

## **ANÁLISIS DEL MERCADO DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO EN SANTIAGO\***

**Juan Pablo Montero, José Miguel Sánchez  
y Ricardo Katz**

A pesar del creciente interés en el uso de permisos transables de emisión para el control de la contaminación, la evidencia empírica de este instrumento de regulación se reduce a unas pocas experiencias en EE. UU. Este trabajo amplía la base empírica al analizar el Programa de Compensación de Emisiones que se estableció en 1992 para controlar emisiones de material particulado en Santiago. Del análisis se concluye que mientras los objetivos ambientales del Programa se han cumplido, en gran parte gracias a la introducción del gas natural, el mercado de compensación de emisiones no se ha desarrollado debido a altos costos de transacción, incertidumbre y

---

JUAN PABLO MONTERO. (jpmonter@ing.puc.cl). Profesor asistente del Departamento de Ingeniería Industrial de la Pontificia Universidad Católica de Chile e investigador asociado del MIT Center for Energy and Environmental Policy Research (MIT-CEEPR).

JOSÉ MIGUEL SÁNCHEZ (jsanchez@volcan.facea.puc.cl). Profesor asociado en el Instituto de Economía de la PUC.

RICARDO KATZ (rkatzbi@entelchile.net). Director de Gestión Ambiental Consultores e investigador asociado del Centro de Estudios Públicos (CEP).

\* Agradecemos a Denny Ellerman por sus valiosos comentarios; a los participantes de un Seminario en la Universidad de Concepción por diversas sugerencias; a Alfonso Mujica y Rosita Villanueva por su excelente trabajo como ayudantes de investigación, así como también a diversas personas e instituciones (particularmente a Marta Zamudio de PROCEFF) por información de emisiones, precios y transacciones. Juan Pablo Montero también agradece a Fondecyt-Chile (Proyecto # 1990100) y a MIT-CEEPR por la ayuda financiera.

fiscalización deficiente. Con todo, señalan los autores, las rentas de escasez creadas por la asignación de derechos de emisión (basada en criterios históricos) han demostrado ser una herramienta importante en la realización del inventario de emisiones.

## 1. Introducción

**E**n años recientes ha habido creciente interés en utilizar de instrumentos de mercado —particularmente sistemas de transacción de emisiones o de permisos transables de emisión— para tratar problemas de contaminación atmosférica, en lugar del enfoque más tradicional de comando y control basado en la imposición de estándares de emisión y estándares tecnológicos. Si bien casi toda la experiencia con el uso de sistemas de permisos transables se concentra en EE. UU. (Tietenberg, 1985; Hahn, 1989; Schmalensee *et al.*, 1998), algunos pocos países menos desarrollados (PMD) están empezando a experimentar con diferentes formas de transacción de emisiones (Banco Mundial, 1997). Un examen detallado de estas experiencias es particularmente interesante en este momento debido a que un sistema global de transacción de emisiones con algún tipo de participación voluntaria de PMD está en el centro de las negociaciones actuales respecto al cambio climático y cómo disminuir las emisiones de dióxido del carbono y otros gases de efecto invernadero (Jacoby *et al.*, 1999).

Este trabajo proporciona una evaluación del “Programa de Compensación de Emisiones” que fue establecido por el Decreto Supremo No. 4 (DS 4) en marzo de 1992 para controlar las emisiones de material particulado total en suspensión (PTS) de fuentes estacionarias de origen industrial en Santiago (en adelante, Programa de Compensación). Para hacerlo, se describe el sistema y su creación desde un punto de vista institucional. Se evalúa su desempeño medioambiental y también el desempeño del mercado basado en los datos recolectados desde 1993 hasta 1999, y se sugieren maneras en que se podría mejorar el funcionamiento de este mercado dentro del contexto institucional actual.

El Programa de Compensación fue establecido para resolver, de una manera costo-efectiva, el conflicto entre el crecimiento industrial y las normas de calidad ambiental del aire para PTS y el material particulado respirable (PM10) en la ciudad de Santiago, las que han sido constantemente excedidas desde los años setenta. Con el Programa de Compensación, las fuentes existentes —es decir, aquellas registradas cuando el DS 4 se promulgó— recibieron *derechos de capacidad de emisión diaria* a perpetui-

dad, de manera proporcional a una tasa de emisiones predeterminada que es uniforme para todas las fuentes existentes<sup>1</sup>.

Una fuente debe mantener suficientes derechos para cubrir el nivel máximo de emisiones proyectado para un día cualquiera. Llamamos a este nivel *la capacidad de emisión* de la fuente. La autoridad determina la capacidad de emisión basada en el tamaño actual de la fuente y el tipo de combustible que utiliza, los que son medidos durante las inspecciones anuales. En otros términos, lo que está siendo medido por la autoridad no son las emisiones reales sino que la capacidad de emisión y, por consiguiente, lo que se está transando no son derechos de emisión sino que derechos de capacidad. Así, después de cada inspección, la autoridad procede a reconciliar la capacidad de emisión estimada con la cantidad de derechos de capacidad mantenidos por la fuente. Una fuente existente puede ser un vendedor o un comprador de derechos dependiendo de si su capacidad de emisión está por debajo o por sobre los derechos diarios que se le asignaron. Es importante notar que a pesar de que los derechos se definen sobre una base diaria (y a perpetuidad), las limitaciones de monitoreo restringen a las fuentes a transar los derechos por períodos anuales o en forma permanente.

Las fuentes nuevas y las expansiones de fuentes existentes no reciben derechos de capacidad de emisión, de manera que deben cubrir toda su capacidad de emisión comprando derechos de capacidad de las fuentes existentes. Esto significa que hay un límite agregado de emisiones igual a la suma de los derechos asignados a las fuentes existentes. A pesar de su nombre oficial, el Programa de Compensación tiene todas las características de un sistema de transacción de emisiones excepto por una restricción. Todas las fuentes, nuevas y existentes, están sujetas a un límite de concentración de emisión (112 mg/m<sup>3</sup>N), el que no puede excederse bajo circunstancia alguna.

Nuestro análisis indica que el Programa de Compensación está teniendo un buen desempeño desde un punto de vista medioambiental: a julio de 1997, la capacidad total de PTS de las fuentes participantes estaba por debajo del número total de derechos de capacidad distribuidos. Hay dos

---

<sup>1</sup> Nótese que en el contexto de este trabajo, el término *tasa de emisión* se refiere a concentración de emisiones. La tasa usada para calcular la asignación de derechos se derivó de una meta agregada de reducción de emisiones cercana al 80%, la que, a su vez, se pensaba que permitiría alcanzar las normas diarias de calidad del aire el 95% del tiempo. Nótese además que el término *derechos* no se usa en ninguna parte del DS 4 debido a la ausencia de un marco legal en el cual basar el Programa. En la práctica, las fuentes existentes generan créditos de reducción que pueden ser vendidos en el mercado. Para los propósitos de este trabajo, sin embargo, nos referiremos a estos créditos de reducción como derechos de capacidad de emisión.

razones que ayudan a explicar el marcado descenso de las emisiones de PTS de fuentes industriales que empezó en 1997 y se aceleró en los años posteriores. La primera razón es que la industria se cambia a combustibles más limpios en un esfuerzo por evitar estar entre las fuentes más contaminantes que deben cesar sus operaciones en los días de emergencia y pre-emergencia ambiental por deterioro significativo de la calidad del aire. La segunda y principal razón es la rápida adopción del gas natural proveniente de Argentina. Desde fines de 1997, el gas natural argentino ha estado desplazando con éxito a los combustibles alternativos en todos los sectores de la economía (es decir, residencial, comercial, generación eléctrica e industrial)<sup>2</sup>.

Desde un punto de vista económico, sin embargo, nuestros resultados indican que el mercado creado bajo el Programa de Compensación no ha tenido un buen desempeño. En consecuencia, no se le puede atribuir la responsabilidad por la reducción en las emisiones y el logro de las metas ambientales<sup>3</sup>. Los precios observados y el volumen de las transacciones son muy diferentes de aquellos que se predicen con un modelo de simulación de un mercado sin fricciones. Con la rápida adopción del gas natural por parte de las fuentes industriales, la demanda por derechos de capacidad ha disminuido, pero la oferta no ha respondido tanto como se hubiese esperado y los precios se han mantenido por sobre aquellos predichos por el modelo de la simulación, y el volumen de transacciones se ha mantenido a niveles muy bajos<sup>4</sup>.

Una parte importante del pobre desempeño que ha tenido el mercado por derechos puede explicarse por: 1) incertidumbre regulatoria (Hahn, 1989); 2) altos costos de transacción (Stavins, 1995) y el largo e incierto proceso de aprobación (Montero, 1998); 3) bajo poder de fiscalización, sobre todo durante las fases tempranas del Programa; y 4) algunas indicaciones de concentración del mercado (Hahn, 1983). Como resultado, observamos un mercado poco profundo con débiles señales de precio y donde los vendedores potenciales se sienten inseguros respecto a la posibilidad de recomprar los derechos si las condiciones futuras lo requieren. No es sor-

---

<sup>2</sup> En muchos sentidos, el efecto que ha tenido la introducción del gas natural en el Programa de Compensación es similar al que tuvo la expansión inesperada del carbón más barato y más limpio de Powder River Basin en el programa de transacción de emisiones de SO<sub>2</sub> en EE. UU. (Ellerman y Montero, 1998).

<sup>3</sup> El Instituto Libertad y Desarrollo (1999, p. 5) ofrece una perspectiva diferente al sostener, a nuestro juicio erróneamente, que el mercado de emisiones ha probado ser efectivo en la reducción de emisiones.

<sup>4</sup> En diversas entrevistas con participantes del sector industrial hemos podido constatar que esta apreciación es compartida.

prendente, entonces, que las empresas hayan tendido a cumplir con la regulación de manera autárquica, prestando poca atención al mercado.

Nosotros sostenemos que, en su intento por avanzar hacia el logro de los objetivos de las normas de calidad ambiental, la autoridad ambiental no prestó suficiente atención a las instituciones básicas para el desarrollo de un mercado, tales como subastas anuales y una unidad de cambio más líquida. Las subastas anuales ayudan en la partida del mercado, proveyendo importantes señales de precio y permitiendo que las nuevas fuentes accedan a los derechos. Una unidad de cambio más líquida podría ser un derecho de capacidad diario con duración de un año y sin la posibilidad de acumularlo para su uso futuro. Dadas las limitaciones de las mediciones anuales, esto no violaría las metas ambientales del DS 4 ni impondría una carga extra al regulador. Tal vez la intención de la autoridad nunca fue ver desarrollarse un mercado sino más bien establecer un mecanismo para auditar primero y luego disminuir las emisiones de PTS con poca resistencia por parte de los participantes en la industria.

Debido a que la asignación de derechos de capacidad en función de derechos históricos crea incentivos económicos para que las fuentes activas declaren sus emisiones y exijan los derechos correspondientes (para capturar las rentas de escasez), creemos que el Programa de Compensación ayudó a que la autoridad pudiese completar el inventario de fuentes y emisiones durante las fases tempranas del Programa. De hecho, muchas fuentes que se pensaba que no existían en el momento en que el DS 4 fue promulgado, aparecieron después exigiendo derechos. En este contexto particular de limitaciones institucionales, no está claro qué instrumentos regulatorios alternativos, tales como normas de emisión o impuestos, habrían sido tan efectivos en esta tarea particular de realización del inventario.

A pesar de este importante, y generalmente ignorado, atributo de los permisos transables asignados en función de derechos históricos, la falta de atención en el desarrollo del mercado puede haber creado un precedente indeseable (buen desempeño ambiental acompañado de un débil desarrollo del mercado) para aquellos a quienes les gustaría ver un uso más amplio de instrumentos económicos en la política medioambiental futura del país. Esperamos que el resultado de este experimento de política ambiental basado en el mercado, junto con la significativa oposición de algunos miembros del Congreso a la idea de la transacción de emisiones, no desincentivarán al Ejecutivo en su esfuerzo por lograr la aprobación de una legislación que promueva un uso más generalizado de permisos transables.

El resto del artículo está organizado como sigue. En la sección 2 se describen brevemente los problemas de contaminación atmosférica en San-

tiago con relación a PM10 y PTS. En la sección 3 se presentan los elementos regulatorios básicos del Programa de Compensación y su interacción con otras normativas legales. En la sección 4 se discute la evolución de las emisiones y de las reducciones de las emisiones (o, más precisamente, de capacidades de emisión y de reducciones de capacidad) a julio de 1999. En la sección 5 se desarrolla un modelo teórico y numérico de un mercado competitivo de PTS, contra el cual puedan compararse algunos resultados del Programa de Compensación. En la sección 6 se presentan los datos de precios reales y volumen de transacciones y se comparan con los resultados predichos por los modelos elaborados en la sección 5. Presentamos, además, una discusión de las posibles razones para las diferencias y entregamos algunas recomendaciones. En la sección 7 se concluye.

## 2. La contaminación atmosférica en Santiago

La ciudad de Santiago presenta serios problemas de contaminación atmosférica. De hecho, en junio de 1996 la Región Metropolitana de Santiago fue declarada oficialmente una zona saturada por cuatro contaminantes atmosféricos: partículas totales en suspensión (PTS), partículas respirables (PM10), monóxido de carbono (CO) y ozono (O<sub>3</sub>)<sup>5</sup>. La declaración se basó en el hecho de que repetidamente se habían excedido las normas diarias de calidad del aire para PTS y PM10 en una o más de las estaciones de monitoreo, prácticamente en forma diaria, durante los meses de otoño e invierno de los años recientes<sup>6</sup>.

Si bien las concentraciones altas de todos estos contaminantes urbanos causan efectos adversos en la salud de las personas de Santiago, las altas concentraciones de PM10 han probado ser las peores. Las altas concentraciones de PM10 que se han observado desde comienzos de los años ochenta, llevaron a la autoridad medioambiental, a comienzos de los noventa, a tratar de enfrentar este problema particular de una manera sistemática, en respuesta a la evidencia creciente de los posibles efectos adversos en la salud de las personas. De hecho, estudios epidemiológicos recientes, usando datos de Santiago, encontraron una fuerte correlación estadística positiva entre las concentraciones de PM10 y la mortalidad diaria (Ostro *et al.*, 1996), y entre PM10 y enfermedades respiratorias agudas bajas en niños menores de 14 años (Ostro *et al.*, 1999).

---

<sup>5</sup> Decreto N° 131 del 12 de junio de 1996.

<sup>6</sup> La norma diaria de PM10 es 150 mg/m<sup>3</sup> para 24 horas, basada en estándares de la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU. (US EPA).

Como se muestra en la Tabla 1, la contribución de las fuentes industriales estacionarias (calderas, hornos industriales y procesos) al PTS total en 1987 era de 21.776 kg/día, que corresponde al 61,6% del PTS total proveniente de las fuentes estacionarias y móviles. Algunos analistas sostienen que la contribución de fuentes industriales es, en realidad, mucho menor debido a que también debe incluirse como fuente de PTS el polvo resuspendido de caminos pavimentados y sin pavimentar<sup>7</sup>. A pesar de tales incertidumbres, una década después la contribución de las fuentes industriales ha disminuido a casi la mitad, es decir, a un 34% del PTS total. Aun así, a comienzos de los noventa la autoridad consideró la contribución de las fuentes fijas industriales lo suficientemente significativas como para incluirlas en cualquier esfuerzo serio para reducir las emisiones de PTS y de PM10.

TABLA 1: PTS EN LA REGIÓN METROPOLITANA PARA LOS AÑOS 1987 Y 1997\*

Fuentes de partículas totales en suspensión (PTS)	PTS en 1987 (kg/día)	%	PTS in 1997 (kg/día)	%
Calderas y hornos industriales	9.436	26,7	4.162	17,3
Procesos industriales	12.340	34,9	4.019	16,7
Calderas de edificios	573	1,6	521	2,2
Calefactores residenciales	4.551	12,9	3.723	15,4
Fuegos abiertos	1.200	3,4	4.197	17,4
Fuentes móviles	7.290	20,6	7.482	31,0
TOTAL	35.389	100,0	24.104	100,0

\* Para los números de polvo resuspendido de calles con y sin pavimentar véase el texto.

Fuente: Conama (1997a).

### 3. El Programa de Compensación de Emisiones

El Programa de Compensación de Emisiones —establecido en marzo de 1992 conforme al Decreto Supremo N° 4 (DS 4)— fue creado para resolver, de una manera costo-efectiva, el conflicto entre el crecimiento industrial y las normas de calidad del aire PTS y PM10 en la ciudad de Santiago. El DS 4 también instruyó al Servicio de Salud del Ambiente de la

<sup>7</sup> Dado que el polvo resuspendido es básicamente material particulado de gran tamaño, su efecto sobre la salud sigue siendo un tema controversial. Si se incluye el polvo resuspendido, el PTS total aumentaría a 117.337 kgs/día, reduciendo la contribución del sector industrial a un 18,6%.

Región Metropolitana (SESMA), a través de su Oficina para el Control de Emisiones de las Fuentes Estacionarias (PROCEFF), para fiscalizar el Programa de Compensación.

El DS 4 regula las emisiones diarias de PTS en unidades de masa (kg/día) de las fuentes industriales estacionarias de un cierto tamaño (principalmente calderas industriales y hornos) cuyas emisiones se descargan a la atmósfera a través de un ducto o chimenea con un volumen de flujo mayor o igual a 1.000 m<sup>3</sup>/hr. Según PROCEFF (1993), el número total de fuentes afectadas, en julio de 1993, era de 680, de las cuales 563 eran consideradas fuentes existentes; es decir, fuentes que estaban registradas (aunque no necesariamente operando) cuando el DS 4 entró en vigencia (marzo de 1992). Las 117 fuentes restantes corresponden a fuentes nuevas (32), que son fuentes no registradas a marzo de 1992 o expansiones de fuentes existentes que comenzaron a operar después de esa fecha, y otras fuentes no definidas (85).

Las fuentes existentes enfrentan dos restricciones. Primero, en ninguna circunstancia la concentración de las emisiones puede exceder 112 mg/m<sup>3</sup>. Además, a las fuentes existentes se les asignan derechos de capacidad de emisión diaria conocidos como emisión diaria inicial (EDI), según la siguiente fórmula:

$$EDI \text{ (kg/día)} = F_0 \text{ ( m}^3\text{/hr)} * C_0 \text{ (mg/m}^3\text{)} * 24 \text{ (hr /día)} * 10^{-6} \text{ (kg/mg)} \quad (1)$$

donde  $F_0$  es el máximo flujo de emisiones según lo declarado por la fuente al momento del registro de la fuente en 1992, y  $C_0 = 56 \text{ mg/m}_3$  es la “cuota” de concentración de emisiones que se usó uniformemente para todas las fuentes existentes. Las fuentes utilizan los EDI para cubrir la capacidad de emisión diaria, la cual se conoce como emisión declarada diaria (EDD). Las diferencias entre la capacidad de emisiones observada (EDD), basadas en el flujo máximo de emisiones (F) y en la concentración de emisiones (C) que varían de año en año, y la capacidad de emisión asignada EDI de acuerdo a derechos históricos según la ecuación (1) puede transarse siempre que la concentración observada no exceda el estándar máximo de 112 mg/m<sup>3</sup>.<sup>8</sup> Los derechos de capacidad de emisión se reducirán en el período

---

<sup>8</sup> Debido a que casi todas las fuentes que se cambiaron a gas natural lo hicieron usando un sistema dual que les permite funcionar con gas natural o con petróleo # 2, la autoridad basa su estimación de EDD en el combustible que produce las mayores concentraciones, es decir el petróleo # 2. Una fuente con un sistema dual que planea usar sólo el combustible más limpio puede solicitar que sus EDD les sean calculados en base a las menores concentraciones si instala un sello temporal que prevenga el uso del combustible alternativo.

2000-2004 disminuyendo  $C_0$  en la ecuación (1) a  $50 \text{ mg/m}^3$ , manteniendo constante  $F_0$  y, del 2005 en adelante, reduciendo  $C_0$  a  $32 \text{ mg/m}^3$ .

Las fuentes nuevas deben satisfacer una norma de concentración máxima de  $112 \text{ mg/m}^3$  hasta abril de 1994 y de  $56 \text{ mg/m}^3$  después de esa fecha, además de adquirir las compensaciones (derechos de capacidad) de las fuentes existentes necesarias para cubrir sus emisiones EDD. La proporción de compensación se escalonó de un 25% en 1993 a un 100% en 1996, con incrementos anuales de 25%. Después del 6 de abril de 1998, las emisiones deben compensarse en un 120% y actualmente se está considerando aplicar una regla de un 150% de compensación.

El DS 4 también le concedió al SESMA la facultad de determinar la capacidad de emisión para todos los *procesos* industriales que son distintos a las calderas industriales y hornos y sobre los cuales la expresión (1) no puede aplicarse directamente. En la práctica, esto ha significado que los procesos industriales se han excluido del sistema de compensación. Considerando que los procesos generan la misma proporción de PTS que las calderas y los hornos industriales, esta exclusión reduce el alcance del sistema substancialmente<sup>9</sup>.

Además, el DS 4 interactúa estrechamente con el DS 32, que fue promulgado en 1990 y controla las emisiones de las fuentes fijas durante los episodios declarados de emergencia y preemergencia por mala calidad del aire en Santiago<sup>10</sup>. Las fuentes estacionarias reguladas bajo el Programa de Compensación pueden verse obligadas a paralizar su funcionamiento durante un episodio de emergencia (preemergencia) si se encuentran entre las fuentes más contaminantes responsables de un 50% (30%) del total de emisiones (en unidades de masa) de las fuentes estacionarias. Así, una razón importante para cambiarse a combustibles limpios, como el gas natural, puede ser la de buscar no aparecer en la lista de las fuentes más contaminantes que están sujetas a la paralización de sus actividades durante los episodios de mala calidad del aire. Desde una perspectiva comercial, estos episodios no son de tan rara ocurrencia durante el invierno, por lo tanto excluirse de la lista parece ser una razón importante para cambiarse a combustibles limpios<sup>11, 12</sup>.

<sup>9</sup> Comunicaciones personales con las autoridades ambientales permiten apreciar escaso interés en incluir por ahora los procesos, debido fundamentalmente a problemas de monitoreo.

<sup>10</sup> Se declara una preemergencia cuando el Índice de Calidad del Aire (ICAP) alcanza un nivel 300 (equivalente a una norma de concentración para  $\text{PM}_{10}$  de  $240 \text{ mgrs/m}^3$ ). Una emergencia es declarada cuando el ICAP alcanza un nivel 500 (equivalente a una norma de concentración para  $\text{PM}_{10}$  de  $330 \text{ mg/m}^3$ ).

<sup>11</sup> Durante 1997, por ejemplo, hubo 13 episodios de preemergencia entre mayo y septiembre, y no hubo episodios de emergencia en ese período.

<sup>12</sup> Entrevista a Víctor Turpaud, de Metrogas. Nótese que a medida que las firmas se cambian a combustibles más limpios, el punto de corte de las concentraciones también cae,

Finalmente, el DS 4 también interactúa con el Plan de Descontaminación de Santiago promulgado en enero de 1998, debido a que este último constituye el instrumento principal para regular la contaminación del aire en Santiago<sup>13</sup>. El Plan afectará el desempeño del Programa de Compensación por varias razones diferentes. Como se indicó anteriormente, el  $C_0$  para estimar los EDI para calderas y hornos industriales existentes se reducirá a  $32 \text{ mg/m}^3$  en un período de 6 años. Además, si las limitaciones de monitoreo se solucionan, el Plan definirá los EDI para los procesos y eventualmente los incluirá en el Programa de Compensación.

#### 4. Evolución de las emisiones y reducción de emisiones

En esta sección se explica la evolución de las emisiones y se evalúa si se han logrado las metas ambientales establecidas por el DS 4. Para lograr las metas agregadas del DS 4, las fuentes pueden reducir físicamente sus emisiones ya sea disminuyendo su volumen máximo de emisiones (F) o reduciendo la concentración de las emisiones (C) a través del cambio de combustible (por ejemplo, del carbón al gas natural) o a través de la instalación de tecnologías de control a la salida de las chimeneas.

Los datos sobre el número de fuentes y sus fechas de registro, volumen máximo de flujo de emisiones, combustibles, concentraciones de las emisiones y las asignaciones de derechos de capacidad, se obtuvieron de las bases de datos de PROCEFF desde 1993 hasta 1999<sup>14</sup>. Debido a que el inventario de fuentes y emisiones estaba muy incompleto cuando se promulgó el DS 4 (en marzo de 1992), una de las tareas principales que hubo que desarrollar durante la preparación de este trabajo fue la de seguir cada fuente a través de los años. Por ejemplo, algunas fuentes que no aparecían en la base de datos de PROCEFF en 1993, aparecían en bases de datos de años posteriores indicando que ya estaban en funcionamiento y registradas en marzo de 1992 y que, por consiguiente, eran fuentes existentes elegibles para recibir derechos de capacidad de emisión<sup>15</sup>. En consecuencia, en nues-

---

debido a que el porcentaje en unidades de masa permanece constante. En la actualidad, el punto de corte para una emergencia es  $31 \text{ mg/m}^3$ , lo que en la práctica significa que sólo fuentes que usan gas natural y algunas otras que usan petróleo # 2 no se ven afectadas.

<sup>13</sup> Para una descripción completa, véase CONAMA (1997b).

<sup>14</sup> Nótese que: 1) la base de datos para el año 1993, por ejemplo, corresponde a datos entregados por PROCEFF en julio de ese año, en base a información recolectada durante los 12 meses previos a esa fecha; 2) no había base de datos para 1994; y 3) PROCEFF nos advirtió acerca de la menor calidad de la información en las bases de 1995 y 1996.

<sup>15</sup> PROCEFF confirmó esta información indicando que la mayoría de estas fuentes recibieron su asignación de derechos y que otras están siendo evaluadas para una posible asignación de derechos.

tra base de datos procedimos a asignar derechos a todas estas fuentes según la ecuación (1).

A su vez, para dar otro ejemplo, algunas fuentes que aparecían como “existentes” en el banco de datos de 1993 y, aparentemente, con derechos ya asignados, no aparecen en la base de 1996 (o aparecen sin operación), y aparecen nuevamente como retiradas (o simplemente de nuevo no aparecen) en la base de 1997. A menos que PROCEFF nos confirmara que la fuente vendió sus derechos antes de retirarse, para la construcción de nuestra base de datos procedimos a eliminar sus derechos del mercado. Hay otros ejemplos de algunas fuentes que estaban en algunas bases de datos pero no en otras, o fuentes que estaban dos veces registradas durante los primeros años<sup>16</sup>.

En general, la construcción del inventario de fuentes y emisiones fue bastante difícil dado los escasos recursos de la agencia reguladora. Sin embargo, al mismo tiempo la tarea se vio enormemente facilitada por el uso de derechos de emisión que reconocieron derechos históricos a las fuentes, lo que creó los incentivos para que las firmas declararan sus fuentes y sus emisiones con el fin de obtener los derechos correspondientes (y capturar así las rentas de escasez). En un contexto de restricción de presupuesto por parte de la agencia reguladora, no está claro si instrumentos alternativos de regulación (tales como impuestos o normas de emisión) hubieran sido tan eficaces en incentivar la colaboración para completar el inventario.

Basados en los datos de PROCEFF y teniendo en cuenta las irregularidades en los datos explicadas en los párrafos anteriores, y algunas otras que se explican más adelante, la Tabla 2 presenta un resumen de nuestra base de datos con las principales variables durante el período 1993-1999<sup>17</sup>. A julio de 1993, había un total de 680 fuentes registradas en el Programa como fuentes existentes, nuevas o “no definidas”. Muchas fuentes, cuya existencia se ignoraba al momento de promulgación del DS 4, se presentaron solicitando derechos de emisión. Una revisión de PROCEFF de las 85 fuentes “no definidas” determinó que algunas de ellas estaban doblemente registradas, posiblemente (pero no siempre) por equivocación<sup>18</sup>. Otras fuentes simplemente desaparecieron de las bases de datos posteriores y a otras

---

<sup>16</sup> Esta información se recolectó a partir de diversas conversaciones con personeros de PROCEFF durante 1997-1999.

<sup>17</sup> Nuestra base de datos excluye la fuente Nueva Renca, debido a que siguió un procedimiento de compensación de emisiones distinto al de las otras fuentes industriales nuevas afectadas por el Programa de Compensaciones. Nueva Renca es una central de generación eléctrica de ciclo combinado cuyo tamaño es cuatro veces mayor ( $F = 766.032,9 \text{ m}^3/\text{h}$ ) que la fuente industrial más grande existente ( $F = 183.739,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ) que entró en operaciones en octubre de 1997 y que aparece en la Base de Datos de PROCEFF de 1999.

<sup>18</sup> El comportamiento oportunista también explica parte de este doble registro.

TABLA 2: RESUMEN DE ESTADÍSTICAS DE LAS FUENTES AFECTADAS: 1993-1999

Variable	1993	1995	1996	1997	1998	1999
N° de fuentes	680	690	631	576	566	573
Existentes	563	551	504	430	365	365
Nuevas	32	101	117	136	193	208
No definidas	85	38	10	10	8	0
<b>Flujo máximo (F)</b> (m <sup>3</sup> /hr)						
Total	3.344.169,3	3.301.020,1	2.910.523,5	2.339.767,5	2.385.089,6	2.375.988,7
Promedio	4.910,7	4.784,1	4.612,6	4.062,1	4.213,9	4.146,6
Desv. estándar	15.058,8	14.908,0	15.490,9	9.498,6	13.091,0	11.793,5
Max.	261.383,9	261.304,7	261.304,7	182.843,0	207.110,6	183.739,5
Min.	499,2	204,3	204,3	493,3	216,9	165,6
<b>Concentración (C)</b> (mg/m <sup>3</sup> )						
Promedio	94,9	83,1	78,5	54,7	31,1	27,8
Desv. estándar	88,1	77,8	76,8	43,0	21,1	18,5
Max.	702,0	698,2	674,0	330,7	110,0	108,2
Min.	1,5	1,5	3,4	3,6	2,9	4,6
No cumplen	106	87	83	29	0	0
Usuarios de gas natural	0	0	0	0	145	179
<b>Capacidades y derechos</b> (kg/día)						
EDD	7.442,5	6.500,2	5.195,1	3.535,0	1.953,6	1.636,6
EDD con gas natural	7.442,5	6.500,2	5.195,1	3.535,0	1.742,4	1.380,3
EDI	4.604,1	4.604,1	4.604,1	4.087,5	4.087,5	4.087,5
<b>Líneas bases</b> (kg/día) <sup>(a)</sup>						
(1) sin gas natural	6.158,6	5.954,5	5.062,4	4.202,2	4.077,9	4.141,8
(2) con gas natural	6.158,6	5.954,5	5.062,4	4.202,2	3.203,7	2.764,2
(3) flujo 96 & (1)	6.158,6	5.954,5	5.062,4	4.493,8	4.227,4	4.302,5
(4) flujo 96 & (2)	6.158,6	5.954,5	5.062,4	4.493,8	3.404,5	3.029,4

<sup>(a)</sup> Véase texto para más detalles acerca de los contrafactuales.

*Fuente:* Elaborado a partir de los datos de PROCEFF.

PROCEFF les asignó la categoría de “fuente nueva” (en lugar de la categoría de “fuente existente” que ellos solicitaron originalmente) debido a importantes expansiones. Después de siete años, todas las fuentes se definen claramente como “nuevas” o “existentes”.

El tamaño de las fuentes, medido por el flujo máximo de emisiones (F), varía ampliamente entre las fuentes. Para un año cualquiera a partir de 1993, la desviación estándar está bastante por sobre el promedio<sup>19</sup>. Entre las fuentes más pequeñas, puede parecer extraño observar algunas por debajo de los 1.000 m<sup>3</sup>/hr. Éstas son fuentes existentes que en marzo de 1992 tenían un F mayor a 1.000 m<sup>3</sup>/hr y que posteriormente disminuyó, pero que, sin embargo, decidieron permanecer en el Programa para mantener los derechos que habían recibido.

El F agregado también varía significativamente a través del tiempo. Son particularmente notorias las caídas en 1996 y nuevamente en 1997. Una explicación posible es que algunas fuentes existentes pueden haber decidido reducir su F para salirse del Programa, y que, cuando fue posible, algunas de las fuentes nuevas se separaron en unidades más pequeñas para evitar ser afectadas por el Programa. Aunque no podemos probar esta hipótesis para fuentes individuales, podemos hacer un test agregado usando las bases de datos de PROCEFF para las fuentes estacionarias más pequeñas que no están afectadas por el Programa de Compensación pero sí por la norma de emisión de los 112 mg/m<sup>3</sup> y por los episodios de preemergencia y de emergencia. Un resumen de estas fuentes más pequeñas se presenta en la Tabla 3, que indica que a pesar de que su número ha aumentado a través del tiempo, el F total se ha mantenido relativamente constante excepto por el año 1997, en que se alcanza un *peak*<sup>20</sup>. Esta observación tiende a sugerir que el cambio hacia capacidades más pequeñas para evitar el Programa de Compensación no ha sido importante.

La Tabla 2 muestra a su vez que la concentración de emisiones de las fuentes afectadas también varía ampliamente a través del tiempo y entre fuentes. Mientras algunas fuentes han cumplido desde el primer día del Programa, muchas otras han superado la norma de 112 mg/m<sup>3</sup> hasta 1997, como se muestra en la fila de “no-cumplidores”. Esto proporciona evidencia clara de los problemas de fiscalización experimentados durante los pri-

---

<sup>19</sup> Recuérdese que el flujo máximo (F) de las fuentes que se transforman a gas natural se estima suponiendo que usan el combustible dual (petróleo # 2), para ser consecuente con el procedimiento que usa PROCEFF para estimar las emisiones diarias. Esta metodología disminuye F para estas fuentes solamente 1,145 veces, desde un promedio de 9.452 m<sup>3</sup>/h a 8.255 m<sup>3</sup>/h.

<sup>20</sup> No se puede descartar que el *peak* de 1997 se deba a problemas de recolección y procesamiento de datos.

TABLA 3: RESUMEN DE ESTADÍSTICAS DE LAS FUENTES NO AFECTADAS: 1993-1999

Variable	1993	1997	1998	1999
N° de fuentes	1616	1856	1963	1989
Flujo (F) (m <sup>3</sup> /hr)				
Total	774.366,2	861.045,0	776.122,8	788.840,0
Promedio	478,9	462,7	394,4	395,2
Desv. estándar	461,3	412,0	237,4	232,1
Max.	6.654,0	5.318,6	1.220,0	1.065,6
Min.	0,0	0,0	0,0	0,0
Concentración (C) (mg/m <sup>3</sup> )				
Promedio	39,4	37,1	35,3	33,2
Desv. estándar	20,0	12,8	10,8	9,6
Max.	469,9	189,3	107,8	89,8
Min.	1,5	3,8	5,7	4,1
Usuarios de gas natural	0	0	43	86
Emisiones (kg/día)	789,5	809,5	646,4	621,6

*Fuente:* Elaborado a partir de los datos de PROCEFF.

meros años del Programa. La adopción de combustibles más limpios ha llevado a una disminución importante en la concentración de emisiones, particularmente después de la introducción del gas natural en 1997<sup>21</sup>. Este combustible, importado desde Argentina, está disponible a precios muy convenientes, lo que ha significado que a julio de 1999, 179 de las 573 fuentes posibles ya lo han incorporado en sus procesos de producción.

De acuerdo a análisis de costos hechos por diferentes consultores y empresas, todas las conversiones al gas natural se han hecho principalmente por razones económicas independientemente del DS4<sup>22</sup>. Sin embargo, se puede cuestionar este argumento si se miran las acciones tomadas por fuentes más pequeñas no afectas al DS 4. La Tabla 3 muestra que en 1999 sólo una pequeña fracción de estas fuentes más pequeñas (86 de un total de 1989) se habían cambiado a gas natural. La razón principal de la diferencia

<sup>21</sup> Recuérdese que para ser consecuentes con el procedimiento utilizado por PROCEFF para estimar las emisiones diarias, la tasa de concentración (C) de las fuentes que se transforman a gas natural se estima suponiendo que usan el combustible dual (petróleo # 2). Esta metodología aumenta las concentraciones reales de estas fuentes 1,95 veces desde un promedio de 10,3 mg/m<sup>3</sup> a 20,1 mg/m<sup>3</sup>, el que todavía es bastante inferior a C<sub>0</sub> = 56 mg/m<sup>3</sup>.

<sup>22</sup> Entrevista personal con Víctor Turpau, de Metrogas, octubre de 1999.

en las tasas de adopción entre las fuentes pequeñas y grandes es que éstas últimas se benefician mayormente por las economías de escala que resultan del costo fijo de convertirse, además de que tienen acceso a negociar descuentos por volumen<sup>23</sup>.

La combinación de menores flujos de emisiones y menores concentraciones ha llevado a una fuerte caída en la capacidad diaria de emisiones (EDD) a través del tiempo, como se muestra en la última línea de la Tabla 2. Debido al procedimiento desarrollado por PROCEFF para estimar la capacidad de emisión de las fuentes que se están cambiando a gas natural, que consiste en usar el combustible dual (es decir, petróleo # 2) como el combustible real, nosotros también incluimos una estimación de las EDD totales usando gas natural (EDD c / GN) para las fuentes que se están cambiando. Independientemente si consideramos EDD o EDD c / GN, está claro que las metas medioambientales establecidas en el DS 4 han sido ampliamente cumplidas. Sorprende, sin embargo, el hecho de que, aun con los limitados niveles de fiscalización observados en 1997, la meta medioambiental se logró incluso antes de la introducción de gas natural.

En un esfuerzo por separar el efecto del Programa de Compensación y su mercado en la evolución observada de las emisiones, de otros factores tales como la introducción de gas natural, desarrollamos cuatro escenarios de líneas bases de capacidades de emisiones. Estos son escenarios hipotéticos de capacidad de emisión que se habrían observado en ausencia del Programa de Compensación de Emisiones, pero asumiendo que cada fuente cumple con la norma de concentración de 112 (mg/m<sup>3</sup>). Para construir el primer escenario de línea base, se supone que el Programa de Compensación no afecta F, y que las concentraciones de las fuentes permanecen constantes en sus niveles de 1993<sup>24</sup>. Para fuentes nuevas que entran en 1993, usamos su propia concentración para ese año (que no es un mal supuesto dados los importantes problemas de fiscalización). Para fuentes nuevas que entran después de 1993, usamos la concentración media de las

---

<sup>23</sup> El número total de EDI ha disminuido a través del tiempo, porque algunas fuentes existentes a las que se les había asignado derechos de emisión en 1993, desaparecieron junto a sus derechos, los cuales no fueron vendidos. Nótese que nuestro número agregado de EDI se aproxima bastante al número informado por PROCEFF en julio de 1999, indicando un total de 3.981,6 EDI asignados a 401 fuentes. Para obtener nuestro dato a partir de los de PROCEFF, a estos últimos se les deben restar aquellos EDI asignados a fuentes que desaparecieron en 1997 y que nunca vendieron sus derechos (de manera que no están disponibles en el mercado), y se les deben sumar algunas fuentes activas existentes que aún están en el proceso de solicitar sus EDI.

<sup>24</sup> Se supone  $C = 112$  para todas las fuentes para las cuales  $C > 112$ . El  $C$  promedio es, entonces, 74,0 mg/m<sup>3</sup>.

fuentes nuevas que entran en 1993<sup>25</sup>. Debido a que el primer escenario no considera el gas natural, el segundo escenario supone que todas las conversiones a gas natural se deben a su bajo precio y que, por consiguiente, habrían tenido lugar independientemente del Programa de Compensación, tal como ya fue mencionado. Para controlar por la importante caída en F durante 1997, que algunos analistas pueden atribuir al Programa de Compensaciones porque la fiscalización sólo comenzó a mejorar alrededor de esa fecha, el tercer y cuarto escenario fijan los F individuales para los años 1997, 1998 y 1999 y los hacen iguales a los de 1996.

Durante el período 1993-1996, las capacidades de emisión reales siempre excedieron a las de los escenarios de líneas bases. Esto es porque en los cuatro escenarios de líneas bases se supone que todas las fuentes cumplen con la norma de los 112 mg/m<sup>3</sup>, lo que ciertamente no ha ocurrido. En 1997, las capacidades de emisión agregadas cayeron por debajo de las líneas bases, lo que sugiere que el Programa de Compensación empezó a ser restrictivo en ese momento. Sin embargo, las capacidades de emisión agregadas estaban aún por debajo del número total de derechos de capacidad de emisión (EDI), lo que, en cambio, podría indicar algún tipo de ineficiencia, dado que los derechos no se pueden almacenar para su uso futuro<sup>26</sup>. Si rechazamos la explicación de la ineficiencia de mercado (o el cumplimiento autárquico) para la baja concentración en 1997, algunas fuentes deben haberse visto motivadas para convertirse a combustibles más limpios, dada la posibilidad de enfrentar un episodio de emergencia o simplemente porque combustibles más limpios y más baratos (distinto al gas natural) estaban disponibles. Mientras los participantes en la industria confirman que lo primero fue importante, para lo segundo no hay evidencia.

La llegada del gas natural en 1997, a precios muy bajos, hizo que muchas fuentes se cambiaran a ese combustible. Los escenarios # 2 y # 4, y particularmente las capacidades totales de emisión, cayeron bastante por debajo de los derechos de capacidad agregados. Debido a que para julio de 1999 casi todas las fuentes afectadas a las cuales les convenía económica y técnicamente cambiarse a gas natural ya lo habían hecho, la diferencia entre la capacidad de emisión real y la de los escenarios # 2 y # 4 debiera ser

---

<sup>25</sup> El C promedio 70,6 mg/m<sup>3</sup> fue adoptado para las 33 fuentes nuevas en 1993 y 13 fuentes no definidas en 1993 que posteriormente demostraron ser expansiones de fuentes existentes.

<sup>26</sup> El sobrecumplimiento puede ser óptimo cuando se permite almacenar los derechos (Schmalensee *et al.*, 1998).

explicada ya sea por los episodios de emergencia o por un cumplimiento autárquico, o por un poco de ambas. Así, es posible establecer dos hipótesis:

*a) El límite agregado de capacidad del Programa de Compensación de Emisiones nunca ha sido restrictivo debido a la introducción del gas natural y a los episodios de emergencia.*

*b) Más allá de los efectos de los episodios de emergencia y el gas natural sobre la capacidad de emisiones, algunas firmas están cumpliendo con el Programa de Compensación de Emisiones de una manera autárquica, prestándole escasa atención al mercado.*

Si a) es la hipótesis correcta, el bajo nivel de capacidad de emisión observado sería simplemente una respuesta económica a los factores de gas natural y emergencias, que son exógenos al programa. En otras palabras, el escenario de línea base sería el de la capacidad de emisión real. Si, en cambio, b) resulta ser la hipótesis correcta, la sobrerreducción de la capacidad de emisiones (o sobrecumplimiento) por debajo de los escenarios de líneas bases sería señal de una respuesta económicamente ineficiente al Programa.

Como a) requiere observación de un mercado de emisiones con bastantes transacciones y precios razonablemente bajos, las siguientes dos secciones desarrollan ejercicios numéricos para testear el desempeño del mercado. Un pobre desempeño del mercado sería un claro indicador de que el patrón de las capacidades de emisión y de la reducción de capacidades observado es más compatible con la hipótesis b).

## **5. Funcionamiento del mercado**

Nuestro objetivo en esta sección es presentar los resultados de un ejercicio de simulación numérica para un mercado ideal que se usa como marco de referencia para contrastar sus resultados con los resultados observados en el mercado creado por el Programa de Compensación de Emisiones (volúmenes de transacción y precios)<sup>27</sup>. El ejercicio numérico intenta reflejar las reglas y las condiciones económicas exógenas al mercado descritas en las secciones anteriores.

---

<sup>27</sup> Para un análisis teórico de la construcción del ejercicio numérico, véase Montero *et al.* (2000).

### 5.1. Marco de referencia

Los datos para los cuatro escenarios de líneas bases se presentan en la Tabla 2. Los datos de costo marginal de abatimiento se obtuvieron de análisis econométricos e ingenieriles, basados en la información obtenida de la literatura doméstica y muchas entrevistas con operadores de la industria y vendedores de equipos de control<sup>28</sup>. Las emisiones de PTS pueden ser abatidas no sólo cambiando el tamaño del flujo máximo  $F$ , sino alternativa o adicionalmente instalando tecnología de filtros al final de la chimenea (filtros, precipitadores electrostáticos, ciclones y lavadores), o cambiándose de combustible (de leña, carbón o petróleo pesado a petróleo liviano, gas licuado o gas natural)<sup>29</sup>.

Para entender la evolución del Programa y el efecto del gas natural sobre el mismo, dividimos el análisis en dos partes. Dado que las primeras conversiones de las fuentes industriales al gas natural ocurrieron a fines de 1997, la primera parte del análisis simula un mercado estático “antes del gas”, usando datos de la base de datos de 1997 y suponiendo que el gas natural no estaba disponible ni se esperaba que estuviera disponible. En la segunda parte, simulamos un mercado estático “después del gas”, usando datos de la base de 1999 y tomando en cuenta la disponibilidad del gas natural y todas las tecnologías de abatimiento ya instaladas en 1997.

La Tabla 4 resume los resultados de las simulaciones presentando las líneas bases de capacidad de emisión (i.e., proyecciones de EDD en un escenario sin regulación), derechos de capacidad (EDI) y requerimientos de reducción de emisiones para las simulaciones de los mercados “antes” y “después” del gas natural, seguidos de los resultados de equilibrio para un mercado competitivo sin fricciones. Los datos presentados en la Tabla 4 son para los escenarios de líneas bases # 2 y # 4. Si nos olvidamos de la disponibilidad del gas natural, la simulación del mercado “antes del gas” indica un precio de equilibrio entre US\$6.600 y US\$12.600 por kg/día y un volumen importante de transacciones de cerca de 1.800 kg/día; aproximadamente 45% del total de EDI. Considerando la introducción del gas natural, la simulación del mercado “después del gas” da un precio de equilibrio de cero (porque no hay requerimientos de reducción a nivel agregado), acompañado de un nivel todavía alto de transacciones cercano al 30% del

---

<sup>28</sup> Se reunieron datos para una submuestra de 225 fuentes existentes y 49 fuentes nuevas, para luego extrapolar al resto de la muestra.

<sup>29</sup> Es importante notar que en este análisis no se consideran los efectos de los episodios de emergencia y preemergencia en los costos marginales de abatimiento.

TABLA N 4: DATOS NUMÉRICOS Y RESULTADOS

Mercado	Contrafactual kg/día	Total EDI kg/día	$q_T$ kg/día	$p^*$ \$(kg/día)	Volumen kg/día
Antes del gas	4.202,2 (2)	4.087,5	114,7	6.600	1.844,9
	4.493,8 (4)	4.087,5	406,4	12.600	1.779,1
Después del gas	2.764,2 (2)	4.087,5	< 0	0	1.112,3
	3.029,4 (4)	4.087,5	< 0	0	1.164,9

*Fuente:* Elaboración propia.

total de EDI. Nótese que aun cuando el precio cae a cero, 333 fuentes, incluyendo 208 fuentes nuevas, deben cubrir sus capacidades de emisión con derechos.

## 5.2. Precios y transacciones observadas en el mercado

En esta sección examinamos si los precios y los volúmenes transados observados se alejan significativamente de aquellos predichos por los resultados de las simulaciones presentadas en la sección anterior. Las Tablas 5 y 6 muestran los precios y los volúmenes de transacción, respectivamente, que hemos recogido de diversas fuentes durante los últimos dos años. Antes de comparar estos números con aquellos predichos por los modelos de simulación, necesitamos clarificar dos temas. El primero es que todas las transacciones que se han dado, excepto una, han sido del tipo “a perpetuidad”. La única transacción temporal ocurrió en diciembre de 1996, para cubrir capacidad de emisiones en un año<sup>30</sup>. El segundo tema es que las transacciones reportadas en la Tabla 5 corresponden a transacciones entre firmas no relacionadas<sup>31</sup>.

El volumen total de emisiones, excluyendo la transacción de un año, fue entonces de 29,75 kg/día. Aun sin conocer todas las cantidades de la Tabla 5, este número es mucho más grande que el volumen de 3 kg/día de transacciones entre firmas no relacionadas y aprobadas que se reportan en la Tabla 6. Esto se debe a que algunas transacciones de la Tabla 5 corres-

<sup>30</sup> Se nos informó que este derecho de un año fue para una planta vieja que necesitaba cubrir sus emisiones por un año más antes de ser retirada.

<sup>31</sup> De otra forma no habría precio.

TABLA 5: PRECIOS Y TRANSACCIONES A JULIO DE 1999

Fecha	Precio 1998US\$	Volumen kg/día	Tipo de transacción
Dic-96	16.558	N.D.	Derecho permanente
Dic-96	17.031	N.D.	Derecho permanente
Dic-96	14.193	0,9	Derecho por 1 año (*)
Abr-97	11.158	N.D.	Derecho permanente
Sep-97	12.274	1,2	Derecho permanente
Dic-97	35.705	N.D.	Precio solicitado por vendedor
Mar-98	5.895	2	Derecho permanente
Mar-98	11.579	1	Derecho permanente
Mar-98	11.579	N.D.	Precio solicitado por vendedor
Jun-98	6.316	N.D.	Derecho permanente
Jun-98	6.316	3,65	Derecho permanente
Jul-98	8.421	7,3	Derecho permanente
Ago-98	3.158	14,6	Derecho permanente
Oct-98	4.211	N.D.	Precio solicitado por vendedor

(\*) Ésta es una venta de un derecho por un año en US\$1.419 que convertimos en una venta de derecho permanente usando una tasa de descuento real de 10%.

*Fuentes:* Elaborado a partir de información obtenida de Ambar (Alejandro Cofré), *El Mercurio*, Gestión Ambiental, Metrogas, PROCEFF y SESMA.

TABLA 6: VOLUMEN DE TRANSACCIONES A JULIO DE 1999

	# Fuentes	kg/día
EDI totales asignados	401	3.981,3
Compensaciones aprobadas	32	159,7
Compensaciones internas (intrafirma)	30	156,7
Compensaciones externas (interfirmas)	2	3,0
Compensaciones internas/externas bajo revisión	27	104,5
Ventas que no consideran una compensación	10	72,9
Actividad total de transacciones	69	337,1
Compensaciones requeridas de fuentes nuevas hasta 1999	208	427,6

*Fuente:* Elaborado a partir de los datos de PROCEFF.

ponden a ventas que no involucran directamente una compensación, mientras que otras corresponden a transacciones que aún están bajo evaluación en PROCEFF, lo que claramente demuestra lo extenso que puede ser el proceso de aprobación de una compensación.

Mientras los precios efectivos desde diciembre 1996 hasta 1997 no se alejan demasiado de los precios predichos por la simulación del mercado “antes del gas”, el volumen de transacciones es sólo un 9% de lo esperado cuando incluimos solamente las transacciones aprobadas (159,7/1844,9) y un 18% de lo esperado para todas las transacciones (337,1/1844,9). La introducción de gas natural ha tenido importantes efectos en los precios efectivos, pero éstos son aún altos si se estima que en todos los casos las líneas bases de emisiones caen bajo el límite de las emisiones, como ya se ha mostrado en la simulación del mercado “después del gas”. Si el volumen transado observado está muy por debajo de lo predicho por el modelo, tendríamos una indicación de ineficiencia del mercado.

Se podría argumentar que el alto precio de los derechos y el bajo volumen transado se debe a que las fuentes están guardando sus derechos, debido a los límites cada vez más estrictos sobre PTS impuestos por el Plan de Descontaminación. Aparentemente, el Plan reduce el número total de derechos en poder de las fuentes existentes, restringiendo  $C_0$  en la ecuación (1) desde  $56 \text{ mg/m}^3$  hasta  $50 \text{ mg/m}^3$  durante el período que va desde el año 2000 al 2004 y a  $32 \text{ mg/m}^3$  de ahí en adelante<sup>32</sup>. Esto implica que el número total de EDI en el mercado disminuirá, a lo más, a 3.649,6 kg/día durante el período 2000-2004 y a 2.335,7 kg/día de ahí en adelante. A pesar de que los precios positivos de hoy podrían justificarse, si se considera que en uno de los escenarios la línea base de emisiones es más alta que el límite del 2005, la pregunta de por qué ha habido sobrecumplimiento, incluso ya en 1997, permanece vigente.

Mientras parte del significativo sobrecumplimiento (producto de un cumplimiento autárquico) se puede deber a una respuesta económica a la probabilidad de que ocurran episodios de emergencia y preemergencia, argumentamos más adelante que hay varios elementos que afectan el desempeño del mercado y que pueden tener responsabilidad en el sobrecumplimiento observado. Es importante destacar que no estamos afirmando que, necesariamente, los beneficios netos del sobrecumplimiento sean negativos (véase, por ejemplo, Oates, 1989); sino sólo que es un síntoma de imperfección de mercado.

---

<sup>32</sup> Decimos “aparente” porque no está claro si el límite será estrechado tomando en consideración todos los derechos asignados o sólo aquellos en poder de las fuentes existentes.

## 6. De la teoría a la práctica

En esta sección discutimos los elementos que creemos están afectando el desempeño del mercado y ofrecemos recomendaciones donde pensamos que hay espacio para mejorar.

### 6.1. Incertidumbre regulatoria

El primer problema enfrentado por las autoridades ambientales después de la publicación del DS 4 en marzo de 1992, fue la urgente necesidad de desarrollar las capacidades institucionales, que simplemente no existían en ese momento, para regular las fuentes fijas. PROCEFF fue creado para realizar las tareas de compilar un registro completo de las fuentes fijas considerando sus niveles de emisión y de concentración, y desarrollar reglas y normas de medición y análisis según los principios de la libre entrada sujeta a ciertas consideraciones técnicas. El registro y control de las emisiones de las fuentes fijas permitieron recolectar información acerca de fuentes que no habían sido previamente identificadas y, por lo tanto, cuya contribución al total de emisiones de material particulado no había sido cuantificada.

Por un lado, este proceso de inventario y registro de las fuentes fijas fue quizás uno de los principales logros del Programa de Compensación, dado que permitió la identificación y la inspección de todas las fuentes fijas, incluyendo aquellas que emitían por sobre la norma establecida. Por otra parte, dejó al descubierto importantes diferencias entre los inventarios de emisiones iniciales y las emisiones efectivas, suscitando un importante tema de política para la aplicación de un esquema de permisos transables que se relaciona con la asignación inicial de permisos.

En el caso del DS4, los derechos se asignaron a todas las fuentes existentes, reconociendo implícitamente derechos históricos. Sin embargo, cuando se asignan derechos de emisión iniciales de este modo, se debe conocer con precisión el número y tamaño de las fuentes existentes. Éste no fue el caso del Programa de Compensación de Emisiones. Apareció un significativo número de fuentes nuevas cuya existencia se ignoraba, lo que creó gran incertidumbre en torno al Programa y la posibilidad de transar. Esta incertidumbre llevó a PROCEFF a concentrar toda su actividad reguladora en la cuantificación de las fuentes y las emisiones. Como resultado, no se autorizaron compensaciones durante los tres primeros años del Programa.

Posteriormente y en particular después de la introducción del gas natural a finales de 1997, la autoridad encontró que la asignación inicial de derechos había resultado ser muy generosa. En un esfuerzo por revertir esta situación, se les exigió a las nuevas fuentes registradas después de junio de 1998, que compensaran un 120% de sus emisiones. En una decisión reciente, la autoridad ambiental aumentó para las fuentes nuevas los requerimientos de compensación a un 150%. Además, actualmente se están agregando nuevas provisiones al Plan de Descontaminación de Santiago para reducir, de una manera que está por definirse, el número de derechos existentes.

## 6.2. Elevados costos de transacción y procesos de aprobación largos y engorrosos

Los procedimientos bajo los cuales opera el sistema son bastante engorrosos, lo que por un lado genera elevados costos de transacción y gran incertidumbre respecto a la aprobación de compensaciones. El hecho de que no exista un mercado formal para los derechos de emisión incide en que existan elevados costos de búsqueda, lo que eleva aun más los costos de transacción. La Tabla 6 ofrece evidencia al respecto. Por un lado, el volumen de transacciones intrafirma (i.e., transacciones entre fuentes de una misma firma) es bastante mayor que el volumen de transacciones interfirma (i.e., transacciones entre fuentes de distintas firmas). Además, un importante número de transacciones están aún en proceso de aprobación.

## 6.3. Débil fiscalización

Debido a la escasez de recursos, la fiscalización del Programa siempre ha sido bastante débil. Durante los primeros años del Programa hubo problemas de fiscalización tanto para hacer aplicar la norma de emisión de  $112 \text{ mg/m}^3$  como para llevar la contabilidad de los derechos de emisión que cada fuente debe mantener para cubrir sus emisiones. Después de 1997, el primer problema fue resuelto, pero los problemas relacionados con la necesaria reconciliación entre derechos y emisiones han permanecido. Nótese, por ejemplo, en la Tabla 6, la diferencia entre el volumen total de transacciones (337.1 kg/día) y el total de derechos requeridos para las fuentes nuevas (427.6 kg/día)<sup>33</sup>.

---

<sup>33</sup> No cabe duda de que la fiscalización está mejorando. Cifras recientes entregadas por SESMA, en noviembre de 1999, muestran un importante aumento en las transacciones

#### 6.4. Poder de mercado

Otro tema crítico del esquema bajo análisis es la elevada concentración de derechos que se ha dado. La agrupación de las fuentes de acuerdo a su propiedad usando el número del RUT, muestra que 21 firmas poseen el 50% de los derechos totales; 5 firmas poseen el 31% de los derechos. Luego el mercado tiene un grado de concentración que puede explicar, en parte, la escasa oferta de permisos y su alto precio (Hahn, 1983).

#### 6.5. Mercado poco líquido

Una razón para la liquidez del mercado estriba en que los potenciales vendedores no están dispuestos a vender debido a que no tienen la certeza de que después podrán comprar de vuelta derechos de capacidad si los necesitan para expandir sus actuales fuentes o instalar nuevas fuentes. Otra razón se refiere a las restricciones de monitoreo. Debido a que es imposible monitorear diariamente las emisiones de PTS, la unidad de cambio que se transa es un “derecho permanente” en vez de algo más líquido como un “derecho anual”. La implicancia es que en un mercado poco líquido los compradores pagan precios que están muy cercanos a sus precios de reserva, los cuales están por encima de lo que normalmente se podría considerar como precios competitivos. Este escenario es completamente coherente con lo que se observa en el Programa de Compensaciones: las firmas están pagando precios altos a pesar de que existe exceso de oferta a nivel agregado.

Pareciera ser que la autoridad no colocó demasiada atención en las instituciones básicas que se requieren para que un mercado se desarrolle, tales como la existencia de licitaciones anuales de derechos, y la existencia de una unidad de cambio más líquida. Licitaciones anuales ayudan a la creación de un mercado al entregar señales de precios más estables y dar acceso a las fuentes nuevas a comprar directamente los permisos. En un esfuerzo por tener más transacciones del tipo anual, tal como la única que aparece en la Tabla 5, la autoridad debería desarrollar una unidad de cambio más líquida. Dadas las limitaciones de monitoreo inherentes a las mediciones anuales, un derecho de capacidad diario de sólo un año de duración,

---

totales a 488.96 kgs/día. El mayor aumento fue en el número de compensaciones bajo revisión, el que aumentó a 246.44 kgs/día. Las compensaciones aprobadas también aumentaron a 161.13 kgs/día y las ventas que no involucraron una compensación crecieron a 81.39 kgs/día.

sin la posibilidad de guardarlo para años posteriores, resolvería en parte el problema de poca liquidez sin comprometer las metas ambientales del DS 4 ni imponer una carga extra sobre el regulador.

#### 6.6. Limitado alcance del programa

La pregunta de cuáles fuentes pueden participar en el sistema se torna particularmente relevante cuando uno considera que los procesos industriales, que representan más del 50% del material particulado generado por fuentes fijas, han sido excluidos del sistema. Por una parte, esta exclusión crea incertidumbre de mercado adicional porque en algún momento en el futuro estas fuentes pueden verse afectadas y entrar al mercado como vendedoras o compradoras netas afectando las expectativas de precios futuros. Al mismo tiempo, esta exclusión le resta liquidez del mercado. En consecuencia, una implicancia directa de política para promover un mercado activo y competitivo de derechos de emisión radica en incluir cada vez más fuentes al sistema, comenzando por los procesos industriales. Incluso puede ser necesario considerar la inclusión al sistema de las fuentes móviles que son emisoras importantes de PM10, especialmente los buses diesel.

### 7. Conclusiones

En los últimos años se ha visto un renovado interés en el uso de instrumentos económicos, particularmente de permisos o derechos transables, para el control de la contaminación atmosférica. En este trabajo se ha evaluado el Programa de Compensación de Emisiones establecido por el Decreto Supremo N° 4 en marzo de 1992 para controlar las emisiones de partículas totales en suspensión provenientes de fuentes fijas en Santiago.

Nuestro análisis muestra que el Programa ha tenido un buen desempeño desde una perspectiva ambiental, debido a factores exógenos a éste, tal como la introducción, por razones económicas, de gas natural. Desde una perspectiva económica, sin embargo, nuestros resultados muestran que el mercado de emisión de material particulado no ha operado bien debido a la existencia de incertidumbre regulatoria, altos costos de transacción, procesos de aprobación largos y complejos, y una fiscalización inadecuada. Resulta desafortunado que en la búsqueda del cumplimiento de las metas ambientales, la autoridad ambiental no haya prestado suficiente atención al establecimiento de condiciones que ayudaran al desarrollo del mercado. Sin

embargo, la asignación de derechos de emisión en función de derechos históricos creó incentivos económicos para que las fuentes existentes declararan sus emisiones con el objeto de solicitar los derechos de emisión, lo que ciertamente ayudó a que la autoridad ambiental realizara en forma relativamente más rápida el inventario de emisiones y fuentes.

#### REFERENCIAS

- Banco Mundial (1997). "Five Years after Rio: Innovations in Environmental Policy". Rio + 5 Edition, Draft for Discussion, Banco Mundial, Washington, DC, marzo.
- CONAMA (1997a). "Inventario de Emisiones Atmosféricas de la Región Metropolitana para 1997 y Proyecciones al 2005". Publicación de la Comisión Nacional del Medio Ambiente para la Región Metropolitana, Santiago, Chile.
- CONAMA (1997b). "Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana". Santiago, Chile.
- Ellerman, A. D.; y Montero, J. P. (1998). "The Declining Trend in Sulfur Dioxide Emissions: Implications for Allowance Prices". *Journal of Environmental Economics and Management*, 36, 26-45.
- Hahn, R. W. (1989). "Economic Prescriptions for Environmental Problems: How the Patient Followed the Doctor's Orders". *Journal of Economic Perspectives*, 3, 95-114.
- Hahn, R. W. (1983). "Market Power and Transferable Property Rights". *Quarterly Journal of Economics*, 99, 753-765.
- Jacoby, H. D.; Schmalensee, R.; y Sue Wing, I. (1999). "Toward a Useful Architecture for Climate Change Negotiations". Informe N° 49, MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, mayo.
- Instituto Libertad y Desarrollo (ILD) (1999). Descontaminación de Santiago: Un Plan que No Funciona. *Boletín* N° 442, julio.
- Montero, J. P. (1998). "Marketable Pollution Permits with Uncertainty and Transaction Costs". *Resource and Energy Economics*, 20, 27-50.
- Montero, J. P., Sánchez, J. M.; y Katz, R. (2000). "A Market-Based Environmental Policy Experiment in Chile". Working paper N° 2000-05, Center for Energy and Environmental Policy Research, Massachusetts Institute of Technology.
- Oates, W. E.; Portney, P. R.; y McGartland, A. M. (1989). "The Net Benefits of Incentive-Based Regulation: A Case Study of Environmental Standard Setting". *American Economic Review*, 79, 1233-1244.
- Ostro, B.; Sánchez, J. M.; Aranda, C.; y Eskeland, G. (1996). "Air Pollution and Mortality: Results from a Study of Santiago, Chile". *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 6 (1), 97-114.
- Ostro, B.; Eskeland, G.; Sánchez, J. M.; y Feyzioglu, T. (1999). "Air Pollution and Health Effects: A Study of Medical Visits Among Children in Santiago, Chile". *Environmental Health Perspectives*, 107 (1).
- PROCEFF (1993-1999). "Bases de Datos desde 1993 hasta 1999". Programa para el Control de Emisiones de Fuentes Fijas. Santiago.

- Schmalensee, R.; Joskow, P. L.; Ellerman, A. D.; Montero, J. P.; y Bailey, E. M. (1998). "An Interim Evaluation of Sulfur Dioxide Emissions Trading". *Journal of Economic Perspectives*, 12, 53-68.
- Stavins, R. (1995). "Transaction Costs and Tradeable Permits". *Journal of Environmental Economics and Management*, 29, 133-148.
- Tietenberg, T. H. (1985). *Emissions Trading: An Exercise in Reforming Pollution Policy*. Washington, DC: Resources for the Future.