



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ACUERDOS AMBIENTALES VOLUNTARIOS: EVALUACIÓN EMPÍRICA DEL
IMPACTO AMBIENTAL DE LOS ACUERDOS DE PRODUCCION LIMPIA EN
CHILE

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN ECONOMÍA APLICADA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

MATÍAS GABRIEL PINEDA DESTEFANI

PROFESOR GUÍA:

DANIEL SCHWARTZ PERLROTH

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

CARLOS NOTON NORAMBUENA

RAIMUNDO UNDURRAGA RIESCO

SANTIAGO DE CHILE

2018

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE MAGÍSTER EN ECONOMÍA APLICADA

POR: MATÍAS GABRIEL PINEDA DESTEFANI

FECHA: 2018

PROF. GUÍA: SR. DANIEL SCHWARTZ PERLROTH

ACUERDOS AMBIENTALES VOLUNTARIOS: EVALUACIÓN EMPÍRICA DEL
IMPACTO AMBIENTAL DE LOS ACUERDOS DE PRODUCCION LIMPIA EN CHILE

El presente trabajo tiene por objetivo evaluar dos aspectos relacionados a los acuerdos ambientales voluntarios desarrollados en Chile, denominados Acuerdos de Producción Limpia (APL): evaluar la efectividad de estos acuerdos para reducir emisiones de contaminantes y el impacto que tuvo la promulgación de la ley 20.416 (“Ley APL”) sobre dichas emisiones. Utilizando información del Ministerio del Medioambiente y de la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático se construye un panel de datos de emisiones contaminantes al agua y al aire declaradas por establecimientos a lo largo de todo el territorio nacional en el periodo 2005-2015.

El principal problema para evaluar estos acuerdos corresponde al sesgo de selección que ocurre naturalmente al tratarse de una política de carácter voluntario. Para remediar este problema, se utiliza el método de *propensity score matching* para conformar grupos de establecimientos que sean estadísticamente similares, para luego evaluar el impacto de esta iniciativa ambiental a través del método de diferencia-en-diferencias.

Respecto a la efectividad de esta política, los resultados obtenidos indican que existen reducciones estadísticamente significativas para las emisiones al agua durante los dos primeros años del proceso de APL (30% y 40% respectivamente), mientras que no se observa un efecto para las emisiones al aire. En cuanto al impacto de la Ley APL, sólo se observan reducciones para las emisiones al agua, sin embargo, no es posible atribuir dichas reducciones a la promulgación de esta norma.

Si bien existen limitaciones para el estudio realizado, los resultados obtenidos sirven como una aproximación cuantitativa respecto del efecto de esta política ambiental que hasta el momento no estaba disponible y se propone una metodología de evaluación que podría utilizarse en el futuro con información de mejor calidad.

Tabla de Contenido

Capítulo 1	Contexto	3
1.1.	Antecedentes de los Acuerdos de Producción Limpia.....	3
1.1.1.	Marco regulatorio.....	3
1.1.2.	Implementación.....	4
1.1.3.	Beneficios	5
1.2.	Antecedentes del RETC.....	6
1.3.	Estudios previos	7
Capítulo 2	Datos	11
2.1.	Variable dependiente.....	12
2.2.	Variables de estudio	14
2.3.	Análisis exploratorio.....	15
Capítulo 3	Metodología.....	16
3.1.	Modelos econométricos.....	16
3.1.1.	Efectividad de los APL	16
3.1.2.	Promulgación ley APL.....	17
3.2.	Propensity Score Matching	18
3.2.1.	Definiciones y propiedades.....	19
3.2.2.	Estimación del propensity score.....	20
3.2.3.	Matching	20
Capítulo 4	Resultados.....	23
4.1.	Propensity Score Matching	23
4.2.	Evaluaciones de impacto.....	27
4.2.1.	Efectividad de los APL	27
4.2.2.	Promulgación de Ley APL.....	32
	Conclusiones y trabajos futuros	36
	Bibliografía.....	40

Apéndice A	Antecedentes	42
A.1	Procedimiento de suscripción de APL.....	42
A.2	Compromisos y acciones definidas en un APL.....	43
A.3	Evolución del RETC	44
A.4	Establecimientos: emisión y declaración.....	44
A.5	Georreferenciación de datos	45
Apéndice B	Bases de Datos y Análisis Exploratorio	46
B.1	Bases de datos y definiciones	46
B.2	Selección de rubros relevantes.....	48
B.3	Estadísticas descriptivas.....	49
B.4	Análisis exploratorio.....	50
Apéndice C	Resultados	57
C.1	Comparación metodologías de matching.....	57
C.2	Evaluaciones de impacto	59

Índice de Tablas

Tabla 2.1.a Cantidad de establecimientos.....	12
Tabla 2.1.b Estadísticas descriptivas de emisiones [ton/año] (grupo/rubro).....	13
Tabla 2.2.a Ejemplo de visualización de variables de estudio.....	14
Tabla 4.1.a Calidad de las metodologías de matching.....	23
Tabla 4.2.a Efectividad de los APL por tipo de emisiones	28
Tabla 4.2.b Efectividad de los APL por rubro primario, emisiones al agua.....	30
Tabla 4.2.c Efectividad de los APL por rubro primario, emisiones al aire.....	31
Tabla 4.2.d Impacto de Ley APL por tipo de emisiones.....	33
Tabla 4.2.e Impacto de Ley APL por rubro primario, emisiones al agua.....	34
Tabla 4.2.f Impacto de Ley APL por rubro primario, emisiones al aire.....	35
Tabla B.1.i Variables del panel de datos según fuente de información.....	46
Tabla B.1.ii Contaminantes incluidos en cada grupo	46
Tabla B.1.iii Rubros primarios definidos por el SII.....	47
Tabla B.2.i Cantidad de observaciones por año y rubro primario (agua)	48
Tabla B.2.ii Cantidad de observaciones por año y rubro primario (aire).....	48
Tabla B.3.i Estadísticas descriptivas de emisiones [ton/año] (grupo/año).....	49
Tabla C.1.i Calidad del <i>matching</i> (agua).....	57
Tabla C.1.ii Calidad del <i>matching</i> (aire).....	58
Tabla C.2.i Efectividad de los APL por tipo de emisiones, sin matching.....	59
Tabla C.2.ii Efectividad de los APL por tipo de emisiones, sin efectos fijos.....	60
Tabla C.2.iii Efectividad de los APL por rubro primario, sin matching.....	61
Tabla C.2.iv Efectividad de los APL por rubro primario (agua), sin efectos fijos.....	62
Tabla C.2.v Efectividad de los APL por rubro primario (aire), sin efectos fijos.....	63
Tabla C.2.vi Impacto de Ley APL por tipo de emisiones, sin matching.....	64

Índice de Figuras

Figura 2.3.a Evolución temporal de emisiones promedio al agua	15
Figura 2.3.b Evolución temporal de las emisiones promedio al aire	15
Figura 4.1.a Distribución de los <i>propensity scores</i>	24
Figura 4.1.b Comparación de emisiones promedio al agua, matching NN(1)	25
Figura 4.1.c Comparación de emisiones promedio al agua, matching kernel.....	25
Figura 4.1.d Comparación de emisiones promedio al aire, matching NN(1).....	26
Figura 4.1.e Comparación de emisiones promedio al aire, matching kernel.....	26
Figura A.1.i Etapas y procesos de un APL.....	42
Figura A.2.i Ejemplo de compromisos definidos en APL.....	43
Figura A.2.ii Ejemplo de acciones definidas en APL	43
Figura A.3.i Hitos del RETC	44
Figura A.4.i Emisión de contaminantes por un establecimiento.....	44
Figura A.4.ii Diagrama del sistema Ventanilla Única.....	44
Figura A.5.i Comparación pre y post georreferenciación	45
Figura B.4.i Emisiones promedio de contaminantes inorgánicos	50
Figura B.4.ii Emisiones promedio de contaminantes orgánicos	50
Figura B.4.iii Emisiones promedio de metales	51
Figura B.4.iv Emisiones promedio de gases nocivos	51
Figura B.4.v Emisiones promedio de material particulado	51
Figura B.4.vi Emisiones promedio al agua, cohortes 2005 a 2009	52
Figura B.4.vii Emisiones promedio al agua, cohortes 2010 a 2015	52
Figura B.4.viii Emisiones promedio al aire, cohortes 2005 a 2009.....	53
Figura B.4.ix Emisiones promedio al aire, cohortes 2010 a 2015.....	53
Figura B.4.x Boxplot de emisiones según grupo de contaminantes	54
Figura B.4.xi Boxplot de emisiones según rubro primario.....	55
Figura B.4.xii Boxplot de emisiones según zona geográfica.....	56

Introducción

Los acuerdos voluntarios son convenios colaborativos entre organizaciones y reguladores (principalmente agencias del Estado) en donde dichas organizaciones se comprometen de manera voluntaria a cumplir determinados objetivos (Delmas & Terlaak, 2001). Estos acuerdos se encuentran presentes en diferentes sectores industriales y de servicios, e intentan remediar las fallas de mercado existentes de una manera alternativa a la regulación tradicional, puesto que se basan en un proceso de negociación y alineación de incentivos entre el sector público y privado (Croci, 2006).

Si bien estos instrumentos buscan generar una relación amigable entre organizaciones y reguladores, además de disminuir los costos de regulación/fiscalización; la efectividad de este tipo de políticas depende de una serie de características como, por ejemplo, el contexto cultural, el marco de metas y responsabilidades establecidas y la posibilidad de contar con información que permita velar por cumplimiento de éstas (Bizer & Jülich, 1999).

En Chile este tipo de políticas se han adoptado en el sector ambiental a través de los Acuerdos de Producción Limpia (APL), los que se definen como un instrumento de gestión que permite mejorar las condiciones productivas y ambientales¹, con el fin de prevenir y minimizar la contaminación (NCh 2797, 2009). Si bien este instrumento comenzó a aplicarse en 1998 bajo la iniciativa de Producción Limpia impulsada por el Gobierno de Chile (Comité Interministerial de Desarrollo Productivo, 1998), recién en 2010 se les otorga la categoría de ley.

Un APL consiste en un proceso de tres etapas (gestación, implementación y certificación) donde, en base a un diagnóstico inicial de los procesos productivos, las organizaciones negocian con los reguladores competentes una serie de metas y acciones que les permitan mejorar su desempeño ambiental (entre otras mejoras). Una vez aprobada la propuesta de APL, las organizaciones pueden recibir financiamiento para llevar a cabo las metas comprometidas, las cuales serán sometidas a procesos de seguimiento y control para garantizar su cumplimiento. El proceso de APL concluye con una auditoría final donde se evalúa el nivel de cumplimiento de cada una de las metas y acciones definidas en un principio para así entregar la certificación según corresponda.

¹ Así como condiciones de higiene y seguridad laboral, entre otras materias.

El principal problema para evaluar esta y otras políticas públicas en general, es que no existe asignación aleatoria para formar grupos de tratamiento y control como en un estudio experimental (Conniffe, Gash, & O'Connell, 2000). En consecuencia, se presume que el efecto estimado de este tipo de políticas estaría sesgado, ya que las organizaciones participantes podrían haber mejorado su desempeño ambiental (es decir, reducen sus emisiones de contaminantes) por sus propias características y no por las acciones comprometidas en el acuerdo.

En este sentido, existen factores intrínsecos a las empresas participantes que determinan su desempeño ambiental y no tienen relación con el acuerdo propiamente tal (por ejemplo, conciencia ambiental o políticas de buenas prácticas), lo que acentúa el problema antes mencionado. Pese a la buena percepción que se tiene de estos acuerdos de producción limpia, se desconoce si las organizaciones tienen un mejor desempeño ambiental gracias al APL o, si debido a su buen desempeño ambiental, es que deciden suscribir esta política ambiental (Jiménez, 2007).

Otra dificultad para evaluar el impacto de estas políticas tiene que ver con la causalidad que se les pueda atribuir, ya que las mejoras ambientales observadas podrían deberse a factores extrínsecos como cambios tecnológicos u operacionales; o la promulgación de nuevas políticas ambientales² (De Clercq & Bracke, 2005)

Para evaluar el impacto de suscribir estos acuerdos voluntarios se estimarán modelos de regresión sobre un panel de datos de emisiones de contaminantes declaradas por diferentes establecimientos de cinco sectores productivos nacionales en el periodo 2005-2015. Utilizando el enfoque de *propensity score matching* para controlar por el sesgo de selección, en primer lugar, se estimará el efecto de suscribir un APL y, en segundo lugar, se evaluará el impacto que tuvo la promulgación de la ley³ para los APL.

² Un ejemplo en Chile sería la promulgación de la Ley de Responsabilidad Extendida al Productor.

³ Ley #20416, promulgada en enero de 2010.

Capítulo 1

Contexto

1.1. Antecedentes de los Acuerdos de Producción Limpia

Con el objetivo de disminuir los impactos negativos de los procesos industriales y productivos al medioambiente se ha optado por implementar el concepto de Producción Limpia, el cual considera desde el inicio de los procesos productivos la prevención o minimización de la generación de residuos y emisiones para así disminuir el costo que supondría su tratamiento o desecho. En esta línea, los Acuerdos de Producción Limpia (APL) han sido los instrumentos de preferencia para poder aplicar los principios de la producción limpia en Chile a través de la definición de metas y acciones específicas a cumplir en un plazo determinado acordadas entre organizaciones y los organismos de la administración del Estado.

1.1.1. Marco regulatorio

La base del marco legal que regula el funcionamiento de los APL se encuentra en la Norma Chilena 2797, que corresponde a una norma de carácter técnico elaborada por la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático (ASCC) y el Instituto Nacional de Normalización. En ésta se define que el principal objetivo que persiguen estos acuerdos corresponde a jerarquizar las prioridades de gestión productiva y ambiental buscando en primer lugar prevenir la contaminación, en segundo lugar, minimizarla y en tercer lugar darles un tratamiento apropiado a los residuos generados. Además, los acuerdos buscan lograr un uso eficiente de los recursos naturales (materias primas, agua y energía), capacitación del personal en materias de producción limpia y modificación de los procesos productivos.

Esta norma, que sirvió como guía de aplicación para los acuerdos suscritos antes del 2010, fue respaldada de manera legal a través de la promulgación de la ley 20.416 en enero del 2010. En ésta se define que la finalidad de los APL será contribuir al desarrollo sustentable de las empresas; quienes, en conjunto con reguladores estatales pertinentes, definirán metas y acciones para aplicar los principios de la producción limpia. Además, se establece legalmente la responsabilidad que le corresponde a la ASCC de actuar como ente coordinador y certificador de los APL, junto con las facultades que posee para desempeñar este rol.

1.1.2. Implementación

En el marco de la implementación de los APL es importante definir lo que se entiende por establecimiento, pues a este nivel se definen las metas y acciones que se llevarán a cabo en el marco del acuerdo y se declaran las emisiones que serán utilizadas para evaluar su efectividad. Formalmente, un establecimiento está definido como:

“un recinto o local en el que se lleva a cabo una o varias actividades económicas donde se produce una transformación de la materia prima [...], y que en este proceso originan emisiones, residuos y/o transferencias de contaminantes [...]” (Ministerio del Medioambiente, 2013).

Con esta definición se procede a describir las etapas que conlleva suscribir un APL:

Gestación: el proceso comienza con el acercamiento entre un establecimiento y la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático (o viceversa), para evaluar la factibilidad de llevar a cabo este proceso. Luego, el establecimiento debe elaborar un diagnóstico base identificando las características del sector, problemas u oportunidades que se puedan abordar y propuestas de metas, acciones y plazos a cumplir en el acuerdo. La ASCC coordina la creación de un Comité Negociador que estará encargado de revisar y modificar la propuesta, además de presentar el borrador final del acuerdo. Cuando el borrador es aceptado por la ASCC, los establecimientos interesados proceden a firmar el acuerdo, dejando constancia de su adhesión al conjunto de metas y acciones comprometidas.

Implementación: en esta etapa se llevan a cabo las acciones para cumplir las metas definidas en el acuerdo. Se comienza por un diagnóstico inicial por establecimiento para evaluar el punto de partida respecto de las acciones a realizar y así establecer un programa de cumplimiento del APL. Luego, se comienza con el plan de trabajo para el cumplimiento de las acciones y metas, las cuales están sometidas a un proceso de seguimiento y control, y cuyo avance es reportado a través de auditorías internas realizadas por parte de los establecimientos. Estas auditorías son consolidadas y enviadas a la ASCC, quien coordina su entrega a los reguladores correspondientes para así monitorear el cumplimiento del acuerdo.

Evaluación de Conformidad y Certificación: se realiza una auditoría final por parte de un auditor externo para evaluar el estado de cumplimiento de las metas definidas en el APL y los establecimientos deben elaborar un informe consolidado que se envía la ASCC, el cual es sometido a una validación por parte de los organismos estatales involucrados en el acuerdo.

Sobre la base de los resultados que se incluyan en dicho informe, la ASCC es el encargado de entregar la certificación a cada establecimiento que haya cumplido el 100%⁴ de las metas y acciones comprometidas en el APL.

De manera opcional los gremios de cada establecimiento pueden postular a un financiamiento estatal (capitales CORFO) en cada una de las etapas del proceso de APL. Esta postulación implica desarrollar proyectos que apunten a cumplir las tareas correspondientes a cada etapa y, en caso de incumplir las bases de la postulación, los gremios deben restituir los fondos otorgados en un principio.

Es importante notar que el proceso de suscripción compuesto por las tres etapas descritas anteriormente, desde que un establecimiento adhiere un APL hasta que se le otorga la certificación correspondiente, toma un tiempo aproximado de tres años (un año por etapa).

En el 4.2.2.A.1 se encuentra un diagrama de las etapas y sub-etapas dentro del proceso de suscripción de un APL, en el Apéndice 4.2.2.A.2 un ejemplo de los compromisos definidos y las acciones a realizar dentro de un APL.

1.1.3. Beneficios

En cuanto a las razones para impulsar iniciativas medioambientales, Lyon & Maxwell (1999) identifican tres posibles motivaciones. En primer lugar, las organizaciones tienen posibilidades de reducir sus costos y mejorar su desempeño ambiental de manera simultánea al mejorar la eficiencia de sus procesos de manufactura (lo que también trae consigo un beneficio social). En segundo lugar, han existido cambios en el mercado que vuelven rentables las políticas ambientales; principalmente, la aparición de consumidores dispuestos a pagar por productos amigables con el medioambiente. En tercer lugar, las organizaciones podrían optimizar su estrategia corporativa para influenciar las acciones de los agentes reguladores.

En cuanto a los acuerdos voluntarios, Croci (2006) hace énfasis en que la creación de los beneficios es “personalizada” para cada acuerdo en cuestión y apuntan a crear ventajas competitivas para las organizaciones que decidan suscribirlos. Generalmente, estas ventajas competitivas corresponden a señales para tomadores de decisión relevantes para las organizaciones (ciudadanos, empleados, entre otros) buscando modificar su comportamiento de manera favorable hacia éstas.

⁴ Si un establecimiento no cumple el 100%, se le da un tiempo razonable para incluir las mejoras pertinentes y así poder optar a la certificación.

Es esta razón (ventajas competitivas), la que Jiménez (2007) identifica como más relevante para las organizaciones al momento de decidir suscribir APL; incluso por sobre las amenazas de severos castigos. En particular, son la puerta de entrada para que las PYMES puedan instalar una agenda ambiental dentro de su quehacer productivo.

En el caso chileno, las empresas gozarán de beneficios en aspectos legales y económicos gracias a las mejoras implementadas en los procesos productivos a través de los APL. Los detalles de estos beneficios se resumen a continuación:

Legales: según lo expuesto en el marco regulatorio de los APL, uno de los principales beneficios de suscribir un APL radica en que las metas y acciones negociadas facilitan el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, puesto que cada una se define en función de las características determinadas del sector industrial que decida formar parte del acuerdo. Además, según lo expuesto por la ASCC, se favorece el cumplimiento de normativas en destinos de exportación con estándares ambientales equivalentes.

Económicos: los establecimientos optimizarán el uso de insumos y recursos (agua, energía, materias primas), y disminuirán las inversiones asociadas al tratamiento y disposición final de residuos debido a que existirá un menor volumen a manejar. Además, mejorarán su imagen corporativa abriendo la posibilidad de acceder a nuevos mercados.

1.2. Antecedentes del RETC

Un Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) es una base de datos con información ambiental de sustancias químicas potencialmente peligrosas o contaminantes emitidas a la atmósfera, al agua y al suelo; las que son transferidas fuera del establecimiento productivo para su tratamiento o eliminación.

La creación de este tipo de plataformas estuvo motivada por la adopción de la Agenda 21 en la conferencia de la ONU para el medioambiente en 1992. Esta organización establece a los RETC como una herramienta para la política ambiental y el desarrollo sostenible. En Chile, la creación de esta plataforma en 2005 estuvo motivada por la suscripción de tratados de libre comercio con Canadá y Estados Unidos, además de la adhesión al convenio de Estocolmo (2001).

Además, en el mismo reglamento se establece que los órganos de la administración del Estado están obligados a entregarle al RETC la información respecto a emisiones, residuos y/o transferencia de contaminantes que se obtenga de los sujetos obligados a reportarlas,

sea generada con ocasión de los procesos de fiscalización y/o sea solicitada para poder estimarlas o cuantificarlas.

En los últimos años esta plataforma ha experimentado mejoras continuas, apuntando a tener una mayor calidad de la información recolectada y beneficiando tanto a los organismos estatales como a los establecimientos que realizan sus declaraciones. Se destacan un hito particular que ha han permitido mejorar el proceso de recolección de datos:

Sistema de Ventanilla Única: sistema electrónico que contempla un formulario único disponible en el portal electrónico del RETC y a través del cual se accederá a los sistemas de declaración de los órganos fiscalizadores para dar cumplimiento a la obligación de reporte de los establecimientos emisores o generadores. Gracias a la implementación de este sistema, se ha obligado a los establecimientos a georreferenciar sus declaraciones, lo que permite ubicar con precisión el territorio donde se encuentra la fuente de contaminación (Decreto Supremo #1, MMA, 2013).

En el Apéndice 4.2.2.A.3 se muestra una línea temporal del RETC, en el Apéndice 4.2.2.A.4 se muestra un diagrama de las emisiones de un establecimiento y su respectivo proceso de declaración y en el Apéndice 4.2.2.A.5 se muestra una comparación entre los escenarios pre y post georreferenciación de datos.

1.3. Estudios previos

Los acuerdos voluntarios se han aplicado desde hace décadas en otros países del mundo y su evaluación se ha centrado en los aspectos metodológicos y el contexto regulatorio, donde los resultados no han sido concluyentes respecto a su real efectividad. Existen limitados estudios empíricos sobre esta materia y la mayoría está enfocada en el sector energético (quizás por la facilidad para reunir datos confiables).

Hartman (1988) estudia el efecto de los acuerdos voluntarios de conservación energética en establecimientos residenciales midiendo el ahorro neto de energía directamente atribuible a dichos acuerdos, utilizando datos de la compañía eléctrica PGE⁵ (EE. UU.). Respecto al sesgo de selección propio de la evaluación de este tipo de políticas, señala que de no tomarlo en cuenta los resultados estarían sobreestimados ya que las características de los participantes los habrían llevado a lograr ahorros aún en la ausencia de esta medida. Para estimar el efecto de este programa, corrigiendo por el sesgo de selección, primero estima

⁵ *Portland General Electric Company*

modelos probabilísticos (*logit* anidado) para determinar la probabilidad de participar en este acuerdo voluntario y de realizar inversiones en conservación energética; incorporando posteriormente estos resultados en una ecuación de demanda energética. Sus resultados muestran que, si bien existió un ahorro de energía gracias al programa, éste corresponde sólo al 50% y es mucho más bajo que lo que se creía originalmente. Además, estos resultados se ven influenciados por las características de los hogares como el nivel de ingreso y la edad de los ocupantes. Finalmente, el autor señala la importancia de realizar un análisis costo-beneficio para evaluar la efectividad de los acuerdos, donde se deben comparar los ahorros netos logrados con el costo de implementar las mejoras correspondientes; escenario bajo el cual señala que se está subsidiando un comportamiento que se habría presentado aún en ausencia de estos acuerdos voluntarios.

Bizer & Jülich (1999) realizan un estudio de casos centrado en cuatro acuerdos voluntarios ambientales en Alemania y Holanda, evaluando su efectividad en función del porcentaje de cumplimiento de cada una de las metas definidas dentro de estos acuerdos. Los autores postulan que la efectividad de los acuerdos depende en gran parte del contexto cultural en el que se apliquen y de los mecanismos regulatorios que posean los organismos estatales. Luego de estudiar los principales aspectos de cada acuerdo, los autores hacen notar que las metas acordadas en un principio sólo se logran de manera parcial y abren el camino para que se establezcan regulaciones ambientales más exigentes. Los autores concluyen que, si bien los acuerdos voluntarios logran establecer un marco de mutua cooperación, éstos deben estar respaldados por severas sanciones (impuestos o revocación de licencias) en caso de no cumplir lo estipulado en los acuerdos. Por lo tanto, la manera de sacarles el mayor provecho a los acuerdos voluntarios es usarlos como medidas suplementarias de los mecanismos tradicionales de regulación.

Bjørner & Jensen (2002) realizan un análisis econométrico sobre la demanda energética en el sector industrial para cuantificar y comparar los efectos de tres políticas ambientales: impuestos al carbono, acuerdos voluntarios y subsidios para mejorar la eficiencia energética. Para hacerlo, construyen un micro-panel utilizando datos de demanda energética de compañías en Dinamarca en el periodo 1983 – 1997 y estiman un modelo de demanda energética utilizando efectos fijos. Los autores estiman una elasticidad precio de la demanda de energía de -0.44. Respecto a la efectividad de los acuerdos, los autores estiman que los acuerdos suscritos llevan a las compañías a una reducción del 9% en el consumo energético. Sin embargo, dicha reducción significa pagar menos impuestos y usar ese dinero para consumir más energía. Los autores estiman un aumento de consumo

energético en el rango de un 1% a 5% producto del ahorro en impuestos. A pesar de estos efectos colaterales, los acuerdos tienen un efecto positivo sobre la demanda energética y logran una reducción en el consumo energético de las compañías suscriptoras.

La OECD (2003) elaboró un documento resumiendo aplicaciones de diferentes acuerdos voluntarios aplicados en países miembros de la organización. Se destaca el caso canadiense del programa ARET (Accelerated Reduction/Elimination of Toxics), el que fue aplicado en 1994 buscando incentivar al sector industrial para reducir, y virtualmente eliminar, las emisiones de sustancias tóxicas en un 90% para el año 2000. Este programa fue considerado pionero para su época y, si bien no fue posible atribuir las reducciones logradas al acuerdo, éste sí sirvió como punto de partida para lograr incluir la dimensión ambiental en los procesos productivos de este país, así como para establecer metas claras (y en el futuro más ambiciosas) en materia de reducción de emisiones.

Jiménez (2007), a través de un cuestionario realizado a establecimientos de cuatro sectores industriales busca determinar hasta qué punto los acuerdos voluntarios suscritos por empresas pertenecientes a esos sectores contribuyeron a impulsar políticas para lograr un mayor nivel de protección ambiental. A través de un muestro no aleatorio se construyeron dos grupos formados por establecimientos suscriptores (141) y no suscriptores (181), a quienes se les aplicó una encuesta de 39 preguntas para caracterizarlos y evaluar el impacto de los acuerdos voluntarios. Utilizando el enfoque de *propensity score*, el autor logra reducir el 90% del sesgo de selección a través de una subdivisión de la muestra en cinco grupos de diferente *propensity score* y un posterior emparejamiento de establecimientos estadísticamente similares dentro de cada grupo. Para evaluar la efectividad de los acuerdos, realiza una encuesta acerca de las iniciativas ambientales impulsadas por los establecimientos en el marco de un acuerdo voluntario, así como de los costos asociados a su implementación. De los seis tipos de iniciativas ambientales posibles, el autor encuentra que los acuerdos voluntarios tienen influencia estadísticamente significativa en cuatro de ellas y concluye que los incrementos en protección ambiental son más bien marginales. Respecto a los costos asociados a impulsar políticas ambientales bajo un acuerdo voluntario, el autor encuentra que la mayoría de los establecimientos encuestados no percibe un aumento significativo en sus costos operacionales. Además, concluye que, a pesar de tener un efecto cuantitativo marginal, los acuerdos influyen positivamente el comportamiento ambiental de los establecimientos (en especial el de las PYMES).

De la revisión bibliográfica se puede concluir que evaluar este tipo de políticas resulta complicado por la poca disponibilidad de datos confiables para estimar su efecto (el sector energético es el que posee la mejor regulación en este sentido), además de la necesidad de aplicar metodologías que permitan una correcta identificación.

Se plantea también que la efectividad económica de los acuerdos voluntarios es limitada y, por lo tanto, estos deberían aplicarse en conjunto con mecanismos de regulación tradicional para lograr los objetivos ambientales definidos en cada caso.

La principal ventaja de utilizar acuerdos voluntarios en materia ambiental fue lograr incluir esta dimensión dentro del quehacer productivo de las organizaciones, aspecto que ha escalado a nivel mundial y se ha materializado a través de diferentes convenios internacionales promovidos por la ONU.

A diferencia de lo hecho por Jiménez (2007), en lugar de encuestar establecimientos, se utilizarán sus declaraciones de emisiones contaminantes recabadas por el RETC para evaluar esta política ambiental. La importancia del estudio a realizar radica en el aporte a la literatura empírica respecto a acuerdos voluntarios ambientales, además de entregar información cuantitativa que ayude en el proceso de toma de decisiones respecto a la implementación de APL en Chile.

Capítulo 2

Datos

El panel de datos fue construido a partir del cruce entre diferentes fuentes de información proporcionadas por el Ministerio del Medioambiente (MMA) y la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático (ASCC), además de características de las empresas recabadas desde el Servicio de Impuestos Internos (SII). Como se mencionó anteriormente, las metas y acciones son definidas a nivel de establecimiento; por lo tanto, se trabajará con las emisiones de contaminantes según este nivel de agregación.

Desde el RETC se obtuvieron las variables que permiten identificar a cada establecimiento (Rut de la empresa y comuna donde se registra la emisión), la región del establecimiento, el año en que se efectuó la declaración, la emisión declarada en dicho año (medida en toneladas/año) y el contaminante asociado a dicha declaración. Además, se separó el estudio según el medio receptor de las emisiones en:

- **Agua:** recibe las emisiones de RILES, las que fueron agrupadas según lo que se indica en la normativa legal⁶ en compuestos inorgánicos, compuestos orgánicos y metales.
- **Aire:** recibe las emisiones de gases, las que fueron agrupadas según las indicaciones de la ASCC en gases nocivos y material particulado.

Desde la ASCC se obtuvo un listado de establecimientos (identificados por Rut y comuna) que suscribieron un APL, el año en que adhirieron el acuerdo y el año en que se certificaron.

Desde el SII se obtuvieron variables que caracterizan a las empresas en estudio tales como el tramo de ventas, el número de trabajadores y el rubro primario en el cual se desenvuelve.

En el Apéndice 4.2.2.B.1 se muestra un resumen con las variables de interés obtenidas de cada fuente de información y los contaminantes incluidos en el estudio.

⁶ Decreto Supremo N°46, N°90 y N°609.

2.1. Variable dependiente

Para cuantificar la efectividad de los APL y evaluar el impacto de la ley APL, se utilizará como variable dependiente la emisión de contaminantes de los establecimientos, declaradas en toneladas/año utilizando la plataforma del RETC. A continuación, se muestran tablas con estadísticas descriptivas relevantes sobre dicha variable utilizando diferentes niveles de agregación.

En la muestra con la que se trabaja existen 58 APL distintos, los cuáles han sido suscritos por un total de 431 establecimientos diferentes. En la Tabla 2.1.a se muestra el total de establecimientos por grupo de contaminantes, distinguiendo entre establecimientos que suscribieron APL y establecimientos que no lo hicieron. Si bien se registra un número importante de observaciones en el periodo estudiado, éstas corresponden a un número reducido de establecimientos; especialmente en el caso de los establecimientos que suscribieron APL.

Tabla 2.1.a Cantidad de establecimientos

	No Suscriptores		Suscriptores	
	Total	Distintos	Total	Distintos
C. Orgánicos	15434	1467	1880	143
C. Inorgánicos	14981	1574	1591	146
Metales	9091	552	1394	74
Gases Nocivos	41574	3737	3787	281
M. Particulado	35331	3573	3489	275
Totales	116411	5188	12141	431

En la Tabla 2.1.b se muestra el promedio y la desviación estándar de las emisiones declaradas agrupadas por rubro primario y grupo de contaminantes, distinguiendo entre los establecimientos que suscribieron APL y establecimientos que no lo hicieron. Para el caso de las emisiones al agua, se observa que la emisión de compuestos inorgánicos es la más alta (independiente del rubro primario), mientras que para las emisiones al aire se observa que las emisiones de gases nocivos son las más altas (independiente del rubro primario).

Tabla 2.1.b Estadísticas descriptivas de emisiones [ton/año] (grupo/rubro)

	No Suscriptores					Suscriptores				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Agricultura ¹	250.98 (70.16)	10.85 (1.19)	0.44 (0.08)	1.07x10 ⁴ (1659.71)	17.95 (1.15)	95.07 (46.32)	25.05 (8.45)	0.08 (0.03)	1169.23 (257.26)	8.03 (1.24)
Pesca	401.09 (156.85)	50.33 (4.41)	0.09 (0.02)	2116.16 (346.43)	3.94 (0.39)	304.69 (152.55)	80.02 (23.78)	0.12 (0.05)	2515.37 (606.51)	8.91 (3.47)
Manufactura No Metálica	17.76 (2.16)	11.28 (1.45)	0.45 (0.18)	4921.66 (631.42)	10.32 (0.87)	7.57 (1.66)	6.19 (0.86)	0.09 (0.03)	6340.21 (1568.00)	7.46 (1.10)
Manufactura Metálica	14.92 (5.92)	0.46 (0.05)	0.36 (0.09)	4361.70 (1275.08)	37.94 (6.63)	7.72 (2.38)	0.70 (0.17)	0.10 (0.03)	1102.75 (510.66)	3.12 (0.60)

Notas:

Error estándar entre paréntesis.

¹Agricultura, ganadería, caza y silvicultura

Grupo de Contaminantes: (1) Compuestos inorgánicos, (2) Compuestos orgánicos, (3) Metales, (4) Gases nocivos, (5) Material particulado

En el Apéndice 4.2.2.B.2 se muestran las estadísticas descriptivas que justifican la decisión de seleccionar sólo estos rubros y en el Apéndice 4.2.2.B.3 se muestran las estadísticas descriptivas según otros niveles de agregación.

2.2. Variables de estudio

Para estudiar los APL se definen variables que permitan diferenciar entre establecimientos suscriptores y no suscriptores, así como también variables que permitan estudiar el comportamiento de los establecimientos posterior a la adhesión de estos acuerdos. A continuación, se muestra cómo se han definido estas variables:

Suscriptores: se crea la variable D_{it} para identificar si el establecimiento i suscribió un APL en el año t .

$$D_{it} = \begin{cases} 1 & , \text{ desde que el establecimiento } i \text{ adhiere un APL en el año } t \\ 0 & , \end{cases} \quad \sim$$

Persistencia: dado que a los establecimientos les toma tres años obtener la certificación, se crean variables que permitan evaluar el comportamiento de los establecimientos en este intervalo de tiempo.

$$T_{\rho it} = \begin{cases} 1 & , \text{ si han pasado } \rho \text{ años desde que el establecimiento } i \text{ suscribió en año } t \\ 0 & , \\ . & , \text{ si han pasado } \rho > 4 \text{ años desde que el establecimiento } i \text{ suscribió en año } t \end{cases} \quad \sim$$

Ejemplo: supongamos que un establecimiento i declara sus emisiones en el periodo 2006-2013 y adhiere un APL en el año 2008. Luego, sus variables de estudio se verán de la siguiente manera:

Tabla 2.2.a Ejemplo de visualización de variables de estudio

i	t	D	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
123	2006	0	0	0	0	0
123	2007	0	0	0	0	0
123	2008	1	0	0	0	0
123	2009	1	1	0	0	0
123	2010	1	0	1	0	0
123	2011	1	0	0	1	0
123	2012	1	0	0	0	1
123	2013	1

2.3. Análisis exploratorio

Las figuras Figura 2.3.a y Figura 2.3.b muestran la evolución de las emisiones (transformadas utilizando logaritmo) al agua y al aire. De ambas figuras se observa que existe una reducción de las emisiones declaradas por los establecimientos suscriptores de APL a lo largo del tiempo, sin embargo, al existir sesgo de selección no es posible afirmar que dicha reducción se debe a la política en estudio. Por otro lado, se observa que los establecimientos no suscriptores se mantienen en un rango estable de emisiones el que está determinado por la normativa ambiental vigente.

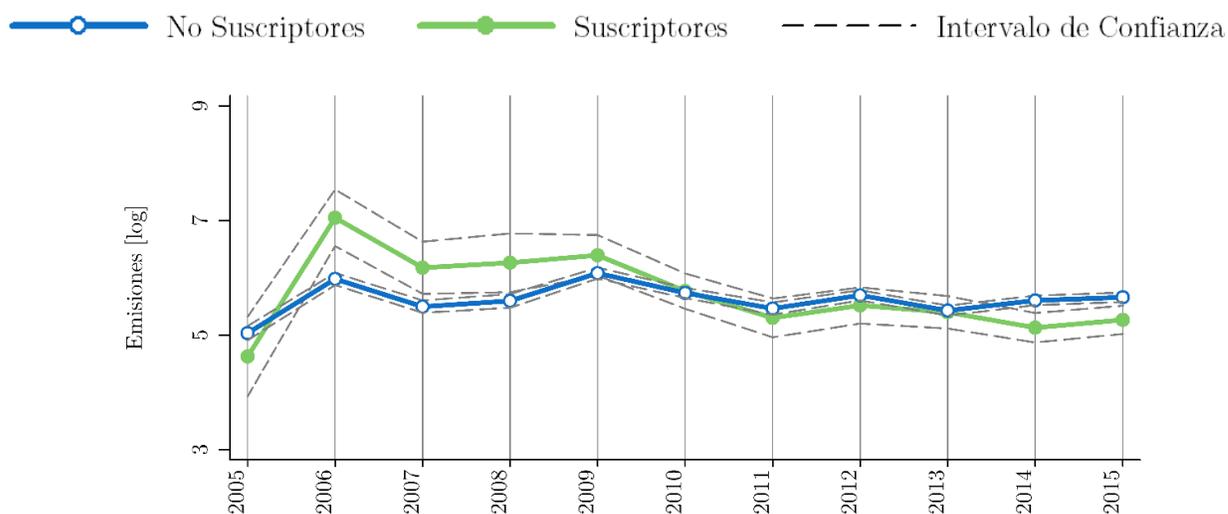


Figura 2.3.a Evolución temporal de emisiones promedio al agua

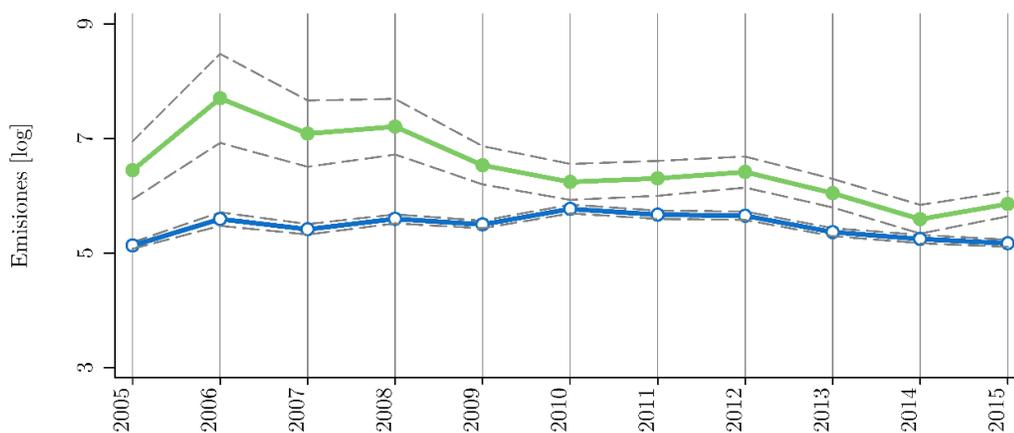


Figura 2.3.b Evolución temporal de las emisiones promedio al aire

En el Apéndice 4.2.2.B.4 se encuentran gráficos de evolución temporal de emisiones desagregadas por grupo de contaminantes y de distribución en función de otras covariables de interés, además de un análisis por cohortes.

Capítulo 3

Metodología

Tomando en cuenta los antecedentes anteriormente descritos, el estudio se centrará en evaluar la efectividad de los APL en función de su capacidad para reducir las emisiones de contaminantes de los establecimientos suscriptores y, además, en evaluar el impacto que tuvo la promulgación de la “ley APL” en enero de 2010.

Para cada evaluación se plantearán dos variantes de modelos econométricos, donde la única diferencia será la inclusión efectos fijos a nivel de establecimiento para controlar por aquellas características no observables e invariantes en el tiempo. Adicionalmente, se utilizará el enfoque de *propensity score matching* para balancear la muestra de establecimientos según su tipo y sortear el sesgo de selección a través de la conformación de grupos que sean estadísticamente similares.

3.1. Modelos econométricos

3.1.1. Efectividad de los APL

Los modelos propuestos a continuación consideran como variable dependiente el logaritmo de las emisiones declaradas por los establecimientos y el rezago de un periodo del logaritmo de las emisiones, mientras que las variables independientes corresponden a una *dummy* por tipo de establecimiento, *dummies* por cada año posterior a la adhesión de APL, las covariables disponibles (Ecuación 3.1.a) y efectos fijos a nivel de establecimiento (Ecuación 3.1.b y Ecuación 3.1.c).

$$y_{it} = \beta_0 + \gamma D_{it} + \sum_{\rho=1}^4 \delta_{\rho} T_{\rho it} + \beta X_i + A_t + \varepsilon_{it} \quad \text{Ecuación 3.1.a}$$

$$y_{it} = \beta_0 + \gamma D_{it} + \sum_{\rho=1}^4 \delta_{\rho} T_{\rho it} + E_i + A_t + \varepsilon_{it} \quad \text{Ecuación 3.1.b}$$

$$\Delta y_{it} = \gamma D_{it} + \sum_{\rho=1}^4 \delta_{\rho} T_{\rho it} + E_i + A_t + \varepsilon_{it} \quad \text{Ecuación 3.1.c}$$

Donde:

- y_{it} : logaritmo de la emisión declarada por el establecimiento i en el año t
- $\Delta y_{it}: y_{it} - y_{it-1}$
- D_{it} (suscriptores): desde que el establecimiento i adhiere un APL en el año t (=1, 0 si no)
- $T_{\rho it}$ (persistencia): si el establecimiento i está con suscripción en el año t para el primer, segundo y tercer año luego de haber adherido un APL (=1, 0 si no), donde $\rho \in [1,4]$ años después de la adhesión
- X_i : variables de control para el establecimiento i
- E_i : efecto fijo por establecimiento
- A_t : efecto fijo por año

De acuerdo con este modelo, el coeficiente γ capturará las diferencias promedio entre los tipos de establecimientos, mientras que el impacto de suscribir un APL estará determinado por los coeficientes δ_ρ que indicarán el comportamiento de los establecimientos suscriptores respecto de la emisión de contaminantes durante los tres años posteriores a la adhesión del acuerdo y durante el año posterior a la certificación.

3.1.2. Promulgación ley APL

Los modelos propuestos a continuación consideran como variable dependiente el logaritmo de las emisiones declaradas por los establecimientos y como variables independientes una *dummy* por tipo de establecimiento, una *dummy* que identifica el periodo posterior a la promulgación de la ley, un coeficiente de tendencia lineal, las interacciones correspondientes entre estas tres variables, las covariables disponibles (Ecuación 3.1.d) y efectos fijos a nivel de establecimiento (Ecuación 3.1.e).

$$y_{it} = \beta_0 + \gamma D_{it} + \lambda L + \tau Trend + \delta_1 D_{it} \times L + \delta_2 D_{it} \times Trend + \delta_3 D_{it} \times L \times Trend + \beta X_i + v_{it} \quad \text{Ecuación 3.1.d}$$

$$y_{it} = \beta_0 + \gamma D_{it} + \lambda L + \tau Trend + \delta_1 D_{it} \times L + \delta_2 D_{it} \times Trend + \delta_3 D_{it} \times L \times Trend + E_i + v_{it} \quad \text{Ecuación 3.1.e}$$

Donde:

- y_{it} : logaritmo de la emisión declarada por el establecimiento i en el año t
- D_{it} (suscriptores): desde que el establecimiento i adhiere un APL en el año t (=1, 0 si no)
- $T_{\rho it}$ (persistencia): si el establecimiento i está con suscripción en el año t para el primer, segundo y tercer año luego de haber adherido un APL (=1, 0 si no), donde $\rho \in [1,4]$ años después de la adhesión
- L : desde que se promulga la “ley APL” (=1, 0 si no)
- $Trend$: término de tendencia lineal
- X_i : variables de control para el establecimiento i
- E_i : efecto fijo por establecimiento
- A_t : efecto fijo por año

De acuerdo con este modelo, el coeficiente δ_1 capturará la diferencia entre los tipos de establecimiento después de la promulgación de la ley, el coeficiente δ_2 capturará la diferencia de la tendencia entre los tipos de establecimientos y el coeficiente δ_3 capturará la diferencia de la tendencia entre los tipos de establecimientos después de la promulgación de la ley.

3.2. Propensity Score Matching

Al estar realizando un estudio con datos observacionales las comparaciones directas entre los tipos de establecimientos pueden estar sesgadas, pues los establecimientos pertenecientes a cada grupo difieren sistemáticamente entre ellos. Para reducir el sesgo proveniente de la no aleatorización entre establecimientos suscriptores y no suscriptores, se propone utilizar el modelo de *propensity score matching* descrito por Rosenbaum & Rubin (1983) y seguir la guía de Caliendo & Kopeinig (2008) para conformar los grupos de estudio según un criterio estadístico y así realizar estimaciones adecuadas de los modelos propuestos anteriormente.

3.2.1. Definiciones y propiedades

Propensity Score: sea \mathbf{x} el vector de características observables para un establecimiento y D la variable que distingue entre establecimientos suscriptores y no suscriptores (ambas según lo definido en el capítulo 2). Se define el *propensity score* como la probabilidad de que un establecimiento haya suscrito un APL (independiente de lo observado en la realidad) condicional en sus características \mathbf{x} tal que,

$$e(\mathbf{x}) = \mathbb{P}[D = 1|\mathbf{x}] = \mathbb{E}[D|\mathbf{x}]$$

Independencia condicional: dado un vector de covariables \mathbf{x} que no son afectadas por el hecho de suscribir un APL, los resultados potenciales (en este caso, las emisiones de contaminantes) son independientes de la decisión de suscribir un APL. Esto es,

$$(Y(1), Y(0)) \perp D | \mathbf{x}$$

Para reducir el problema de la dimensionalidad del vector de covariables \mathbf{x}_i , Rosenbaum & Rubin (1983) muestran que, si se cumple lo mencionado anteriormente, entonces también se cumple que,

$$(Y(1), Y(0)) \perp D | e(\mathbf{x})$$

Luego, todo el sesgo proveniente de las características observables de los establecimientos puede eliminarse condicionando en $e(\mathbf{x})$.

Solapamiento: con el objetivo de asegurar que existan establecimientos suscriptores para comparar con establecimientos no suscriptores se debe cumplir que,

$$0 < \mathbb{P}[D = 1|\mathbf{x}] < 1$$

Esta propiedad descarta la perfecta predictibilidad de la variable D dado \mathbf{x} , además de asegurar que establecimientos con el mismo valor de \mathbf{x} tengan una probabilidad positiva de pertenecer al grupo de suscriptores y no suscriptores.

A través de este procedimiento, se logra construir un contrafactual estadísticamente válido que permita realizar una adecuada estimación de los efectos que se evaluarán en este estudio.

3.2.2. Estimación del propensity score

Según Rosenbaum & Rubin (1983), para estimar este coeficiente se puede utilizar cualquier modelo probabilístico tal que,

$$\mathbb{P}[D = 1|x] = F[h(x)]$$

Donde $F[\cdot]$ es una función de distribución y $h(x)$ es una función lineal⁷ de las covariables disponibles. Para efectos de este estudio se realizará una estimación vía *logit* tal que,

$$\mathbb{P}[D = 1|x] = \frac{\exp[h(x)]}{1 + \exp[h(x)]}$$

Sobre las variables que incluir en la función $h(x)$, es necesario que éstas afecten de manera simultánea la decisión de suscribir y la emisión de contaminantes. Además, para cumplir con el supuesto de independencia condicional, las variables a incluir no deben estar afectadas por la decisión de suscribir un APL, por lo tanto, éstas deben ser fijas en el tiempo (ejemplo: características geográficas) o deben haberse medido previo a la adhesión de un acuerdo.

Para efectos de las evaluaciones a realizar, se estimará un *propensity score* para cada año en el periodo de estudio, se ejecutará el *matching* correspondiente y se construirá la submuestra resultante como el total de observaciones que fueron emparejadas en el proceso.

3.2.3. Matching

Existen diferentes metodologías para ejecutar *propensity score matching*, las que dependen de la función para estimar el *propensity score*, la cantidad de observaciones a emparejar y las restricciones impuestas sobre el procedimiento. Sin embargo, existen dos condiciones que deben cumplirse independiente de la metodología que se escoja:

Soportre común: una vez estimado el *propensity score*, cada tipo de establecimiento tendrá su propia distribución para este coeficiente. El procedimiento de *matching* se realiza entre aquellas observaciones que estén dentro de un determinado rango; donde el límite inferior corresponde al mínimo *propensity score* del grupo de establecimientos suscriptores y el límite superior corresponde al máximo *propensity score* del grupo de establecimientos no suscriptores.

⁷ En la literatura se recomienda agregar términos de mayor orden o interacciones entre variables mal balanceadas sólo si resultan ser estadísticamente significativas.

Aleatorización previa: los métodos de *matching* utilizados dependen del orden en que se vayan seleccionando las observaciones del grupo de establecimientos suscriptores, por lo tanto, las observaciones se ordenan de forma aleatoria para no sesgar los resultados obtenidos.

A continuación, se entrega una descripción de los métodos de *matching* utilizados:

Nearest Neighbor (NN): corresponde simplemente a asignar a cada observación del establecimiento suscriptor la(s) observación(es) más cercana(s) (en términos de *propensity score*) de algún establecimiento no suscriptor. Al utilizar este método se define una vecindad de dónde realizar los emparejamientos en función de los *propensity scores* estimados para cada tipo de establecimientos de la siguiente manera,

$$C(P_i) = \min_j \|P_i - P_j\| \quad , \quad j \in I_0$$

Donde P_i y P_j corresponden a los *propensity scores* de los establecimientos suscriptores y no suscriptores, respectivamente; e I_0 es el conjunto de todos los establecimientos no suscriptores.

Kernel Matching (KM): es un método no paramétrico que utiliza un promedio ponderado de todas las observaciones en el grupo de establecimientos no suscriptores para construir el contrafactual, donde las ponderaciones utilizadas dependen de la distancia (en términos de *propensity score*) entre las observaciones de ambos grupos⁸. La función de ponderación utilizada se define de la siguiente manera,

$$W(i, j) = \frac{G\left(\frac{P_j - P_i}{\alpha_n}\right)}{\sum_{k \in I_0} G\left(\frac{P_j - P_i}{\alpha_n}\right)}$$

Donde $G(\cdot)$ es una función de kernel y α_n es un parámetro de ancho de banda. En la especificación más tradicional, $G(\cdot) \in [-1, 1]$ es un kernel gaussiano y la vecindad queda definida como,

$$C(P_i) = \left| \frac{P_j - P_i}{\alpha_n} \right| \leq 1 \quad , \quad j \in I_0$$

De manera adicional y con el objetivo de refinar la búsqueda de candidatos en el grupo de establecimientos no suscriptores a emparejar, a cada método (NN y KM) se le aplicaron las siguientes restricciones:

⁸ A mayor distancia, menos se parecen los *propensity scores* entre las observaciones.

Caliper: aun cuando se impone la condición de soporte común para realizar el *matching*, las observaciones emparejadas pueden ser considerablemente distintas entre sí. Para evitar esto, se impone un nivel de tolerancia correspondiente a 0.25 veces la desviación estándar del *propensity score* respectivo (σ_p). De esta manera, la vecindad quedaría como,

$$\min_j \|P_i - P_j\| \leq \varepsilon \quad , \quad \varepsilon = 0.25\sigma_p$$

Trimming. para evitar emparejar las observaciones con *propensity scores* en los extremos de las distribuciones de cada grupo, lo que llevaría a problemas de interpretación más adelante, sólo se toman en cuenta aquellas observaciones con *propensity scores* en el rango $[0.2; 0.8]$.

Para evaluar la calidad de este procedimiento es importante evaluar los siguientes aspectos:

- Balance de las covariables: una de las principales razones para utilizar *propensity score matching* es la diferencia sistemática que existe entre las características de los grupos de establecimientos suscriptores y no suscriptores. El objetivo de realizar *matching* es construir una submuestra para el grupo control cuya distribución de las características observables sea similar a la del grupo tratamiento.
- Porcentaje de sesgo: en la misma línea del punto anterior, una reducción entre las diferencias de las características observables debería reflejarse en un bajo porcentaje de sesgo resultante luego de haber aplicado la metodología de *matching*. El sesgo se calcula antes y después del *matching* de la siguiente manera,

$$S_{antes} = 100 \cdot \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_0}{\sqrt{\frac{V_1(X) + V_0(X)}{2}}}$$

Ecuación 3.2.a

$$S_{despues} = 100 \cdot \frac{\bar{X}_{1M} - \bar{X}_{0M}}{\sqrt{\frac{V_{1M}(X) + V_{0M}(X)}{2}}}$$

Ecuación 3.2.b

Donde X corresponde a la media y V a la varianza de las covariables. Los subíndices 0 y 1 indican si corresponde al grupo de establecimientos no suscriptores o suscriptores, respectivamente; y el subíndice M indica que corresponden al grupo de establecimientos resultantes del *matching*. Resultados empíricos muestran que porcentajes de sesgo del orden del 5% posteriores al *matching* indican que éste es de buena calidad.

- Tamaño de la submuestra: se debe tomar en cuenta la reducción del tamaño muestral producto de la limitada cantidad de establecimientos suscriptores. Es deseable utilizar una metodología que entregue una submuestra de observaciones emparejadas lo más grande posible, considerando el balance de las covariables y el porcentaje de sesgo.

Capítulo 4

Resultados

4.1. Propensity Score Matching

La **Error! Reference source not found.** muestra los resultados obtenidos al ejecutar cada una de las metodologías de *matching* descritas anteriormente (*nearest neighbor* y *kernel*, ambas utilizando la restricción de *caliper*). Estos resultados permiten evaluar la calidad⁹ de este procedimiento en función del porcentaje de sesgo¹⁰ antes y después de ejecutar el *matching*, y el tamaño de la submuestra resultante.

En cuanto a las funciones utilizadas para estimar los propensity scores, luego de probar diferentes especificaciones, se obtiene que el mejor ajuste (tanto para las emisiones al agua como para las emisiones al aire) es logrado utilizando la siguiente función,

$$h(x_i) = \beta_0 + \eta_1 y_{it-1} + \beta X + \xi_{it}$$

Donde se incluye sólo un rezago de las emisiones (y_{it-1}), además de las características observables de los establecimientos (X_i).

Tabla 4.1.a Calidad de las metodologías de matching

		% sesgo antes	% sesgo después	Observaciones
Agua	NN (1)	25.49	7.44	2386
	Kernel		7.86	6951
Aire	NN (1)	29.29	6.39	3066
	Kernel		5.21	12356

En el Apéndice 4.2.2.C.1 se encuentran los resultados para el resto de las variaciones de las metodologías utilizadas.

De la Tabla 4.1.a se observa que el sesgo porcentual posterior al *matching* sólo logra un valor cercano al 5% para las emisiones al aire, mientras que en el caso de las emisiones al agua esto no se cumple a cabalidad (sesgo porcentual en torno al 7%).

⁹ Ninguna metodología logró un balance de las covariables que fuera consistente en el tiempo.

¹⁰ Se muestra el sesgo promedio de los emparejamientos realizados para cada año del periodo de estudio.

Utilizando dichas metodologías las distribuciones de los *propensity scores* estimados son como se muestra en la Figura 4.1.a. De aquí se observa que al aplicar un *matching* de vecino más cercano (NN (1)) la distribución de los *propensity score* del grupo de establecimientos no suscriptores cambia sustancialmente después del *matching* y se asemeja mucho más a la de los establecimientos suscriptores. Esto no ocurre cuando se utiliza un *matching* de kernel, donde las distribuciones de ambos grupos se mantienen prácticamente inalteradas.

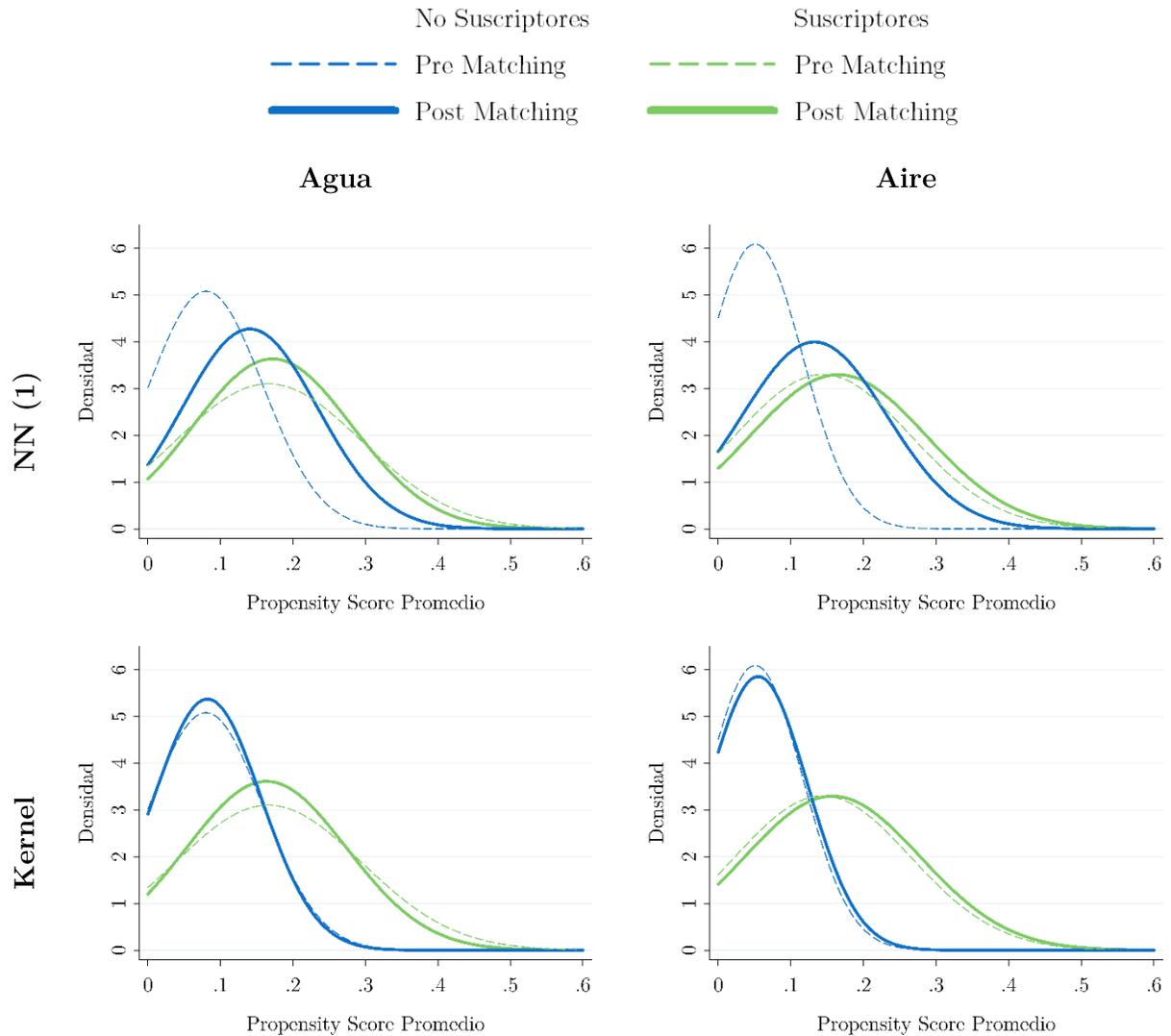


Figura 4.1.a Distribución de los *propensity scores*

Como resultado de este procedimiento, ahora es posible elaborar una comparación entre establecimientos que suscribieron y que no suscribieron un APL, para así examinar gráficamente el impacto de esta política ambiental. A continuación, se muestran gráficos comparando las emisiones promedio de cada tipo de establecimiento declaradas cuatro años antes y cuatro años después del momento de la suscripción, para cada una de las metodologías de matching utilizadas.

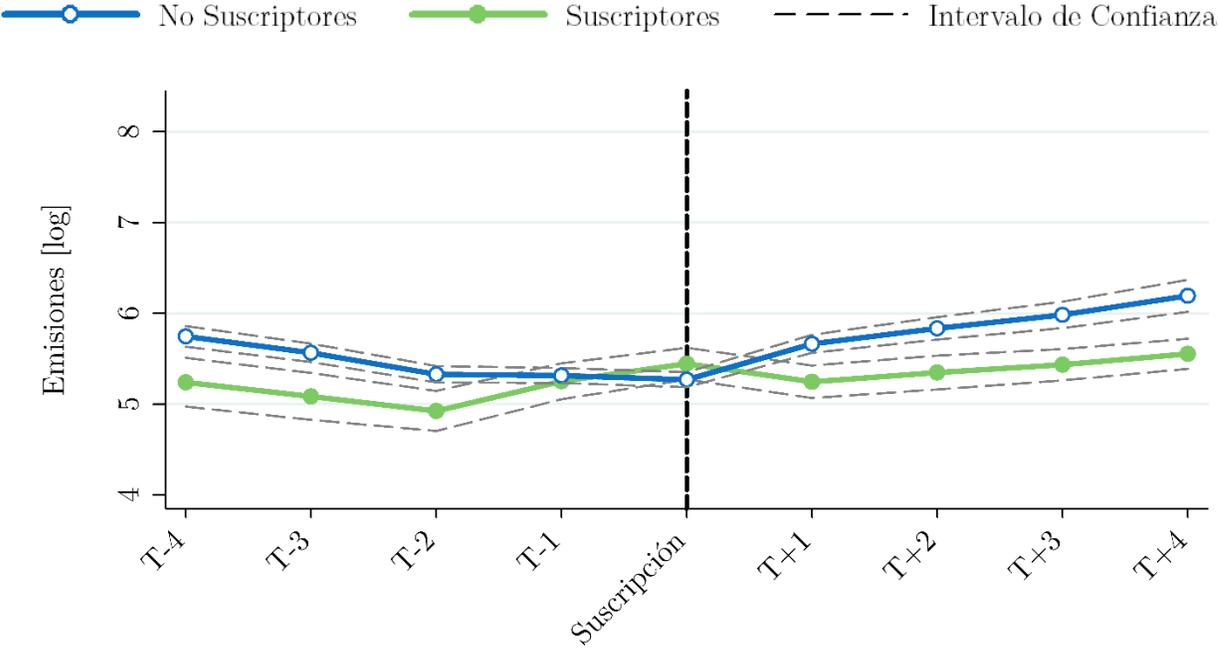


Figura 4.1.b Comparación de emisiones promedio al agua, matching NN(1)

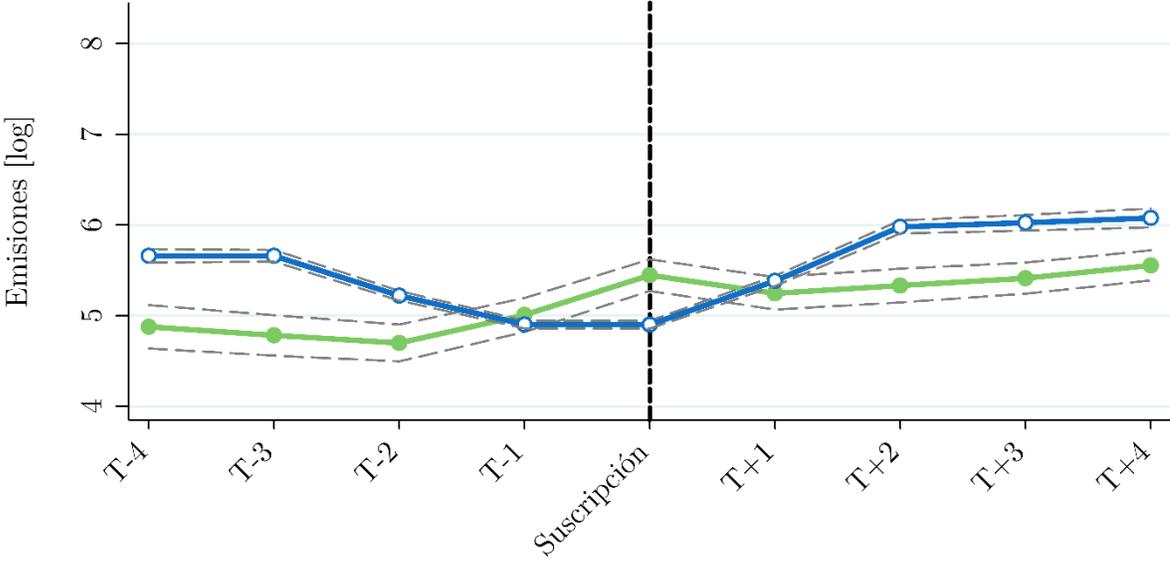


Figura 4.1.c Comparación de emisiones promedio al agua, matching kernel

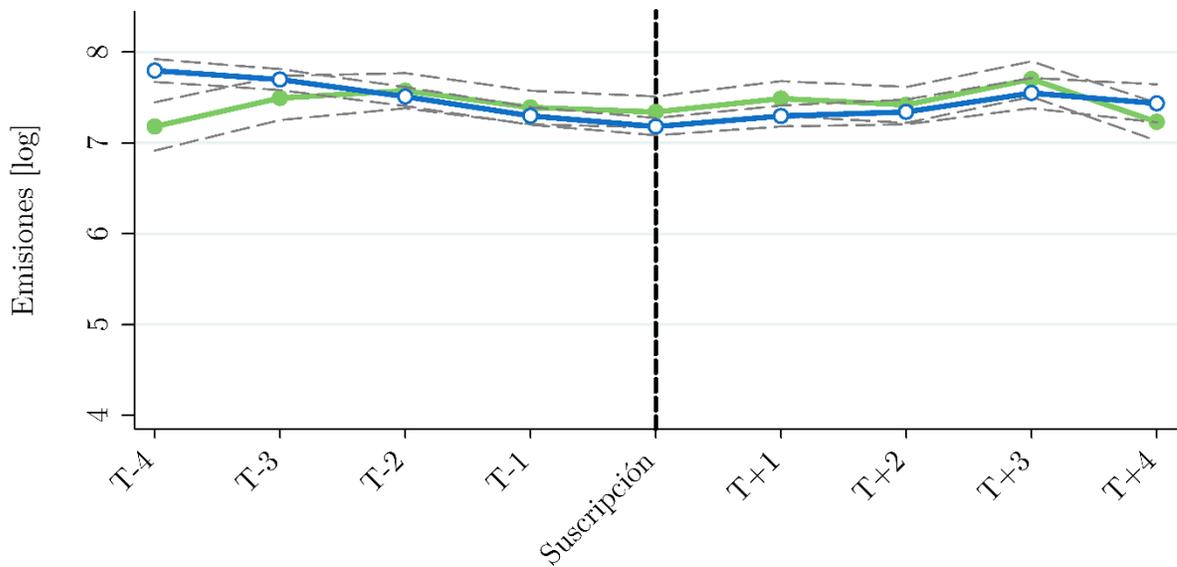


Figura 4.1.d Comparación de emisiones promedio al aire, matching NN(1)

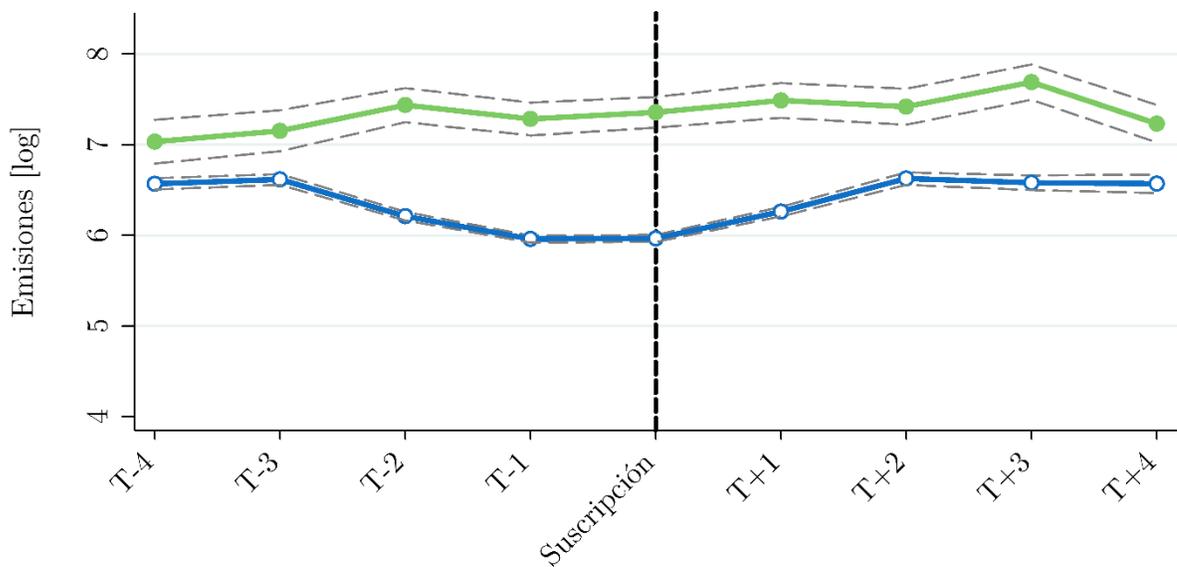


Figura 4.1.e Comparación de emisiones promedio al aire, matching kernel

De las figuras se observa que en ninguno de los casos se cumple que las tendencias entre los tipos de establecimientos previo al momento de la suscripción son paralelas. A pesar de esto, de las figuras Figura 4.1.b y Figura 4.1.c se observa que los establecimientos suscriptores reducen sus emisiones al agua durante el primer año del proceso de APL; mientras que de las figuras Figura 4.1.d y Figura 4.1.e se observa que los establecimientos suscriptores reducen sus emisiones después del tercer año del proceso de APL.

4.2. Evaluaciones de impacto

4.2.1. Efectividad de los APL

En la Tabla 4.2.a se muestran los resultados correspondientes a los modelos que buscan evaluar la efectividad de los APL utilizando como variable dependiente el logaritmo de las emisiones (Ecuación 3.1.b) y el rezago de un periodo del logaritmo de las emisiones (Ecuación 3.1.c) incluyendo efectos fijos a nivel de establecimiento y año. Además, los resultados se muestran de manera agrupada para las emisiones al agua y al aire.

Los resultados de estimar la Ecuación 3.1.b indican que, para las emisiones al agua, existen reducciones estadísticamente significativas de un 30% y 40% durante el primer y segundo año del proceso de APL, respectivamente. Las reducciones observadas durante el tercer año del proceso no son significativas, mientras que durante el cuarto año del proceso el efecto desaparece. Por otro lado, para las emisiones al aire existen reducciones durante el segundo y cuarto año del proceso de APL; sin embargo, estas no son estadísticamente significativas.

Los resultados de estimar la Ecuación 3.1.c indican que para el caso de las emisiones al agua se observa una pérdida de significancia estadística para los coeficientes correspondientes a los dos primeros años del proceso de APL. Por otro lado, para las emisiones al aire sigue sin haber significancia estadística.

Respecto al sesgo de selección, se observa que para el caso de las emisiones al agua las diferencias entre los grupos¹¹ no son significativas. Esto implica que a través de las metodologías de *matching* no se observan diferencias significativas entre los grupos (similar a un experimento con asignación aleatoria). No es posible afirmar lo mismo para el caso de las emisiones al aire, se observa que las diferencias entre grupos persisten aún en los escenarios de *matching*.

En el Apéndice 4.2.2.C.2 se muestran los resultados de las estimaciones de estos modelos en el escenario sin *matching*, además de las estimaciones correspondientes a la Ecuación 3.1.a.

¹¹ Capturada en el coeficiente asociado a *Suscriptores*.

Tabla 4.2.a Efectividad de los APL por tipo de emisiones

Tipo de Emisiones	AGUA				AIRE			
V. Dependiente	y_{it}		Δy_{it}		y_{it}		Δy_{it}	
Tipo de Matching	Kernel	NN (1)	Kernel	NN (1)	Kernel	NN (1)	Kernel	NN (1)
Suscriptores ¹	0.088 (0.76)	0.091 (0.78)	-0.120 (0.79)	-0.153 (0.99)	-0.183 (2.12)**	-0.159 (1.78)*	-0.186 (1.92)*	-0.189 (1.89)*
1 año después	-0.329 (3.00)**	-0.360 (3.28)**	-0.067 (0.32)	-0.078 (0.37)	0.031 (0.28)	0.026 (0.24)	0.105 (0.67)	0.179 (1.13)
2 años después	-0.409 (3.65)**	-0.427 (3.76)**	-0.270 (1.47)	-0.268 (1.44)	-0.071 (0.65)	-0.063 (0.58)	0.070 (0.52)	0.117 (0.87)
3 años después	-0.033 (0.27)	-0.093 (0.74)	0.258 (1.38)	0.219 (1.18)	0.059 (0.50)	0.054 (0.44)	0.358 (2.35)**	0.417 (2.69)**
4 años después	0.177 (1.24)	0.123 (0.85)	-0.108 (0.57)	-0.128 (0.67)	-0.183 (1.23)	-0.176 (1.15)	-0.168 (1.00)	-0.043 (0.26)
Observaciones	33,916	12,924	22,922	9,353	64,924	19,413	45,958	14,574
R^2	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01

Notas:

* $p < 0.10$; ** $p < 0.05$, estadístico t entre paréntesis, efectos fijos a nivel de establecimiento (E_i) y año (A_t) incluidos

¹Suscriptores: D=1 si suscribió, 0 si no

En la Tabla 4.2.b y Tabla 4.2.c se muestran los resultados correspondientes al modelo que busca evaluar la efectividad de los APL utilizando como variable dependiente el logaritmo de las emisiones y que incluye efectos fijos a nivel de establecimiento y año (Ecuación 3.1.b). Los resultados se muestran de manera agrupada por rubro primario para las emisiones al agua y al aire, respectivamente.

Para el caso de las emisiones al agua, se observan reducciones en distintos momentos del proceso de APL, las que varían en magnitud y significancia dependiendo del rubro como se detalla a continuación:

Agricultura: reducciones significativas de un 70% y 60% durante el primer y segundo año del proceso de APL, respectivamente.

Manufactura no metálica: reducciones significativas de un 40% y 30% durante el segundo y tercer año del proceso de APL, respectivamente.

Manufactura metálica: reducciones significativas de un 80% y 70% durante el primer y segundo año del proceso de APL, respectivamente

Para el caso de las emisiones al aire, solamente se observan reducciones significativas para el rubro de agricultura, las cuales son de un 60% y un 90% el primer y segundo año del proceso de APL, respectivamente.

Respecto al sesgo de selección, se observa que para las emisiones al agua las diferencias entre grupos persisten en los rubros de agricultura y pesca; mientras que en el caso de las emisiones al aire sólo persisten en el rubro de pesca. En el resto de los casos las metodologías de *matching* habrían logrado atenuar este problema.

En el Apéndice 4.2.2.C.2 se muestran los resultados de las estimaciones de estos modelos en el escenario sin *matching*, además de las estimaciones correspondientes a la Ecuación 3.1.a.

Tabla 4.2.b Efectividad de los APL por rubro primario, emisiones al agua

Tipo de Matching	Kernel				NN (1)			
	(A)	(B)	(C)	(D)	(A)	(B)	(C)	(D)
Suscriptores ¹	0.979 (3.74)**	-1.085 (2.05)**	0.097 (0.83)	-0.514 (1.18)	1.016 (3.84)**	-1.185 (2.39)**	0.069 (0.58)	-0.568 (1.29)
1 año después	-0.760 (2.46)**	-0.872 (1.81)*	-0.096 (0.84)	-0.824 (2.29)**	-0.792 (2.54)**	-0.968 (1.93)*	-0.140 (1.23)	-0.810 (2.15)**
2 años después	-0.596 (2.00)**	-1.147 (1.49)	-0.418 (3.69)**	-0.750 (2.97)**	-0.619 (2.02)**	-1.027 (1.33)	-0.430 (3.71)**	-0.681 (2.50)**
3 años después	-0.118 (0.35)	-0.488 (1.15)	-0.320 (2.65)**	1.388 (2.60)**	-0.206 (0.60)	-0.641 (1.42)	-0.397 (3.19)**	1.533 (2.79)**
4 años después	-0.038 (0.10)	-0.186 (0.48)	0.353 (2.17)**	0.834 (1.55)	-0.097 (0.26)	-0.054 (0.13)	0.279 (1.67)*	0.893 (1.73)*
Observaciones	3,480	4,224	16,128	3,259	2,090	1,240	6,926	1,213
R^2	0.04	0.07	0.05	0.06	0.04	0.14	0.06	0.08

Notas:

* $p < 0.10$; ** $p < 0.05$, estadístico t entre paréntesis, efectos fijos a nivel de establecimiento (E_i) y año (A_t) incluidos

¹Suscriptores: D=1 si suscribió, 0 si no

²Rubros: (A) Agricultura; (B) Pesca; (D) Manufactura No Metálica; (E) Manufactura Metálica

Tabla 4.2.c Efectividad de los APL por rubro primario, emisiones al aire

Tipo de Matching	Kernel				NN (1)			
	(A)	(B)	(C)	(D)	(A)	(B)	(C)	(D)
Suscriptores ¹	0.028 (0.25)	-0.884 (4.63)**	-0.171 (1.24)	-0.437 (1.25)	-0.122 (0.96)	-0.756 (3.44)**	-0.151 (1.06)	-0.149 (0.42)
1 año después	-0.590 (2.66)**	1.342 (6.23)**	0.188 (1.33)	0.536 (1.22)	-0.596 (2.75)**	1.290 (5.85)**	0.250 (1.73)*	0.300 (0.68)
2 años después	-0.865 (3.91)**	0.776 (4.66)**	0.178 (1.16)	-0.022 (0.05)	-0.901 (4.01)**	0.888 (4.54)**	0.257 (1.66)*	0.065 (0.16)
3 años después	-1.268 (4.80)**	1.288 (6.21)**	0.282 (1.74)*	0.722 (1.26)	-1.373 (4.88)**	1.188 (5.18)**	0.349 (2.11)**	0.186 (0.32)
4 años después	-1.129 (3.75)**	1.293 (5.18)**	-0.219 (1.00)	0.717 (1.13)	-1.237 (3.91)**	1.409 (4.96)**	-0.126 (0.56)	0.342 (0.51)
Observaciones	8,141	6,600	34,573	3,832	4,392	1,815	10,347	1,254
R^2	0.02	0.04	0.01	0.08	0.03	0.07	0.03	0.06

Notas:

* $p < 0.10$; ** $p < 0.05$, estadístico t entre paréntesis, efectos fijos a nivel de establecimiento (E_i) y año (A_t) incluidos

¹Suscriptores: D=1 si suscribió, 0 si no

²Rubros: (A) Agricultura; (B) Pesca; (D) Manufactura No Metálica; (E) Manufactura Metálica

4.2.2. Promulgación de Ley APL

En la Tabla 4.2.d se muestran los resultados correspondientes al modelo que busca evaluar el impacto de la Ley APL utilizando como variable dependiente el logaritmo de las emisiones y que incluye efectos fijos a nivel de establecimiento y año (Ecuación 3.1.e). Además, los resultados se muestran de manera agrupada para las emisiones al agua y al aire.

Los resultados de estimar la Ecuación 3.1.e indican que para las emisiones al agua existen reducciones estadísticamente significativas de un 80% posterior a la promulgación de la Ley APL. Sin embargo, se observa también que los coeficientes correspondientes a la interacción Suscriptores \times Ley y Suscriptores \times Ley \times Tendencia son ambos significativos y con signos distintos, indicando que no se cumple el supuesto de tendencias paralelas antes de la promulgación de la Ley APL y, por lo tanto, no se puede asegurar que las reducciones observadas se deban a la promulgación de dicha norma. Por otro lado, para las emisiones al aire no es posible observar una reducción de las emisiones producto de la promulgación de la Ley APL.

En la Tabla 4.2.e y Tabla 4.2.f se muestran los resultados correspondientes al modelo que busca evaluar el impacto de la Ley APL utilizando como variable dependiente el logaritmo de las emisiones y que incluye efectos fijos a nivel de establecimiento y año (Ecuación 3.1.e). Además, los resultados se muestran de manera agrupada por rubro primario para las emisiones al agua y al aire, respectivamente.

Para el caso de las emisiones al agua, se observa que existen reducciones significativas para posterior a la promulgación de la Ley APL en los rubros de manufactura metálica y no metálica. Sin embargo, al igual que en el caso anterior, los coeficientes asociados a las interacciones Suscriptores \times Ley y Suscriptores \times Ley \times Tendencia indican que no se cumple el supuesto de tendencias paralelas y, por lo tanto, no es posible atribuir a la promulgación de esta norma las reducciones observadas.

Para el caso de las emisiones al aire, no es posible observar una reducción de las emisiones producto de la promulgación de la Ley APL en ninguno de los rubros incluidos en el estudio.

En el Apéndice C.2 se muestran los resultados de las estimaciones de estos modelos en el escenario sin *matching*.

Tabla 4.2.d Impacto de Ley APL por tipo de emisiones

Tipo de Emisiones	AGUA		AIRE	
	Kernel	NN (1)	Kernel	NN (1)
Suscriptores ¹	-0.660 (2.20)**	-0.532 (1.75)*	-0.092 (0.32)	0.075 (0.26)
Ley	-0.872 (12.01)**	-0.854 (7.46)**	0.505 (7.16)**	1.353 (9.88)**
Tendencia	-0.032 (2.55)**	0.004 (0.22)	0.025 (2.95)**	0.079 (4.44)**
Suscriptores × Ley	0.636 (1.96)*	0.619 (1.84)*	-0.140 (0.41)	-1.005 (2.81)**
Suscriptores × Tendencia	0.225 (3.70)**	0.189 (3.05)**	0.031 (0.53)	-0.025 (0.41)
Ley × Tendencia	0.127 (9.25)**	0.106 (5.03)**	-0.095 (8.17)**	-0.233 (9.78)**
Suscriptores × Ley × Tendencia	-0.229 (3.55)**	-0.208 (3.14)**	-0.040 (0.62)	0.102 (1.51)
Constante	5.422 (100.11)**	5.460 (67.75)**	6.526 (172.77)**	7.463 (99.53)**
Observaciones	35,160	14,167	66,474	20,963
R^2	0.02	0.02	0.01	0.02

Notas:

*p<0.10; **p<0.05, estadístico t entre paréntesis, efectos fijos a nivel de establecimiento (E_i) y año (A_t) incluidos

¹Suscriptores: D=1 si suscribió, 0 si no

²Ley: L=1 si es periodo de ley, 0 si no

Tabla 4.2.e Impacto de Ley APL por rubro primario, emisiones al agua

Tipo de Matching	Kernel				NN (1)			
	(A)	(B)	(C)	(D)	(A)	(B)	(C)	(D)
Suscriptores ¹	0.581 (0.76)	-3.314 (3.40)**	-0.319 (0.84)	-2.898 (5.32)**	0.742 (0.95)	-4.443 (4.03)**	-0.105 (0.27)	-2.866 (5.03)**
Ley	-0.434 (1.76)*	0.544 (1.51)	-1.310 (13.29)**	-1.289 (6.13)**	-0.350 (1.10)	-1.724 (2.92)**	-1.112 (7.56)**	-1.250 (3.27)**
Tendencia	-0.074 (1.72)*	0.199 (2.73)**	-0.042 (2.75)**	-0.111 (4.24)**	-0.026 (0.48)	-0.038 (0.32)	0.017 (0.74)	-0.102 (2.31)**
Suscriptores × Ley	-0.297 (0.34)	1.262 (1.78)*	-0.033 (0.08)	3.263 (4.66)**	-0.380 (0.43)	3.531 (4.14)**	-0.240 (0.54)	3.226 (4.18)**
Suscriptores × Tendencia	0.152 (1.00)	0.481 (3.09)**	0.089 (1.22)	0.795 (6.73)**	0.104 (0.66)	0.718 (3.97)**	0.028 (0.38)	0.786 (6.37)**
Ley × Tendencia	0.084 (1.79)*	-0.125 (1.62)	0.184 (10.16)**	0.196 (5.34)**	0.046 (0.76)	0.238 (1.90)*	0.132 (4.85)**	0.188 (2.89)**
Suscrip × Ley × Tendencia	-0.112 (0.67)	-0.404 (2.53)**	-0.059 (0.75)	-0.876 (6.01)**	-0.074 (0.43)	-0.767 (4.06)**	-0.003 (0.04)	-0.869 (5.57)**
Constante	5.466 (27.67)**	5.253 (16.20)**	4.967 (78.68)**	4.676 (46.57)**	5.505 (22.48)**	6.933 (12.26)**	4.916 (51.83)**	5.324 (30.03)**
Observaciones	3,690	4,373	16,666	3,348	2,300	1,389	7,463	1,302
R^2	0.01	0.04	0.03	0.04	0.01	0.08	0.03	0.05

Notas:

*p<0.10; **p<0.05, estadístico t entre paréntesis, efectos fijos a nivel de establecimiento (E_i) y año (A_t) incluidos

¹Suscriptores: D=1 si suscribió, 0 si no

²Ley: L=1 si es periodo de ley, 0 si no

³Rubros: (A) Agricultura; (B) Pesca; (D) Manufactura No Metálica; (E) Manufactura Metálica

Tabla 4.2.f Impacto de Ley APL por rubro primario, emisiones al aire

Tipo de Matching	Kernel				NN (1)			
	(A)	(B)	(C)	(D)	(A)	(B)	(C)	(D)
Suscriptores ¹	2.075 (2.96)**	-0.581 (1.09)	-0.122 (0.29)	-2.027 (2.44)**	2.255 (3.24)**	-0.164 (0.28)	-0.048 (0.11)	-1.869 (2.18)**
Ley	1.209 (5.25)**	1.565 (7.49)**	0.743 (7.88)**	-1.109 (3.32)**	2.019 (5.99)**	2.151 (4.89)**	1.499 (8.56)**	-0.134 (0.21)
Tendencia	0.118 (4.72)**	0.150 (4.76)**	0.048 (5.19)**	-0.255 (5.41)**	0.183 (3.90)**	0.257 (4.00)**	0.073 (3.55)**	-0.217 (2.68)**
Suscriptores × Ley	-3.151 (3.66)**	-2.265 (2.79)**	-0.128 (0.28)	2.835 (2.42)**	-3.960 (4.51)**	-2.804 (3.12)**	-0.879 (1.83)*	1.747 (1.37)
Suscriptores × Tendencia	-0.519 (3.27)**	-0.025 (0.19)	0.040 (0.48)	0.744 (5.24)**	-0.583 (3.68)**	-0.132 (0.93)	0.014 (0.17)	0.705 (4.50)**
Ley × Tendencia	-0.215 (6.45)**	-0.276 (7.26)**	-0.141 (9.51)**	0.215 (3.31)**	-0.328 (6.01)**	-0.415 (5.19)**	-0.255 (8.48)**	0.062 (0.52)
Suscrip × Ley × Tendencia	0.536 (3.19)**	0.315 (2.07)**	-0.029 (0.32)	-0.849 (4.84)**	0.651 (3.85)**	0.448 (2.66)**	0.087 (0.92)	-0.683 (3.43)**
Constante	6.467 (46.47)**	6.760 (52.45)**	6.362 (157.30)**	7.157 (41.77)**	6.860 (30.15)**	7.261 (27.79)**	7.461 (92.86)**	7.679 (27.18)**
Observaciones	8,787	6,666	35,222	3,907	5,038	1,881	10,996	1,329
R^2	0.02	0.02	0.01	0.05	0.03	0.04	0.03	0.06

Notas:

*p<0.10; **p<0.05, estadístico t entre paréntesis, efectos fijos a nivel de establecimiento (E_i) y año (A_t) incluidos

¹Suscriptores: D=1 si suscribió, 0 si no

²Ley: L=1 si es periodo de ley, 0 si no

²Rubros: (A) Agricultura; (B) Pesca; (D) Manufactura No Metálica; (E) Manufactura Metálica

Conclusiones y trabajos futuros

El trabajo realizado estudia dos aspectos relacionados a los Acuerdos de Producción Limpia (APL): su capacidad para prevenir y minimizar la contaminación (objetivos principales de esta política ambiental) y el impacto que tuvo la promulgación de la Ley APL. Utilizando información recabada por el Ministerio del Medioambiente (a través del RETC) y la Agencia de Sustentabilidad de Cambio Climático (ASCC), se conforma un panel con las emisiones declaradas (específicamente de contaminantes al agua y al aire) a nivel de establecimiento desde el año 2005 hasta el año 2015.

El principal problema para evaluar esta política es el sesgo de selección inherente a los acuerdos de naturaleza voluntaria, el cual pone en duda la causalidad atribuible a este tipo de políticas. En este caso particular, la decisión de suscribir un APL es endógena (podrían existir varios factores que lleven a los establecimientos a formar parte de estos acuerdos), lo que impide determinar si los resultados observados se deben a la suscripción de APL o si dado las emisiones que declaran los establecimientos es que deciden suscribir un acuerdo en primer lugar.

Para hacerse cargo del problema del sesgo de selección, se estimaron *propensity scores* utilizando diferentes funciones $h(x_i)$ donde se incluyeron las características observables de los establecimientos y rezagos de las emisiones declaradas. Una vez estimados estos coeficientes se utilizaron dos alternativas de *propensity score matching* para formar grupos de comparación estadísticamente similares: *nearest neighbor* y *kernel*. Respecto a la calidad de este procedimiento la literatura recomienda realizar *t-test* para determinar el balance entre las covariables incluidas en las respectivas metodologías. Sin embargo, al realizar este procedimiento para los diferentes años del panel, los resultados de los *t-test* variaban de un año a otro y fue imposible unificar un criterio en base a éstos. Como alternativa al *t-test*, se procede a calcular el sesgo porcentual promedio en los escenarios antes y después del *matching* (Ecuación 3.2.a y Ecuación 3.2.b), donde la literatura indica que un sesgo del 5% es adecuado. Los mejores resultados se obtuvieron al incluir en la función $h(x_i)$ las características observables de los establecimientos y el rezago de un periodo de las emisiones declaradas.

De la Tabla 4.1.a se observa que sólo utilizando la metodología de kernel en las emisiones al aire se logra el estándar establecido en la literatura, mientras que en los otros escenarios los resultados están ligeramente por sobre este 5%. De la Figura 4.1.a se observa que, al utilizar la metodología de *nearest neighbor*, la distribución de los *propensity scores* es bastante similar entre los tipos de establecimientos (suscriptores y no suscriptores), pero la desventaja es que el tamaño muestral disminuye considerablemente. En cambio, al utilizar la metodología de kernel la distribución de los *propensity scores* no varía considerablemente respecto a la situación antes del *matching*, pero el tamaño muestral se mantiene alto.

En cuanto a la efectividad de los APL, los resultados agrupando por tipo de contaminante indican que sólo existen reducciones significativas en las emisiones de contaminantes al agua y éstas sólo se presentan durante los primeros dos años del proceso de APL ¿Por qué sólo se identifican reducciones significativas en las emisiones al agua? Podría explicarse por el tipo de metas y acciones que se fijan para poder controlar este tipo de emisiones, las cuales suelen ser más fáciles de aplicar y medir que aquellas destinadas a controlar las emisiones al aire. Por ejemplo, para controlar las emisiones al agua bastaría con instalar un filtro en alguna tubería particular, mientras que para controlar las emisiones al aire habría que cambiar una turbina completa¹² ¿Por qué sólo durante los primeros dos años? Una explicación podría ser que durante estos años es donde los establecimientos levantan y ponen en práctica todos los procesos orientados a cumplir el APL, mientras que en los años posteriores sólo realizan procesos de seguimiento y control. Por otra parte, se observa que cuando se utiliza como variable dependiente el rezago de un periodo del logaritmo de las emisiones, la significancia estadística obtenida anteriormente desaparece ¿Qué implica esto? Que el nivel de las emisiones debe ser tomado en cuenta al momento de evaluar el impacto de esta política.

En cuanto a la efectividad de los APL, los resultados agrupando por rubro primario indican que sólo existen reducciones significativas en los sectores de agricultura y manufactura (metálica y no metálica) para las emisiones al agua, y sólo en el sector de agricultura para las emisiones al aire. Esta diferencia podría explicarse por la inexistencia de metas asociadas a controlar las emisiones al agua o aire en los rubros donde no se encuentra efecto. Al igual que en el caso anterior, al utilizar el rezago de las emisiones

¹² Este ejemplo proviene de discusiones con trabajadores de la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático.

como variable dependiente la significancia estadística se pierde. Es decir, a nivel de rubro primario, el nivel de las emisiones declaradas es relevante para la evaluación de impacto.

Respecto al impacto de la promulgación de la Ley APL, los resultados (independiente del nivel de agrupación de las emisiones) indican que sólo existen reducciones en el caso de las emisiones al agua en el periodo posterior a la entrada en vigor de esta norma. Sin embargo, existe un problema en cuanto a las tendencias entre los grupos de estudio previas a la promulgación de la Ley APL (manifestada en los coeficientes asociados a las interacciones *Suscriptores* \times *Ley* y *Suscriptores* \times *Ley* \times *Tendencia*), que impide determinar si las reducciones observadas se deben a la proclamación de esta ley.

Si bien las metodologías de *propensity score matching* intentan resolver el problema de sesgo de selección, existen limitaciones que impiden resolver este problema a cabalidad. Una de las principales limitaciones es la calidad de la información utilizada, donde la cantidad de valores perdidos y la falta de covariables relevantes perjudicaron las estimaciones de *propensity scores* y posterior aplicación de *matching*, pues existieron emparejamientos entre observaciones de distinto tipo de contaminante/rubro, las que podrían no ser comparables. Por otra parte, las vagas definiciones de acciones y metas dentro de los APL y la falta de una unidad de medida estandarizada no permiten unificar un criterio cuantitativo de comparación para evaluar la efectividad de esta política. A pesar de lo anterior, este estudio sirve como aproximación del efecto de esta política que hasta el momento no existía. Tomando en cuenta lo anterior, se recomienda lo siguiente:

- Mejorar la calidad de la información existente dentro de la Agencia en cuanto a las fechas de inicio, término y certificación de los APL suscritos, financiamiento otorgado, niveles de cumplimiento, entre otros. Esto permitiría definir nuevas variables y así extender los modelos planteados en este trabajo.
- Ser más exigentes con la definición de metas y acciones que se estipulan dentro de un APL, para así cuantificar de mejor manera el efecto de esta política.
- Definir una unidad de medida estandarizada que permita comparar los resultados obtenidos para los diferentes tipos de contaminantes y rubros. Si bien en este estudio se utilizaron los datos de emisiones medidos en toneladas/año, es importante considerar algún índice de peligrosidad o grado de concentración de los contaminantes emitidos, pues son parámetros importantes al momento de analizar una política ambiental.
- Donde sea factible, realizar experimentos de campo para así poder eliminar el sesgo de selección inherente a los APL.

Trabajos futuros

Respecto a la calidad de la información disponible, actualmente la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático está trabajando en levantar una plataforma que les permita sistematizar toda la información relativa a la gestión de los APL, lo que facilitaría el trabajo de todas las partes involucradas en el proceso. Condicional en la implementación de esta mejora, se muestra a continuación una lista de posibles extensiones de este trabajo:

- Si bien en este trabajo se utilizó como variable de tratamiento la suscripción de APL, una alternativa sería utilizar la certificación en su lugar. Una pregunta interesante al respecto sería determinar la probabilidad de certificarse dado que se inició el proceso de APL, controlando por diferentes características de los establecimientos.
- Otro aspecto que sería interesante de investigar tiene relación con los fondos otorgados para subvencionar distintas etapas de los APL. Podría modelarse el grado de tratamiento en función del financiamiento otorgado y ver cómo esto influye en las emisiones declaradas por los establecimientos.
- Para garantizar resultados comparables, se podrían restringir los emparejamientos a observaciones de un mismo tipo de contaminante/rubro y posteriormente estimar los modelos econométricos bajo la misma restricción.

Por otro lado, los APL podrían ser evaluados en una dimensión distinta a la de reducción de emisiones. En ese caso, una extensión del trabajo realizado sería definir una unidad de bienestar que permita realizar una comparación entre distintos tipos de APL, tipos de contaminantes o tipos de industrias

Bibliografía

- Bizer, K., & Jülich, R. (1999). Voluntary Agreements - Trick or Treat. *European Environment*, 59-66.
- Bjørner, T., & Jensen, H. (2002). Energy taxes, Voluntary Agreements and Investment Subsidies -- A micro-panel Analysis of the effect on Danis industrial companies' energy demand. *Resource and Energy Economics*, 229-249.
- Caliendo, M., & Kopeinig, S. (2008). Some practical guidance for the implementation of propensity score matching. *Journal of economic surveys*, 31-72.
- Comité Interministerial de Desarrollo Productivo. (1998). *Política de Fomento a la Producción Limpia*. Santiago.
- Conniffe, D., Gash, V., & O'Connell, P. (2000). Evaluating State Programmes: "Natural Experiments" and Propensity Scores. *The Economic and Social Review*, 283-308.
- Consejo Nacional de Producción Limpia. (2016). *¿Qué es Producción Limpia?* Obtenido de <http://www.cpl.cl/QueEsProduccionLimpia/>
- Croci, E. (2006). *The handbook of environmental voluntary agreements: Design, implementation and evaluation issues*. Dordrecht: Springer.
- De Clercq, M., & Bracke, R. (2005). On the Assesment of Environmental Voluntary Agreements in Europe. In E. Croci, *The Handbook of Environmental Voluntary Agreements*. Dordrecht: Springer.
- Delmas, M., & Terlaak, A. (2001). A Framework for Analyzing Environmental Voluntary Agreements. *California Management Review*, 44-63.
- Hartman, R. (1988). Self-Selection Bias in the Evaluation of Voluntary Energy Conservation Programs. *The Reviews of Economics and Statistics*, 448-458.
- Instituto Nacional de Normalización. (abril de 2009). NCh 2797: Acuerdos de Produccion Limpia (APL) - Especificaciones. Chile.
- Jiménez, O. (2007). Voluntary Agreements in Environmental Policy: An Empirical Evaluation for the Chilean Case. *Journal of Cleaner Production*, 620-637.
- Lyon, T., & Maxwell, J. (1999). Voluntary Approaches to Environmental Regulation: A Survey. In M. Franzini, & A. Nicita, *Economics Institutions and Environmental Policy* (pp. 142-174).

Ministerio del Medioambiente. (2016). Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes. Santiago, Chile.

OCDE. (2003). Two Canadian Cases: the ARET program and the environmental agreement with "Dofasco Inc.". In *Voluntary Approaches for Environmental Policy* (pp. 28-31).

OCDE. (2003). Two United States Cases: the experience of Intel Corporation and Merck Pharmaceuticals in Project XL. En *Voluntary Approaches for Environmental Policy* (págs. 37-39).

Rosenbaum, P., & Rubin, D. (1983). The Central Role of the Propensity Score in Observational Studies for Causal Effects. *Biometrika*, 41-55.

Smith, J., & Todd, P. (2005). Does matching overcome LaLonde's critique of nonexperimental estimators? *Journal of Econometrics*, 305-353.

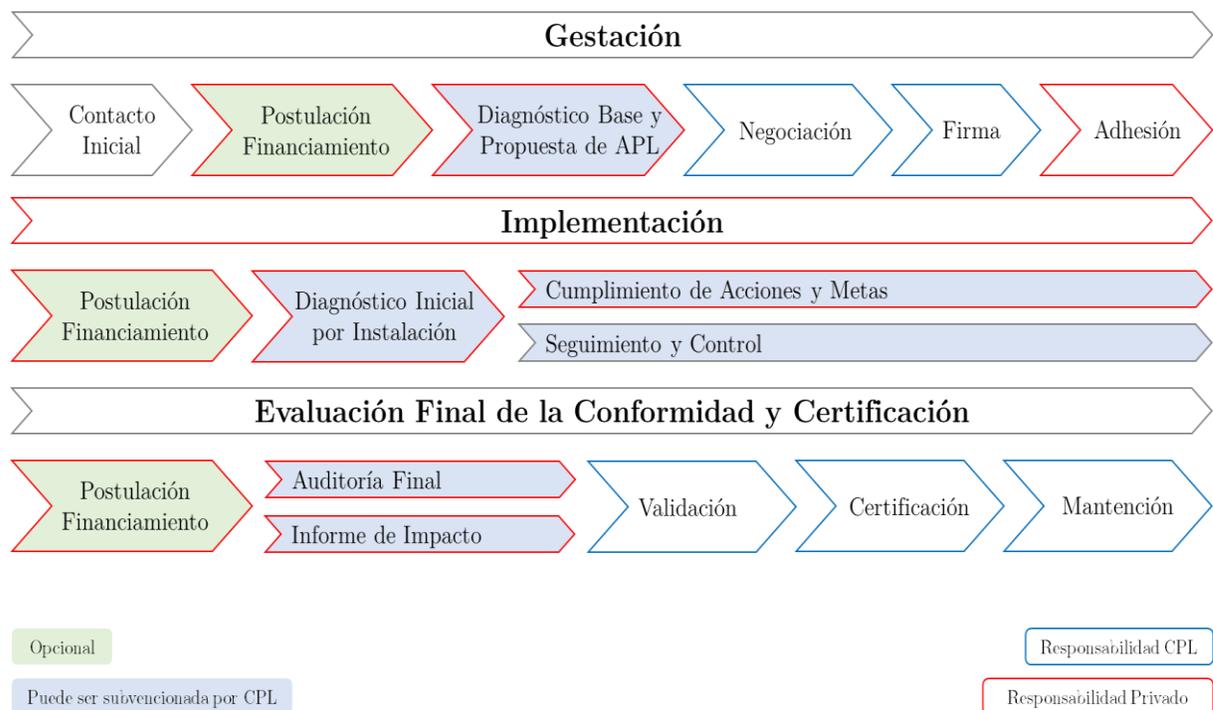
Apéndice A

Antecedentes

A continuación, se muestran los antecedentes relevantes relativos a los Acuerdos de Producción Limpia (APL) y el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC).

A.1 Procedimiento de suscripción de APL

Figura A.1.i Etapas y procesos de un APL



Fuente: Adaptado de Norma Chilena N°2797

A.2 Compromisos y acciones definidas en un APL

Figura A.2.i Ejemplo de compromisos definidos en APL

Compromisos

Los siguientes son los compromisos generales que las partes firmantes subscribieron:

En residuos sólidos

Contar en todos los planteles con un sistema de manejo y disposición adecuado para todos los residuos sólidos generados, considerando medidas tales como, minimización, recolección, segregación, almacenamiento, transporte y registro.

En Residuos Industriales Líquidos

Implementar, en el 100% de los planteles, medidas para impedir la contaminación de aguas superficiales y subterráneas mediante la elaboración, aprobación e implementación, cuando proceda, de un proyecto de aplicación de residuos líquidos o purines al suelo.

En olores y vectores

Contar con un plan de prevención y control de olores y vectores.

Fuente: Informe Final APL sector productores de cerdos, 2005

Figura A.2.ii Ejemplo de acciones definidas en APL

Todos los residuos

- xii. Se deberá llevar un registro que identifique el tipo de residuo almacenado, su cantidad y características. Dicha información deberá mantenerse a disposición del organismo fiscalizador conforme a formatos a elaborar previamente

Acciones sobre residuos líquidos

- xiii. Implementar sistemas de lavado que minimicen la generación de residuos industriales líquidos
- xiv. Limpieza inicial en seco, sistema de lavado de alta presión, limpieza sistema de bebedores (planteles pequeños)
- xv. Cumplimiento normas SISS descarga a curso de aguas superficial

Acciones en olores y vectores

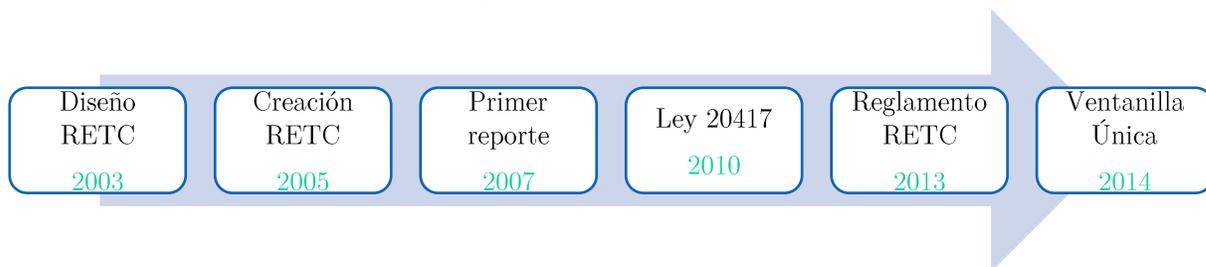
Olores

- xvi. Existencia de un Plan de control de olores
- xvii. Implementar un programa de limpieza y aseo frecuente a instalaciones tanto en el interior como en el exterior de los planteles.
- xviii. Crear cortinas vegetales en los puntos de impacto de los vientos dominantes hacia sectores poblados o viviendas aisladas mediante la utilización de árboles y arbustos aromáticos, preferentemente nativos

Fuente: Informe Final APL sector productores de cerdos, 2005

A.3 Evolución del RETC

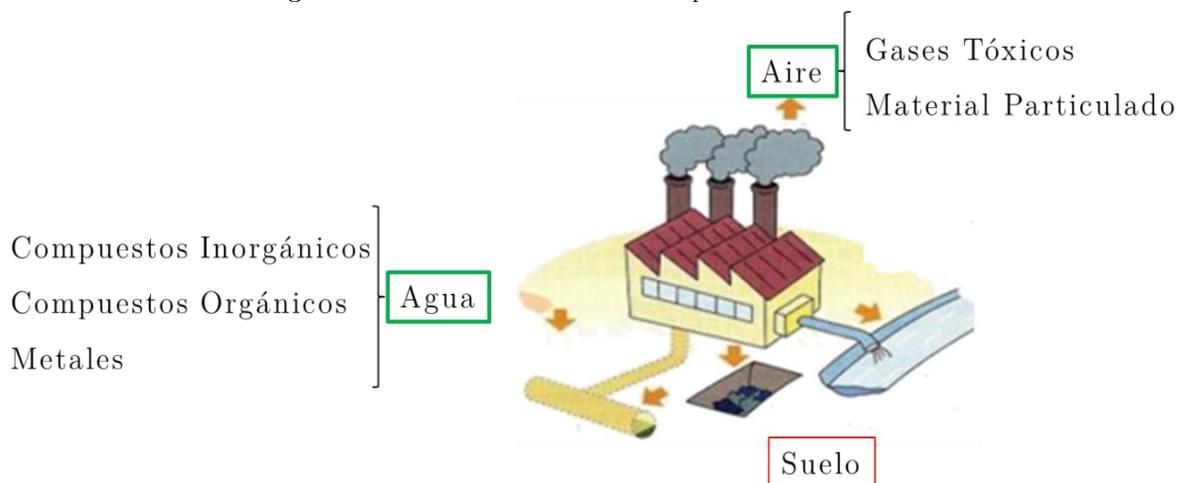
Figura A.3.i Hitos del RETC



Fuente: Ministerio del Medioambiente

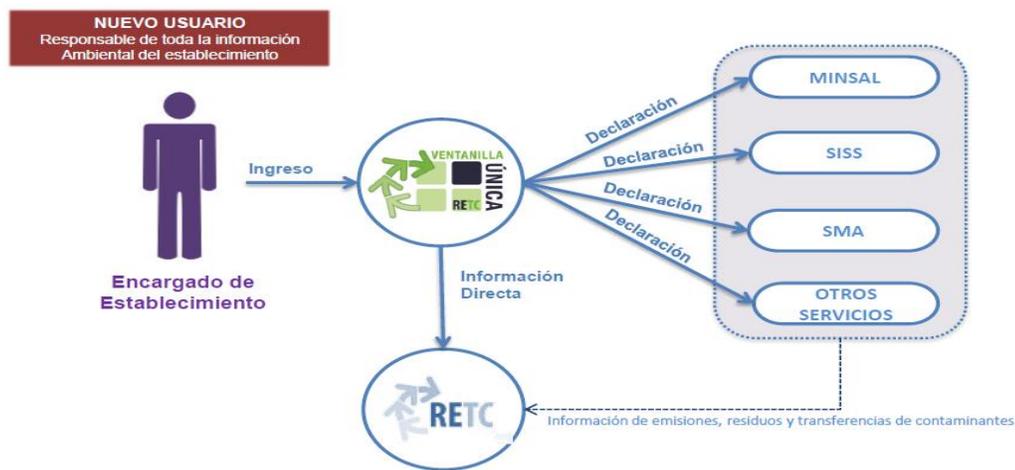
A.4 Establecimientos: emisión y declaración

Figura A.4.i Emisión de contaminantes por un establecimiento



Fuente: Ministerio del Medioambiente

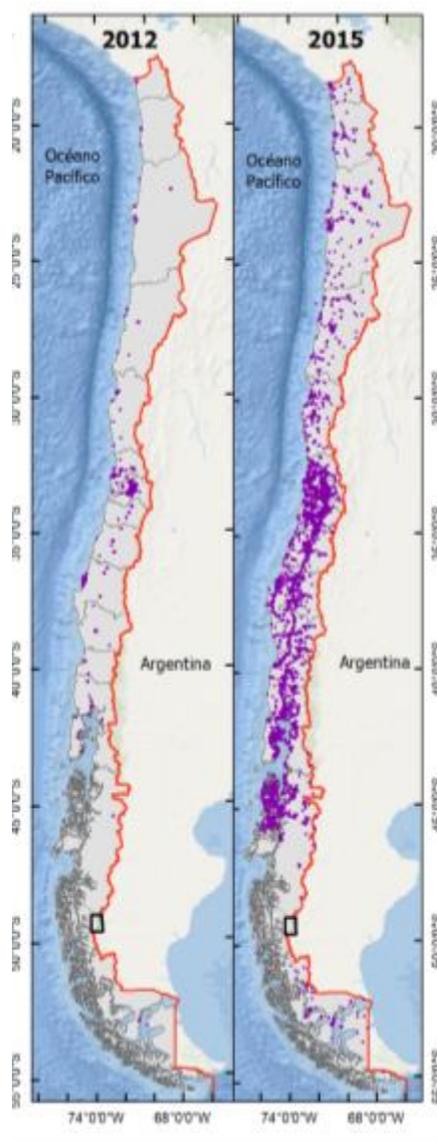
Figura A.4.ii Diagrama del sistema Ventanilla Única



Fuente: Ministerio del Medioambiente

A.5 Georreferenciación de datos

Figura A.5.i Comparación pre y post georreferenciación



Fuente: Ministerio del Medioambiente

Apéndice B

Bases de Datos y Análisis Exploratorio

B.1 Bases de datos y definiciones

Tabla B.1.i Variables del panel de datos según fuente de información

Variable	Definición	Variable	Definición	Variable	Definición
RUT	Rut Establecimiento	RUT	Rut Establecimiento	RUT	Rut Establecimiento
COMUNA	Comuna Establecimiento	COMUNA	Comuna Establecimiento	TRAMO	Tramo de Ventas
REGION	Región Establecimiento	AÑO_S	Año de Suscripción	TRAB	Número de Trabajadores
AÑO_D	Año de Declaración	AÑO_C	Año de Certificación	RUBRO 1	Rubro Primario
EMI	Emisión [ton/año]			RUBRO 2	Rubro Secundario
CONT	Grupo de Contaminantes			RUBRO 3	Rubro Terciario
Fuente:	RETC	Fuente:	ASCC	Fuente:	SII

Tabla B.1.ii Contaminantes incluidos en cada grupo

Residuos Industriales Líquidos (Agua)					
Compuestos Inorgánicos		Compuestos Orgánicos		Metales	
Cianuro	Fósforo	Aceites y Grasas		Aluminio	Manganeso
Cloruros	Sulfatos	Benceno	Tetracloroetano	Arsénico	Mercurio
Fluoruros	Sulfuros	Hidrocarburos	Tolueno	Boro	Molibdeno
Nitrógeno Amoniacal		Nitrógeno	Triclorometano	Cadmio	Níquel
Nitritos más Nitratos		PCP	Xileno	Cobre	Plomo
				Cromo	Selenio
				Hierro	Zinc
Gases (Aire)					
Gases Nocivos			Material Particulado		
Dióxido de Azufre			MP 2,5		
Dióxido de Carbono			MP 10		
Óxidos Nitrosos					

Tabla B.1.iii Rubros primarios definidos por el SII

Código	Rubro Primario
A	AGRICULTURA, GANADERIA, CAZA Y SILVICULTURA
B	PESCA
C	EXPLOTACION DE MINAS Y CANTERAS
D	INDUSTRIAS MANUFACTURERAS NO METALICAS
E	INDUSTRIAS MANUFACTURERAS METALICAS
F	SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD, GAS Y AGUA
G	CONSTRUCCION
H	COMERCIO AL POR MAYOR Y MENOR, REP. VEH.AUTOMOTORES/ENSERES DOMESTICOS
I	HOTELES Y RESTAURANTES
J	TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y COMUNICACIONES
K	INTERMEDIACION FINANCIERA
L	ACTIVIDADES INMOBILIARIAS, EMPRESARIALES Y DE ALQUILER
M	ADM. PUBLICA Y DEFENSA, PLANES DE SEG. SOCIAL AFILIACION OBLIGATORIA
N	ENSEÑANZA
O	SERVICIOS SOCIALES Y DE SALUD
P	OTRAS ACTIVIDADES DE SERVICIOS COMUNITARIAS, SOCIALES Y PERSONALES
Q	CONSEJO DE ADMINISTRACION DE EDIFICIOS Y CONDOMINIOS
R	ORGANIZACIONES Y ORGANOS EXTRATERRITORIALES

B.2 Selección de rubros relevantes

A continuación, se muestra el análisis de establecimientos por rubro primario y año. Se observa que, tanto para aire como para agua, los rubros relevantes¹³ para el estudio son A, B, D, E y F (los espacios en blanco indican que no existen observaciones).

Tabla B.2.i Cantidad de observaciones por año y rubro primario (agua)

Año	A	B	D	E	F	H	I	J	N
2005	6	6	33	11					
2006	18	5	48	7	61				
2007	36	3	71	11	62			5	
2008	16	3	75	8	39	2		5	
2009	39	11	109	13	48	4		5	
2010	55	23	165	32	64	7		5	
2011	57	38	148	21	56	19		10	
2012	63	29	196	24	35	31	11	6	3
2013	120	104	257	37	57	62	15	12	12
2014	107	122	319	39	55	53	15	8	9
2015	111	133	330	42	57	57	10	11	12

Tabla B.2.ii Cantidad de observaciones por año y rubro primario (aire)

Año	A	B	D	E	F	H	I	J	N
2005	20	18	96	6					
2006	12	12	36		18				
2007	42	12	76		24				
2008	60	24	93		24	9	6		
2009	126	24	224	6	24	18	6		
2010	157	31	218	9	24	24	6		
2011	171	44	195	16	24	52	27		
2012	186	66	263	16	36	54	22	6	8
2013	219	53	268	45	33	49	5	11	24
2014	208	58	244	46	33	38	27	14	19
2015	276	89	315	81	39	54	37	38	25

¹³ Si un rubro no aparece es porque no existen observaciones.

B.3 Estadísticas descriptivas

A continuación, se muestran las estadísticas descriptivas de las emisiones agrupadas por año y grupo de contaminantes, distinguiendo entre los establecimientos que suscribieron APL y establecimientos que no lo hicieron.

Tabla B.3.i Estadísticas descriptivas de emisiones [ton/año] (grupo/año)

Año	No Suscriptores					Suscriptores				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
2005	36.12	53.35	14.64	3685.75	9.92	1.05	4.84	0.01	2506.94	5.37
	(27.50)	(39.53)	(14.39)	(789.18)	(2.07)	(0.47)	(4.02)	(0.00)	(994.15)	(1.88)
2006	35.08	6.03	0.12	13350.75	24.63	1793.04	21.60	42.73	9250.47	252.64
	(10.96)	(1.04)	(0.04)	(4128.26)	(4.61)	(1169.16)	(16.26)	(24.43)	(5011.34)	(111.08)
2007	58.96	10.03	0.25	8173.00	17.73	1000.43	32.41	6.47	9555.32	151.96
	(18.23)	(1.58)	(0.10)	(2538.60)	(3.21)	(881.39)	(13.74)	(3.33)	(3832.72)	(48.61)
2008	154.69	26.43	0.57	10700.71	19.57	2168.85	24.94	4.58	18048.53	244.04
	(79.76)	(6.72)	(0.21)	(2429.19)	(3.45)	(2085.35)	(11.15)	(1.95)	(7949.92)	(104.60)
2009	107.77	31.54	0.59	7533.54	14.04	994.68	13.29	2.94	7932.54	111.15
	(30.46)	(5.95)	(0.18)	(1601.62)	(2.27)	(900.33)	(4.86)	(1.05)	(3344.02)	(50.61)
2010	41.93	24.91	0.18	12156.88	18.76	921.58	10.78	1.63	13563.26	96.37
	(7.05)	(6.33)	(0.05)	(2633.38)	(3.51)	(837.79)	(3.05)	(0.75)	(7976.10)	(46.84)
2011	60.08	33.03	0.21	10684.34	18.47	573.40	9.66	0.74	8712.79	119.69
	(9.72)	(11.91)	(0.05)	(2321.44)	(3.08)	(511.08)	(3.15)	(0.34)	(6054.82)	(51.52)
2012	127.05	37.98	0.18	9707.14	20.56	415.00	4.72	1.42	21458.37	76.51
	(58.21)	(15.32)	(0.04)	(2183.29)	(3.27)	(361.70)	(1.54)	(0.63)	(16140.36)	(34.39)
2013	216.60	52.00	0.43	5480.36	15.42	1581.39	49.07	1.90	12969.11	20.81
	(73.70)	(13.78)	(0.22)	(1174.22)	(3.06)	(1277.85)	(13.69)	(0.74)	(7573.26)	(8.28)
2014	130.93	39.29	0.59	9138.11	11.48	503.32	25.17	0.50	8381.09	99.55
	(56.49)	(14.01)	(0.35)	(2049.77)	(1.84)	(395.03)	(9.85)	(0.21)	(6854.01)	(49.70)
2015	321.94	39.78	0.20	7373.41	12.77	404.10	21.31	0.41	8267.55	54.14
	(159.75)	(14.24)	(0.05)	(1641.63)	(2.55)	(312.12)	(7.55)	(0.16)	(4724.88)	(26.07)

Notas:

Desviación estándar entre paréntesis

Grupo de Contaminantes: (1) Compuestos inorgánicos, (2) Compuestos orgánicos, (3) Metales, (4) Gases nocivos, (5) Material particulado

B.4 Análisis exploratorio

A continuación, se muestran los gráficos correspondientes a la evolución temporal de las emisiones según el grupo de contaminantes al que pertenecen.

—○— No Suscriptores —●— Suscriptores - - - - Intervalo de Confianza

Figura B.4.i Emisiones promedio de contaminantes inorgánicos

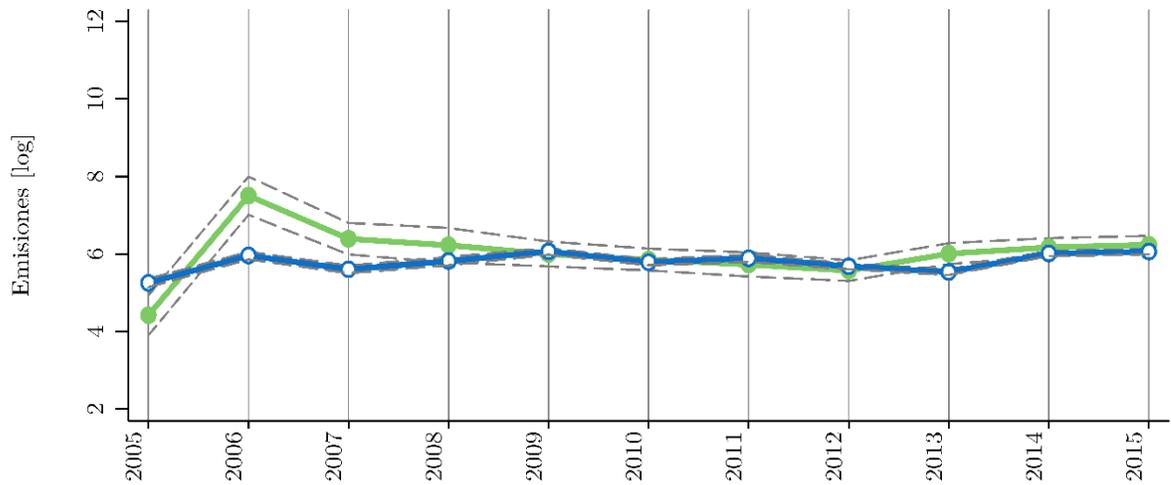


Figura B.4.ii Emisiones promedio de contaminantes orgánicos

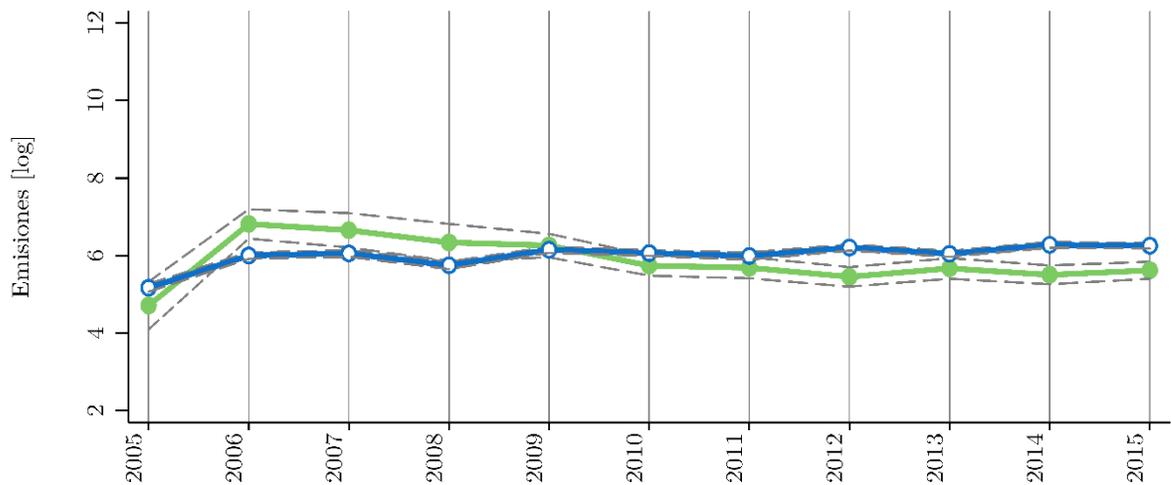


Figura B.4.iii Emisiones promedio de metales

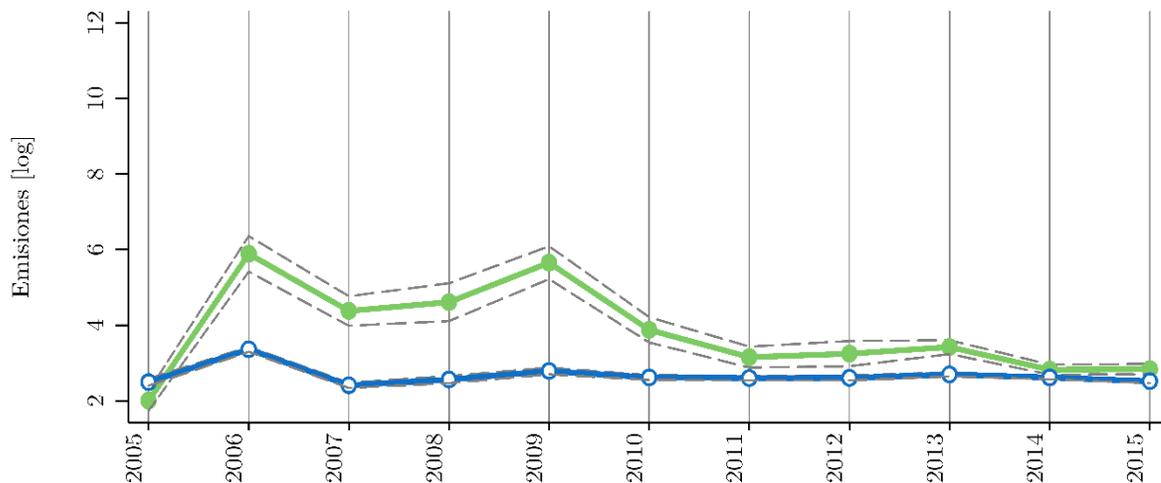


Figura B.4.iv Emisiones promedio de gases nocivos

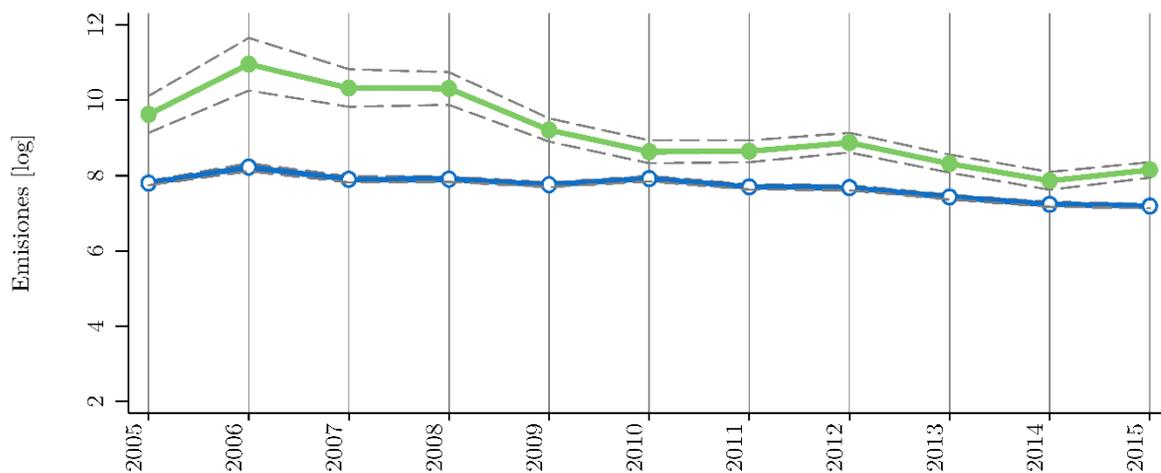
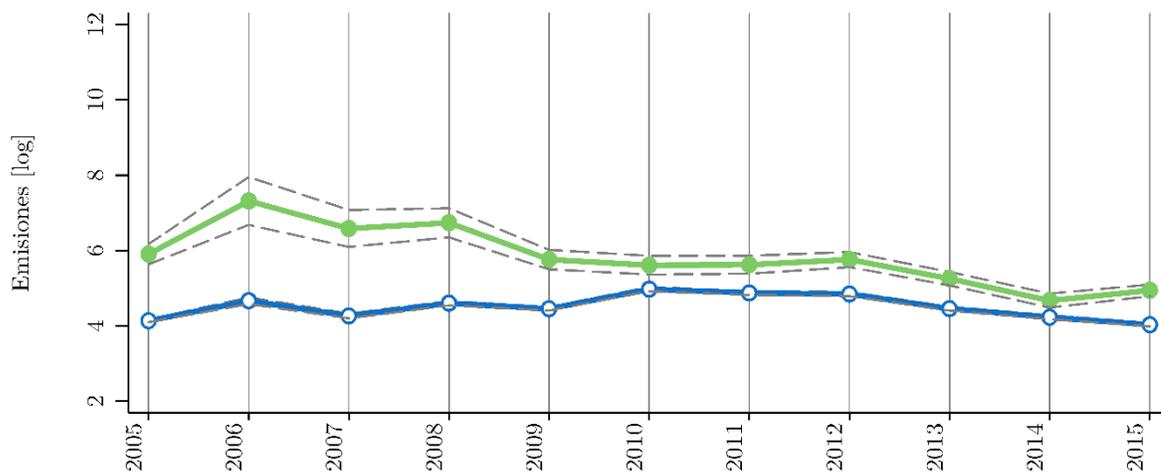


Figura B.4.v Emisiones promedio de material particulado



El análisis exploratorio mostrado en las figuras Figura 2.3.a y Figura 2.3.b considera un análisis temporal donde la cantidad de establecimientos suscriptores varía a través del tiempo. Una alternativa sería definir cohortes a partir del año de suscripción, para así reducir dicha variación en el tamaño muestral. En las figuras que se muestran a continuación se observa una notoria diferencia en las emisiones declaradas entre los cohortes y en su comportamiento en los años posteriores a la suscripción.

Figura B.4.vi Emisiones promedio al agua, cohortes 2005 a 2009

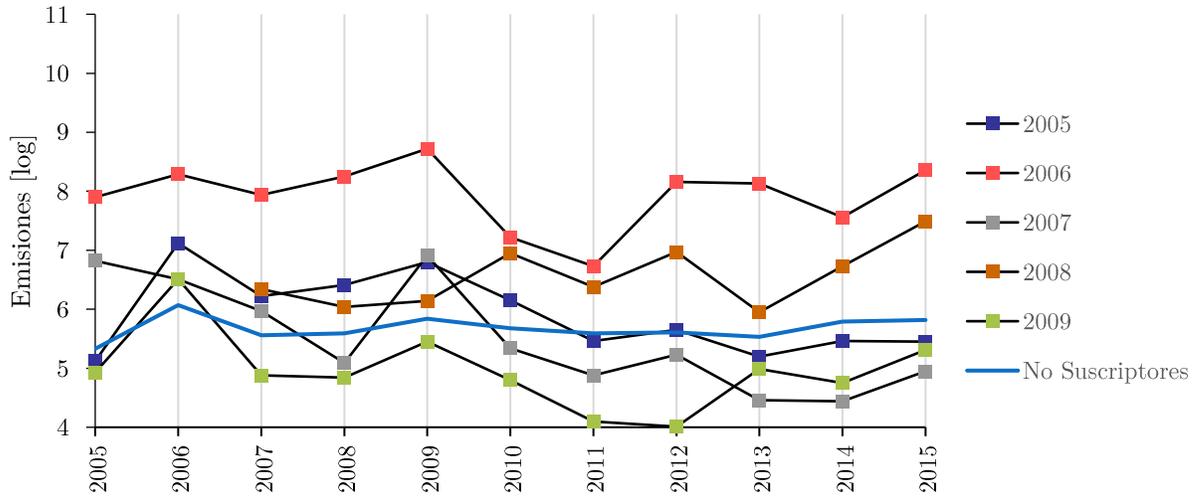


Figura B.4.vii Emisiones promedio al agua, cohortes 2010 a 2015

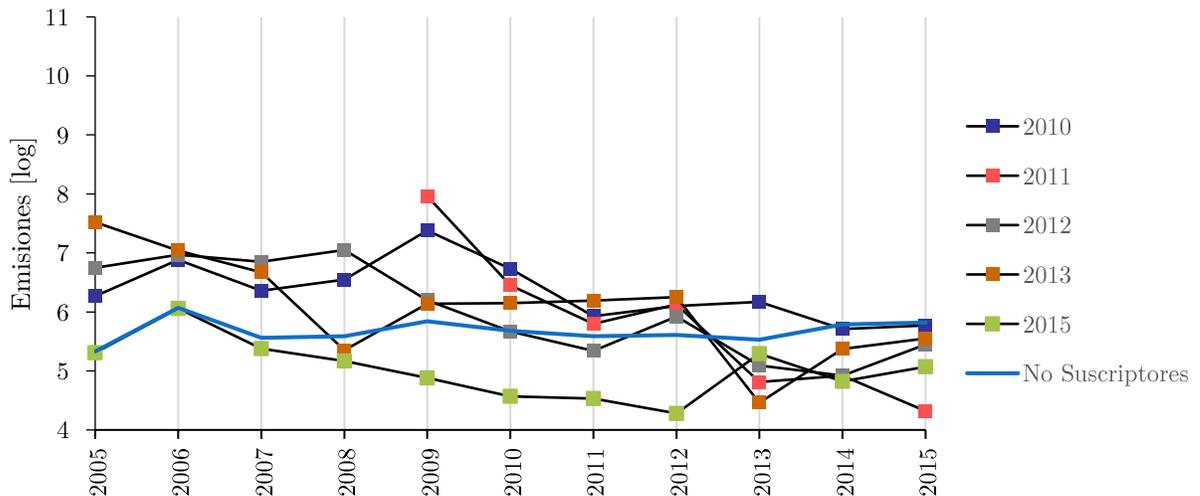


Figura B.4.viii Emisiones promedio al aire, cohortes 2005 a 2009

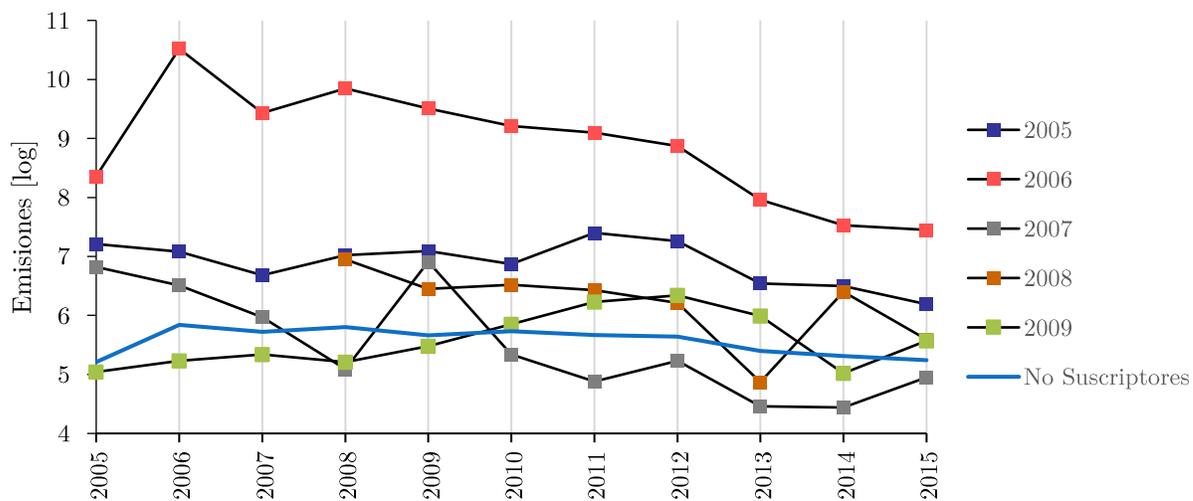
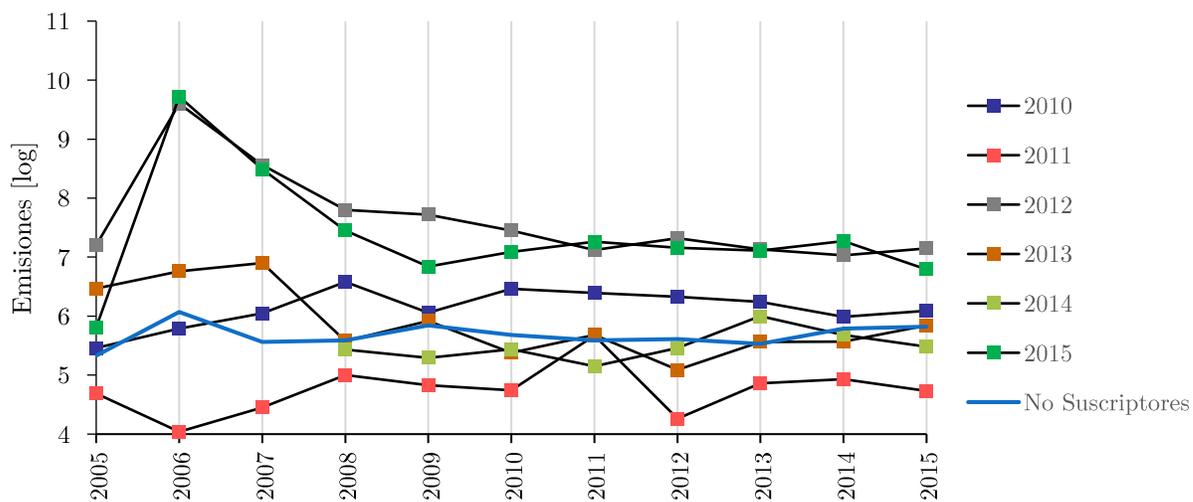


Figura B.4.ix Emisiones promedio al aire, cohortes 2010 a 2015



A continuación, se muestran diferentes gráficos correspondientes al análisis exploratorio de las emisiones de contaminantes según diferentes niveles de agregación y distinguiendo entre establecimientos suscriptores y no suscriptores.

■ No Suscriptores ■ Suscriptores

Figura B.4.x Boxplot de emisiones según grupo de contaminantes

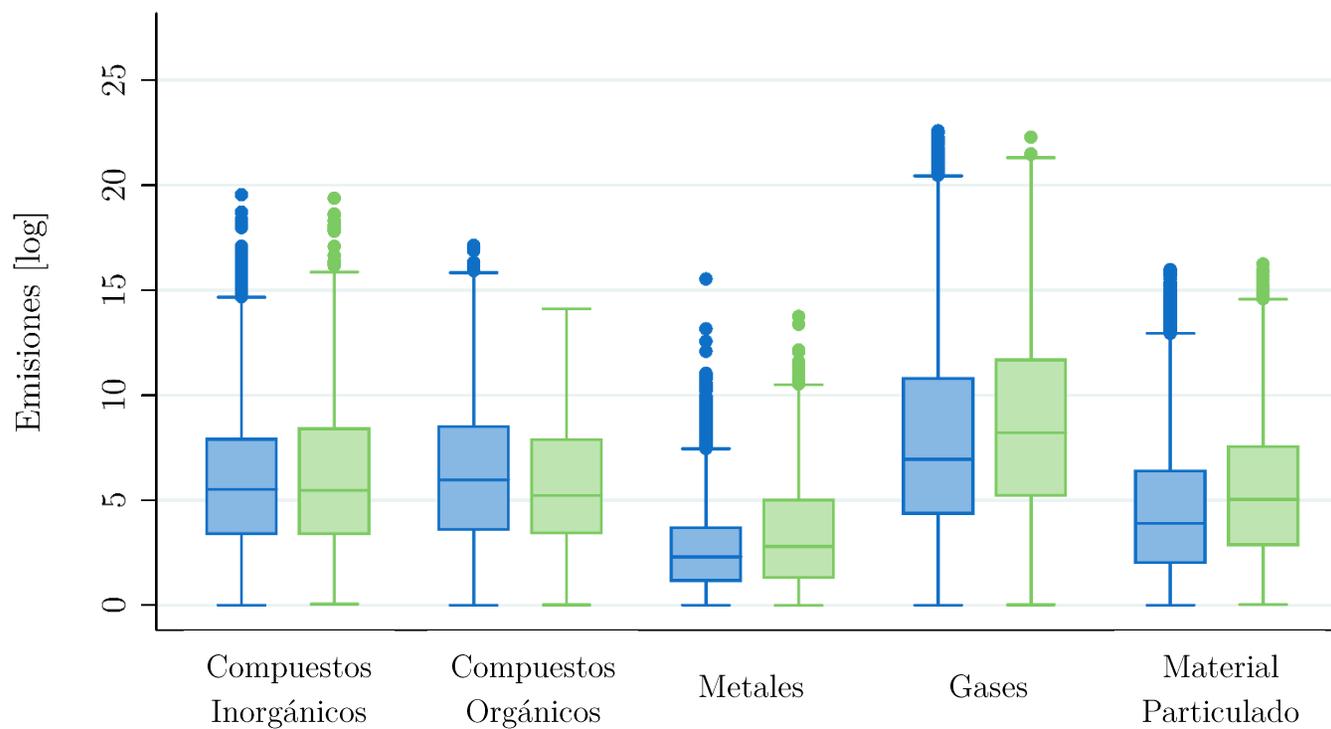
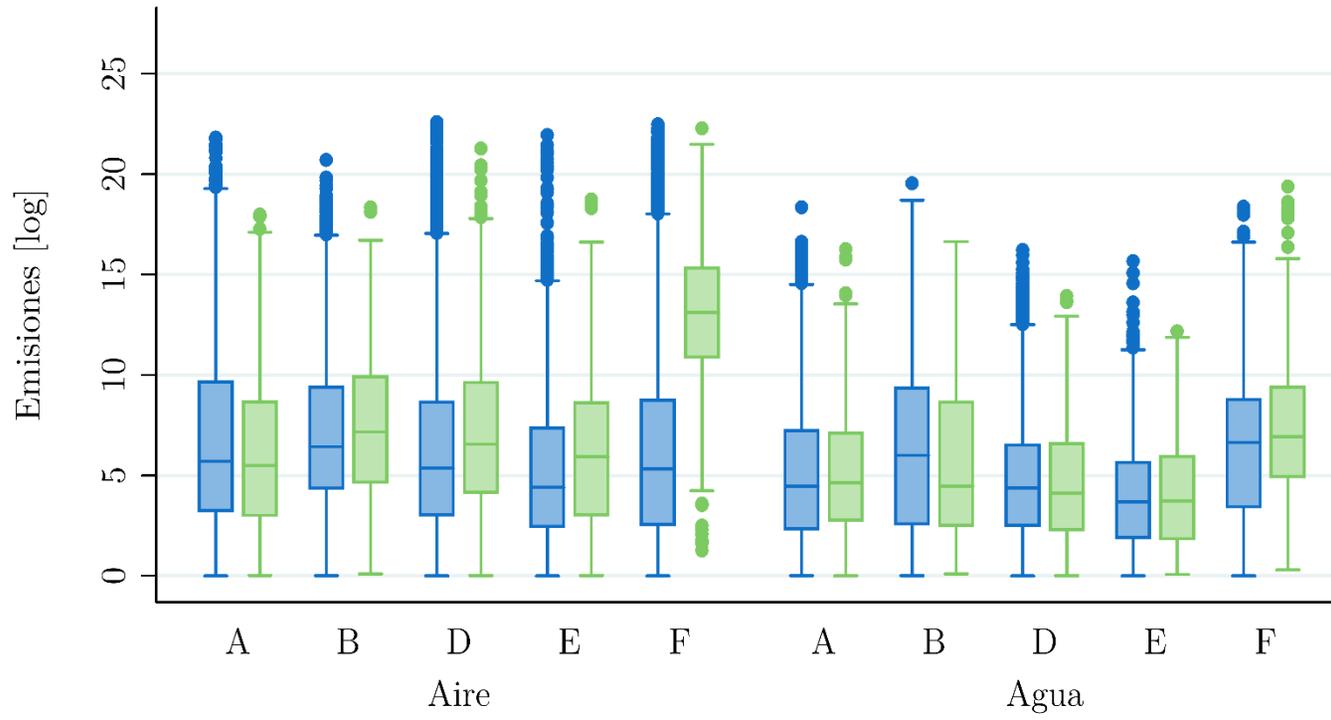
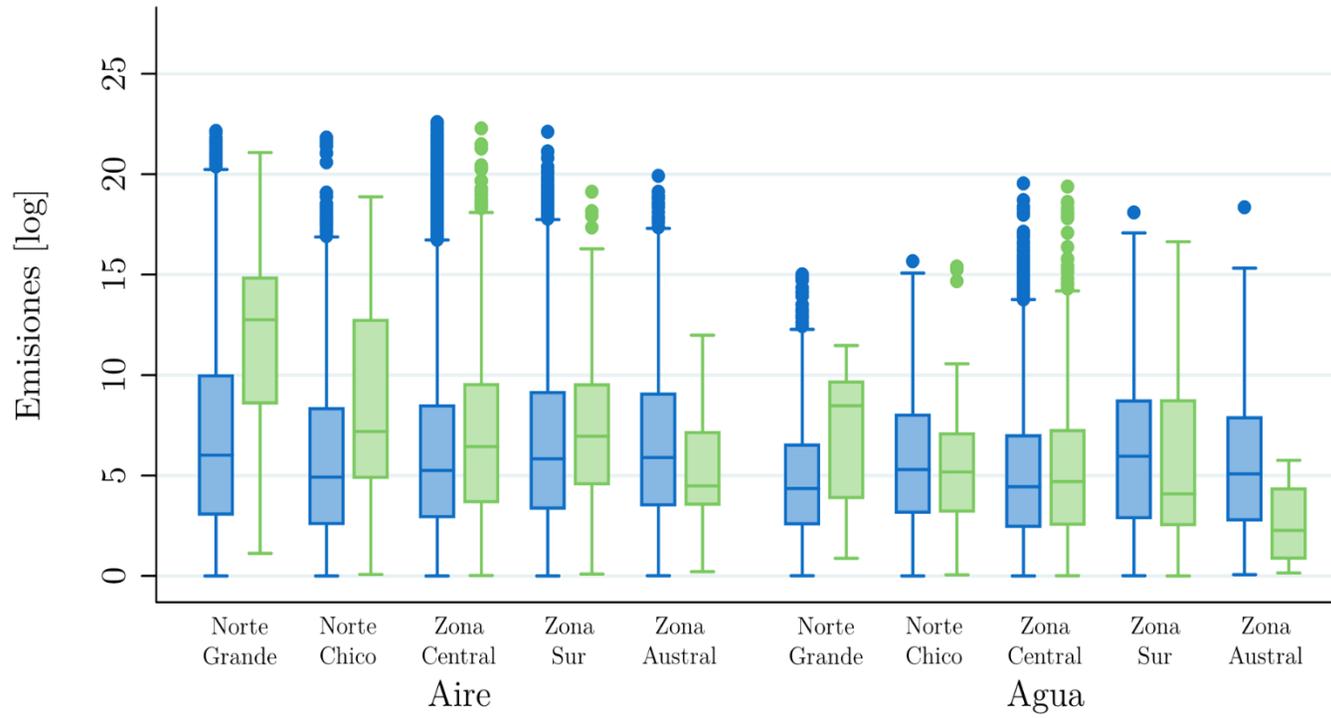


Figura B.4.xi Boxplot de emisiones según rubro primario



Rubros: (A) Agricultura; (B) Pesca; (D) Manufactura No Metálica; (E) Manufactura Metálica; (F) Suministro de Energía

Figura B.4.xii Boxplot de emisiones según zona geográfica



Apéndice C

Resultados

C.1 Comparación metodologías de matching

Las funciones utilizadas para estimar los propensity scores fueron las siguientes,

$$h_1(x) = \beta_0 + \eta_1 y_{it-1} + \beta X + \xi_{it}$$

$$h_2(x) = \beta_0 + \eta_1 y_{it-1} + \eta_2 y_{it-2} + \beta X + \xi_{it}$$

$$h_3(x) = \beta_0 + \eta_1 y_{it-1} + \eta_2 y_{it-2} + \eta_3 (y_{it-2} - y_{it-1}) \beta X + \xi_{it}$$

Los resultados obtenidos para cada metodología se muestran en las tablas a continuación:

Tabla C.1.i Calidad del *matching* (agua)

Función	Método	Restricción	% sesgo antes	% sesgo después	Observaciones	
h_1	1:1	sin	26.39	7.26	2836	
		caliper	26.39	6.83	2809	
		trimming	17.59	9.45	2536	
	1:2	sin	26.39	9.26	3542	
		caliper	26.39	8.10	3529	
		trimming	17.59	11.81	3078	
	kernel	sin	26.39	7.55	8945	
		caliper	26.39	7.55	8945	
		trimming	17.59	9.87	5870	
	h_2	1:1	sin	30.58	7.40	2196
			caliper	30.58	7.13	2181
			trimming	19.81	10.08	1945
1:2		sin	30.58	7.37	2808	
		caliper	30.58	7.30	2808	
		trimming	19.81	9.82	2410	
kernel		sin	30.58	6.74	6718	
		caliper	30.58	6.74	6718	
		trimming	19.81	8.88	4477	
h_3		1:1	sin	29.58	10.04	1993
			caliper	29.58	9.31	1980
			trimming	20.49	12.47	1759
	1:2	sin	29.58	8.74	2582	
		caliper	29.58	8.32	2580	
		trimming	20.49	12.08	2213	
	kernel	sin	29.58	7.53	5901	
		caliper	29.58	7.53	5901	
		trimming	20.49	10.06	4043	

Tabla C.1.ii Calidad del *matching* (aire)

Función	Método	Restricción	% sesgo antes	% sesgo después	Observaciones
h_1	1:1	sin	29.76	6.01	3535
		caliper	29.76	5.76	3529
		trimming	16.44	9.14	2949
	1:2	sin	29.76	5.63	4537
		caliper	29.76	5.63	4537
		trimming	16.44	8.89	3624
	kernel	sin	29.76	5.53	14686
		caliper	29.76	5.53	14686
		trimming	16.44	7.97	6529
h_2	1:1	sin	29.71	7.04	3064
		caliper	29.71	7.21	3058
		trimming	16.06	9.44	2668
	1:2	sin	29.71	7.04	3934
		caliper	29.71	7.09	3934
		trimming	16.06	9.65	3282
	kernel	sin	29.71	6.66	12323
		caliper	29.71	6.66	12323
		trimming	16.06	8.82	5744
h_3	1:1	sin	28.19	8.11	2778
		caliper	28.19	8.56	2769
		trimming	14.99	10.85	2433
	1:2	sin	28.19	7.60	3531
		caliper	28.19	7.65	3756
		trimming	14.99	10.58	2981
	kernel	sin	28.19	6.85	10650
		caliper	28.19	6.85	10650
		trimming	14.99	9.14	5313

C.2 Evaluaciones de impacto

Tabla C.2.i Efectividad de los APL por tipo de emisiones, sin matching

Tipo de Emisiones	AGUA		AIRE	
Variable Dependiente	y_{it}	Δy_{it}	y_{it}	Δy_{it}
Suscriptores ¹	0.149	-0.090	-0.123	-0.189
	(1.32)	(0.59)	(1.42)	(1.96)**
1 año después	-0.322	-0.004	-0.010	0.084
	(3.29)**	(0.02)	(0.10)	(0.54)
2 años después	-0.529	-0.346	-0.108	0.063
	(4.91)**	(1.90)*	(1.01)	(0.47)
3 años después	-0.108	0.273	-0.010	0.334
	(0.90)	(1.46)	(0.09)	(2.19)**
4 años después	0.017	-0.091	-0.229	-0.198
	(0.12)	(0.48)	(1.53)	(1.18)
Observaciones	41,067	25,533	79,594	50,345
R^2	0.02	0.01	0.01	0.00

Notas:

* $p < 0.10$; ** $p < 0.05$, estadístico t entre paréntesis, efectos fijos a nivel de establecimiento (E_i) y año (A_t) incluidos

¹Suscriptores: D=1 si suscribió, 0 si no

Tabla C.2.ii Efectividad de los APL por tipo de emisiones, sin efectos fijos

Tipo de Emisiones	AGUA				AIRE			
V. Dependiente	y_{it}		Δy_{it}		y_{it}		Δy_{it}	
Tipo de Matching	Kernel	NN (1)	Kernel	NN (1)	Kernel	NN (1)	Kernel	NN (1)
Suscriptores ¹	0.149 (1.83)*	0.075 (0.87)	0.040 (0.40)	0.021 (0.20)	-0.066 (0.88)	-0.132 (1.54)	-0.269 (3.25)**	-0.293 (3.14)**
1 año después	-0.308 (3.22)**	-0.357 (3.54)**	-0.227 (1.65)*	-0.210 (1.46)	0.052 (0.52)	0.036 (0.32)	0.219 (1.82)*	0.267 (1.99)**
2 años después	-0.381 (3.83)**	-0.419 (3.99)**	-0.196 (1.44)	-0.165 (1.16)	-0.037 (0.37)	-0.048 (0.42)	0.182 (1.54)	0.201 (1.52)
3 años después	-0.016 (0.16)	-0.124 (1.22)	0.254 (1.83)*	0.241 (1.66)*	0.107 (1.06)	0.067 (0.59)	0.460 (3.78)**	0.475 (3.49)**
4 años después	0.194 (1.91)*	0.070 (0.65)	0.001 (0.01)	0.040 (0.29)	-0.114 (1.04)	-0.150 (1.21)	0.005 (0.04)	0.074 (0.53)
Observaciones	33,916	12,924	22,922	9,353	64,924	19,413	45,958	14,574
R^2	0.06	0.10	0.03	0.03	0.07	0.06	0.01	0.02

Notas:

* $p < 0.10$; ** $p < 0.05$, estadístico t entre paréntesis

VARIABLES DE CONTROL: año, región, rubro primario, tramo de ventas y número de trabajadores

¹Suscriptores: D=1 si suscribió, 0 si no

Tabla C.2.iii Efectividad de los APL por rubro primario, sin matching

Tipo de Emisiones	AGUA				AIRE			
	(A)	(B)	(C)	(D)	(A)	(B)	(C)	(D)
Suscriptores ¹	0.925 (3.66)**	-1.078 (2.01)**	0.088 (0.76)	-0.522 (1.20)	0.034 (0.31)	-0.458 (1.89)*	-0.094 (0.68)	-0.415 (1.22)
1 año después	-0.792 (2.61)**	-0.525 (1.04)	-0.075 (0.69)	-0.806 (2.25)**	-0.547 (2.58)**	1.099 (5.05)**	0.101 (0.72)	0.424 (0.97)
2 años después	-0.567 (1.94)*	-0.763 (0.98)	-0.442 (3.94)**	-0.752 (3.03)**	-0.799 (3.72)**	0.556 (3.05)**	0.081 (0.53)	-0.141 (0.34)
3 años después	-0.139 (0.41)	-0.125 (0.28)	-0.304 (2.54)**	1.336 (2.52)**	-1.238 (4.79)**	1.064 (4.83)**	0.172 (1.06)	0.438 (0.81)
4 años después	-0.064 (0.18)	0.123 (0.30)	0.366 (2.27)**	0.792 (1.52)	-1.140 (3.85)**	1.105 (4.36)**	-0.290 (1.32)	0.410 (0.69)
Observaciones	4,207	5,702	19,129	4,086	9,779	7,574	41,243	7,738
R^2	0.03	0.04	0.05	0.06	0.02	0.04	0.01	0.06

Notas:

*p<0.10; **p<0.05, estadístico t entre paréntesis, efectos fijos a nivel de establecimiento (E_i) y año (A_t) incluidos

¹Suscriptores: D=1 si suscribió, 0 si no

²Rubro primario: (A) Agricultura; (B) Pesca; (D) Manufactura No Metálica; (E) Manufactura Metálica

Tabla C.2.iv Efectividad de los APL por rubro primario (agua), sin efectos fijos

Tipo de Matching	Kernel				NN (1)			
	(A)	(B)	(C)	(D)	(A)	(B)	(C)	(D)
Suscriptores ¹	0.891 (3.94)**	-0.747 (2.46)**	0.077 (0.73)	-0.327 (1.23)	0.787 (3.29)**	-0.872 (2.76)**	0.003 (0.03)	-0.584 (1.98)**
1 año después	-0.773 (3.10)**	-0.454 (1.07)	-0.088 (0.69)	-0.761 (2.13)**	-0.811 (3.07)**	-0.698 (1.58)	-0.142 (1.10)	-0.724 (1.83)*
2 años después	-0.623 (2.50)**	-0.796 (1.78)*	-0.403 (2.95)**	-0.691 (2.08)**	-0.663 (2.51)**	-0.810 (1.76)*	-0.429 (3.09)**	-0.629 (1.72)*
3 años después	-0.169 (0.67)	0.007 (0.02)	-0.310 (2.36)**	1.425 (4.15)**	-0.321 (1.19)	-0.369 (0.97)	-0.401 (3.02)**	1.543 (4.05)**
4 años después	-0.140 (0.54)	0.321 (0.89)	0.307 (2.01)**	0.841 (2.58)**	-0.305 (1.10)	0.210 (0.55)	0.217 (1.40)	0.904 (2.50)**
Observaciones	3,480	4,224	16,128	3,259	2,090	1,240	6,926	1,213
R^2	0.30	0.35	0.25	0.39	0.32	0.44	0.27	0.45

Notas:

* $p < 0.10$; ** $p < 0.05$, estadístico t entre paréntesis

Variables de control: año, región, rubro primario, tramo de ventas y número de trabajadores

¹Suscriptores: D=1 si suscribió, 0 si no

²Rubros: (A) Agricultura; (B) Pesca; (D) Manufactura No Metálica; (E) Manufactura Metálica

Tabla C.2.v Efectividad de los APL por rubro primario (aire), sin efectos fijos

Tipo de Matching	Kernel				NN (1)			
	(A)	(B)	(C)	(D)	(A)	(B)	(C)	(D)
Suscriptores ¹	0.090 (0.54)	-0.662 (2.92)**	-0.066 (0.64)	-0.246 (0.83)	-0.149 (0.77)	-0.642 (2.63)**	-0.156 (1.33)	0.000 (0.00)
1 año después	-0.573 (2.77)**	1.442 (4.92)**	0.195 (1.42)	0.418 (0.90)	-0.605 (2.51)**	1.335 (4.31)**	0.253 (1.63)	0.162 (0.30)
2 años después	-0.849 (4.18)**	0.904 (3.28)**	0.199 (1.37)	-0.062 (0.12)	-0.927 (3.94)**	0.967 (3.34)**	0.270 (1.67)*	0.005 (0.01)
3 años después	-1.204 (5.30)**	1.378 (5.21)**	0.318 (2.30)**	0.686 (1.13)	-1.388 (5.24)**	1.244 (4.43)**	0.366 (2.37)**	0.121 (0.18)
4 años después	-1.116 (5.05)**	1.478 (4.93)**	-0.174 (1.10)	1.494 (2.75)**	-1.305 (5.08)**	1.516 (4.72)**	-0.124 (0.70)	1.036 (1.66)*
Observaciones	8,141	6,600	34,573	3,832	4,392	1,815	10,347	1,254
R^2	0.22	0.38	0.28	0.31	0.28	0.48	0.27	0.36

Notas:

* $p < 0.10$; ** $p < 0.05$, estadístico t entre paréntesis

Variables de control: año, región, rubro primario, tramo de ventas y número de trabajadores

¹Suscriptores: D=1 si suscribió, 0 si no

²Rubros: (A) Agricultura; (B) Pesca; (D) Manufactura No Metálica; (E) Manufactura Metálica

Tabla C.2.vi Impacto de Ley APL por tipo de emisiones, sin matching

Tipo de Emisiones	AGUA	AIRE
Suscriptores ¹	-0.286 (0.97)	0.198 (0.70)
Ley	-0.856 (12.47)**	0.470 (7.09)**
Tendencia	-0.028 (2.40)**	0.021 (2.88)**
Suscriptores × Ley	0.156 (0.48)	-0.431 (1.27)
Suscriptores × Tendencia	0.138 (2.30)**	-0.024 (0.42)
Ley × Tendencia	0.121 (9.25)**	-0.088 (8.28)**
Suscriptores × Ley × Tendencia	-0.129 (2.02)**	0.018 (0.29)
Constante	5.249 (104.11)**	6.285 (197.45)**
Observaciones	42,363	81,250
R^2	0.01	0.01

Notas:

* $p < 0.10$; ** $p < 0.05$, estadístico t entre paréntesis, efectos fijos a nivel de establecimiento (E_i) y año (A_t) incluidos

¹Suscriptores: D=1 si suscribió, 0 si no

²Ley: L=1 si es periodo de ley, 0 si no