existe un antes y después en el impacto ambiental es en la Revolución Industrial en donde el surgimiento de nuevos modos de producción ([Ministerio Medio Ambiente, 2016](#)). Si bien esta revolución provoca grandes cambios en las economías de ciertos países, el aumento de la contaminación es mucho mayor, provocada principalmente con la utilización del carbón como fuente de energía primaria. No tardan los años para que comenzara a manifestarse las molestias de los ciudadanos, principalmente debido al smog en Inglaterra, donde se desarrolla la primera sociedad industrial. Pasaron los años y comenzaron a registrar “excesos de fallecimientos” asociado a periodos de mucho smog en ciudades ([Henry y Heinke, 1996](#)).

Si se va más a la actualidad, según los Organización Mundial de la Salud (OMS) la contaminación de aire representa el mayor riesgo medioambiental para la salud. En 2012, uno de cada nueve muertes fue resultado de la contaminación del aire. A pesar de que la contaminación ambiental afecta a todas las regiones, entornos, grupos socioeconómicos y edades, son los ciudadanos de África, Asia o el Este Medio los que respiran los niveles

más altos de contaminantes del aire en el mundo. Si bien América no tiene los mismos niveles de contaminación que los continentes antes nombrados, Santiago posee los mayores niveles de contaminación de MP10 dentro de las ciudades con ingresos altos durante el periodo de 2011 a 2015, seguido por las ciudades de Caracas, Buenos Aires y Toronto ([World Health Organization, 2016](#)). Los altos niveles de contaminación son provocados principalmente por la geografía a la cual está inserta la ciudad de Santiago. “Los cerros que rodean la planicie central imponen fuertes restricciones a la circulación de vientos y, por ende, a la renovación del aire al interior de la cuenca. Por ellos, en épocas de estabilidad atmosférica los contaminantes quedan atrapados dentro de la cuenca que alberga a la ciudad de Santiago” ([Decreto N°31, 2016](#)). A mediados de la década de los 90, la ciudad de Santiago fue declarada zona saturada para material particulado grueso (MP₁₀), monóxido de carbono (CO) y ozono (O₃), y zona latente (niveles cercanos a los máximos aceptables) para dióxido de nitrógeno (NO₂) ([SINiA, 2019](#)).

Para los chilenos el principal problema ambiental al cual se ven afectados es la contaminación ambiental con un 32 %, seguido por la contaminación de basura con un 29 % y la contaminación de agua con un 6 % ([Ministerio Medio Ambiente, 2018](#)). En el año 2017 se estimaron alrededor de 3.500 casos de mortalidad prematura por enfermedades de tipo cardiopulmonares provocado principalmente a la exposición de material particulado fino ([Ministerio Medio Ambiente, 2018](#)). Una cifra realmente preocupante si se considera además que existen casi 10 millones de personas bajo exposición de contaminante en el aire por sobre la norma vigente ([Jiménez y Lira, 2015](#)).

Si bien los planes de contaminación dentro de Santiago asociados al plan de prevención y descontaminación atmosférica (PPDA) han logrado reducir en un 60 % el material particulado fino, cada vez resulta más complicado obtener resultados positivos sin que exista aumentos en los costos asociados a dichas mejoras ([Jiménez y Lira, 2015](#)). La persistencia de contaminación ambiental en Santiago revela que los avances logrados hasta el día de hoy resultan ineficientes y se requieren de nuevas metodologías para poder seguir disminuyendo de manera eficaz las emisiones de contaminantes. ¿Será entonces posible encontrar una manera de reducir emisiones en Santiago que no conlleven en aumentos de gastos? ¿Existirá algún instrumento capaz que compense de una manera la reducción de contaminantes al ambiente?

Actualmente existe un instrumento llamado Permisos de Emisión Transables (ETS por sus siglas en inglés) los cuales ya llevan más de 35 años en funcionamiento; Estados Unidos fue el pionero en el año 1979. Esta metodología ha ido evolucionando a medida que ha pasado el tiempo y algunos países como Canadá, Japón, Australia, Dinamarca ya han seguido de alguna forma el modelo desarrollado en Norteamérica con resultados diversos (Jiménez y Lira, 2015). Es importante resaltar que el sistema de permisos de emisiones transables se ha implementado a nivel internacional con el mercado de carbono, sistema en el cual se pueden adquirir bonos o certificados de reducción de emisiones para acreditar el cumplimiento de sus compromisos adquiridos bajo el protocolo de Kioto.

La región Metropolitana ha desarrollado distintas herramientas con el fin de frenar los niveles de emisión de contaminantes, incluso ya en 1994 se aprueba la ley sobre bases generales del medio ambiente, en donde en el artículo N°47 habla sobre la utilización de permisos de emisiones transables como instrumento de regulación económico. En 2003, durante el periodo del presidente Ricardo Lagos, se crea un proyecto de ley para la implementación de bonos de descontaminación el cual no ha tenido movimiento alguno en el Congreso. Con la evidencia internacional se puede interpretar que los permisos de emisiones transables son una herramienta de alto potencial en relación con la disminución de emisiones a bajos costos y la región Metropolitana no ha utilizado dicha metodología pese a ser de las zonas que han registrado históricamente los mayores problemas de contaminación en el aire del país.

2 | Objetivos

2.1. Objetivo General

- Desarrollar una propuesta de diseño de permisos de emisiones transables (ETS) de contaminantes locales (material particulado, óxidos nitrosos y dióxido de azufre) para fuentes fijas dentro de la Región Metropolitana, a través de un análisis mixto, que permita entregar una herramienta de gestión ambiental que disminuya el nivel de emisiones de contaminantes.

2.2. Objetivos Específicos

- Establecer límites de emisiones de contaminantes y sus asignaciones respectivas para cada establecimiento durante las distintas etapas de desarrollo del programa.
- Definir y analizar mecánicas los cuales ayuden al cumplimiento de metas y estabilización de precios de los permisos de emisión
- Establecer responsables del programa y definir sus labores que permitan el cumplimiento y la vigilancia del programa
- Determinar el cronograma de implementación, tanto en la formación del equipo como en el desarrollo de la plataforma digital a utilizar.
- Estimar los costos e ingresos percibidos durante el desarrollo del sistema comercio de emisiones

3 | Marco Teórico

3.1. Permisos de emisiones transables (ETS)

El sistema de permisos de emisiones transables (ETS por sus siglas en inglés) es un instrumento de fijación de precios a contaminantes, implementados con el objetivo de poder reducir las emisiones de dichos contaminantes de una manera costo-efectiva. El gobierno o institución a cargo establece un tope máximo de emisiones en un tiempo determinado y las empresas que están siendo reguladas dentro de este instrumento deben contar con un permiso por unidad de emisión de contaminante (normalmente es una tonelada de emisión por permiso). Estos permisos pueden ser recibidos de manera gratuita, comprados o comerciados lo que provocaría que estos tengan un valor monetario el cual dependería de la oferta y demanda.

Es una metodología utilizada por gobiernos a nivel global con el mercado de carbono para acreditar el cumplimiento de sus compromisos adquiridos bajo el Protocolo de Kioto. Todo esto es posible ya que la reducción de emisiones se puede hacer en cualquier parte del mundo y luego transarse internacionalmente. Es importante destacar que existen tres tipos distintos de permisos que son utilizados en el mundo: Reduction Credit, Averaging, Cap and Trade ([Ellerman y Buchner, 2008](#)).

- Reduction Credit Program: Proporciona créditos negociables a instalaciones que reducen las emisiones más de lo requerido por alguna regulación preexistente. Estos créditos se pueden transar, de manera que empresas que enfrentan altos costos en el cumplimiento de los requisitos reglamentarios puedan adquirirlos logrando así el cumplimiento de normas ambientales. Estos créditos deben estar certificados antes de

ser transados

- **Averaging Program:** Este programa también implica la compensación de emisiones de fuentes de mayor emisión con fuentes de menor emisión, de modo que la tasa de emisión promedio alcance un nivel predeterminado el cual cumple con las normas establecidas. Si bien es muy similar al Reduction Credit Program, la gran diferencia es que este programa posee una certificación de tipo automática.

- **Cap and Trade Program:** Opera con principios algo diferentes. Se establece un límite (cap) agregado a las emisiones que define el número total de “derechos de emisión” de emisiones, cada uno de los cuales otorga a su titular el derecho de emitir una unidad (generalmente una tonelada) de emisiones. Los permisos se asignan inicialmente de alguna manera, típicamente entre las fuentes existentes. Cada fuente cubierta por el programa debe tener permisos para cubrir sus emisiones, con libertad para comprar y vender (trade) permisos entre distintas fuentes que pertenezcan al programa. Al igual que Averaging Program no se requiere de una certificación previa antes de transar. Este sistema genera incentivos en los agentes a reducir sus emisiones, dado que pueden apropiarse de la inversión realizada al vender sus excedentes.

3.2. Diseño de un ETS

Según (Banco Mundial, 2016) para la construcción de un SCE es necesario definir 10 pasos, en donde cada uno de ellos implica una serie de decisiones o medidas que darán forma a las características principales del sistema (ver Figura 3.1).

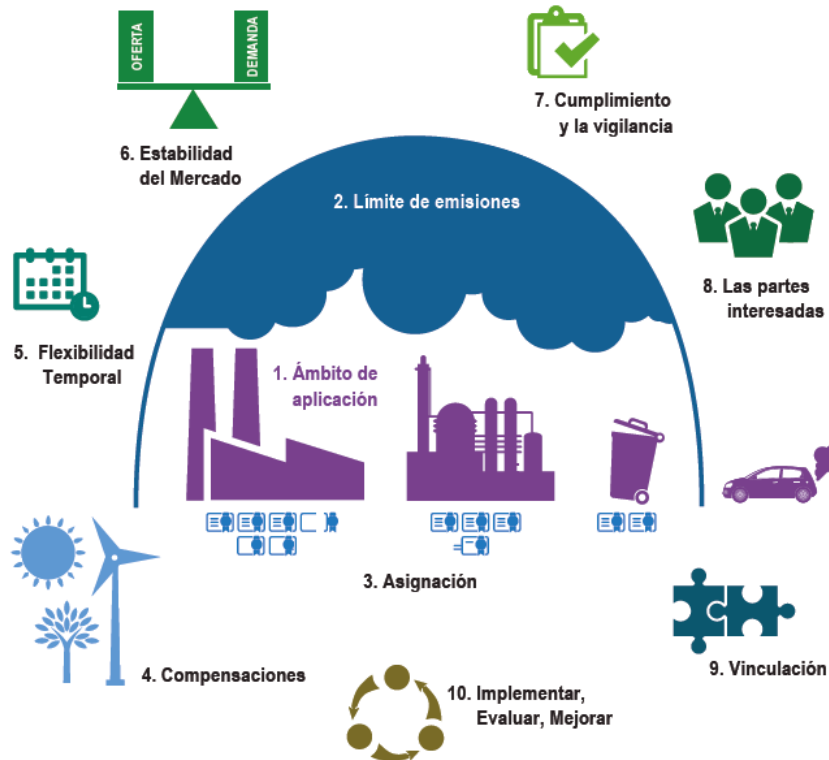


Figura 3.1: Diseño de un ETS en 10 pasos
(Fuente: Banco Mundial, 2016)

El primero es definir el ámbito de aplicación, en donde se fijan los sectores o actores regulados que demandarán los permisos de emisiones. El segundo es límite de emisiones el cual establece un límite en el número de derechos de emisión expedidos durante un plazo especificado. El tercer paso es especificar como se asignarán estos derechos de emisión, los cuales pueden ser de manera gratuita o por medio de una subasta. El cuarto punto trata de decidir se aceptar compensaciones de fuentes y sectores no regulados y/o fuera de la jurisdicción. Para el quinto paso es decidir la flexibilidad temporal en donde se establece si los participantes tendrán la opción de acumular o solicitar prestados derechos de emisión de

un futuro periodo de cumplimiento. El sexto paso es definir los parámetros de diseño que podrán reducir la volatilidad potencial e incertidumbre de los precios de los permisos. El séptimo es como se trabajará el cumplimiento y la vigilancia del SCE. El octavo paso es involucrar a las partes interesadas, comunicar y fortalecer capacidades. El noveno y décimo punto son, respectivamente, considerar la vinculación con otros SCE utilizando derechos de emisión expedidos bajo el sistema de otra jurisdicción e implementar, evaluar y mejorar. Ver pasos ETS en anexos para mayor detalle de cada paso.

Es importante aclarar que (Banco Mundial, 2016) explica que los 10 pasos propuestos son interdependientes, por lo que cada decisión tomada en cada paso tendrán repercusiones importantes para las decisiones a tomar en otros pasos. En la práctica, el proceso de diseño de un a SCE es iterativo en lugar de lineal, ver anexo Figura A.1 para ver interacciones entre los pasos.

3.3. Antecedentes internacionales

A nivel mundial existen varios programas ETS con el fin de reducir distintos tipos de contaminantes. La mayoría de los programas están asociados a reducción de gases de efecto invernadero (GEI), existen algunos programas donde tratan contaminantes locales (NO_x , SO_2 , MP, entre otros). Todo esto con el fin de poder controlar emisiones que perjudiquen la salud de las personas, como también el deterioro de la flora y fauna local.

3.3.1. Estados Unidos

Estados Unidos es el país pionero en desarrollo de sistemas de transacción de permisos de emisión en donde por años se trabajó a modo prueba y error para finalmente lograr implementar una herramienta que ha proporcionado grandes resultados. El primer programa reconocido programa de emisiones transables propiamente tal es el EPA Emission Trading Program el cual se crea en 1979 y desde ahí algunos programas han ido evolucionando como también han quedado obsoletos, algunos de los programas que han sido utilizados en EE. UU. son presentados a continuación:

3.3.1.1. Acid Rain Program

El programa de lluvia ácida (ARP por sus siglas en inglés) se inicia en 1995 cubriendo las plantas de combustible fósil en Estados Unidos. Está diseñado para reducir las emisiones de SO_2 y NO_x , los principales precursores de la lluvia ácida ([Environmental Protection Agency, 2017](#)). La meta inicial era poder reducir las emisiones anuales a 10 millones de toneladas respecto de las 25.9 millones de toneladas originales ([Brandt y Westendarp, 2017](#)).

ARP es el primer programa nacional cap and trade en EE. UU. que utiliza incentivos basados en el mercado para reducir la contaminación. La reducción de emisiones utilizando un sistema basado en el mercado proporciona a las fuentes reguladas la flexibilidad de seleccionar el enfoque más rentable para reducir las emisiones y ha demostrado ser una forma altamente efectiva de lograr reducciones de emisiones, cumplir objetivos ambientales y mejorar la salud humana ([Brandt y Westendarp, 2017](#)).

La implementación para la reducción de SO_2 está dividida en fases, las cuales ayudan a lograr una implementación correcta pero paulatina ([Agency Environmental Protection, 2019](#)):

- Fase 1 (1995-1999): Inicialmente se trabaja con 263 unidades en donde 110 son plantas de servicios eléctricos, en su mayoría carbón, en 21 diferentes estados, luego se unen otras 182 unidades en esta fase elevando un total de 445 unidades.
- Fase 2 (comienza en 2000): Se establece un nivel de emisiones de 8.95 millones de toneladas para 3200 unidades de generación de electricidad, un nivel de aproximadamente la mitad de las emisiones del sector eléctrico en 1980.

Para el caso de la reducción de NO_x se exigió una reducción de dos millones de toneladas de emisiones por debajo de los niveles de 1980 para el año 2000. Una porción significativa de estas reducciones se logra mediante calderas de carbón que han instalado tecnologías de quemadores de bajo contenido de NO_x .

El programa NO_x incorpora muchos de los mismos principios del programa comercial SO_2 , ya que también tiene un enfoque orientado a resultados, flexibilidad en el método para lograr reducciones de emisiones e integridad del programa a través de la medición de

las emisiones. Sin embargo, no "limita" las emisiones de NO_x como lo hace el programa SO₂, ni utiliza un sistema de comercio de derechos de emisión ([Agency Enviromental Protection, 2019](#)).

Las aplicaciones del programa muestran beneficios más rápidos que los pronosticados al utilizar el "banking". Efecto se produjo con mayor frecuencia en aquellas instalaciones más sucias y con mayor posibilidad de reducción de emisiones a menor costo.

Un punto importante que considerar es la distribución de los derechos de emisión. Una distribución de manera gratuita a comienzos del programa favorece la participación temprana de los regulados, ya que actúa como incentivador el hecho de entregarse derechos de emisión sin costo alguno.

Una ventaja de utilizar la metodología "cap and trade" es el estímulo a la innovación tecnológica, de modo que los avances hagan disminuir los costos de abatimiento. Esto se debe que existe la opción de transar derechos de emisión sobrantes. El hecho de generar ingresos entrega la opción a invertir en tecnologías más limpias.

Otro punto importante es que se observa que compañías crearon innovaciones no tecnológicas. Incluye el desarrollo de estrategias financieras para el manejo de los derechos de emisión dentro de las mismas compañías, con el fin de aprovechar las oportunidades generadas por el sistema.

Después de más de veinte años de la aplicación del programa, se muestra que el sistema que otorga derechos de emisión y autoriza su comercialización puede funcionar de buena manera, logrando alcanzar sus objetivos de manera rápida y costo eficiente que los métodos más comunes de comando y control. Para que funcione de manera correcta, la clave es la proyección acertada de las emisiones y sus correctas asignaciones, con el fin de generar escasez y/o mecanismos de flexibilidad que permitan solucionar los problemas del sistema. ([Brandt y Westendarp, 2017](#)).

3.3.1.2. Regional Clean Air Incentives Market

Entidad legal responsable del control de emisión de contaminante en el sureste de California. Conocido también por sus siglas RECLAIM la cual es lanzada en el año 1993 para reducir las emisiones de NO_x y luego en 1994 comienza a reducir también las emisiones de SO_2 de centrales eléctricas, refinerías, plantas de cemento y otras fuentes industriales en el área de Los ángeles. Se aplica una asignación libre de NO_x y créditos para SO_2 los cuales son basados en el historial de niveles de producción. Los límites iniciales demostraron estar muy altos hasta el año 2000 por lo que el permiso no tenía valor. Los límites disminuyeron anualmente hasta 2003, cuando el mercado alcanza su objetivo principal de una reducción de 70 % en las emisiones ([Hansjürgens, 2011](#)). En los primeros años del programa, los precios se mantuvieron en el rango de \$500 USD a \$1000 USD por tonelada de NO_x . Un hecho puntual fue la crisis energética de California en el año 2000 en donde el cierre de plantas eléctricas provocó escases de oferta lo que produjo un aumento considerable en la producción de algunas plantas generadoras provocando que el precio de asignación llegará a \$62.500 USD por tonelada ([Fowlie et al., 2012](#)). La falta de flexibilidad temporal de los permisos de emisiones provocó gran parte el aumento considerable de los permisos.

Las lecciones que son destacables dentro de su diseño ([Schmalensee y Stavins, 2017](#)):

- El sistema RECLAIM incluye dos tipos de zonas las cuales puede existir un intercambio en una sola dirección, la cual es barlovento a sotavento por lo que el sistema su puede acomodar a la realidad de un contaminante no uniformemente mezclado en distintas zonas.
- El límite debe estar bien aplicado para que funcione el mercado de permisos.

3.3.1.3. The Cross-State Air Pollution Rule

En junio de 2011, la Agencia de protección ambiental (EPA) finaliza “The Cross-State Air Pollution Rule” (CSAPR) para abordar la contaminación del aire de los estados en contra del viento que cruzan las fronteras estatales y les afecta la calidad del aire en los estados a favor del viento. Las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) reaccionan en la atmósfera contribuyendo en la formación de partículas finas. NO_x también contribuye en la formación de ozono a nivel del suelo. Todo esto afecta la calidad de aire y la salud pública local (EPA, 2019).

CSAPR utiliza un proceso de cuatro pasos para abordar el transporte interestatal de contaminantes del aire:

- Identificar receptores a favor del viento que se espera que tengan problemas para alcanzar o mantener estándares de aire limpio
- Determinar que estados en contra del viento contribuyen a estos problemas identificados en cantidades suficientes para vincularlos a los problemas de calidad de aire de ciudades vecinas
- Identificar las emisiones en contra del viento que contribuyen significativamente al incumplimiento
- Reducir los contaminantes identificados con metodologías como comercio de emisiones

Las emisiones de las fuentes en el programa anual CSAPR NO_x fueron de 586.000 toneladas en 2017. Esto aproximadamente 1.6 millones de toneladas (73 %) más bajas que en 2005 y 480.000 toneladas (45 %) por debajo del presupuesto regional del programa anual de CSAPR NO_x de 1.069.256 toneladas.

Las emisiones anuales de SO₂ fueron de 0.8 millones de toneladas en 2017. Aproximadamente 7,3 millones de toneladas (90 %) más bajas que en 2005 y 1.2 millones de toneladas (60 %) por debajo del presupuesto regional de emisiones CSAPR de SO₂ de 1.970.210 toneladas

3.3.2. Europa

El régimen de comercio de derechos de emisión de la Unión Europea (RCDE EU) es, desde 2005, una herramienta importante en la Unión Europea para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) procedentes de la industria y el sector energético. Contribuye de manera significativa al logro del objetivo de la UE de reducir las emisiones de GEI en un 20 % para 2020 respecto de los niveles de 1990. (CELEX).

Esta herramienta utiliza el sistema “cap and trade” el cual permite que 31 países con centrales eléctricas y plantas industriales puedan controlar las emisiones dentro de un límite y se puedan tomar medidas de menor costo para reducir las emisiones. El sistema ha sufrido varios cambios desde sus inicios, en donde la implementación del sistema se ha dividido en distintos periodos de negociación a lo largo del tiempo, conocido como fases (RCDE UE, 2019).

- Fase 1 (2005-2007): Fase piloto de tres años de duración el cual sirvió para preparar la segunda fase en la que el RCDE UE tendría que funcionar eficazmente para ayudar a la UE a cumplir los objetivos de Kioto. Sus principales características fueron:
 - Se limita exclusivamente a emisiones de CO₂ generadas por productores de electricidad e industrias con uso intensivo de energía
 - Prácticamente todos los derechos de emisión asignados a las empresas eran gratuitos
 - El importe de la multa por exceso de emisiones ascendía a 40 euros por tonelada
 - La tarificación de las emisiones de carbono
 - El libre comercio de derechos de emisión a través de la UE
 - La infraestructura necesaria para el seguimiento, la notificación y la verificación de las emisiones generadas por las empresas participantes en el RCDE UE
 - En ausencia de datos fiables sobre emisiones, se utilizaron estimaciones para establecer los límites máximos de la primera fase. Como resultado, la cantidad total de derechos concedido sobrepasaba las emisiones y, con una oferta muy superior a la demanda, el precio de los derechos cayó a cero en 2007

- Fase 2 (2008-2012): Coincidió con el primer periodo de compromiso del Protocolo de Kioto, en el que los países del RCDE UE debían cumplir objetivos concretos de reducción de emisiones, algunas de las características son:
 - Reducción de los límites máximos de derechos de emisión (un 6,5 % aproximadamente respecto a las cifras de 2005)
 - Incorporación de tres nuevos países: Islandia, Liechtenstein y Noruega.
 - Inclusión, por varios países, de las emisiones de gases de óxido nitroso procedentes de la producción de ácido nítrico
 - La proporción de derechos de emisión gratuitos descendió ligeramente situándose en torno al 90
 - Varios países celebraron subastas de derechos de emisión
 - El importe de la multa por exceso de emisiones se elevó a 100 euros por tonelada.
 - Las empresas podían comprar créditos internacionales hasta un total cercano a los 1.400 millones de toneladas equivalentes de CO₂
 - Se instaura un registro único de transacciones el cual almacenaba entre otros datos, la cantidad de CO₂ como también las operaciones de transacción
 - Se incorpora al sector aeronáutico

Dada la disponibilidad de datos sobre emisiones anuales verificadas durante la fase piloto, los límites máximos de derechos de emisión se redujeron en la segunda fase en función de las emisiones reales. Factores externos como la crisis económica en 2008 provocó una mayor reducción de emisiones lo que provoca un excedente de derecho y créditos que repercutió duramente en el precio del carbono durante toda la segunda fase.

- Fase 3 (2013-2020) Los principales cambios con respecto a las fases anteriores son:
 - En lugar de límites emisiones nacionales se aplica un límite único para toda la UE
 - La subasta es el método generalizado para asignar derechos de emisión (en lugar

de asignación gratuita), y los derechos que aún se distribuyen de forma gratuita están sujetos a normas de asignación armonizadas.

- Se contemplan más sectores y gases
- La reserva de nuevos entrantes se ha dotado con 300 millones de derechos de emisión para financiar el despliegue de tecnologías innovadoras de energías renovables y captura y almacenamiento de carbono a través del programa NER300¹
- Fase 4 (2021-2030): Para esta fase se revisa el marco legislativo con el fin de poder alcanzar los objetivos de reducción de emisiones de la UE en 2030 según el marco sobre clima y energía² para 2030 y como parte de la contribución de la UE a la aplicación del Acuerdo de París³ de 2015. La revisión se centra en los siguientes aspectos:
 - Consolidar el ritmo de reducciones anuales de derechos de emisión en un 2,2 % a partir de 2021.
 - Mantener asignación gratuita de derechos de emisión como garantía de competitividad internacional de los sectores industriales expuestos a un riesgo de fuga de carbono y garantizar, al mismo tiempo, que las normas para determinar la asignación gratuita sean específicas y reflejen los avances tecnológicos.
 - Ayudar a la industria y al sector de la energía a afrontar los retos de innovación e inversión que supone la transición hacia una economía hipo carbónica a través de una serie de mecanismos de financiación.

3.3.3. Hong Kong

El gobierno de Hong Kong y el gobierno de la provincia de Guangdong definieron que las reducciones de emisiones de contaminantes locales de dióxido de azufre (SO₂), óxidos nitrosos (NO_x), material particulado respirable (MP₁₀) y componentes orgánicos volátiles (VOC) en la región Delta del Río Perla fueran de 40 %, 20 %, 55 % y 55 % respectivamente

¹NER 300 es un programa de financiación que agrupa unos 2 000 millones de euros para proyectos innovadores de demostración de energía con bajas emisiones de carbono

²El marco climático y energético para 2030 incluye metas a nivel de la UE y objetivos políticos para el período de 2021 a 2030. Los objetivos son: disminuir gases efecto invernadero, utilización de fuentes de energía renovables, eficiencia energética, entre otros.

³Acuerdo que busca frenar la amenaza del cambio climático al mantener el aumento de la temperatura mundial por debajo de 2 °C

para el año 2010, usando 1997 como año base (C. M. Yam y H. Leung, 2013). Esto debido a la demografía como también el crecimiento económico que estaba teniendo la zona. La contaminación crecía de manera paralela con el desarrollo de energías, industrias y el transporte en Hong Kong mientras Guandong no tenía un desarrollo tan avanzado como su vecino, por lo que se aplican varias metodologías para frenar la contaminación en el aire.

Una de las tantas metodologías para combatir con la contaminación ambiental es la implementación de un sistema cap and trade en centrales eléctricas de la región, todo esto ya que son las fuentes más grandes de contaminación en el aire en tres contaminantes específicos (NO_x , SO_2 y MP). A partir del 2010, las compañías eléctricas han podido cumplir con los límites de emisiones. Los derechos de admisión de los tres contaminantes principales se asignan de acuerdo a la cantidad de energía generada para el consumo local (Environmental Protection Department, 2010). Los derechos de emisión son transferibles y cada derecho de emisión da derecho a una tonelada de emisión. Al final de un año de emisión, el propietario de la central eléctrica debe asegurarse de que su emisión de cada contaminante no sea superior a la cantidad permitida de emisión.

3.4. Antecedentes nacionales

Chile es pionero en la realización de Programa de Compensación de Emisiones, siendo el primer país que no era parte de la OCDE en intentar de implementar esta metodología cuando se implementa el Decreto N°4/1992 del Ministerio de Salud el cual buscaba poder cumplir con las normas de emisión establecidas en zonas de la Región Metropolitana las cuales iban a ir disminuyendo a medida que iban pasando los años. Se habla por primera vez de compensación al cual se define como “Un acuerdo entre titulares de fuentes de modo tal, que una de las partes practica una disminución en sus emisiones de material particulado al menos en el monto en que el otro las aumenta.” (Decreto N°4, 1992). Además de esto se establecía que el Servicio de Salud del Ambiente de la Región Metropolitana, sólo autorizará fuentes estacionarias puntuales y nuevas siempre que puedan emitir concentraciones de material particulado menores a 112 [mg/m³N] y además compensen en un 150 % sus emisiones de material particulado (Jiménez y Lira,

2015).

Con respecto a la fiscalización también se aclara que las fuentes estacionarias puntuales deben acreditar sus emisiones de material particulado cada doce meses al Servicio de Salud del Ambiente de la Región Metropolitana, mientras que las fuentes estacionarias grupales lo deben hacer cada tres años. Todas estas mediciones tienen que ser realizadas por los laboratorios de medición y análisis autorizados por el Servicio de Salud del Ambiente de la Región Metropolitana.

Otros programas también implementados en la Región Metropolitana para poder reducir la complicada contaminación de la región en 1992 fueron el Programa de Compensación de Emisiones para Gases para el óxido de Nitrógeno y el Programa de Compensación en Emisiones de Material Particulado y Gases para megaproyectos que ingresan el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).

Estos programas no fueron capaces de mantenerse durante el tiempo debido a problemas de diseño, algunos de los problemas que se encontraron fueron los siguientes:

- Problemas en la asignación inicial de permisos, lo que va de la mano con un mejor catastro de las fuentes emisoras y de los niveles de contaminación existentes al momento de implementar el sistema.
- Dificultad en el sistema de monitoreo y de castigo, lo que conlleva al incumplimiento de las normas impuestas.
- Costos monetarios y tiempos de transacciones altos, debido a la poca información de emisiones en ese momento.

En 2003, durante el mandato del presidente Ricardo Lagos, se ingresa al Congreso un nuevo proyecto de ley para la implementación de Bonos de Descontaminación. Tal como se describe en el documento, “este instrumento de gestión ambiental, entre múltiples ventajas, tiene el potencial de alcanzar y mantener en el tiempo el pleno cumplimiento de las normas de calidad ambiental vigentes al menor costo posible y de forma compatible con el crecimiento económico” ([Proyecto de ley N°3290-12, 2003](#)). Este proyecto buscaba crear un sistema de cupos de emisión y de bonos de descontaminación para poder reducir las emisiones contaminantes. El proyecto de ley además establecía que las fuentes que no

estuvieran obligadas a participar igualmente podían ser parte del sistema, se regularía de mejor manera las emisiones en donde se aplicarían infracciones a ley si no se cumplían y existiría un registro de fuentes, sumideros y participantes no emisores. Lamentablemente el proyecto de ley no ha tenido movimiento por lo que habiendo transcurrido varios años sigue sin cambios en el Congreso.

3.5. Antecedentes normativos

La primera aproximación a un sistema de permisos de emisiones transables fue en el decreto N°4 de 1992 del Ministerio de Salud en donde su objetivo es el de poder disminuir los complicados niveles de contaminación en el aire que afectaban a la Región Metropolitana, la norma anual en ese entonces de partículas totales en suspensión era superada en más de dos veces entre los meses de abril y agosto ([Jiménez y Lira, 2015](#)).

La ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente fue publicada en 1994 y ha ido recibiendo modificaciones a medida que ha pasado el tiempo, siendo la más relevante la modificación con la ley 20.417 en el año 2010 creado por el Ministerio de Medio Ambiente. Lo que busca dicha ley es el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental ([Ley N° 19.300, 1994](#)). Para lograr esto se utilizan instrumentos de gestión ambiental, los cuales son:

- Educación y la investigación
- Sistema de evaluación de impacto ambiental
- Participación de la comunidad en el procedimiento de evaluación de impacto ambiental
- Normas de calidad ambiental y de la preservación de la naturaleza y conservación del patrimonio ambiental
- Normas de emisión
- Planes de manejo, prevención o descontaminación
- Procedimientos de reclamo

Dentro de los planes de manejo, prevención o descontaminación se tratan varios instrumentos de regulación o de carácter económico en donde uno de ellos son los permisos de emisión transables. Específicamente, en el artículo 48 de la ley 19.300 dice que “una ley establecerá la naturaleza y las formas de asignación, división, transferencia, duración y demás características de los permisos de emisión transables.”

En el año 2003 se desarrolla un proyecto de ley sobre una ley de bonos de descontaminación como instrumento de gestión ambiental. El sistema es eficaz y eficiente, ya que permite reducir las emisiones de la manera menos onerosa, ya que a diferencia de la regulación tradicional en donde la única manera de poder cumplir con una norma de emisión es por medio de un cambio de tecnología o combustible; el sistema de bonos de descontaminación logra la reducción de la materialización de reducciones de contaminación en otras fuentes ([Proyecto de ley N°3290-12, 2003](#)).

A través de una asignación de cupos de emisión asociados a metas de disminución de emisiones que permitan cumplir las normas de calidad ambiental, cualquier reducción de las emisiones designadas generan un bono de descontaminación. Las nuevas actividades que quieran instalarse en la zona de aplicación del sistema deberán comprar en el mercado bonos para poder instalarse. Con todo esto se logra oferentes y demandantes de bonos.

3.6. Antecedentes meteorológicos

Santiago se encuentra emplazada en la cuenca de superficie plana del río Maipo que, encerrada por cordones montañosos de altitud relevante, impiden una circulación fluida de las partículas contaminantes, lo que se potencia aun mas en invierno debido a la debilidad del sistema de vientos durante esta estación ([Memoriachilena, 2018](#)).

Al mismo tiempo, la suciedad se ve provocada por la inversión térmica superficial en las primeras decenas de metros, lo que también afecta la capacidad de remoción de contaminantes desde la cuenca, particularmente durante el periodo de frío.

Durante el periodo estival, el calentamiento superficial permite la erosión de la capa de inversión térmica sobre la cuenca, lo que se traduce en un mejoramiento significativo de la ventilación. Sin embargo, la emisión de compuestos nitrogenados y de compuestos

orgánicos, más la disponibilidad de radiación solar, favorecen la formación de compuestos fotoquímicos, generando el aumento en las concentraciones de ozono troposférico ([Decreto N°31, 2016](#)).

3.7. Calidad de aire

3.7.1. Contaminantes en la atmósfera

- Material Particulado (MP)

Partículas que se encuentran principalmente en zonas urbanas y provienen de centrales térmicas, procesos industriales, tráfico de vehículos, combustión residencial de leña e incineradores industriales. El nivel de daño que produce a las personas al aspirarlo (MP_{10}) son partículas de diámetro igual o inferior a 10 micrones y material particulado 2,5 ($MP_{2,5}$) de diámetro menor o igual a 2,5 micrones. MP_{10} son partículas inhalables que penetran solo la parte superior del sistema respiratorio. Para el caso de $MP_{2,5}$ este contaminante es el más dañino para la salud al poder llegar a los pulmones y alvéolos incluso pudiendo llegar al torrente sanguíneo, aumentando los riesgos de mortalidad prematura. MP también causa daño al medio ambiente al dañar plantas, inhibir el crecimiento de vegetación y corroer materiales.

- Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Estos gases se producen al quemar maderas y combustibles fósiles, como gasolina, carbón y gas natural. Entre los óxidos del gas nitrógeno (NO_x) se incluyen: óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO_2), trióxido de nitrógeno (NO_3), óxido nitroso (N_2O) y pentóxido de nitrógeno (N_2O_5).

La principal fuente de emisión de NO_x es el sector transporte por lo que el crecimiento sostenido del parque automotriz son una de las causas más importantes del aumento de las emisiones de este contaminante. Los NO_x son responsables de efectos sobre la salud y medio ambiente, como problemas respiratorios o daño pulmonar. El NO_2 puede reaccionar con la humedad del ambiente formando ácido nítrico que puede causar corrosión en superficies metálicas y detener el crecimiento de plantas.

- Dióxido de azufre (SO₂)

Es el derivado del azufre que contamina el aire de manera más frecuente. Se produce por la combustión de carbono y petróleo. La mayor parte proviene de plantas generadoras de electricidad (carboeléctricas y termoeléctricas) y de otros procesos industriales.

Los óxidos de azufre se eliminan del aire mediante su conversión en ácido sulfúrico y sulfatos y de esta forma se depositan en forma de partículas en la tierra y el mar.

Los efectos tóxicos para el ser humano son: enfermedades respiratorias, aumento de muertes por enfermedades crónicas, cardiovasculares.

3.7.2. Efectos de los contaminantes

- Enfermedades respiratorias

Según los datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la contaminación del aire exterior es la principal causa medioambiental de riesgo de la salud generando alrededor de la cuarta parte de las muertes a nivel mundial. Para el caso de Chile existen alrededor de 3500 casos de mortalidad para el año 2017 producidos por enfermedades cardiopulmonares asociadas a la exposición de material particulado fino siendo niños pequeños y adultos mayores los más susceptibles dentro de la población en general. También existen muchos casos de morbilidad asociadas a este contaminante, en donde las principales enfermedades presentes son neumonía, bronquitis, ataques de asma ([Ministerio Medio Ambiente, 2018](#))

- Cambio climático

El Black Carbon es un componente del material particulado fino el cual contribuye en gran medida al cambio climático, siendo esta la segunda contribución más importante a este fenómeno por detrás del CO₂. El black carbon es un contaminante climático de vida corta (CCVC) generada a partir de la combustión incompetente de combustibles fósiles o biomasa que puede permanecer en la atmósfera varios días, incluso semanas. Tiene la propiedad de absorber radiación solar, volviendo a emitirla en forma de calor en la atmósfera.

- **Lluvia ácida**

Son precipitaciones tanto húmedas (lluvia, nieve o niebla) como también seca (polvo, humo) que poseen pH ácido. La lluvia ácida tiene un pH inferior a 5.6, pudiendo llegar hasta niveles tan bajos como 2,5 o 1,5. Provocada por la reacción de contaminantes en el aire, los cuales reaccionan con la humedad de la atmósfera. Los principales contaminantes son dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NO_x) los que al reaccionar se convierten en ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido nítrico (HNO_3). La lluvia ácida al entrar en contacto con el suelo disuelve minerales.

- **Smog fotoquímico**

Se produce por la combinación del aire con contaminantes durante fenómenos de inversión térmica, reacciona la luz solar y contaminantes como óxidos de nitrógeno (NO_x) y/o compuestos orgánicos volátiles (COV) provocando con ello la formación de ozono (O_3) y dióxido de azufre (SO_2). Este tipo de smog es común en ciudades con poco movimiento de masas de aire, mucho tráfico y bien soleadas. La formación de este efecto oscurece la atmósfera dejando una masa de aire de color marrón, dañino para la salud de las personas como también para el medio ambiente.

3.7.3. Episodios críticos

Un gran problema que tiene la Región Metropolitana sigue siendo el material particulado, en especial el MP2,5 (ver Figura 3.2) en donde año tras año sigue existiendo episodios en donde las concentraciones del contaminante están cercanas a la norma o llegan a sobrepasarlas. Para el caso del material particulado fino, la temporada donde las concentraciones alcanzan los valores máximos es en la temporada otoño invierno debido a la poca circulación de viento durante esa época (ver anexo Figura A.2).

El gobierno trabaja cada año con distintas medidas para poder combatir con el material particulado, que, si bien han ido disminuyendo los episodios tras el paso de los años, en el último año fueron más de veinte días durante el periodo otoño invierno en donde la calidad del aire presentaba signos de alerta.

Es importante aclarar que el material particulado fino presenta niveles por sobre la

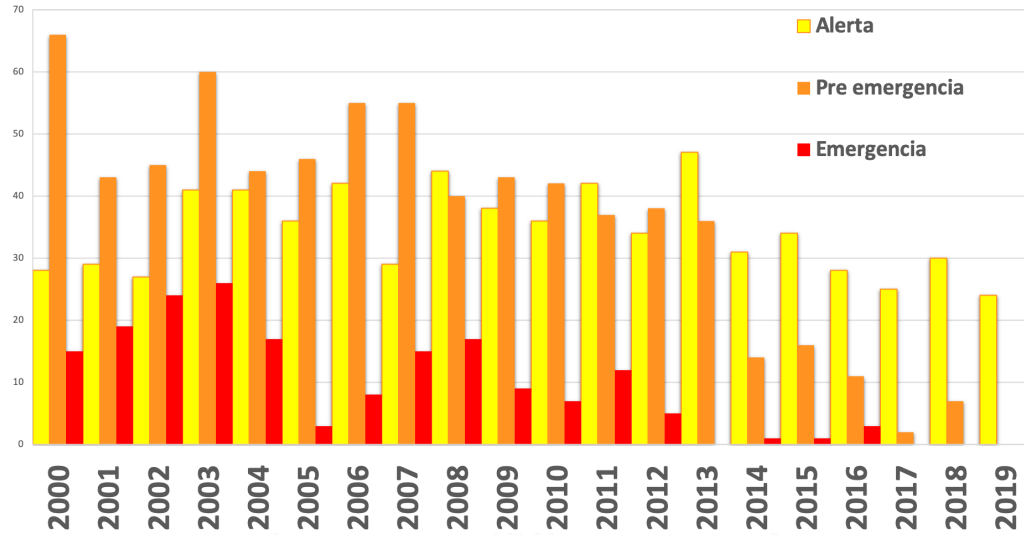


Figura 3.2: Número de días con episodios asociados a material particulado fino
(Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2019)

norma en todas las estaciones dentro de la región Metropolitana, tanto en concentraciones anuales, como en el percentil 98 de concentraciones diarias (ver anexos Figura A.4 y Figura A.5)

Para el caso del material particulado grueso también presenta episodios de contaminación cercana a la norma (ver Figura 3.3) pero en mucho menos casos si es comparado con el fino. Al igual que el material particulado fino, los momentos con mayor concentración de contaminante es durante el periodo otoño invierno (ver anexos Figura A.3)

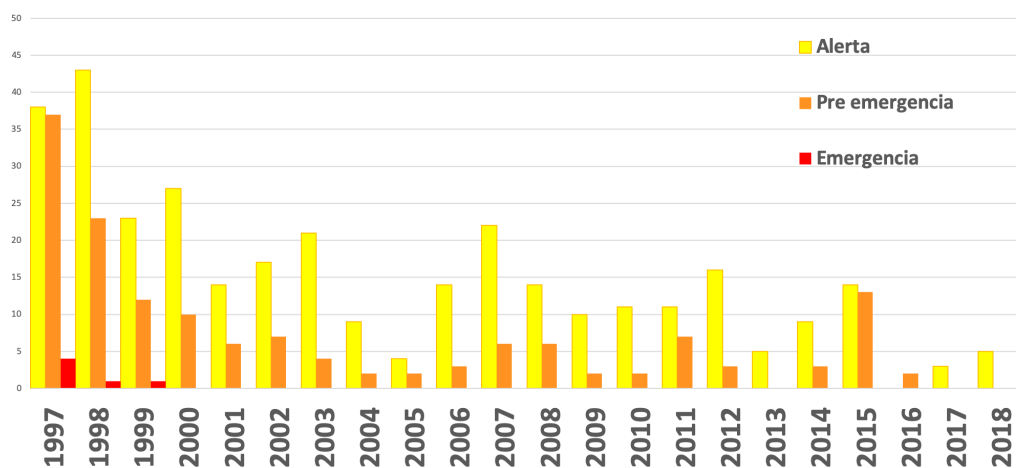


Figura 3.3: Número de días con episodios asociados a material particulado grueso
(Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2019)

3.8. Conceptualización

- Fuente Estacionaria: Es toda fuente diseñada para operar en lugar fijo, cuyas emisiones se descargan a través de un ducto o chimenea. Se incluyen aquellas montadas sobre vehículos transportables para facilitar su desplazamiento.
- Establecimiento: Conjunto de estructuras e instalaciones donde se localizan una o más calderas o turbinas, que están próximas entre sí y que por razones técnicas están bajo un control operacional único o coordinado.
- Collar prices/Banda de precios con máximos y mínimos: Rango propuesto de precios máximos y mínimos encaminado a reducir la volatilidad de precios de los derechos de emisión que están en circulación
- Downstream: Punto de regulación en el cual los gases son liberados físicamente a la atmósfera
- Upstream: Punto de regulación en el que los combustibles fósiles se comercializan inicialmente
- Grandparenting: Se refiere al método de asignación de derechos de emisión de forma gratuita en función de las emisiones históricas de las entidades sujetas al SCE.
- Caldera: Unidad principalmente diseñada para calentar agua o un fluido térmico y/o para generar vapor de agua, mediante la acción del calor.
- Turbina: Corresponde a una máquina rotativa que capta energía de un fluido transformándola en energía mecánico rotacional, utilizando la expansión del fluido por efecto de la quema de un combustible, sea este líquido o gaseoso, en una cámara de combustión interna, generando con ello trabajo útil.
- Potencia térmica nominal: Corresponde a la potencia térmica calculada sobre la base de información de consumo nominal de combustible, determinado por las especificaciones técnicas del diseño o ingeniería desarrollada por el fabricante y/o constructor; y el poder calorífico superior del combustible ocupado, determinado según los valores publicados en el Balance de Energía anual elaborado por la Comisión Nacional de Energía

- Inicio de operación: Considerado el momento en el cual el equipo está instalado dentro de un establecimiento y genere, o se encuentre en condiciones de generar, emisiones en cualquier proceso de combustión.



4 | Metodología

La revisión bibliográfica de este trabajo se lleva a cabo a través de buscadores tales como: ScienceDirect, Google Scholar, Elsevier, Springer mediante las siguientes palabras claves: emission trading scheme (esquema comercio de emisiones), Acid Rain Program (Programa lluvia ácida), EU ETS, particulate matter (material particulado), nitrous oxide (óxido nitroso), sulfure dioxides (dióxido de azufre), pollution (contaminación), entre otros. Con el fin de conocer el estado de arte . Se utiliza como guía el texto del Banco Mundial “Comercio de Emisiones en la práctica: manual sobre el diseño y la implementación de sistemas de comercio de emisiones” (PMR; ICAP, 2016) y a partir de esta se entrega una propuesta de programa de emisiones transables.

Se considera relevante la experiencia adquirida en el funcionamiento de sistemas Cap and Trade en varias partes del mundo, como por ejemplo Estados Unidos y Europa. Si bien muchos de estos programas trabajan con el fin de reducir gases de efecto invernaderos como es el dióxido de carbono, existían ciertos puntos en común con programas que trabajan con contaminantes locales.

La base de datos utilizada en este trabajo del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), la cual es una base de datos que contiene información sobre las emisiones y transferencias al medio ambiente de sustancias químicas potencialmente dañinas. Esta es una base dato de acceso libre la cual entrega información con propósitos de gestión ambiental.

La información utilizada es de la Región Metropolitana de los años 2015, 2016 y 2017. La cual posee varias características como, por ejemplo: sector industrial, nombre del establecimiento, emisiones por contaminante, comunas, entre otros.

5 | Análisis y desarrollo

5.1. Ámbito de aplicación

Los establecimientos que deben declarar sus emisiones atmosféricas provenientes de fuentes fijas están bajo el D.S. N°138/2005 MINSAL, D.S. N°13/2011 MMA y D.S. N°28/2013 MMA, los cuales son presentados con más detalle en la Tabla 5.1

Tabla 5.1: Establecimientos a declarar en RETC

Umbrales	Sectores productivos y equipos
Para los sectores productivos: No hay umbrales. Para los equipos: Grupos electrógenos mayores a 20 kW, y calderas industriales y de calefacción con consumo energético de combustible mayor a 1 mega joule por hora (D.S. N°138/2005 MINSAL)	Producción de papel y celulosa
	Fundiciones primarias y secundarias
	Centrales termoeléctricas
	Producción de cemento, cal y yeso
	Producción de vidrio
	Producción de cerámica
	Industria siderúrgica
	Industria petroquímica
	Producción de asfaltos
	Grupos electrógenos
Calderas	
Establecimientos con unidades de generación eléctrica, conformadas por calderas o turbinas, con un potencial térmica mayor o igual a 50 MWt (D.S. N°13/2011 MMA)	Centrales termoeléctricas
Establecimiento correspondiente a fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico (D.S. N° 28/2013 MMA)	Fundiciones y fuentes emisoras de arsénico

(Fuente: RETC, 2017)

Otra regla para el registro de emisiones es que los establecimientos que tenga un potencia térmica nominal de 5 MWt también deben declarar anualmente sus emisiones en el Registro de Calderas y Turbinas. Toda la información obtenida por los establecimientos

que cumplen las características nombradas anteriormente, es almacenada en la base de datos que es utilizada dentro de la propuesta.

Con respecto a los contaminantes a utilizar, se trabaja con material particulado (MP), óxidos nitrosos (NO_x) y dióxido de azufre (SO_2). Estos contaminantes son controlado actualmente dentro del artículo 8 de la Ley 20.780 de “Modernización Tributaria” en donde para los establecimientos cuyas fuentes fijas, conformadas por calderas o turbinas, individualmente o en su conjunto sumen, una potencia igual o mayor a 50 MWt deben pagar impuestos por los contaminantes emitidos dentro de un año. Dentro de la región Metropolitana existen muchos establecimientos los cuales poseen una potencia menor a esta, por lo que se encuentran excluidos en el pago de impuestos y es aquí en donde se desea establecer un programa de emisiones transables.

Para la generación de un ETS ajustado al contexto en el cual se encuentra la región Metropolitana es necesario identificar y ordenar los distintos establecimientos que se encuentran dentro de la zona, como también los distintos gases a los cuales se le aplicará el programa, todo esto con el fin de poder cuantificar el nivel de impacto que tiene cada tipo de rubro, estos datos son mostrados en la página siguiente (ver Tabla 5.2). Los datos de años anteriores pueden ser vistos en anexos (Tabla A.1 y Tabla A.2).

Tabla 5.2: Datos de emisiones 2017 [Ton]

Rubro	N	NOx	SO2	MP10	MP2,5	MP
Generación de energía	23	533,26	5,25	37,03	36,40	37,47
Industria del papel y celulosa	10	410,02	10,80	18,71	18,71	18,71
Producción de alimentos	73	265,87	46,72	15,03	10,42	17,52
Otras actividades	880	920,78	150,32	41,95	22,83	67,19
Suministro y tratamiento de aguas	102	0,24	0,01	0,01	0,00	0,02
null	70	43,44	10,76	2,01	1,05	3,28
Industria manufacturera	116	160,81	17,92	8,43	6,04	11,77
Transporte	14	1,39	0,08	0,05	0,02	0,10
Extracción de minerales	11	1.281,32	321,91	7,02	3,66	9,42
Gestor de residuos	45	19,45	1,16	0,69	0,17	1,37
Municipio	3	1,93	0,24	0,14	0,14	0,15
Industria agropecuaria y silvicultura	76	1.069,19	10,04	4,61	2,56	7,31
Comercio	523	224,22	15,32	8,68	4,75	13,85
Construcción e inmobiliarias	28	215,77	13,06	7,74	2,05	15,73
Combustibles	22	8,01	2,28	0,38	0,21	0,61
Transmisión y distribución de energía eléctrica	8	1,59	0,08	0,06	0,01	0,11
Producción química	17	14,88	1,80	0,78	0,56	1,07
Producción de metal	5	15,43	0,82	0,54	0,13	1,09
Pesca	1	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000
	2027	5.187,62	608,58	153,87	109,70	206,76

(Fuente: RETC, 2017)

Como se puede ver en la tabla, existen rubros los cuales emiten altas cantidades de contaminantes y a su vez no poseen muchos establecimientos, como puede ser el caso de rubros como “Generación de energía”, “Industria de papel y celulosa”. Para apreciar de mejor manera esta tabla, se procede a entregar la Figura 5.1

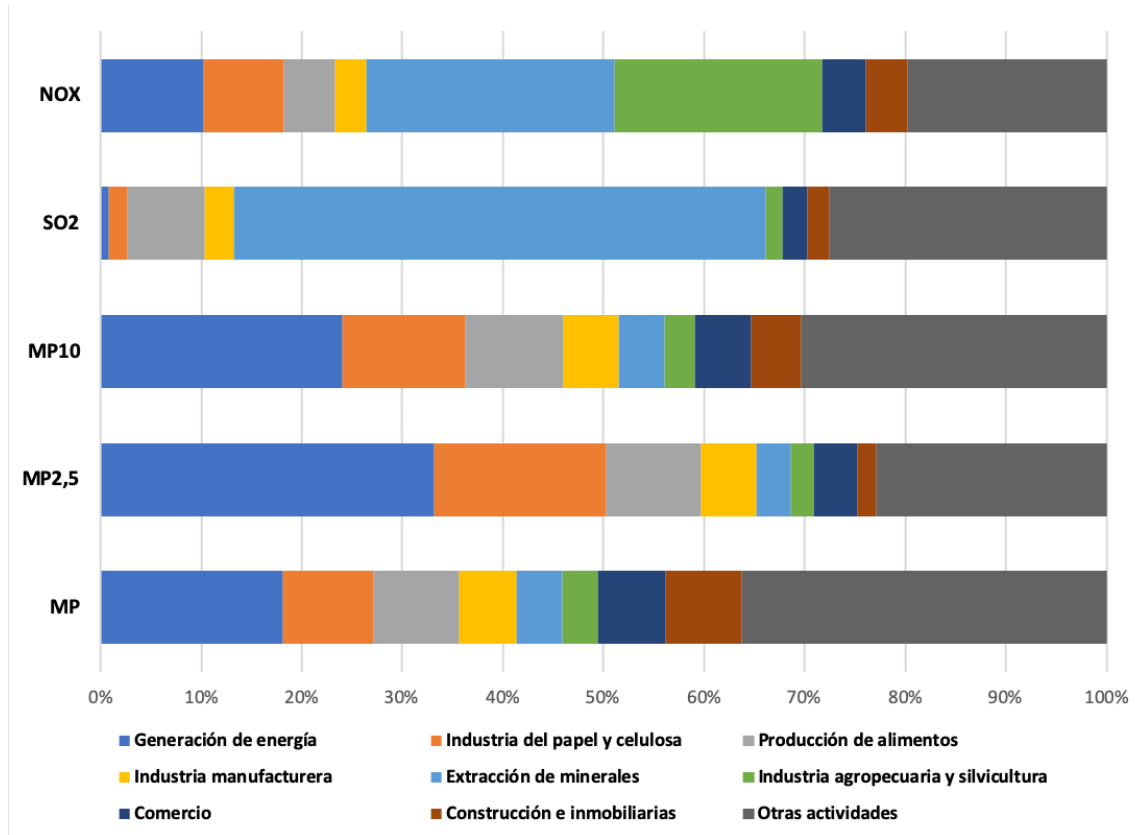


Figura 5.1: Distribución de emisiones por industria

(Fuente: Elaboración propia)

Como se puede ver en la figura, existe el grupo llamado "Otras actividades" los cuales tienen una participación importante en las emisiones de los distintos contaminantes. Este grupo abarca establecimientos como por ejemplo: universidades, centros comerciales, hospitales, clínicas, productores y exportadores de frutas, entre otros. Al observar que este grupo tiene una importancia considerable en las emisiones se determina que el programa ETS incluirá a todas las industrias.

Tomando en cuenta lo dicho anteriormente, es necesario establecer un umbral mínimo de emisiones para la propuesta. Esto debido a que el año 2017 son 2.027 los establecimientos los que han declarado sus emisiones en RETC lo cual podría ser complicado de controlar en un programa ETS.

5.2. Umbrales

Para que un ETS sea eficaz, debe tratar de abarcar la mayor cantidad de emisiones posibles dentro de un sector predeterminado. A pesar, de encontrar ciertos rubros que producen grandes cantidades de emisiones, existen establecimientos que no pertenecen a los rubros antes mencionados y para encontrarlos se procede a calcular un umbral que ayudará a localizar los establecimientos con mayor participación de emisión de contaminantes.

Para establecer de manera más exacta los límites anuales de emisiones para la propuesta, se establece lo siguiente:

- Se aplicará el límite máximo de emisiones por establecimiento utilizando los datos de los años 2016 y 2017, la idea es buscar las emisiones máximas que emiten cada establecimiento en operaciones normales.
- Los establecimientos que no hayan declarado durante el 2016 utilizarán los datos del año 2017, como límite máximo de emisión ya que no hay más datos para establecer un límite de emisiones.
- Los establecimientos que declaran emisiones en el año 2016 y no llegaron a declarar en el año 2017 quedarán fuera del programa por haber cerrado sus operaciones y dejarlos dentro del programa impacta en gran medida en las emisiones anuales del programa.

Los establecimientos que cumplen con lo mencionado anteriormente son: 1.730 establecimientos para el contaminante NO_x , 1.730 establecimientos para el contaminante SO_2 y 1.732 establecimientos para el contaminante MP (ver Tabla A.3).

Para la obtención del umbral por contaminante se trabaja con los datos establecidos anteriormente, en donde se va variando el nivel del umbral hasta establecer el límite en donde el número de establecimientos y el porcentaje de cobertura es considerado adecuado (porcentaje de cobertura de emisiones en torno al 90 %). A medida que va disminuyendo el umbral va en aumento los establecimientos los cuales entran dentro del sistema de comercio de emisiones (ver Tabla A.4, Tabla A.5 y Tabla A.6 en anexos). Los resultados finales se presentan a continuación (ver ver Tabla 5.3, Tabla 5.4, Tabla 5.5).

Tabla 5.3: Umbral para emisiones de NO_x

Nº establecimientos	Porcentaje del total	Emisiones (ton)	Porcentaje de cobertura	Umbral (ton/año)
138	7,98 %	5.855,57	92,65 %	3

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 5.4: Umbral para emisiones de SO₂

Nº establecimientos	Porcentaje del total	Emisiones (ton)	Porcentaje de cobertura	Umbral (ton/año)
139	8,03 %	652,88	92,33 %	0,4

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 5.5: Umbral para emisiones de MP

Nº establecimientos	Porcentaje del total	Emisiones (ton)	Porcentaje de cobertura	Umbral (ton/año)
144	8,31 %	260,83	89,24 %	0,2

(Fuente: Elaboración propia)

Los valores de emisiones considerados son solo de los años 2016 y 2017 ya que las emisiones de años anteriores presentan mucha variedad, en donde existen años donde las declaraciones llegan a valores muy por sobre el promedio. Es importante aclarar que al momento de realizar este trabajo no se ha publicado el registro de emisiones de años más recientes entregados por medio del sitio web de Registro de Calderas y Turbinas.

Considerar un valor de umbral al momento de la regulación sectorial resulta bastante importante ya que reduce significativamente el número de entidades a controlar sin perder un gran porcentaje de las emisiones emitidas, tal como se ha mostrado en las tablas anteriores. Obtener pocas fuentes con altas emisiones trae consecuencias positivas, las cuales son:

- Mayor control de las fuentes de emisión: Trabajar con un grupo reducido conlleva medir y monitorear las emisiones con una incertidumbre relativamente baja.
- Disminución en gastos de monitoreo: Poder monitorear fuente por fuente podría resultar bastante costoso si no existiese un umbral, casi el 90 % de las empresas que

declaran con RETC en el año 2017 no emiten grandes cantidades de contaminantes locales.

- Mejoras en el funcionamiento en el mercado de derechos de emisión: Ha medida que se pone en marcha el comercio de emisiones se puede llevar un control adecuado de las emisiones de cada participante por lo que el comercio de cupos de emisión tendrá mayor certeza en los primeros años de funcionamiento.

5.3. Punto de regulación

Cada establecimiento entrega anualmente el inventario de sus emisiones que genera producto de su actividad económica, la información es entregada a través de un formulario el cual ha logrado hacer una base de datos que ha ido creciendo durante el tiempo. El método que se utiliza es el de downstream, o sea, las emisiones serán reguladas en el punto en donde son liberados al ambiente.

- Según SCE EU, la regulación en el punto donde se originan las emisiones es más eficaz a la hora de incentivar a las entidades a reducir sus emisiones
- Actualmente existe una base de datos a nivel de empresas o instalaciones para poder analizar y asignar unidades de derechos de emisión, sobre todo si se utiliza un proceso grandparenting como asignación de derechos de emisión

5.4. Límite de emisiones

La asignación de límites será absoluta, año por año, en función de las emisiones históricas menos el porcentaje de reducción el cuál se utiliza para llegar a la meta buscada. Cabe destacar que el objetivo en primera instancia es la reducción del 20 % de las emisiones de contaminantes locales dentro de una cantidad de años determinada. El porcentaje de reducción es establecido tomando en consideración el promedio de reducción de contaminantes locales en los países que son parte de OCDE (Cofala J, 2012), como también viendo los porcentajes de reducción de otros programas de emisiones transables. las distintas etapas del programa son presentadas a continuación:

- 2020 – 2022 Periodo de desarrollo
- 2023 – 2025 (Fase uno): Fase piloto
- 2026 – 2030 (Fase dos): Reducción de un 1 % lineal hasta año 2029
- 2031 – 2040 (Fase tres): Reducción de un 1,5 % lineal hasta el año 2039

Dentro de la fase piloto, lo que se indaga es establecer una arquitectura adecuada al ETS, construyendo el apoyo del sistema necesario y luego comenzar a comerciar. Este periodo ayudará a los participantes del mercado que se familiaricen con el programa.

Para la segunda fase, comienza la inclusión de una reducción porcentual del 1 % de manera lineal, tomando como base los datos históricos obtenidos de cada establecimiento. Comenzarán además las primeras transacciones de permisos las cuales deberán ser estudiadas a medidas que van pasando los años, esto con el objetivo de ver como se va comportando el mercado de permisos con las reducciones de emisiones aplicadas a cada año.

Ya en la tercera fase, la reducción de emisiones anuales aumentará a un 1,5 % con respecto a las emisiones históricas obtenidas para cada establecimiento. Durante esta etapa, la experiencia obtenida durante los años anteriores sobre el comportamiento del mercado, más las herramientas entregadas dentro del programa ayudará a controlar posibles alzas de precios de los permisos en relación con la disminución de las emisiones totales por contaminante.

Las estimaciones de los límites anuales para cada tipo de contaminante son entregadas a continuación (ver Figura 5.2, Figura 5.3 y Figura 5.4).

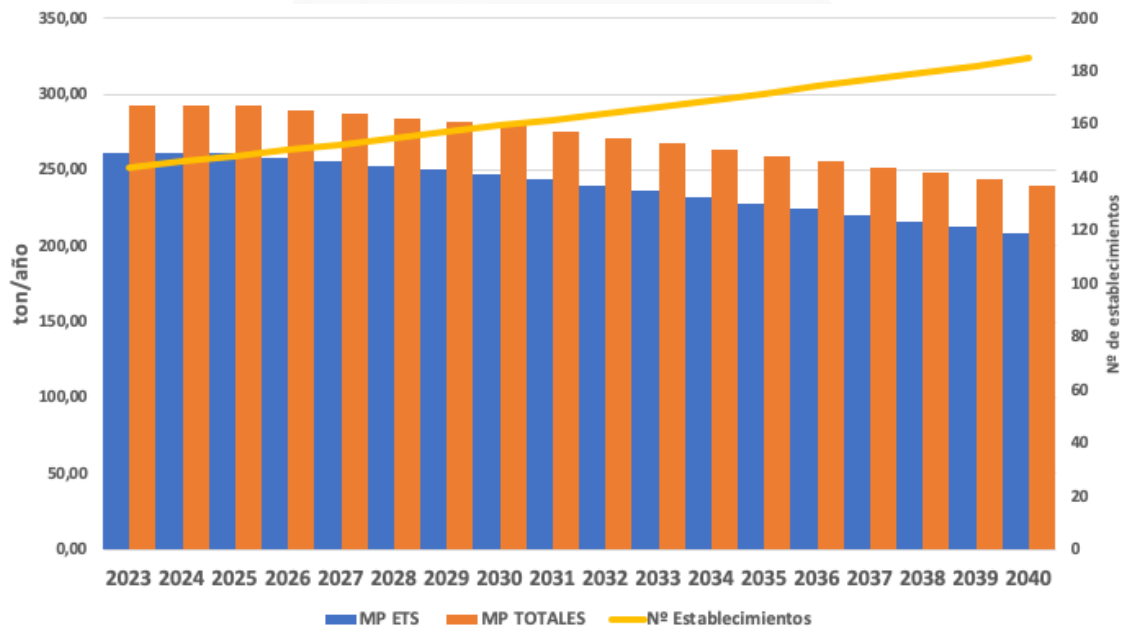


Figura 5.2: Proyección de reducción de emisiones MP
(Fuente: Elaboración propia)

Para el caso del material particulado, la proyección de emisiones para el año 2040 llega a 208 toneladas, además se muestra la tendencia de empresas que irán siendo parte del sistema a medida que pasan los años estimando que serían 185 empresas parte del programa ETS. Esta tendencia se calcula tomando en cuenta la cantidad de establecimientos que van registrando sus emisiones durante los años.

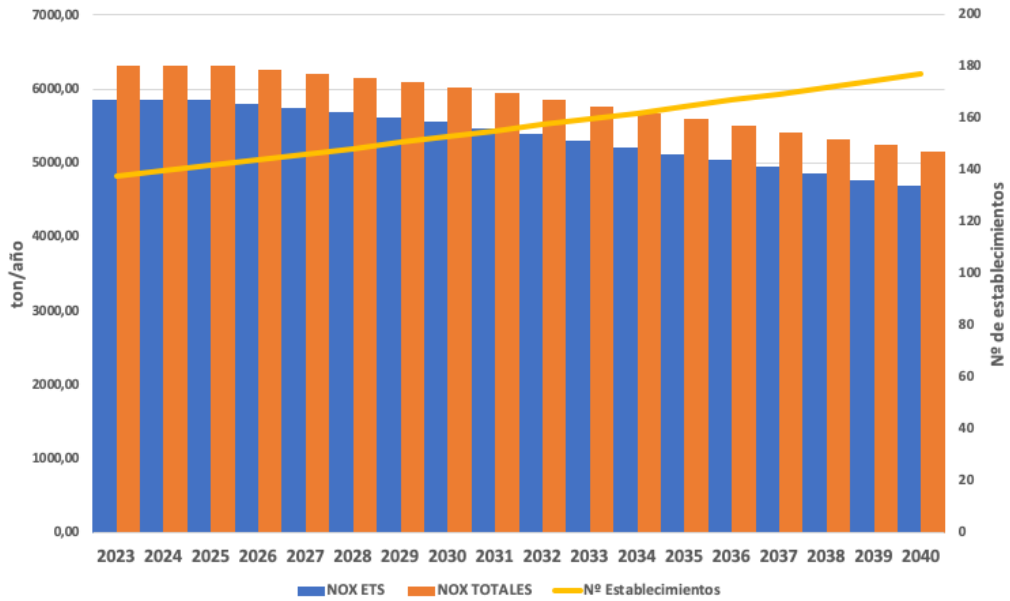


Figura 5.3: Proyección reducción de emisiones NO_x
(Fuente: Elaboración propia)

Para el caso del óxido nítrico, la proyección de emisiones para el año 2040 llega a 4684 toneladas, además se muestra la tendencia de empresas que irán siendo parte del sistema a medida que pasan los años estimando que serían 177 empresas parte del programa ETS.

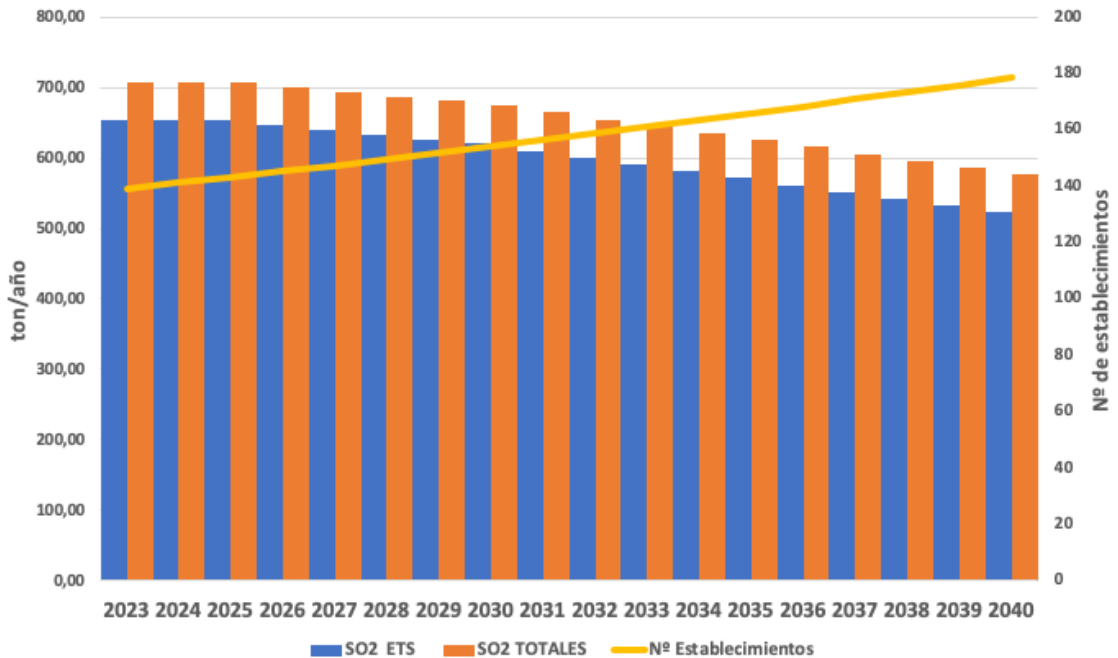


Figura 5.4: Proyección reducción de emisiones SO₂
(Fuente: Elaboración propia)

Para el caso del dióxido de azufre, la proyección de emisiones para el año 2040 llega a 522 toneladas, además se muestra la tendencia de empresas que irán siendo parte del sistema a medida que pasan los años estimando que serían 178 empresas parte del programa ETS.

Las proyecciones para cada contaminante contienen dos datos, el primero son las emisiones que serán controladas por el ETS, Los cuales son el porcentaje de las emisiones totales la cual es calculada a base del umbral, obteniendo un número establecimientos reducidos que entrarán el programa. La segunda son las emisiones totales de contaminantes declaradas en el RETC para la Región Metropolitana (ver Tabla A.7, Tabla A.8 y Tabla A.9 en anexos).

Es importante establecer una proyección de emisiones ya que entrega suficiente previsibilidad para guiar las decisiones de inversión a largo plazo para los establecimientos, además al entregar una proyección baja la incertidumbre de especulaciones de emisión lo cual puede influir de gran manera en los precios de permisos de emisiones de contaminantes.

Cabe mencionar que las ambiciones del programa pueden ir variando a medida que pase el tiempo, esto debido al comportamiento que va entregando el mercado de permisos de emisiones. Puede existir casos en donde los límites son considerados muy altos por lo que los permisos pierden significativamente su valor. También puede existir el caso contrario en donde pueden existir aumentos de precios muy altos.

5.5. Asignación de permisos

Dentro de los casos estudiados de asignación, todos concuerdan que es fundamental tener una base de datos sólida para poder lograr una asignación adecuada de derechos de emisión. Tal como dice [Ellerman y Buchner \(2008\)](#), sobre asignar en gran medida los permisos de emisión en un periodo de tiempo hace que los precios de permisos como los de carbono puedan ser muy bajos, tal como ocurrió en la Unión Europea. Esto provoca que el sistema no funcione de manera correcta ya que las asignaciones finales por año no serán las adecuadas y no se cumpliría con los objetivos de reducción de contaminantes.

El estudio y análisis de la entrega y utilización de los permisos de emisiones es esencial para que el sistema funcione. Existen porcentajes de permisos los cuales serán utilizados para emitir emisiones como también algunos permisos que serán vendidos dentro de un mercado secundario. A medida que esta información se va recibiendo y el mercado comienza a tener bases más solidas se puede comenzar a utilizar un mercado de subastas, esta sin embargo es recomendable que sea implementada de manera parcial.

Para que el sistema se vaya adecuando de la mejor manera posible, existirán tres fases en donde se utilizaran permisos de emisiones. La primera, llamada fase piloto, será utilizada para evaluar el funcionamiento de la implementación del sistema, para ir corrigiendo diferencias que pudiesen existir con el diseño. Luego se pasa a las siguientes fases, en donde existirá ventas de permisos de emisión comprados al valor de mercado vigente.

- Fase piloto (2023 - 2025): entrega de permisos de forma gratuita
- Fase dos (2026 - 2030): 50 % gratuito y 50 % al valor del mercado vigente
- Fase tres (2031 - 2040): 100 % de los permisos se entregan al precio de mercado

Las asignaciones gratuitas por utilizar dentro de la propuesta en las primeras fases son basadas en el grandparenting, el cual los establecimientos reciben permisos de emisión a base de sus emisiones históricas, en donde este va sufriendo una reducción con porcentaje fijo, exigiendo que los establecimientos se vayan adecuando año a año al cumplimiento de sus emisiones permitidas.

Grandparenting resulta la metodología más adecuada dentro las primeras fases de la propuesta planteada ya que posee ventajas por sobre otras metodologías, sobre todo durante los primeros años de implementación de un ETS, las ventajas son las siguientes.

- Indemnización de establecimiento mas afectados: Establecimientos los cuales se vean mayor afectados por las restricciones de emisiones debido a activos que seguramente tendrán que ser reemplazados, al ver que sus asignaciones sean gratuitas contribuyen a su participación dentro del sistema.
- Simplicidad con sistemas downstream: Los permisos de emisión son otorgados directamente a los establecimientos que emiten los contaminantes, esto hace que las

asignaciones de permisos sean más simples de realizar

- Mantiene los incentivos de reducción de contaminantes: Las empresas que logren reducir sus emisiones tienen la libertad de poder vender sus permisos a otros establecimientos que necesiten más permisos, logrando con ellos beneficios extras al poder vender cupos de emisión que fueron otorgados de manera gratuita.

Con relación al caso de periodos de subasta, existen distintos tipos de modalidades implementadas en el mercado de permisos de emisiones en donde cada una de ellas presenta ventajas y desventajas al momento de ser implementadas en el mercado de permisos de emisiones. Existen factores que son fundamentales para controlar para que el mercado funcione de la mejor manera posible, los cuales son: actos de colusión entre empresas, desconfianza de las subastas por parte de grupos oferentes y barreras de entrada para establecimientos más pequeños.

La subasta de precio uniforme con oferta sellada resulta ser la metodología más apropiada para poder controlar el mercado establecido dentro de este trabajo. En este tipo de subastas, cada establecimiento entrega una colección de ofertas, en donde cada oferta especifica un precio y una cantidad de emisiones a transar. Ya obteniendo las distintas colecciones de ofertas de cada establecimiento se determina el precio de equilibrio del mercado. Las ofertas iguales o superiores al precio de equilibrio son ganadoras y se adjudican la oferta. Por lo que los licitadores suelen pagar precios diferentes, donde cada postor paga al menos el precio de equilibrio de mercado.

Una diferencia importante de esta metodología con otras modalidades de subastas es que se toma como prioridad principal la eficiencia del programa por sobre los ingresos relacionados al mercado de permisos. Tal como dice [Lopomo et al. \(2011\)](#) la utilización de este tipo de subastas ayuda a simplificar la implementación de un mercado de emisiones, debido a los siguientes puntos.

- Mayor control de colusión ya que al obtener de manera anticipada las ofertas de cada oferente estas pueden ser estudiadas con mayor detalle con el fin de crear un mercado amigable para todos los tipos de establecimientos pertenecientes al mercado.
- Promueve la confianza entre los participantes ya que el proceso de subasta es más

transparente, buscando un precio justo para todos los oferentes con el fin de poder cumplir con sus demandas de emisiones.

- Carga informativa menor para pequeños postores, ya que no necesita saber sobre la distribución de los costos de reducción de otros oferentes, en consecuencia, los pequeños postores están más dispuestos a participar en estos tipos de subastas.

La implementación de subastas se irá consolidando año a año, en donde durante este proceso será importante obtener datos asociados al mercado de permisos de emisiones, los cuales serán:

- Emisiones históricas de cada establecimiento
- Colección de ofertas de permisos de emisiones de cada establecimiento
- Permisos utilizados dentro de un periodo de tiempo
- Permisos de emisiones vendidos
- Permisos de emisiones comprados
- Nivel de cumplimiento de emisiones de cada establecimiento.

5.6. Flexibilidad temporal

La flexibilidad temporal de permisos de emisiones ha sido utilizada por distintos programas de emisiones en el mundo con el fin de poder disminuir los costos relacionados al cumplimiento de emisiones. Existen dos metodologías las cuales son comúnmente utilizadas las cuales son la acumulación (llamada banking en inglés) y préstamos (llamada borrowing en inglés).

El Banking permite que las entidades reguladas puedan guardar permisos de emisión que no han sido utilizados para que sean ocupados en otros periodos futuros de cumplimiento, permitiendo que la reducción de emisiones sea hoy a cambio de un aumento en el futuro. El Borrowing permite solicitar préstamos de permisos de periodos de cumplimiento futuros para ser utilizados dentro de un periodo actual, esto permite aplazar la reducción de emisiones.

Hay ciertas condiciones que deben ser analizadas para determinar si es recomendable mecanismos de flexibilidad temporal, las cuales son presentadas a continuación.

5.6.1. Costos de abatimiento

En general los mecanismos de abatimiento de estos tipos de contaminantes dependen principalmente de cuatro factores.

- **Composición química del combustible:** Es la manera de menor costo para su implementación, en donde se cambia por un combustible con menos contenido de azufre, este es el responsable de la formación de dióxido de azufre como también de material particulado. Para el caso del carbón lo que se busca es que contenga poco porcentaje de cenizas, lo que incide en una alta generación de material particulado.
- **Tecnología equipos abatimiento:** Existen varias tecnologías para disminuir las emisiones antes de arrojarlas a la atmósfera, sobre todo para MP tales como: ciclones, filtro de mangas, precipitadores electrostáticos y lavadores húmedos. Para el caso de NO_x existen también tecnologías capaces de disminuir emisiones, lamentablemente requieren de altas inversiones y elevados costos de operación.

- **Mantenimiento de equipos:** Chequear preventivamente los equipos alargando su vida útil, logrando además disminuir posibles costos elevados en reparaciones. Un ejemplo es limpiar de manera periodica las entradas de aire, en donde una buena de combustión provoca que las emisiones de material particulado sean más bajas. Otro ejemplo sería chequear de manera periodica boquillas de atomización para así crear mejores mezclas entre aire y combustible
- **Condiciones de operación:** Buena operación en rangos de alta eficiencia y eficacia. algunas variables son las siguientes: por ejemplo: temperatura de gases de emisión, composición de estos gases. Estos deben permanecer en rangos prefijados por el fabricante.

En la realidad, los factores de reducción de contaminantes locales poseen altos costos, sobretodo las tecnologías empleadas en equipos como calderas, debido a sus altos costos de inversión, operación y mantención. GreenLab UC estima estos costos a través de la información proporcionada por la US-EPA 2016 en conjunto con la guía CoST. (ver Tabla 5.6)

Tabla 5.6: Costo de reducción promedio (USD-2016/ton) para calderas

MP	NO_x	SO₂
[USD/ton]	[USD/ton]	[USD/ton]
134	3.683	1.507

(Fuente: GreenLabUC,2016)

A pesar de que exista un aumento en la cantidad de establecimientos desde el año 2015 a 2017, el material particulado es el único contaminante que ha ido reduciendo sus emisiones a medida que pasan los años. Esto debido a que presenta menores costo de abatimiento (ver Figura 5.5)

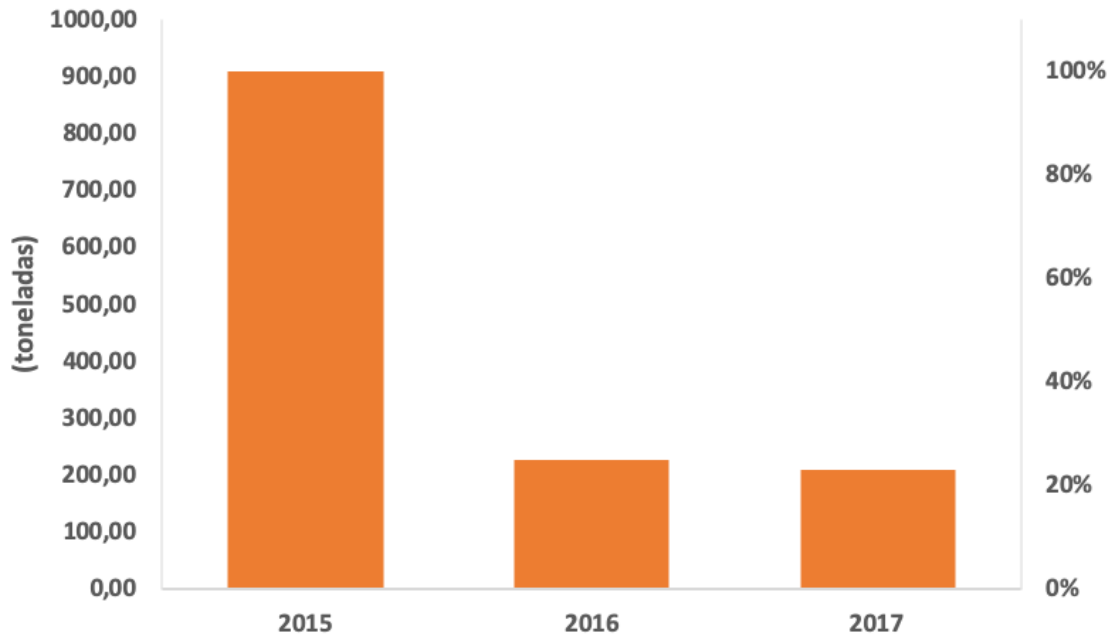


Figura 5.5: Emisiones de material particulado declaradas en RETC
(Fuente: RETC)

Para el caso de contaminantes como el dióxido de azufre u óxidos nitrosos, los costos de abatimiento resultan más altos en comparación al material particulado debido a que sus costos de reducción dependen principalmente en inversión de nuevas tecnologías. Poseer altos costos de abatimiento conlleva a que las reducciones de emisiones dependan de condiciones de operación o composición química de los combustible, provocando mayor incertidumbre en el control de sus emisiones, esto puede ser observado en la declaración de emisiones anual de estos contaminantes (ver Figura 5.6 y Figura 5.7)

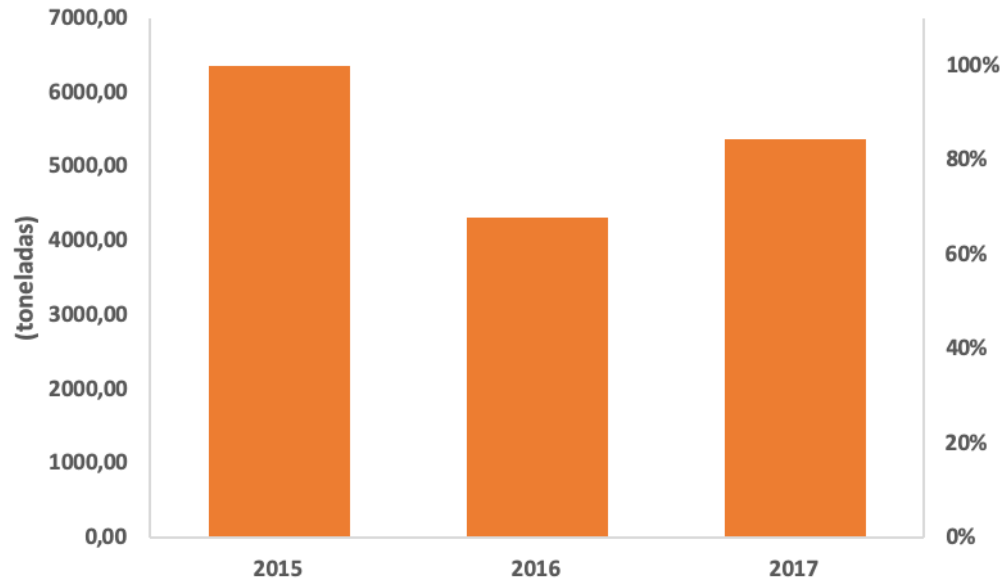


Figura 5.6: Emisiones de óxidos nitrosos declaradas en RETC

(Fuente: RETC)

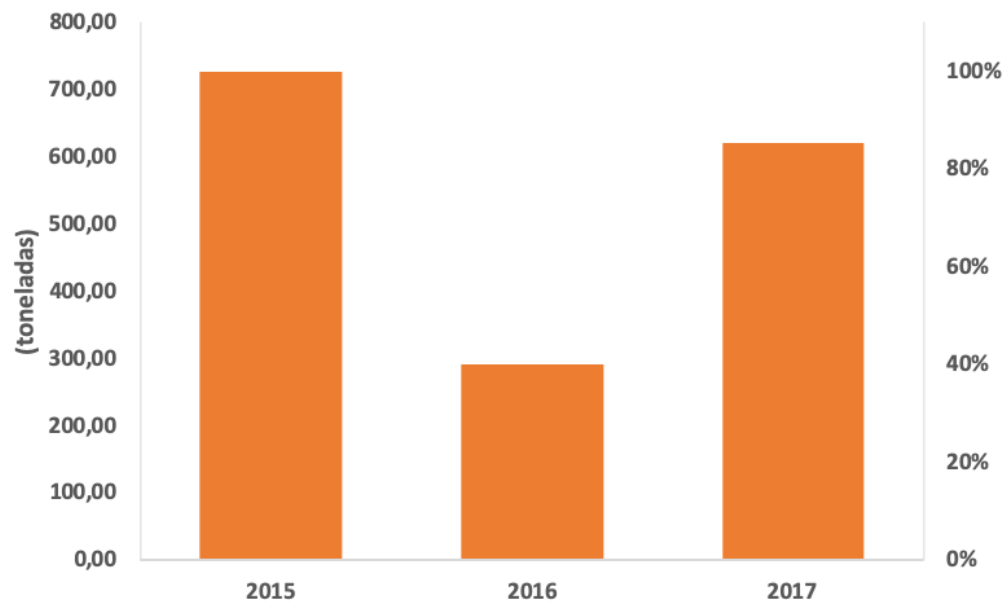


Figura 5.7: Emisiones de dióxidos de azufre declaradas en RETC

(Fuente: RETC)

Tomando en consideración esto, aplicar flexibilidad temporal no es recomendable en este caso, ya que los establecimientos han demostrado que pueden operar con emisiones mucho más reducidas. Poder establecer límites anuales sin lugar a duda provocará una tendencia más clara respecto a las emisiones anuales de los establecimientos que participan

en este programa.

Dar flexibilidad temporal en este caso puede provocar un sobre abastecimiento de permisos de emisión lo que puede provocar el no cumplimiento de emisiones en periodos futuros, en donde los límites sean muy estrictos. Además, es fundamental analizar el comportamiento de los establecimientos que participan dentro del programa durante la primera fase, ya que es común que las emisiones totales sufran cambios al saber que están dentro de un programa de reducción de contaminantes.

5.6.2. Complicaciones en cambios de fases y programas

Normalmente en los inicios de distintos programas ETS, el límite de emisiones anuales en los primeros años es bastante superior a las emisiones reales anuales, al existir esta diferencia positiva las instalaciones comienzan a acumular grandes cantidades de permisos de emisión.

Varios programas tuvieron que implementar medidas de control para el banking en los primeros años de los programas. Está el caso de Ozone Transport Commission (OTC) NO_x Budget Program. Este era un programa implementado en 1999 hasta 2002, el cual trabajaba con empresas eléctricas y grandes empresas que utilizaban calderas dentro de sus instalaciones. Este programa fue reemplazado por el NO_x State Implementation Plan (SIP) Call, el cual regulaba las emisiones de varios estados de la zona este de Estados Unidos.

Con el cambio de programa, existió preocupación de que empresas pudieran cumplir de manera cómoda los requerimientos anuales, debido a que el programa OTC NO_x Budget Program arrastraba consigo una alta cantidad de permisos guardados para uso en el futuro. Estos podrían incrementar las emisiones por sobre el límite y poner en peligro el programa por incumplimiento de emisiones. Por lo que se estableció varias medidas para el control de estos permisos, uno de estas era el intercambio 2:1, es decir, dos permisos OTC NBP valían un permiso NO_x SIP Call, también se limitaron la cantidad de permisos los cuales podrían ser vendidos.

Todos estos cambios de programa crean confusión y desconfianza a los estableci-

mientos, provocando irregularidades en los precios de los permisos ya que las compañías tienden a almacenar en mayor cantidad los permisos de emisión, con preocupación que los cambios de programa conlleven a límites más estrictos.

5.6.3. Contaminantes stock vs contaminantes flow

Hay que considerar el tipo de contaminante con el cual se está trabajando en la propuesta, la mayoría de los programas que han sido implementados en distintos países son para combatir contaminantes de tipo stock, estos contaminantes tienen la particularidad de que sus impactos son una función de las emisiones acumulativas sobre un tiempo relativamente largo como son los gases de efecto invernadero, en donde la duración de estos en la atmósfera va desde meses a miles de años. Los gases los cuales son trabajados dentro de las propuestas son de tipo flow, los cuales tienen un impacto en cortos periodos de tiempo.

Los programas de comercio de emisiones de gases efecto invernadero tienden a utilizar tanto banking como borrowing ya que los impactos de cambio climático se proyectan con tendencias más largas. Los programas de emisiones transables de contaminantes de tipo flow tienen distintas metodologías, la gran diferencia es que tanto el borrowing como el banking poseen muchas barreras, por ejemplo, porcentaje máximo de acumulación, pagos por utilización de permisos acumulados, reglas que aumentan la tasa de cambio entre un permiso y una unidad de emisión de contaminante, por lo que la utilización de flexibilidad temporal con contaminantes de tipo flow siempre traen consigo algún mecanismo para su control.

5.6.4. Caso programa RECLAIM

Cada firma que participa en el programa RECLAIM recibe créditos de comercio (RTC por sus siglas en inglés) iguales a sus límites de emisiones anuales. Las instalaciones pueden guardar dichas emisiones para cubrir sus emisiones actuales o pueden vender el exceso de créditos a otros establecimientos que no pueden cubrir sus emisiones respectivas. La gran ventaja que tiene este programa es que debido a que son distintos los tipos de rubros, algunos pueden reducir sus emisiones de manera más fácil y a menor costo. Los créditos

son asignados cada año y estos pueden ser comprados o vendidos dentro del mismo año. No importa quien vende o compra créditos, RECLAIM solo pide que el total de emisiones de los participantes vaya reduciendo cada año.

RECLAIM desde su inicio no utiliza banking ni borrowing como metodología de control de precios, durante varios años tanto las emisiones de NO_x , como las emisiones de SO_2 han logrado ser controladas. El único caso puntual existente en donde el límite de emisiones es sobrepasado es en el año 2000 en donde existió una crisis energética en California, debido a la manipulación de precios de la electricidad, algunas compañías colapsaron, lo que provocó un alza en las emisiones de NO_x dentro del programa. Fuera de este caso puntual, el programa sigue reduciendo anualmente sus emisiones anuales (ver Figura 5.8 y Figura 5.9).

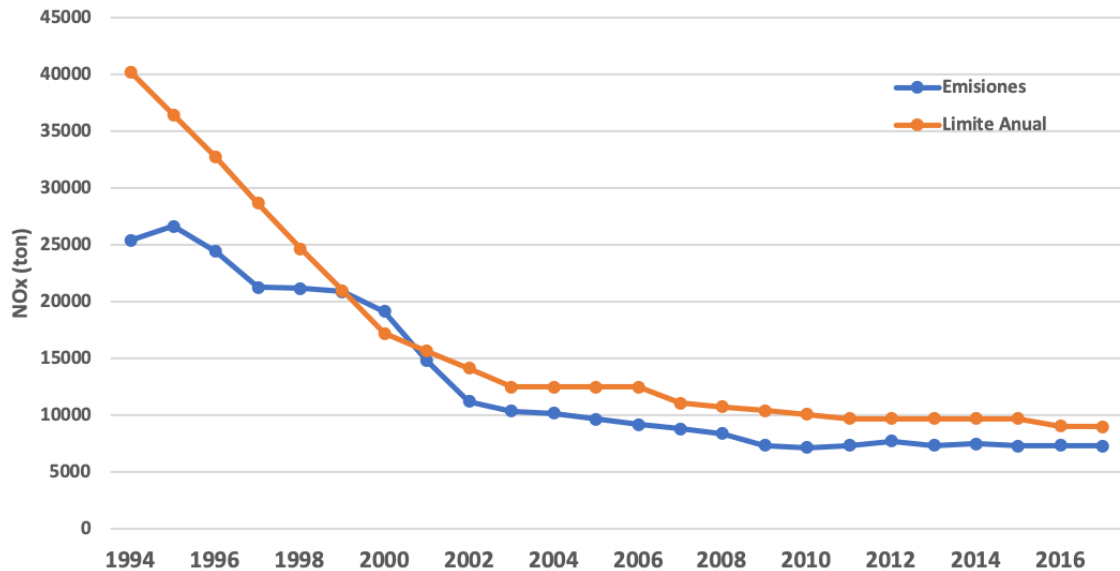


Figura 5.8: Límite de emisiones anuales y emisiones declaradas de óxido nítrico
(Fuente: RECLAIM,2018)

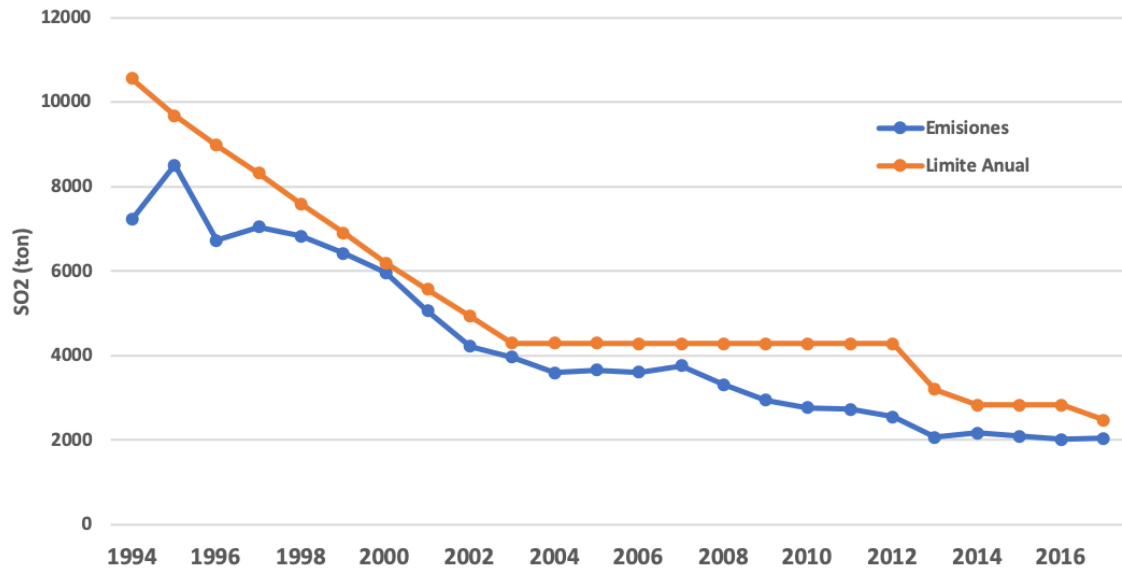


Figura 5.9: Límite de emisiones anuales y emisiones declaradas de dióxido de azufre
(Fuente: RECLAIM,2018)

Ya desde el año 2011 la tendencia de emisiones anuales declaradas se ha mantenido estable en el tiempo, en donde el porcentaje de créditos sin usar no supera el 25 %, incluso los años 2016 y 2017 los porcentajes de créditos sin usar han llegado al 19 % (ver en anexos Tabla A.10 y Tabla A.11). RECLAIM ha considerado durante sus años de funcionamiento que el comercio de emisiones durante el año es incentivo necesario para que establecimientos se preocupen en la reducción de emisiones.

Este programa tiene características similares a la propuesta planteada. Ambos ETS tienen la particularidad de trabajar con distintos tipos de rubros, tales como: plantas de energía, refinerías, plantas de cemento, entre otras. Otra característica importante es que RECLAIM para el año 2017 tiene 258 instalaciones, un número por debajo a otros programas tales como: Acid Rain Program (ARP) el cual tiene 1.195 establecimientos. Cross-State Air Pollution Rule (CSAPR) 717 establecimientos. Además, estas trabajan únicamente con unidades generadoras de electricidad.

5.7. Banda de precios

Es un mecanismo de control de los precios de los permisos, el cual garantiza que los precios no bajen de un límite estipulado como también que no lleguen a superar un precio establecido, esto disminuye la incertidumbre de precios dentro del mediano plazo. Lo que busca esta metodología es que empresas puedan trabajar de manera más tranquila en torno a la reducción de emisiones. Tal como se ha dicho anteriormente existen varias maneras para la reducción de emisiones, unas con mayor costo que otras por lo que establecer bandas de precios entrega seguridad a los establecimientos en el caso que llegasen a invertir mucho dinero en reducciones.

Si bien este mecanismo ayuda bastante a los distintos programas, este presenta cierta incompatibilidad que tiene con la propuesta de este programa. Esto se debe a dos razones fundamentales:

Para poder contener los precios mínimos de los permisos, los programas retiran parte de estos y así poder llegar a un precio equilibrio, tal como se observa en la Figura 5.10. Al existir un exceso de oferta de permisos por parte del programa, estos son sacados para luego volver a reinsertarlos en el futuro.

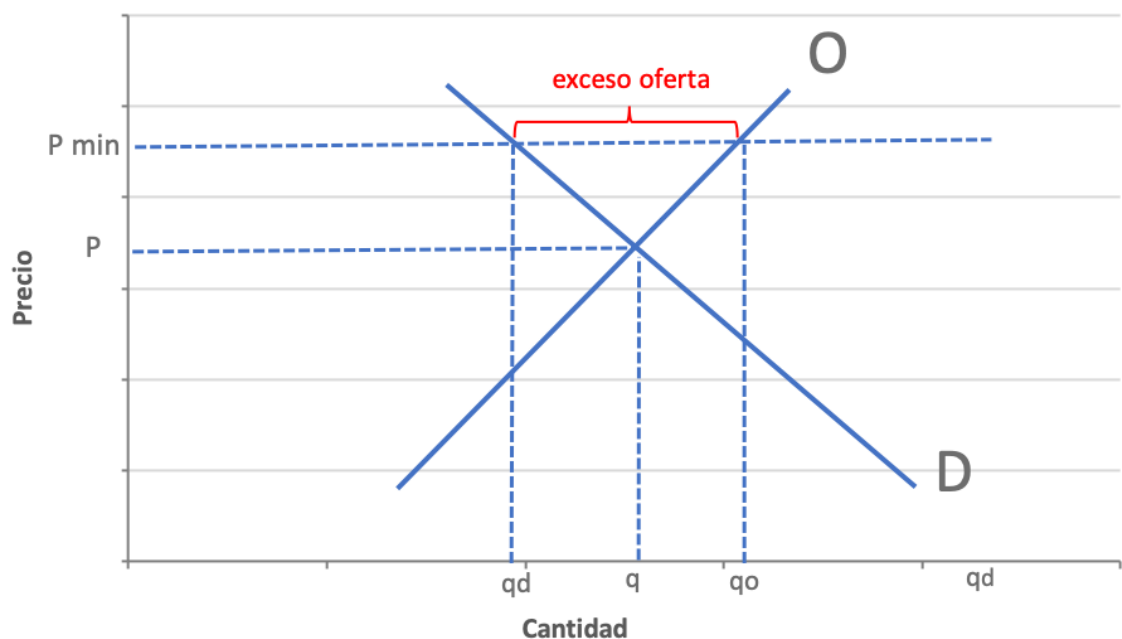


Figura 5.10: Control de precio mínimo de permisos de emisión
(Fuente: Elaboración propia)

Para el caso contención de precios máximos, cuando el valor de este sobrepasa a un máximo es debido a que la cantidad inicial de permisos no pudo cubrir con la demanda real de emisiones del conjunto de establecimientos. La Figura 5.11 entrega la idea antes mencionada.

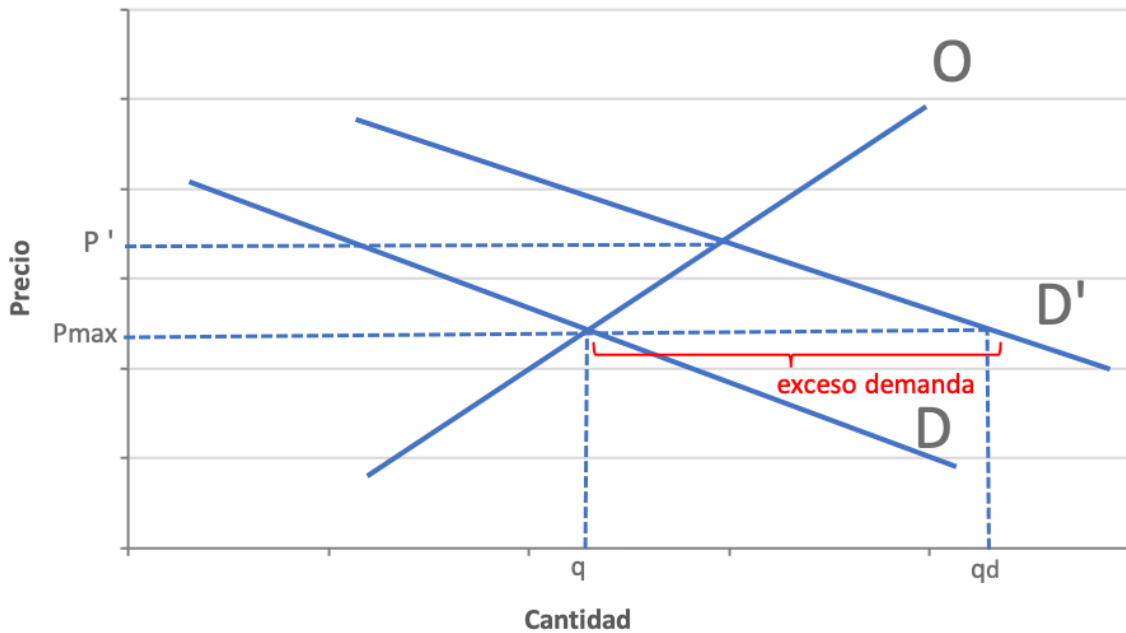


Figura 5.11: Control de precio máximo de permisos de emisiones
(Fuente: Elaboración propia)

Este mecanismo para controlar precios es usado por muchos programas de emisiones transables, pero en su mayoría por programas gestión de gases de efecto invernadero, en donde es importante el control las emisiones dentro grandes periodos de tiempo, por lo que quitar y agregar permisos no crean mayor complicación con los objetivos finales de estos programas.

A pesar de esto, algunos programas como RECLAIM determinan un precio umbral superior el cual cumple la función de alertar al programa. Si el precio del permiso es muy bajo es un indicio que no hace falta mayor cantidad de permisos para cumplir con la demanda, por lo que los límites de emisiones están siendo cumplidos. En el caso que exista un muy alto precio es una sospecha que la oferta de permisos no llega a cubrir las demandas de los establecimientos por lo que es probable que los límites puedan ser sobrepasados en algún momento. Por lo que establecer un umbral de precio superior resulta importante

dentro del estudio.

5.7.1. Precio umbral

La propuesta del precio umbral toma en consideración el costo social de contaminación por cápita que utiliza la ley de impuesto verde a fuentes fijas (ver Tabla 5.7).

Tabla 5.7: Costo social de contaminación per cápita asociado a cada contaminante local

MP	SO ₂	NO _x
[USD/ton]	[USD/ton]	[USD/ton]
0,9	0,01	0,025

(Fuente: Ley de impuesto verde)

Además, para el calcular del valor del precio umbral del permiso se propone lo siguiente:

- Determinar el número de establecimientos que emiten contaminantes por comuna, esta información es sacada de la base de datos de RETC.
- Determinar el impacto de los contaminantes en cada comuna por medio del número de habitantes que viven en cada una de estas.
- Se aplicará un coeficiente de calidad de aire para cada contaminante:
 - El material particulado tiene coeficiente 1,2 al ser un contaminante declarado saturado en la región Metropolitana
 - El óxido nitroso tiene coeficiente 1,1 al ser un contaminante declarado latente en la región Metropolitana
 - El dióxido de azufre tiene coeficiente 1,0 al ser un contaminante declarado normal en la región Metropolitana
- Se aplica el costo social de contaminación per capita para cada contaminante local

El resultado se muestra en la siguiente ecuación (ver Ecuación 5.1).

$$P_i = \sum_j \left(\frac{E_{i,j}}{ET_i} * Pobj_j \right) * CSC_i * CCA_i \quad (5.1)$$

P_i = Precio permiso del contaminante “i”

$E_{i,j}$ = Número de establecimientos parte del programa ETS de contaminante “i” pertenecientes a la comuna “j”

ET_i = Número total de establecimientos del programa ETS de contaminante “i”

$Pobj_j$ = Población de la comuna “j”

CSC_i = Costo social de contaminación per capita del contaminante “i”

CCA_i = Coeficiente de calidad de aire del contaminante “i”

Los valores obtenidos para cada permiso son los siguientes:

Tabla 5.8: Valores permisos de emisión por tonelada

MP	SO ₂	NO _x
[USD/ton]	[USD/ton]	[USD/ton]
22.913	2.210	5.768

(Fuente: Elaboración propia)

Es importante tomar en cuenta que, si bien la mayoría de los permisos de los programas de emisiones transables en el mundo cubren una tonelada de emisiones, para el caso de esta propuesta muchos establecimientos emiten menos de una tonelada para los contaminantes dióxido de azufre y material particulado. Entonces, para poder cubrir los requerimientos de emisiones de las empresas y además que los permisos sean más exactos y no perjudiquen a los límites de emisiones finales de cada contaminante, se propone lo siguiente:

- 1 permiso de NO_x cubre 1 ton de emisión de NO_x
- 1 permiso de MP cubre 0,1 ton de emisiones de MP
- 1 permiso de SO₂ cubre 0,1 ton de emisiones de SO₂

Cabe destacar que los precios obtenidos por toneladas son valores considerados muy altos si se llegase a comparar con programas con características similares como es el Programa RECLAIM, los valores promedios tanto de NO_x como de SO_2 son entregados en las Tabla A.12 y Tabla A.13 en anexos. Una metodología que aplica la ley de impuestos verdes para controlar altos precios a gravar es aplicar un porcentaje del valor total al momento de aplicar el impuesto respectivo que deben pagar los establecimientos, por lo que se propone aplicar un 10 % a los valores obtenidos dentro de la propuesta para los valores de precio umbral, obteniéndose lo siguiente:

Tabla 5.9: Valores permisos de emisión

MP	SO_2	NO_x
[USD/0,1ton]	[USD/0,1ton]	[USD/ton]
229	22	577

(Fuente: Elaboración propia)

Se le aplica este porcentaje debido a que los tipos de rubros considerados dentro de la propuesta son muy variados, tal como se puede observar en la Figura 5.12 la mayoría de los establecimientos que son parte del programa pertenecen al rubro otras actividades por lo que tener precios muy altos para los permisos podrían provocar barreras de entrada en la compra para algunos establecimientos.

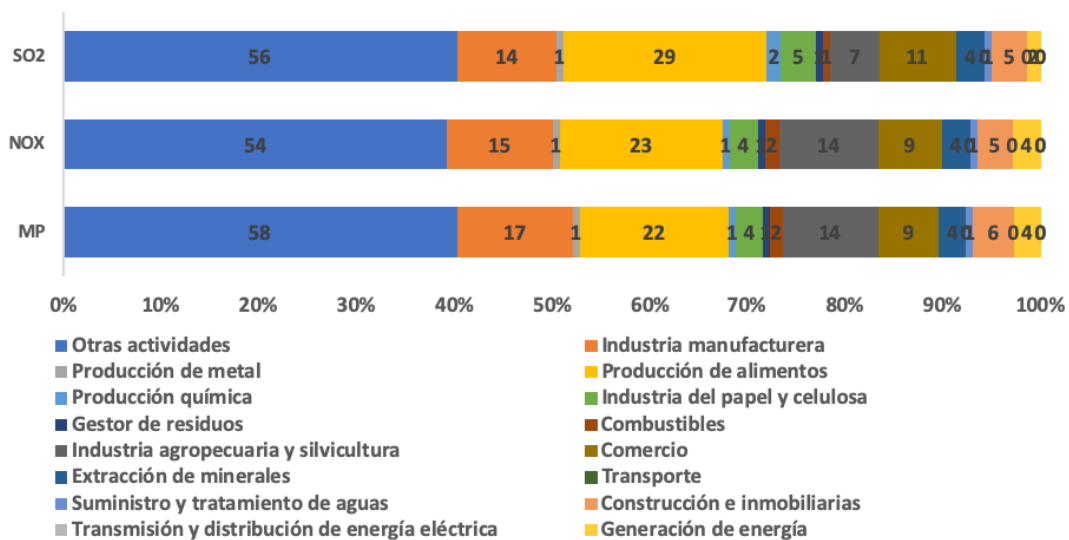


Figura 5.12: Cantidad de establecimientos por rubro para cada contaminante

(Fuente: Elaboración propia)

5.8. Cumplimiento y vigilancia

5.8.1. Estructura legal

Se busca la eficiencia del sistema a partir de instituciones vigentes que poseen experiencia en funciones similares. El objetivo es diseñar un sistema que no genere superposiciones de funciones y problemas de gobernanza, entonces para que el programa funcione de buena manera se consideran las siguientes instituciones (ver Figura 5.13) en donde sus funciones son explicadas más adelante:



Figura 5.13: Cantidad de establecimientos por rubro para cada contaminante
(Fuente: Elaboración propia)

Cada una de estas desarrolla un papel primordial las cuales son explicadas con mayor detalle a continuación:

- **Ministerio de Medio Ambiente:** Principal institución a cargo del programa. Tiene las atribuciones para realizar normas dentro de esta. Fijará año a año el límite de emisiones anuales en la Región Metropolitana. Supervisará la implementación del programa. Entregará los permisos los cuales serán obtenidos gratuitamente o por medio de subastas. Coordinación con otros ministerios. Cooperación con grupos de

intereses.

- **Superintendencia de Medio Ambiente:** A cargo de supervisar y fiscalizar el programa. Coordinación con el Tribunal Ambiental para la resolución de conflictos. Aplicará las sanciones correspondientes en caso de que los establecimientos no entreguen los permisos necesarios para poder cubrir sus emisiones respectivas
- **Equipo Programa ETS:** Equipo parte del Superintendencia de Medio Ambiente el cual trate de manera directa con los distintos establecimientos. A cargo de procesar reclamos o denuncias por parte de los establecimientos. Además, deberán auditar las emisiones declaradas de los establecimientos con el fin de encontrar posibles irregularidades en estas declaraciones
- **Comisión para el Mercado Financiero:** Apoyo en las operaciones del mercado de emisiones transables. Además, estará a cargo de las funciones de regulación y vigilancia del mercado financiero, fiscalizando y sancionando falta y fraudes.
- **Bolsa de Comercio:** Ayuda en la operación de la plataforma donde ocurrirán las transacciones del permiso en el mercado.
- **Instituto Nacional de Normalización:** Ayudará en la homologación de protocolos y estándares para generar procesos de medición y verificación. Además, ayudará en formación y acreditación de verificadores y certificaciones.

Cabe destacar que estas tres últimas instituciones no serán parte del programa en sí, más bien ayudarán en la implementación del programa. La idea es poder organizar reuniones durante la formación del programa con estas instituciones para ir estableciendo los requerimientos necesarios para la creación y manejo de un comercio de subastas como también la formación de un protocolo estándar capaz de certificar con mayor exactitud las emisiones de los distintos establecimientos.

Se plantea la formación de un departamento dentro de la Superintendencia ya que actualmente no existe una estructura semejante dentro de la institución, es importante resaltar que a futuro se planea implementar la venta de permisos de gases efecto invernadero en Chile, por lo que el establecimiento de un departamento dedicado exclusivamente a este mercado conlleva a una aceleración hacia este mercado en el cuál son cada vez mas

los países que tienen un sistema de comercio de emisiones de gases efecto invernadero, por lo que la ubicación del departamento dentro de la superintendencia se muestra en la Figura 5.14.

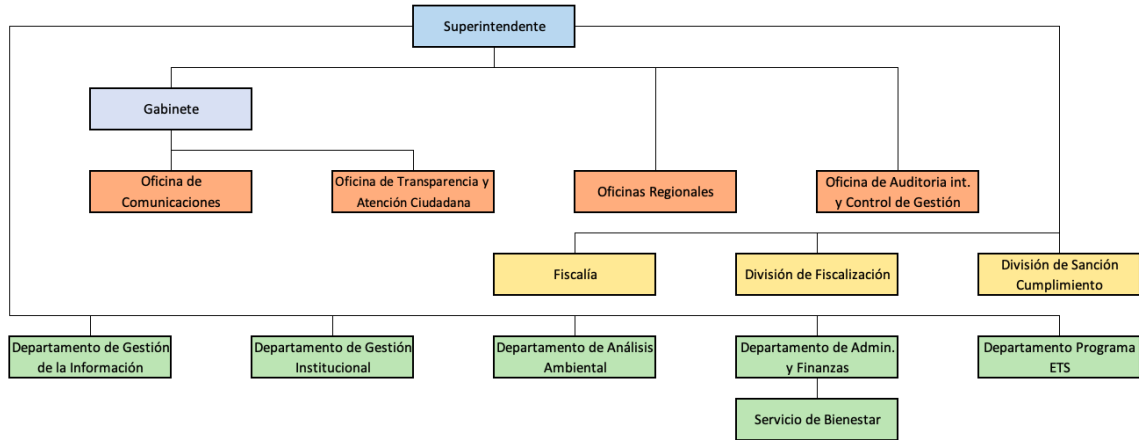


Figura 5.14: Propuesta de organigrama para la Superintendencia de Medio Ambiente
(Fuente: Elaboración propia)

5.8.2. Monitoreo, reporte y verificación

Un elemento importante en la implementación de todo instrumento de gestión ambiental como el utilizado en esta propuesta, es la manera en como son medidos, reportados y verificados los datos de emisiones de cada fuente regulada. Algunos de los puntos claves son:

- La información disponible (monitoreada) debe ser veraz, o sea debe representar de manera certera las emisiones de cada fuente bajo el programa, con el fin de que esta información pueda ser utilizada para ver si los establecimientos están realmente contribuyendo en la reducción de emisiones.
- Todos los datos relacionados a emisiones que es utilizada dentro de la propuesta son públicos, esto da mayor credibilidad y transparencia al programa, promoviendo que el mercado pueda interactuar entre sí, logrando metas de emisión de manera conjunta.
- Los reportes entregados por el encargado de cada establecimiento deben ser auditada por terceros independientes a las empresas. El Instituto Nacional de Normalización tiene el objetivo de formar empresas certificadoras las cuales puedan corroborar y

acreditar las emisiones declaradas por cada establecimiento

- El equipo programa ETS esta encargada de recibir y aceptar/rechazar la información entregada por los establecimientos en relación con los datos de emisión involucrados al programa de emisiones transables. Tendrá la facultad de auditar establecimiento que presenten ciertas irregularidades de acuerdo con la información entregada.

A través de la Figura A.8 en anexos se muestra el proceso de registro y verificación de la información requerida a los establecimientos, desde el registro de la solicitud hasta la notificación de aprobación o rechazo realizada por la Superintendencia de Medio Ambiente.

5.8.3. Sanciones por incumplimiento

Para el correcto funcionamiento de la propuesta, deben existir instrumentos de sanción que aseguran el cumplimiento de los límites establecidos año a año. El regulador debe poseer la capacidad de imponer sanciones las cuales van variando, dependiendo del grado de incumplimiento por parte de los establecimientos.

- Nombrar: Se publicará los nombres de los establecimientos los cuales no cumplan con lo establecido dentro del programa.
- Multar: Multa equivalente a 5 veces el valor del mercado de los permisos de emisión por unidades emitidas de emisión en exceso
- Incumplimiento intencional repetido: Se derivará al tribunal ambiental el cual tiene la función de ejercer justicia en la aplicación de instrumentos de gestión ambiental

5.9. Cronograma de implementación

El sistema tiene dos principales objetivos los cuales deben ser desarrollados en un plazo de tres años. El primer objetivo es la preparación del programa ETS en donde principalmente se formará el equipo de expertos los cuales irán recopilando y analizando año a año la información declarada de emisiones como también visitas técnicas. El segundo objetivo es el desarrollo de la plataforma de mercado de subastas donde se obtienen

los requerimientos necesarios para el sistema para luego comenzar a trabajar con un desarrollador experto en plataformas. Ver cronograma en Anexos Figura A.9

5.10. Costos de la plataforma

Para los costos relacionados al desarrollo de una plataforma web la cual será el medio en donde se desarrollará el comercio de permisos se necesita información extra como la cantidad de compradores y vendedores esperada, número de transacciones esperado por un tiempo determinado, nivel de actividad del sitio, entre otros datos. A pesar de esto, la Corporación Alemana para la Cooperación Internacional entrega una propuesta de una plataforma en donde dicha información es pública. Dicha plataforma se acomoda a esta propuesta debido a que posee costos relacionados a una plataforma web que utilizan distintos tipos de transacciones para el comercio de certificados verdes, por lo que los costos presentados a continuación solo son los considerados para una plataforma relacionada a transacciones por medio de subastas (ver Tabla 5.10).

Tabla 5.10: Costo relacionados a la plataforma de subastas

Tareas	Módulo de Subastas	Precio (USD)
Levantamiento	Levantamiento de procesos	4.500
Estructura base de datos	Ajuste del modelo de BD	4.500
Desarrollo	Gestión de subastas	
	Creación de subastas	800
	Creación de pujas	400
	Selección de mejor puja	1.100
	Gestión de calendarios	
	Calendario	800
	Creación/Edición eventos	600
	Eliminación de eventos	400
	Gestión de documentos	
	Generación de documentos	600
	Almacenamiento	900
	Carga/Eliminación de documentos	800
	Gestión de pagos	
	Ajuste	600
	Gestión de cobros	
	Ajuste	600
Panel de control		
Ajuste	500	
Personalización y diseño gráfico	Diseño	800
	Construcción de paneles	1.700
	Total	19.600

(Fuente: GIZ 2019)

La mantención y actualización de la plataforma para asegurar el correcto funcionamiento durante su utilización dependerá de la forma en quien será el responsable de proveer dichos servicios, existe el caso en donde la misma organización se dedica de manera completa a esta tarea, como también el caso en donde una empresa externa se preocupa de

este trabajo, los costos asociados son presentados a continuación (ver Tabla 5.11).

Tabla 5.11: Costos servicios de mantención y actualización de la plataforma

Alternativa	Descripción	Costo referencial
Servidor propio	La organización está encargada de administrar como también de proveer y mantener el servidor, asegurando la continuidad operacional de la plataforma	1.800 USD
Housing	La mantención y servicios para el funcionamiento son contratados a una empresa especialista. Proveer y administrar siguen corriendo por parte de la organización	100 USD/mes
Cloud Hosting	La organización arrienda el uso de servidores remotos, pero la administración de la plataforma corre por parte de la organización	100 USD/mes
SaaS	La administración y todos los recursos necesarios para el funcionamiento de la plataforma corren por parte de un ente especializado	150 USD/mes

(Fuente: GIZ 2019)

Se recomienda la opción como Housing, Cloud Hosting o Software as a service, ya que las organizaciones especializadas en estos servicios maximizan la disponibilidad de los servidores y aplicaciones que se realicen en la plataforma. Maximizan la estabilidad de los servicios y recursos requeridos para su correcto funcionamiento.

5.11. Mano de obra

Los cargos necesarios para la implementación del programa son presentados a continuación:

- **Jefe de Departamento:** Tendrá a cargo la implementación del programa y del desarrollo de la plataforma de subastas. Coordinará y supervisará el cumplimiento de metas y compromisos que correspondan a la división. Informará de forma periódica respecto del funcionamiento de su unidad a sus superiores jerárquicos. Dentro de los primeros meses del desarrollo del programa estará a cargo de la búsqueda de profesionales para el programa.
- **Ingenieros Analistas:** A cargo de colaborar tanto en la implementación del programa como en el desarrollo de la plataforma de subastas. Administrará y apoyará en el análisis de los procesos dentro del programa. Revisará, registrará y administrará la documentación obtenida tanto en las visitas a terreno como en las declaraciones de emisiones de los distintos establecimientos.
- **Certificadores:** Colaborarán en la implementación del programa. Coordinarán y realizarán capacitaciones tanto a los usuarios a cargo de las declaraciones por establecimientos como a los futuros certificadores externos al programa. Confeccionarán manuales requeridos para los establecimientos, con el fin de normalizar la información declarada por los emisores. Visitarán a terrenos a los establecimientos parte del programa.
- **Ingeniero Informático:** A cargo de Colaborar en la implementación del sistema de subastas, como también en el control y manejo de bases de datos que el programa requiera para su desarrollo. Capaz de gestionar soluciones y servicios a través de la tecnología de la información.

La cantidad de profesionales por cargo es calculada de acuerdo con la cantidad de trabajo que se necesita realizar para la creación del sistema. Para el caso de las remuneraciones por cargo son determinados por medio de los sueldos brutos bases que son encontrados en las páginas de transparencia de la Superintendencia de Medio Ambiente. Los resultados

son los siguientes (ver Tabla 5.12).

Tabla 5.12: Sueldos de los cargos para el programa ETS

Cargo	Cantidad trabajadores por cargo	Sueldo bruto mensual [USD]	Sueldo bruto anual por trabajador [USD]
Jefe departamento	1	7.700	92.400
Ingeniero analistas	2	2.700	32.400
Certificadores	3	2.700	32.400
Ingeniero informático	1	2.600	31.200

(Fuente: Elaboración propia)

Con estos datos se procede a calcular las remuneraciones totales durante periodo de desarrollo del programa, tomando en cuenta las distintas tareas que deben ser realizadas durante los años 2020 a 2022. Tanto en la preparación del programa ETS, como en la preparación de la plataforma de subastas (ver Tabla 5.13).

Tabla 5.13: Sueldos de los cargos para el programa ETS en periodo de desarrollo

	Periodo de desarrollo		
	2020	2021	2022
Jefe Departamento	12 meses	12 meses	12 meses
Analista 1	7 meses	12 meses	12 meses
Analista 2	7 meses	12 meses	12 meses
Certificador 1	7 meses	4 meses	4 meses
Certificador 2	7 meses	4 meses	4 meses
Certificador 3	7 meses	4 meses	4 meses
Informático		12 meses	12 meses
Total por año [USD]	186.900	220.800	220.800
		Total periodo desarrollo [USD]	
			628.500

(Fuente: Elaboración propia)

5.12. Ingresos del programa

Los ingresos del programa de emisiones transables serán percibidos por medios de dos maneras:

- Ingresos económicos por medio de venta de permisos
- Ingresos sociales por medio del ahorro del costo social de contaminación

Para el caso de la venta de permisos cabe señalar que los límites de emisiones deben ser lo suficientemente exigente generando con esto una demanda adecuada de permisos. Este es el escenario preferible para evitar que los precios de los permisos se acerquen a cero. Para evitar esto, tal como se ha explicado anteriormente, la proyección de emisiones se hace por medio de emisiones históricas, tomando el comportamiento de cada uno de los establecimientos que son parte del programa, por lo que la tendencia sea que la gran mayoría de los permisos serán vendidos durante sus periodos respectivos.

Los ingresos por medio de ventas también dependerán en la fase en donde se encuentre el programa ETS. Tal como se nombra anteriormente, existirán fases en las cuales existirán asignaciones gratuitas de permisos, para luego dar paso a ventas de permisos por medio de subastas. En la siguiente fase solo se entregarán el 50 % de los permisos de manera gratuita y finalmente ya en el año 2031 se pondrá en venta todos los permisos de emisiones por medio de subastas. Además de esto, un factor importante a considerar es que no será utilizado la flexibilidad temporal de permisos en la propuesta por el análisis realizado anteriormente. El valor de los permisos utilizados dentro de la proyección será del 50 % del valor umbral obtenido en el capítulo anterior, esto debido a que dicho valor umbral ya es considerado alto para los valores de permisos.

Para el caso de los ingresos sociales, son calculados por medio del costo social per capita, el cual es entrega en ley de impuestos verdes, estos valores son obtenidos producto del perjuicio en el bienestar social por el aumento en el riesgo de muerte, costos de gastos médicos y pérdida de productividad laboral. Para la proyección de habitantes por año, la población posee una tasa de crecimiento de 1,0 según el [Instituto Nacional de Estadísticas \(2017\)](#), por lo que se aplica dicha tasa para una proyección de la población.

Las estimaciones de ingresos por el programa durante todos los años en donde el programa es proyectado son presentados a continuación (ver Tabla 5 13, Tabla 5 14, Tabla 5 15).

Tabla 5.14: Ingresos por venta de permisos y ahorro de costo social de contaminante NO_x

Año	Ingresos por venta de permisos [USD]	Ingresos ahorro costo social [USD]
2023	\$ -	\$ -
2024	\$ -	\$ -
2025	\$ -	\$ -
2026	\$ 836.219	\$ 335.797
2027	\$ 827.772	\$ 339.155
2028	\$ 819.325	\$ 342.546
2029	\$ 810.879	\$ 345.972
2030	\$ 802.432	\$ 349.432
2031	\$ 1.579.524	\$ 529.389
2032	\$ 1.554.184	\$ 534.683
2033	\$ 1.528.844	\$ 540.030
2034	\$ 1.503.504	\$ 545.430
2035	\$ 1.478.164	\$ 550.884
2036	\$ 1.452.824	\$ 556.393
2037	\$ 1.427.484	\$ 561.957
2038	\$ 1.402.144	\$ 567.576
2039	\$ 1.376.804	\$ 573.252
2040	\$ 1.351.464	\$ 578.985

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 5.15: Ingresos por venta de permisos y ahorro de costo social de contaminante SO₂

Año	Ingresos por venta de permisos [USD]	Ingresos ahorro costo social [USD]
2023	\$ -	\$ -
2024	\$ -	\$ -
2025	\$ -	\$ -
2026	\$ 35.549	\$ 15.778
2027	\$ 35.190	\$ 15.936
2028	\$ 34.831	\$ 16.095
2029	\$ 34.472	\$ 16.256
2030	\$ 34.113	\$ 16.419
2031	\$ 67.149	\$ 24.874
2032	\$ 66.071	\$ 25.123
2033	\$ 64.994	\$ 25.374
2034	\$ 63.917	\$ 25.628
2035	\$ 62.840	\$ 25.884
2036	\$ 61.762	\$ 26.143
2037	\$ 60.685	\$ 26.405
2038	\$ 59.608	\$ 26.669
2039	\$ 58.531	\$ 26.935
2040	\$ 57.453	\$ 27.205

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 5.16: Ingresos por venta de permisos y ahorro de costo social de contaminante MP

Año	Ingresos por venta de permisos [USD]	Ingresos ahorro costo social [USD]
2023	\$ -	\$ -
2024	\$ -	\$ -
2025	\$ -	\$ -
2026	\$ 147.834	\$ 544.705
2027	\$ 146.340	\$ 550.152
2028	\$ 144.847	\$ 555.653
2029	\$ 143.354	\$ 561.210
2030	\$ 141.861	\$ 566.822
2031	\$ 279.241	\$ 858.735
2032	\$ 274.762	\$ 867.323
2033	\$ 270.282	\$ 875.996
2034	\$ 265.802	\$ 884.756
2035	\$ 261.322	\$ 893.603
2036	\$ 256.842	\$ 902.539
2037	\$ 252.362	\$ 911.565
2038	\$ 247.883	\$ 920.680
2039	\$ 243.403	\$ 929.887
2040	\$ 238.923	\$ 939.186

(Fuente: Elaboración propia)

6 | Conclusiones

Para la población en Chile, el principal problema ambiental al cual se ven afectados es la contaminación ambiental. La región Metropolitana es un foco importante donde se observa esta realidad, en donde si bien las normas de emisión de dióxido de azufre son controladas, para el caso de los contaminantes como material particulado y óxidos nitrosos, estas poseen niveles que están al límite o simplemente son sobrepasadas.

Dentro de la región Metropolitana son solo pocos los establecimientos que son considerados en los pagos de impuesto verde debido a sus niveles de emisiones. A pesar de esto existe un pequeño grupo de establecimientos los cuales no llegan a estar considerados dentro de la ley de impuestos verdes, pero al segregar su participación en la emisión de contaminantes estos muestran un porcentaje considerable en el dónde se desea aplicar este instrumento de gestión ambiental.

Las toneladas de emisiones controladas por el sistema de comercio de emisiones de dióxido de azufre, óxidos nitrosos y material particulado son de 653, 5.856 y 261 toneladas, respectivamente. Esto corresponde a 13 %, 11 % y 1 % de las emisiones totales dentro de la región Metropolitana, tomando en consideración las emisiones de fuentes puntuales, difusas como también las emisiones de transporte en ruta. Estos porcentajes dan a entender la importancia que tiene esta metodología al abarcar emisiones que actualmente son solo controladas por medio de normas de emisión, las cuales solo fijan límites a las emisiones por fuente.

A pesar de ser muchos los establecimientos que deben declarar sus emisiones anualmente, son alrededor de 140 los establecimientos que emiten aproximadamente el 90 % de estas emisiones. Una cantidad de establecimientos que es considerada óptima para poder

llevar a cabo este programa de gestión ambiental, considerando el control tanto de las emisiones como también el de comercio de permisos para lograr el cumplimiento de este programa.

La propuesta considera tres años de preparación para dar marcha al programa y recién dentro del año 2026 se comenzaría a realizar las primeras ventas de permisos de emisiones. Si bien actualmente existe la cuantificación de las emisiones por parte de RETC, se puede percibir cierta irregularidad, como los datos del año 2015 en donde las emisiones eran muy altas y con menos participantes en comparación al año 2016 y 2017. Es por esto que para el año 2020 existe un nuevo reporte RETC el cual disminuirá errores y permitirá mejorar la medición de las emisiones, incorporando nuevos tipos de contaminantes como también un reporte más unificado el cual asegura mejores cuantificaciones de contaminantes.

Dentro del análisis de flexibilidad temporal se determina que no es recomendable la utilización de banking ni de borrowing dentro de la propuesta, principalmente porque los contaminantes utilizados en la propuesta son de tipo flow, es decir, su impacto es localizado en el medio ambiente y además sus efecto son en cortos periodos de tiempo. Otro razón importante también es la posible incertidumbre en los límites anuales de emisión durante los primeros cambios de fases en donde la experiencia internacional muestra límites de emisiones anuales poco certeros. A pesar de esto, a medida que van transcurriendo los años se sugiere volver a analizar la flexibilidad temporal, tomando en consideración que el nuevo reporte RETC ya tendrá una cantidad de tiempo en funcionamiento, por lo que estimaciones más exactas podrán ser realizadas en el futuro.

Por otro lado, la formación de un departamento especializado en el programa como también una plataforma la cual pueda manejar el comercio de permisos de emisiones es considerado fundamental para llevar a cabo la propuesta, ya que actualmente no existe una institución vinculada a este tipo de programas. Esto sirve como inicio a una propuesta de comercio de emisiones más ambiciosa en la cual gases efecto invernadero podrán ser transados siguiendo la tendencia de varios países del mundo.

Tomando en cuenta el valor de permiso estimado, se determina que el programa puede llegar a generar beneficios, los cuales pueden ser destinados a problemas ambientales-sociales, como puede ser la implementación de buses eléctricos como también más áreas

verdes dentro de las comunas de Santiago. Hay que destacar que el principal objetivo de este tipo de herramientas es la reducción de emisiones por sobre la ganancia de recaudaciones.

La implementación de herramientas económicas para la regularización de emisiones, establecida en 2014, ha generado para el año 2018 una recaudación cercana a los US\$188 millones de dólares para fuentes fijas. A pesar de esto, dentro de la perspectiva ambiental, lo que se busca es poder reducir las emisiones en vez de obtener altas ganancias por recaudaciones. Utilizar una metodología como ETS presenta un giro importante en el diseño de los impuestos verdes que actualmente son utilizados en Chile, al existir un compensación por la reducción de contaminantes, creando con esto un nuevo incentivo en la lucha de la reducción de contaminante en el ambiente.

Este tipo de mecanismos son los más seguidos si se toma en consideración las experiencias internacionales entre las que se destaca la europea y la estadounidense. Lo que busca este tipo de herramientas son cambios en la tecnología y operación de las industrias con el objetivo de que las emisiones llegue a ser cero. Lamentablemente esto es imposible debido a que por razones tecnológicas hay industrias las cuales no pueden seguir reduciendo sus emisiones, es decir, no podrían funcionar con cero emisiones, es por esto que la compensación funciona.

La recomendación para que el programa funcione de la mejor manera es el manejo exacto de los permisos a emitir durante los periodos de realización del programa, con una buena estimación de las emisiones totales se puede crear un mercado de permisos con precios adecuados para los distintos establecimientos. Con precios adecuados se logra una participación integradora para los participantes del programa, logrando con todo esto un mejor control de las emisiones durante los años del programa, provocando con esto finalmente las reducciones de emisiones de manera controlada.

Bibliografía

- Agency Environmental Protection (2019). Acid Rain Program. <https://www.epa.gov/airmarkets/acid-rain-program>. [Acceso Julio 2019]. 3.3.1.1
- Banco Mundial (2016). Comercio de Emisiones en la Práctica Manual sobre el Diseño y la Implementación de Sistemas de Comercio de Emisiones. 3.2, 3.2
- Brandt, Arturo y Westendarp, Cristobal (2017). *Estudio de las opciones y repercusiones de la aplicación de un sistema de permisos comercializables de reducción de emisiones de carbono en Panamá*. Technical report. 3.3.1.1
- C. M. Yam, Richard y H. Leung, W (2013). Emissions trading in Hong Kong and the Pearl River Delta region, A modeling approach to trade decisions in Hong Kong's electricity industry. *Environmental Science & Policy*, 31, 1–12. 3.3.3
- Cofala J, Bertok I, et al. (2012). Emissions of air pollutants for the World Energy Outlook 2012 energy scenarios. *Final Report to Sponsor: International Energy Agency*, 1, 1–12. 5.4
- Decreto N°31 (2016). Decreto 31 -Establece plan de prevención y descontaminación atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago. <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1111283>. [Acceso Junio 2019]. 1.1, 3.6
- Decreto N°4 (1992). Decreto 4 - Establece norma de emisión de material particulado a fuentes estacionarias puntuales y grupales. <https://www.leychile.cl/N?i=7303{&}f=2010-04-16{&}p=>. [Acceso Junio 2019]. 3.4
- Ellerman, A. Denny y Buchner, Barbara K. (2008). Over-allocation or abatement? A preliminary analysis of the EU ETS based on the 2005-06 emissions data. *Environmental and Resource Economics*, 41(2), 267–287. 3.1, 5.5
- Environmental Protection Agency (2017). *Progress Report 2017*. Technical report. 3.3.1.1
- Environmental Protection Department (2010). A Concise Guide to the Air Pollution Control Ordinance. 3.3.3
- EPA (2019). Cross-State Air Pollution Rule (CSAPR). <https://www.epa.gov/csapr>. [Acceso Septiembre 2019]. 3.3.1.3
- Fowlie, Meredith; Holland, Stephen P; y Mansur, Erin T (2012). What Do Emissions Markets Deliver and to Whom? Evidence from Southern California's NOx Trading Program. *American Economic Review*, 102(2), 965–993. 3.3.1.2

- Hansjürgens, Bernd (2011). Markets for SO₂ and NO_x, What can we learn for carbon trading? *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(4), 635–646. 3.3.1.2
- Henry, J. Glynn y Heinke, Gary W. (1996). *Ingeniería Ambiental*. Pearson Educación, 2 edición. 1.1
- Instituto Nacional de Estadísticas (2017). Censos de población y vivienda. <http://www.ipsuss.cl/ipsuss/estadisticas-e-indicadores/tasa-de-crecimiento-de-la-poblacion-chilena/2018-05-09/174629.html>. [Acceso Enero 2020]. 5.12
- Jiménez, Susana y Lira, Jorge (2015). Permisos de Emisión Transables : Un Instrumento Costo-Efectivo. 1.1, 3.4, 3.5
- Ley N° 19.300 (1994). Aprueba ley sobre bases generales del medio ambiente. <https://www.leychile.cl/N?i=30667&f=2016-06-01&p=>. [Acceso Septiembre 2019]. 3.5
- Lopomo, Giuseppe; Marx, Leslie M.; McAdams, David; y Murray, Brian (2011). Carbon allowance auction design: An assessment of options for the United States. *Review of Environmental Economics and Policy*, 5(1), 25–43. 5.5
- Memoriachilena (2018). La contaminación atmosférica de Santiago. <http://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-3507.html#presentacion>. [Acceso Junio 2019]. 3.6
- Ministerio Medio Ambiente (2016). Guía de Calidad del Aire y Educación Ambiental. 1.1
- Ministerio Medio Ambiente (2018). Cuarto Reporte del Estado del Medio Ambiente. 1.1, 3.7.2
- Proyecto de ley N°3290-12 (2003). Proyecto de ley sobre bonos de descontaminación. 3.4, 3.5
- RCDE UE (2019). Régimen de comercio de derechos de emisión de la UE. https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_es. [Acceso Octubre 2019]. 3.3.2
- Schmalensee, Richard y Stavins, Robert N (2017). The design of environmental markets: What have we learned from experience with cap and trade? *Oxford Review of Economic Policy*, 33(4), 572–588. 3.3.1.2
- SINiA (2019). Indicadores Ambientales. <http://sinia.mma.gob.cl/>. [Acceso Julio 2019]. 1.1
- World Health Organization (2016). *Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*. Pearson Educación. 1.1

A | ANEXOS

Paso 1: Definir el ámbito de aplicación

- Decidir qué sectores regular
- Decidir qué gases regular
- Definir los puntos de regulación
- Elegir las entidades a regular y considerar si se van a establecer umbrales

En este punto se definen los sectores o actores que serán regulados quienes deberán demandar los permisos de emisiones. También se identifican los contaminantes para los cuales se tendrán que entregar los derechos de emisión. Un ETS dependerá de buena medida de la factibilidad en la administración del sistema, de la eficiencia de los sectores regulados y del control sobre las fuentes de emisión. Los agentes que son regulados deben poseer los permisos de emisiones, invertir en el cambio tecnológico, participar en subastas o en el mercado de tal forma que puedan acreditar las emisiones realizadas dentro de un periodo de tiempo determinado

Paso 2: Establecer el límite de emisiones

- Crear una base sólida de datos para determinar el límite
- Determinar el nivel y tipo de límite
- Elegir los periodos de tiempo para el establecimiento del límite y proporcionar una trayectoria del límite a largo plazo

El límite del ETS establece un número de derechos durante un plazo especificado lo que limita la cantidad total de emisiones producidas por entidades reguladas. Establecer un

límite requiere una base de emisiones históricas sólida, establecer un periodo de tiempo en el cual será aplicada. El límite además debe estar alineado con el objetivo de mitigación general de la jurisdicción. Los límites absolutos establecen objetivos para cada periodo de cumplimiento en toneladas de reducción de emisiones, aunque se puede proporcionar flexibilidad mediante disposiciones de acumulación, reserva de asignaciones, créditos de compensación, vinculación y revisiones periódicas que pueden resultar en ajustes del límite. Los límites establecidos con base en la intensidad de las emisiones prescriben el número de derechos de emisión a ser emitidos por una unidad de producción (por ejemplo, Producto Interno Bruto (PIB) o kilovatio-hora de electricidad), o que permite adaptarse automáticamente a las fluctuaciones de la producción económica.

Paso 3: Asignar derechos de emisión

- Hacer coincidir los métodos de asignación con los objetivos de las políticas públicas
- Definir la elegibilidad y el método de asignación gratuita y equilibrar con subastas a través del tiempo
- Definir el tratamiento de los nuevos operadores, los cierres y las remociones

Hace referencia a los métodos de asignaciones iniciales de los derechos de emisión, la asignación de derechos de emisión es un determinante importante en la eficiencia del sistema por lo que merece atención especial. Existen dos tipos de asignaciones las cuales son presentadas a continuación:

- **Asignación gratuita:** Favorable para empresas que cuentan con poco dinero para adquirir los permisos de emisión. Esta opción minimiza el riesgo de fuga de emisiones, la hace políticamente viable y reduce los costos de cumplimiento. El problema de esta opción es que resulta costosa para el gobierno o la autoridad que implementa el sistema, además se genera una mayor presión por parte de las entidades reguladas para obtener mayor cantidad de derechos al inicio.
- **Subasta:** La ventaja que tiene es que la recaudación ayuda al financiamiento de los costos asociados al programa. Evita las expectativas sobre las asignaciones gratis futuras, provocando un inicio del programa más ambicioso.

Paso 4: Considerar el uso de compensaciones

- Decidir si aceptar compensaciones de fuentes y sectores no regulados dentro y/o fuera de la jurisdicción
- Determinar cuáles son los sectores, gases y actividades elegibles
- Sopesar los costos de establecer un programa de compensación propio versus hacer uso de un programa existente
- Decidir sobre los límites en el uso de compensaciones
- Establecer un sistema de monitoreo, reporte, verificación y regulación

Un ETS puede permitir que entidades reguladas usen “compensaciones” (créditos derivados de la reducción de emisiones en fuentes y sectores no regulados) para cumplir con sus obligaciones bajo el límite. Facilita los flujos de inversión hacia otros sectores donde se necesita apoyo financiero para estimular el desarrollo bajo en emisiones de carbono y, con frecuencia también, producir co-beneficios. Una condición que diferencia las compensaciones de los permisos es que los segundos se establecen frente a un límite mientras que las compensaciones frente a las emisiones corrientes. Por ellos los mecanismos de monitoreo, verificación y reporte (MVR) deben ser homogéneos para permitir la expedición de compensaciones. Una desventaja es que exista un uso extendido de compensaciones, por lo que provocaría una disminución de los esfuerzos de reducción en los sectores regulados.

Paso 5: Decidir sobre la flexibilidad temporal

- Establecer reglas para acumular derechos de emisión
- Establecer reglas para préstamos de derechos de emisión y asignación temprana
- Establecer la duración de los períodos de reporte y cumplimiento

Trata sobre reglas para la acumulación o préstamos temporales de permisos de emisión. Hay un trade off entre flexibilidad temporal y certidumbre en las cantidades de emisiones de contaminantes, por lo que se utilizan mecanismos adicionales, los cuales son:

- **Banking (acumulación):** Los agentes regulados pueden reducir sus emisiones en el periodo actual de cumplimiento, guardar los permisos y usarlos en periodos posteriores en los cuales sus emisiones sean mayores

- Borrowing (préstamo): Solicitar prestados derechos de emisión de un futuro periodo de cumplimiento (transfiriendo así derechos de emisión de un período a otro)

Paso 6: Considerar la previsibilidad de precios y evaluar mecanismos de contención de costos

- Establecer la justificación para la intervención en el mercado y los riesgos asociados con dicha intervención
- Decidir si precios considerados demasiados bajos, demasiados altos, o ambos casos justifican una intervención en el mercado
- Elegir el instrumento adecuado para una intervención en el mercado
- Decidir sobre el marco de regulación

En un ETS, los precios del mercado que varían en el tiempo proporcionan las señales que permiten a las empresas alcanzar una determinada cantidad de emisiones al menor costo posible. Puede ser difícil predecir los precios del ETS a largo plazo con exactitud porque dependen de las variaciones en la actividad económica, la volatilidad, posibles cambios de política pública. El diseño de un ETS puede reducir esta volatilidad potencial e incertidumbre acerca de los precios. Algunas de estas opciones de diseño se basan en la cantidad de derechos de emisiones como también posibles ajustes de precios mínimos como máximos. Esto con el objetivo que los precios sean lo suficientemente previsibles para apoyar la inversión en mitigación y también en nuevas tecnologías.

Paso 7: Garantizar el cumplimiento y la vigilancia

- Identificar las entidades reguladas
- Gestionar los reportes de emisiones por parte de las entidades reguladas
- Aprobar y administrar el desempeño de los verificadores
- Establecer y supervisar el registro de los ETS
- Diseñar e implementar el enfoque de la sanción y la aplicabilidad
- Regular y vigilar el mercado para unidades de emisiones del ETS

El mecanismo de cumplimiento y vigilancia debe identificar a los agentes regulados.

Puede ser útil empezar a poner en práctica sistemas eficaces de MRV en las primeras fases de proceso de desarrollo de un ETS para apoyar la evaluación posterior del cumplimiento. Es importante generar credibilidad desde el principio para mantener la confianza de los participantes del mercado. El monitoreo y la vigilancia de un ETS deben equilibrar los costos para los reguladores y las entidades reguladas con los riesgos potenciales y las consecuencias del incumplimiento de las regulaciones.

Paso 8: Involucrar a las partes interesadas, comunicar y fortalecer capacidades

- Mapear las partes interesadas y sus posiciones respectivas, intereses e inquietudes
- Coordinar un proceso transparente de toma de decisiones entre los departamentos gubernamentales relevantes para evitar la desalineación de políticas públicas
- Diseñar una estrategia de participación para la consulta de los grupos interesados que especifique el formato, línea de tiempo y objetivos
- Diseñar una estrategia de comunicación que refleje las preocupaciones públicas locales e inmediatas
- Identificar y resolver las necesidades de fortalecimiento de capacidad del ETS

La manera y la transparencia con la cual los formuladores de ETS colaboran con gobiernos y grupos interesados determina la viabilidad a largo plazo del sistema. La participación debe ser desde el proceso de planificación, luego continuando con el proceso de diseño, autorización e implementación. La comunicación de un ETS debe ser clara, coherente y coordinada para que así el gobierno genere credibilidad durante un proceso que podría durar varios años.

Paso 9: Considerar la vinculación con otros ETS

- Determinar los objetivos y la estrategia de la vinculación
- Determinar a los socios de vinculación
- Determinar el tipo de vínculo
- Alinear las características de diseño claves del programa
- Formar y regular el vínculo

La vinculación se produce cuando un ETS permite que unidades de emisión bajo el sistema de otra jurisdicción sean utilizados para el cumplimiento de límites. Si bien la vinculación completa puede traer beneficios económicos, la vinculación restringida (solo permitiendo un cierto porcentaje o permitiendo un comercio de solo un sentido) puede ser más fácil de diseñar y controlar.

Paso 10: Implementar, evaluar y mejorar

- Decidir sobre el tiempo y el proceso de implementación del ETS
- Decidir sobre el proceso y el ámbito de aplicación para las revisiones
- Evaluar el ETS para apoyar la revisión

Una introducción gradual como por ejemplo un programa piloto puede facilitar a las instituciones débiles generar confianza ya que “aprender sobre la marcha” genera aprendizaje. Además, revisiones regulares del desempeño del ETS llevadas a cabo por medio de una evaluación permitirá la continua mejora y adaptación. En general los ETS existentes han requerido una extensa fase preparatoria para recopilar datos y desarrollar normas técnicas, directrices e instituciones.

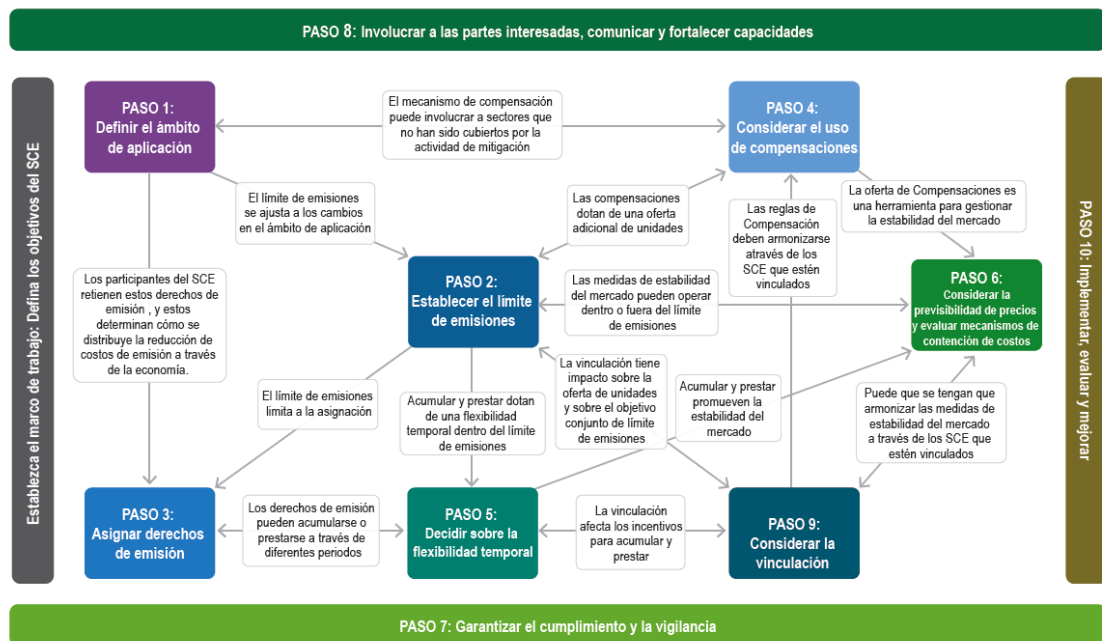


Figura A.1: Interdependencia entre los pasos de una ETS

(Fuente: Banco Mundial, 2016)

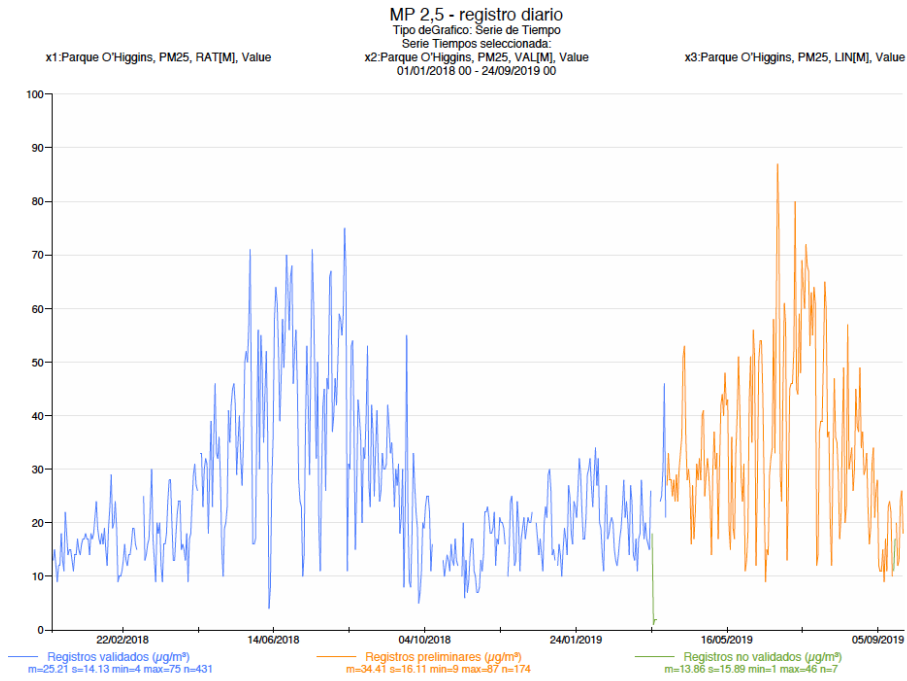


Figura A.2: Registro diario MP2,5 - Estación Parque Ohiggins

(Fuente: SINCA, 2019)

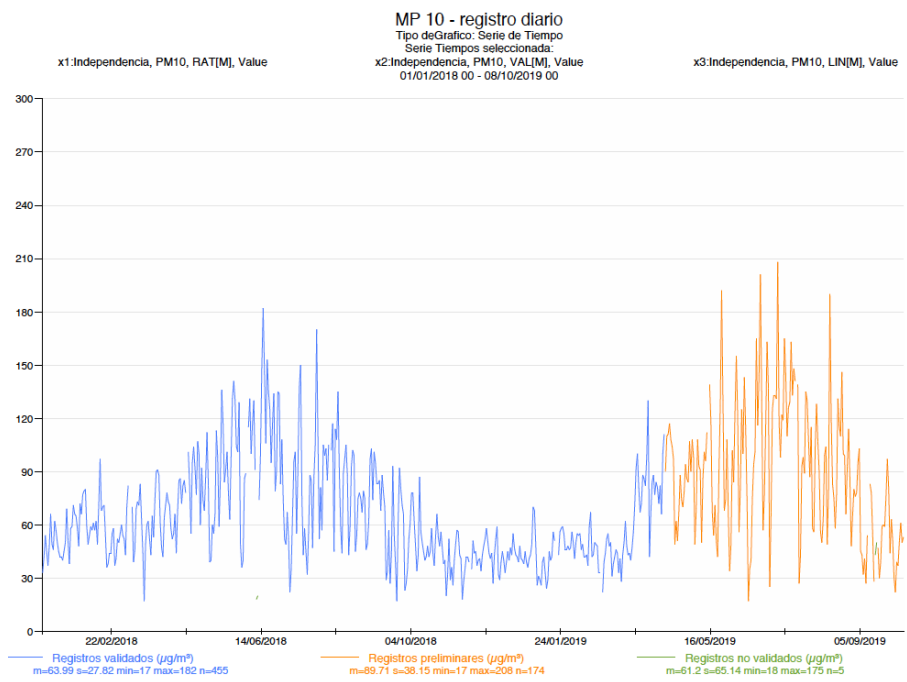


Figura A.3: Registro diario MP10 - Estación Independencia

(Fuente: SINCA, 2019)

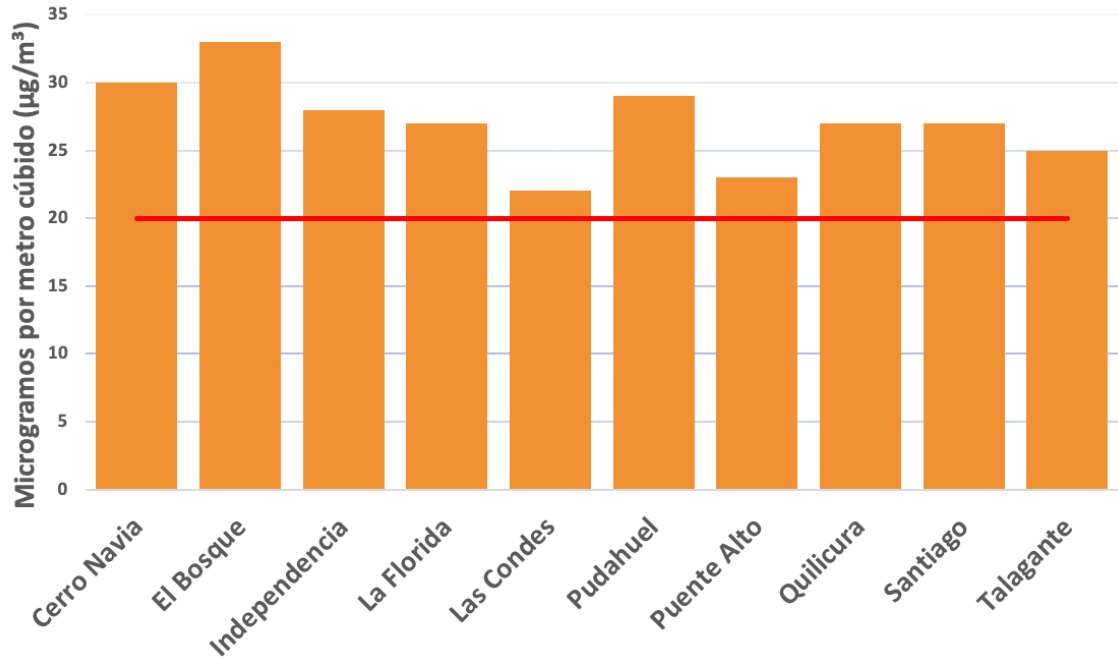


Figura A.4: Concentraciones MP2,5 trianuales región Metropolitana

(Fuente: SINiA, 2017)

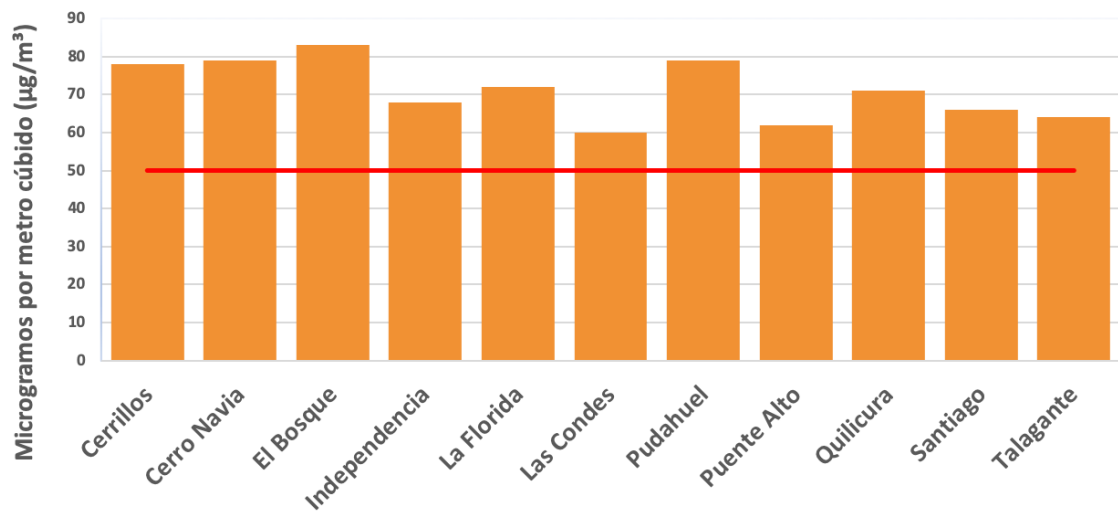


Figura A.5: Percentil 98 de concentraciones diarias MP2,5 región Metropolitana

(Fuente: SINiA, 2017)

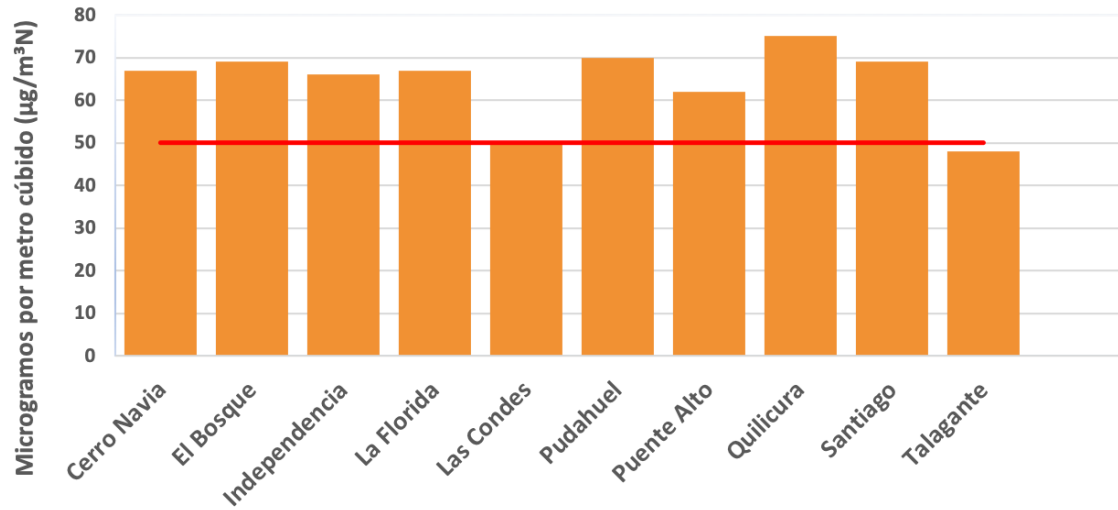


Figura A.6: Concentraciones MP10 trianuales región Metropolitana

(Fuente: SINiA, 2017)

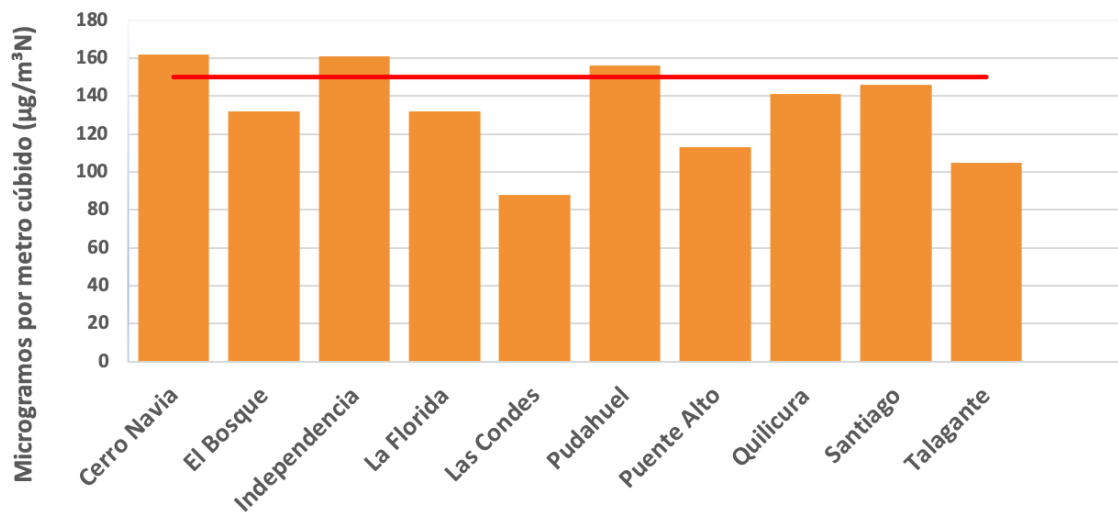


Figura A.7: Percentil 98 de concentraciones diarias MP10 región Metropolitana

(Fuente: SINiA, 2017)

Tabla A.1: Emisiones declaradas por distintos rubros año 2016

Rubro	N	NOx	SO2	MP10	MP2,5	MP
Otras actividades	844	712,23	95,84	32,55	17,91	51,85
Industria manufacturera	149	534,44	66,07	21,68	8,94	38,67
Producción de metal	8	2,78	0,15	0,10	0,02	0,20
Producción de alimentos	104	331,96	44,74	14,96	9,97	21,70
Producción química	23	28,06	2,68	1,24	0,75	1,88
Industria del papel y celulosa	13	48,53	8,49	3,37	3,25	3,75
Gestor de residuos	43	20,16	1,19	0,71	0,17	1,42
Combustibles	24	11,80	1,47	0,49	0,25	0,81
Industria agropecuaria y silvicultura	75	1.080,13	10,04	4,02	1,95	6,75
Comercio	518	255,44	12,48	9,71	7,15	13,07
Extracción de minerales	13	477,00	25,43	16,86	4,16	33,54
Transporte	17	1,57	0,08	0,06	0,02	0,11
Suministro y tratamiento de aguas	94	36,02	1,91	1,27	0,31	2,53
Construcción e inmobiliarias	37	45,99	4,91	1,82	0,69	3,30
Transmisión y distribución de energía eléctrica	8	2,25	0,12	0,08	0,02	0,16
Generación de energía	22	572,86	9,60	46,42	43,92	46,42
Pesca	2	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Municipio	3	1,29	0,16	0,10	0,10	0,10
	1.997	4.162,50	285,36	155,45	99,59	226,26

(Fuente: RETC, 2017)

Tabla A.2: Emisiones declaradas por distintos rubros año 2015

Rubro	N	NOx	SO2	MP10	MP2,5	MP
Otras actividades	708	1.806,66	110,99	122,01	50,04	543,81
Industria manufacturera	133	831,42	141,36	40,49	17,48	85,53
Producción de metal	9	389,95	0,07	38,71	0,01	38,71
Producción de alimentos	73	431,14	234,98	25,70	13,84	33,19
Producción química	20	25,08	3,30	1,24	0,82	1,76
Industria del papel y celulosa	12	580,93	133,75	6,65	6,58	12,24
Gestor de residuos	21	100,52	44,14	3,22	0,10	3,22
Combustibles	29	24,48	6,07	0,97	0,37	1,14
Comercio	464	254,89	13,35	19,49	6,42	67,59
Industria agropecuaria y silvicultura	65	289,42	65,69	11,54	7,22	12,63
Extracción de minerales	10	170,78	9,10	6,18	1,50	12,85
Transporte	19	1,30	0,07	0,05	0,01	0,09
Suministro y tratamiento de aguas	18	1,16	0,25	0,05	0,01	0,70
Construcción e inmobiliarias	30	189,28	18,80	10,77	2,77	18,24
Transmisión y distribución de energía eléctrica	8	1,31	0,07	0,05	0,01	0,05
Generación de energía	21	1.053,21	42,78	68,48	48,55	68,48
Pesca	2	0,09	0,00	0,00	0,00	0,01
	1.642	6.151,62	824,78	355,60	155,72	900,24

(Fuente: RETC, 2017)

Tabla A.3: Establecimientos obtenidos para el cálculo de los umbrales

Actividades	Est. MP	MP (ton)	Est. NOX	NOX (ton)	Est. SO2	SO2 (ton)
Otras actividades	824	80,59	824	1101,57	824	176,12
Industria manufacturera	109	23,58	108	319,47	108	55,42
Producción de metal	3	1,08	3	15,43	3	0,82
Producción de alimentos	70	25,86	70	370,05	70	55,39
Producción química	17	1,17	17	16,13	17	2,21
Industria del papel y celulosa	9	20,45	9	410,06	9	10,80
Gestor de residuos	20	1,51	20	21,51	20	1,27
Combustibles	16	0,84	16	11,26	16	2,45
Industria agropecuaria y silvicultura	73	8,45	73	1108,33	73	11,73
Comercio	515	21,71	515	377,87	515	21,09
Extracción de minerales	10	42,60	10	1753,43	10	346,96
Transporte	14	0,14	14	1,96	14	0,11
Suministro y tratamiento de aguas	3	2,54	3	36,10	3	1,92
Construcción e inmobiliarias	24	16,20	23	222,12	23	14,21
Transmisión y distribución de energía eléctrica	8	0,16	8	2,32	8	0,12
Generación de energía	13	45,26	13	550,52	13	6,25
Pesca	1	0,00	1	0,00	1	0,00
Municipio	3	0,15	3	1,93	3	0,24
Totales	1.732	292,30	1.730	6320,07	1.730	707,10

(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla A.4: Cálculo de umbral de MP

Nº establecimientos	% est. cubiertos	Cobertura de emisiones (ton)	Porcentaje cobertura	Umbral (ton)
4	0,23 %	111,96	38,30 %	> 10
7	0,40 %	138,19	47,28 %	> 8
7	0,40 %	138,19	47,28 %	> 7
8	0,46 %	145,00	49,61 %	> 6
8	0,46 %	145,00	49,61 %	> 5
9	0,52 %	149,12	51,02 %	> 4
13	0,75 %	162,69	55,66 %	> 3
23	1,33 %	188,13	64,36 %	> 2
44	2,54 %	215,85	73,85 %	> 1
76	4,39 %	237,96	81,41 %	> 0,5
93	5,37 %	245,50	83,99 %	> 0,4
118	6,81 %	254,39	87,03 %	> 0,3
144	8,31 %	260,83	89,24 %	> 0,2
242	13,97 %	274,38	93,87 %	> 0,1
351	20,27 %	282,23	96,56 %	> 0,05

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla A.5: Cálculo de umbral de SO₂

Nº establecimientos	% est. cubiertos	Cobertura de emisiones (ton)	Porcentaje cobertura	Umbral (ton)
8	0,46 %	474,95	67,17 %	> 10
8	0,46 %	474,95	67,17 %	> 9
8	0,46 %	474,95	67,17 %	> 8
10	0,58 %	489,70	69,26 %	> 7
12	0,69 %	502,34	71,04 %	> 6
13	0,75 %	507,87	71,82 %	> 5
17	0,98 %	525,82	74,36 %	> 4
21	1,21 %	540,32	76,41 %	> 3
32	1,85 %	565,60	79,99 %	> 2
58	3,35 %	602,04	85,14 %	> 1
117	6,76 %	643,08	90,95 %	> 0,5
139	8,03 %	652,88	92,33 %	> 0,4
176	10,17 %	666,12	94,20 %	> 0,3
241	13,93 %	682,20	96,48 %	> 0,2
347	20,06 %	697,82	98,69 %	> 0,1

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla A.6: Cálculo de umbral de NO_x

Nº establecimientos	% est. cubiertos	Cobertura de emisiones (ton)	Porcentaje cobertura	Umbral (ton)
17	0,98 %	4.629,32	73,25 %	> 40
24	1,39 %	4.879,64	77,21 %	> 30
27	1,56 %	4.953,18	78,37 %	> 20
35	2,02 %	5.103,78	80,76 %	> 18
39	2,25 %	5.172,66	81,85 %	> 16
43	2,49 %	5.232,22	82,79 %	> 14
51	2,95 %	5.335,03	84,41 %	> 12
59	3,41 %	5.421,60	85,78 %	> 10
66	3,82 %	5.483,97	86,77 %	> 8
88	5,09 %	5.632,82	89,13 %	> 6
105	6,07 %	5.724,97	90,58 %	> 5
119	6,88 %	5.789,71	91,61 %	> 4
138	7,98 %	5.855,57	92,65 %	> 3
182	10,52 %	5.960,17	94,31 %	> 2
293	16,94 %	6.121,01	96,85 %	> 1

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla A.7: Proyección de emisiones de material particulado por año

Año	MP ETS (ton)	Porcentaje emisiones totales	MP totales (ton)
2023	178,10	100,0 %	226,26
2024	178,10	100,0 %	226,26
2025	178,10	100,0 %	226,26
2026	176,32	99,0 %	224,47
2027	174,54	98,0 %	222,69
2028	172,76	97,0 %	220,91
2029	170,98	96,0 %	219,13
2030	169,20	95,0 %	217,35
2031	166,53	93,5 %	214,68
2032	163,85	92,0 %	212,01
2033	161,18	90,5 %	209,34
2034	158,51	89,0 %	206,66
2035	155,84	87,5 %	203,99
2036	153,17	86,0 %	201,32
2037	150,50	84,5 %	198,65
2038	147,83	83,0 %	195,98
2039	145,15	81,5 %	193,31
2040	142,48	80,0 %	190,63

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla A.8: Proyección de emisiones dióxido de azufre por año

Año	SO2 ETS (ton)	Porcentaje emisiones totales	SO2 totales (ton)
2023	539,39	100,0 %	608,57
2024	539,39	100,0 %	608,57
2025	539,39	100,0 %	608,57
2026	533,99	99,0 %	603,18
2027	528,60	98,0 %	597,79
2028	523,21	97,0 %	592,39
2029	517,81	96,0 %	587,00
2030	512,42	95,0 %	581,61
2031	504,33	93,5 %	573,51
2032	496,24	92,0 %	565,42
2033	488,15	90,5 %	557,33
2034	480,06	89,0 %	549,24
2035	471,96	87,5 %	541,15
2036	463,87	86,0 %	533,06
2037	455,78	84,5 %	524,97
2038	447,69	83,0 %	516,88
2039	439,60	81,5 %	508,79
2040	431,51	80,0 %	500,70

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla A.9: Proyección de emisiones óxidos nitrosos por año

Año	NOx ETS (ton)	Porcentaje emisiones totales	NOx totales (ton)
2023	4.710,55	100,0 %	5.187,62
2024	4.710,55	100,0 %	5.187,62
2025	4.710,55	100,0 %	5.187,62
2026	4.663,44	99,0 %	5.140,51
2027	4.616,34	98,0 %	5.093,41
2028	4.569,23	97,0 %	5.046,30
2029	4.522,13	96,0 %	4.999,20
2030	4.475,02	95,0 %	4.952,09
2031	4.404,36	93,5 %	4.881,43
2032	4.333,70	92,0 %	4.810,77
2033	4.263,05	90,5 %	4.740,11
2034	4.192,39	89,0 %	4.669,46
2035	4.121,73	87,5 %	4.598,80
2036	4.051,07	86,0 %	4.528,14
2037	3.980,41	84,5 %	4.457,48
2038	3.909,75	83,0 %	4.386,82
2039	3.839,10	81,5 %	4.316,17
2040	3.768,44	80,0 %	4.245,51

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla A.10: Emisiones anuales de NOX RECLAIM desde 1994 a 2017

Año	Emisiones (ton)	Cambio de emisiones desde 1994 (%)	Límite Anual (ton)	Permisos sin usar (ton)	Permisos sin usar (%)
1994	25.420	0 %	40.187	14.767	37 %
1995	26.632	5 %	36484	9.852	27 %
1996	24.414	-4 %	32.742	8.328	25 %
1997	21.258	-16 %	28.657	7.399	26 %
1998	21.158	-17 %	24.651	3.493	14 %
1999	20.889	-18 %	20.968	79	0 %
2000	19.148	-25 %	17.208	-1.940	-11 %
2001	14.779	-42 %	15.617	838	5 %
2002	11.201	-56 %	14.111	2.910	21 %
2003	10.342	-59 %	12.485	2.143	17 %
2004	10.134	-60 %	12.477	2.343	19 %
2005	9.642	-62 %	12.484	2.842	23 %
2006	9.152	-64 %	12.486	3.334	27 %
2007	8.796	-65 %	11.046	2.250	20 %
2008	8.349	-67 %	10.705	2.356	22 %
2009	7.306	-71 %	10.377	3.071	30 %
2010	7.121	-72 %	10.053	2.932	29 %
2011	7.302	-71 %	9.690	2.388	25 %
2012	7.691	-70 %	9.689	1.998	21 %
2013	7.326	-71 %	9.699	2.373	24 %
2014	7.447	-71 %	9.699	2.252	23 %
2015	7.246	-71 %	9.700	2.454	25 %
2016	7.328	-71 %	8.992	1.664	19 %
2017	7.246	-71 %	8.978	1.732	19 %

(Fuente: Reporte anual RECLAIM 2017)

Tabla A.11: Emisiones anuales de SOX RECLAIM desde 1994 a 2017

Año	Emisiones (ton)	Cambio de emisiones desde 1994 (%)	Limite Anual (ton)	Permisos sin usar (ton)	Permisos sin usar (%)
1994	7.230	0 %	10.559	3.329	32 %
1995	8.508	18 %	9.685	1.177	12 %
1996	6.731	-7 %	8.976	2.245	25 %
1997	7.048	-3 %	8.317	1.269	15 %
1998	6.829	-6 %	7.592	763	10 %
1999	6.420	-11 %	6.911	491	7 %
2000	5.966	-17 %	6.194	228	4 %
2001	5.056	-30 %	5.567	511	9 %
2002	4.223	-42 %	4.932	709	14 %
2003	3.968	-45 %	4.299	331	8 %
2004	3.597	-50 %	4.299	702	16 %
2005	3.663	-49 %	4.300	637	15 %
2006	3.610	-50 %	4.282	672	16 %
2007	3.759	-48 %	4.286	527	12 %
2008	3.319	-54 %	4.280	961	22 %
2009	2.946	-59 %	4.280	1.334	31 %
2010	2.775	-62 %	4.282	1.507	35 %
2011	2.727	-62 %	4.283	1.556	36 %
2012	2.552	-65 %	4.283	1.731	40 %
2013	2.066	-71 %	3.198	1.132	35 %
2014	2.176	-70 %	2.839	663	23 %
2015	2.096	-71 %	2.836	740	26 %
2016	2.024	-72 %	2.836	812	29 %
2017	2.043	-72 %	2.474	431	17 %

(Fuente: Reporte anual RECLAIM 2017)

Tabla A.12: Valor promedio de permisos de NOX Programa RECLAIM año 2019

Fecha	Valor promedio mensual NOX [USD]
ene-19	3.251
feb-19	2.177
mar-19	1.914
abr-19	1.677
may-19	2.113
jun-19	4.196
jul-19	3.681
ago-19	2.686
sept-19	2.685

(Fuente: RECLAIM 2019)



Tabla A.13: Valor promedio de permisos de SOX Programa RECLAIM año 2019

Fecha	Valor promedio mensual SOX [USD]
ene-19	955
feb-19	961
mar-19	1.127
abr-19	1.127
may-19	1.127
jun-19	1.192
jul-19	1.192
ago-19	1.403
sept-19	1.544

(Fuente: RECLAIM 2019)

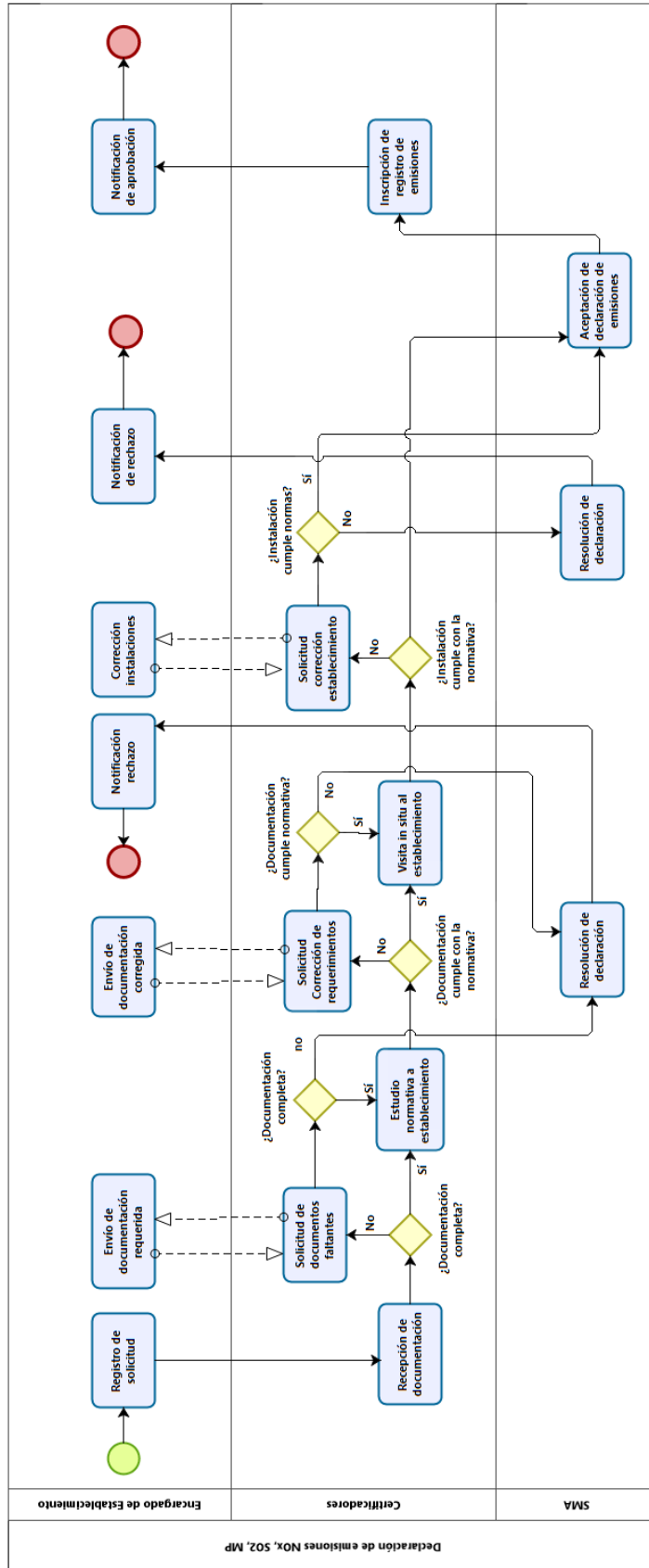


Figura A.8: Diagrama de flujo declaración de emisiones
(Fuente: Elaboración propia)

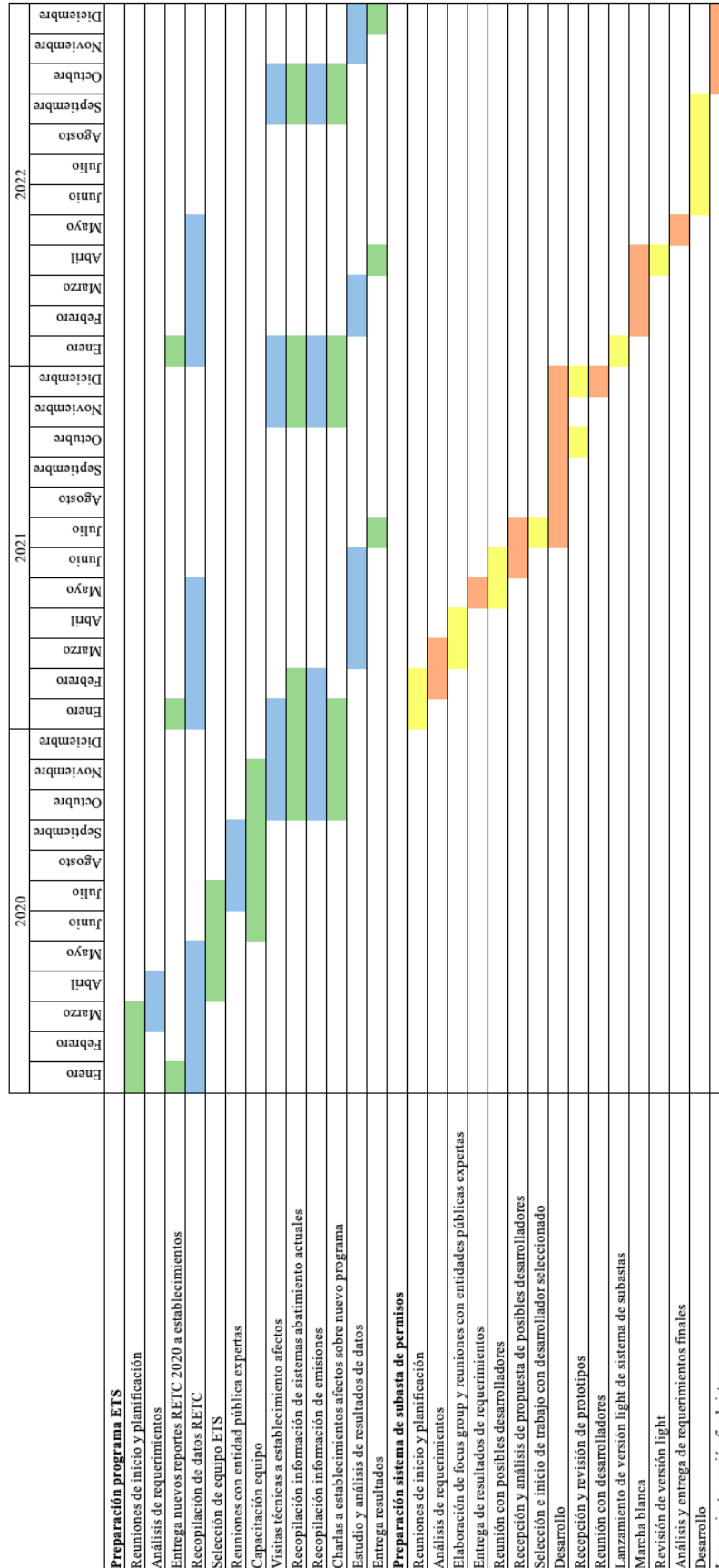


Figura A.9: Carta Gantt implementación programa ETS
(Fuente: Elaboración propia)