



El Trimestre Económico

ISSN: 0041-3011

trimestre@fondodeculturaeconomica.com

Fondo de Cultura Económica

México

Briceño, Sandra; Chávez, Carlos

Determinantes de cumplimiento en el programa de tasas retributivas en Colombia. El caso de Corpochivor

El Trimestre Económico, vol. LXXVII (4), núm. 308, octubre-diciembre, 2010, pp. 1007-1036

Fondo de Cultura Económica
Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31340965007>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

DETERMINANTES DE CUMPLIMIENTO EN EL PROGRAMA DE TASAS RETRIBUTIVAS EN COLOMBIA

El caso de Corpochivor*

*Sandra Briceño y Carlos Chávez***

RESUMEN

Evaluamos los factores que influyen en las decisiones de informar las cargas contaminantes y aquellos referidos al cumplimiento en el pago de impuestos a vertidos de parte de fuentes reguladas con el Programa de Tasas Retributivas de Colombia (PTRC). El análisis utiliza una base de datos que contiene información de cada fuente individual según la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Chivor (Corpochivor), para el periodo 2001-2006. Los resultados de las estimaciones econométricas sugieren que el informe de vertidos es afectado por el tamaño del sector productivo al que pertenece la fuente, la tasa retributiva cobrada para demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y actividades de fiscalización ejercidas por la corporación en las fuentes reguladas. La estimación para el cumplimiento en el pago de la tasa indica que las acciones de fiscalización ejercidas por la Corpochivor no son determinantes en el cumplimiento individual de las fuentes.

* *Palabras clave:* fiscalización, cumplimiento, impuestos a efluentes, programa de tasa retributivas. *Clasificación JEL:* L51, Q28, C23, C25. Artículo recibido el 4 de octubre de 2007 aceptado el 29 de septiembre de 2009. Los autores agradecemos a dos dictaminadores anónimos de EL TRIMESTRE ECONÓMICO sus valiosos comentarios y sugerencias que contribuyeron a mejorar nuestro trabajo. Asimismo, agradecemos también a Carlos Alfonso, ex funcionario de la Corpochivor, y a Plinio Rolando Forero, subdirector de Gestión Ambiental de Corpochivor, las útiles conversaciones así como por la información proporcionada en relación con el Programa de Tasas Retributivas aplicado por la Corpochivor.

** S. Briceño, Programa Magíster en Economía de Recursos Naturales y del Medio Ambiente, Universidad de Concepción (correo electrónico: sbriceno@conama.cl). C. Chávez, profesor titular, Departamento de Economía, Universidad de Concepción (correo electrónico: cchavez@udec.cl).

ABSTRACT

We evaluate the factors that influence the reported level of pollution and those referred to the compliance with the payment of discharge fees from sources regulated under the Colombia's Discharge Fee Program. The analysis uses a data set that contains information at plant level and considers individual sources operating under the jurisdiction of the Regional Autonomous Corporation of the Chivor (Corpochivor), for period 2001-2006. The results of the econometric estimations suggest that the report of discharges is affected by the size of the sector to which the source belongs, the level of discharge fee for BDO₅, and enforcement and control actions exerted by the corporation's authorities on the regulated sources. The estimation for the compliance in the payment of the discharge fee indicates that the actions of enforcement exercised by Corpochivor are not determinants on the individual sources' compliance decision.

INTRODUCCIÓN

El uso de instrumentos económicos, tanto por la aplicación de impuestos a las emisiones como también por sistemas de permisos de emisión transferibles, ha generado creciente interés de parte de reguladores ambientales. Estos instrumentos prometen, al menos conceptualmente, colaborar en la solución de problemas de contaminación de manera costo-efectiva. La aplicación práctica de estos instrumentos ha ocurrido principalmente en los Estados Unidos y en países de Europa; sin embargo, algunos países en desarrollo han aplicado también diversas maneras de regulación ambiental basadas en el uso de incentivos económicos (Banco Mundial, 1997). Entre los países de la América Latina destacan dos ejemplos: el Programa de Compensación de Emisiones de Santiago, aplicado en la capital de Chile en 1992, y el Programa de Tasas Retributivas de Colombia, introducido durante el año 1997.¹

El Estado colombiano en su marco regulatorio aplica instrumentos económicos para la prevención, corrección y restauración del deterioro del recurso hídrico, a partir de la Ley 99 de 1993, la cual decreta el uso de instru-

¹ Un análisis del Programa de Compensación de Emisiones de Santiago y del funcionamiento del mercado de permisos de capacidad máxima de emisión asociado a éste es presentado en Montero *et al* (2001, 2002). Véase una descripción pormenorizada de la fiscalización y resultados de cumplimiento de este programa en Palacios y Chávez (2005, 2002). Una descripción de las bases legales, aplicación y evaluación inicial del programa de tasas retributivas de Colombia es proporcionada por Blackman (2009).

mentos económicos para el control de los vertidos puntuales en cuerpos de agua mediante el programa tasas retributivas (TR).² Las TR se establecen con base en el sistema de impuestos-metas, en el que una tasa uniforme es cobrada por volumen de carga contaminante vertida en un acuífero y la meta de reducción es previamente consultada con los agentes que intervienen en la cuenca regulada.

Las ganancias de eficiencia a partir de la aplicación de impuestos a las emisiones o efluentes han sido ampliamente analizadas en las bibliografías (véase, por ejemplo, Baumol y Oates, 1988, en particular capítulo 11, y Hanley *et al.*, 2007, capítulo 5). Sin embargo, un número creciente de autores ha indicado que la obtención de tales ganancias depende críticamente del cumplimiento logrado. Consecuentemente, la efectividad de este tipo de instrumento, para contribuir a mejorar la calidad ambiental, depende de la capacidad institucional requerida para la aplicación, control y supervisión del programa de impuestos a los efluentes, además de las estrategias de fiscalización por parte de la autoridad reguladora para inducir el cumplimiento.³

La capacidad institucional se ha evaluado ampliamente en términos de la efectividad ambiental y de la eficiencia institucional y económica. La primera entendida como una disminución en la carga contaminante vertida al recurso por cualquier proceso o actividad y la segunda referida al logro de metas de reducción de la contaminación del recurso al mínimo costo (véase por ejemplo, CEPAL, 2000; Arjona *et al.*, 2000; Castro *et al.*, 2001; Castro y Bonilla, 2003; Rudas, 2006, y más recientemente Blackman, 2009, entre otros). No obstante, no se ha realizado hasta ahora una evaluación del proceso de fiscalización para inducir el cumplimiento asociado al programa de tasas retributivas en Colombia (PTRC). De acuerdo con nuestro conocimiento, no existen estudios anteriores que hayan analizado los factores que influyen en las decisiones de cumplimiento por parte de las fuentes individuales que participan en este programa.

El objetivo de este trabajo es evaluar los factores que influyen en las decisiones de informar las cargas contaminantes y aquellos referidos al cumpli-

² El Ministerio del Medio Ambiente reglamenta el programa de tasas retributivas en Colombia por medio del Decreto 901 de 1997, el cual ha tenido hasta la fecha dos modificaciones importantes, con los decretos 3100 del 2003 y 3440 del 2004.

³ En el contexto de este trabajo entendemos por fiscalización el conjunto de acciones destinadas a inducir el cumplimiento de los agentes en regulación. Dichas acciones incluyen revisiones o auditorías con el propósito de detectar infracciones, y la aplicación de sanciones en el caso que una infracción sea descubierta. En este sentido, utilizamos aquí el término “fiscalización” como sinónimo de la palabra en inglés *enforcement*.

miento en el pago de impuestos a efluentes de parte de fuentes reguladas por el PTRC. Específicamente, examinamos el caso para la Corporación Autónoma Regional del Chivor (Corpochivor). Estudiamos los factores determinantes de las decisiones de informar las cargas contaminantes así como respecto al cumplimiento del pago de la tasa retributiva que las fuentes reguladas por el PTRC hacen a dicha corporación. En el contexto de un sistema de impuestos a los efluentes, son dos las preocupaciones centrales de un organismo regulador. Primero, inducir informes verdaderos respecto a las descargas de contaminantes, que constituyen la base del cálculo de impuestos, y segundo, inducir el pago efectivo de parte de las fuentes reguladas de tales impuestos. Nuestro análisis para el caso de la Corpochivor considera ambos aspectos.

El análisis de este trabajo está sustentado en una base de datos original construida a partir de información proporcionada por Corpochivor, la cual considera el periodo 2001-2006 e incluye datos para un total de 251 fuentes que operan en el referido programa.⁴ Del total de observaciones en la base original, nuestras estimaciones consideran un panel equilibrado de 54 fuentes para el análisis de los determinantes de informar las cargas contaminantes y un total de 77 fuentes para el modelo de cumplimiento en el periodo 2001-2003, con un total de 540 y 308 registros, respectivamente.⁵

El trabajo se estructura en tres secciones. En la sección I se presenta una breve descripción del funcionamiento general del PTRC y de los principales instrumentos disponibles en materia de fiscalización para inducir cumplimiento de las fuentes reguladas. En la sección II, se revisa brevemente un modelo conceptual de comportamiento de una fuente individual en relación con su elección de informar el vertido y cumplimiento de pago. Esta sección incluye también una descripción de los datos y las especificaciones económicas que sustentan la estimación de los determinantes en las decisiones

⁴ En junio de 2001 el Ministerio del Medio Ambiente realizó una Evaluación Nacional del Programa de Tasas Retributivas que agrupó a las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) de acuerdo con la aplicación de la tasa. La referida evaluación originó agrupaciones que incluyen: CAR con mínimo tres semestres de operación del programa, CAR con procesos incompletos o incongruentes en la aplicación y operación del programa y CAR que sólo habían realizado algunas iniciativas aisladas relacionadas con la aplicación del programa. De acuerdo con esta evaluación, la Corpochivor se encontraba dentro de este último grupo. No obstante, según información de la Corpochivor, cinco meses después de la fecha en que se realiza dicha evaluación, la corporación estaba iniciando su primer periodo de cobro de la tasa (octubre de 2001).

⁵ El cobro de la tasa retributiva se inició en la Corpochivor a partir del 1 de octubre de 2001. Para el primer semestre del referido año (es decir, oct/2001 - mar/2002) no se facturó la cuenca correspondiente a otros municipios; sin embargo, a partir del segundo semestre se facturaron todas las cuencas de la jurisdicción. Contacto personal con Carlos Alberto Alfonso, encargado del programa de tasas retributivas, Subdirección Ambiental de la Corpochivor.

de informar las cargas contaminantes y las decisiones de cumplimiento en el pago de tasas retributivas. La sección III presenta los resultados obtenidos en las estimaciones. Finalmente, ofrecemos las conclusiones del artículo.

I. EL PROGRAMA DE TASAS RETRIBUTIVAS EN COLOMBIA

En esta sección se describe el funcionamiento básico del programa de tasas retributivas. Además, se presenta una breve descripción de los aspectos específicos de fiscalización en las CAR y en particular en la Corporación Autónoma Regional del Chivor.

1. *Funcionamiento básico del programa*

La legislación nacional de Colombia consigna las TR como un sistema de impuestos uniformes a los vertidos de contaminantes que funcionan como un sistema de impuestos-metas, en el que la meta de reducción es previamente consultada con todos los agentes económicos y sociales que intervienen en la cuenca regulada.

Las CAR deben identificar y delimitar geográficamente las cuencas contaminadas en su jurisdicción, en las cuales se hará efectivo el programa de tasas retributivas. Cada cuenca se subdivide en tramos de manejo, que identifican actividades contaminantes, agentes contaminadores, tipo de contaminante, insumos de producción y focos puntuales de vertidos. Este proceso permite construir una línea base con la información recabadas por las CAR, que consiste en estimar tendencias de vertidos puntuales en el tiempo de ausencia del programa; de esta manera se fija, para cada cuenca, una meta de reducción de contaminación.

El procedimiento para determinar las metas globales de descontaminación se inicia con un acto legislativo que invita a los actores de las fuentes de influencia en la cuenca a realizar sus propias propuestas de la meta de reducción por cumplir y con base en éstas el director de cada CAR, con la información del estado de la contaminación de las cuencas en su jurisdicción, conformará una única propuesta que será presentada al consejo directivo de la CAR, el cual en un plazo determinado la evalúa y decide la meta de reducción para cada tipo de contaminante.

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), ha decretado que la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y sólidos sus-

pendidos totales (SST) serán las sustancias contaminantes objeto del cobro de las tasas retributivas. La tasa retributiva (TR) es el monto cobrado en pesos por cada kilogramo de sustancia contaminante (DBO_5 y SST) vertido en algún cuerpo de agua. Dicho monto se compone del producto entre la tarifa regional (Tr), expresada en pesos por kilogramo de sustancia contaminante, la carga contaminante (Cc) de la misma, expresada en kilogramos por día, y el periodo de descarga (T), expresado en días por mes, de manera que:

$$TR = Tr (\$/\text{kg.}) Cc(\text{kg./ día}) T(\text{día/mes}) \quad (1)$$

La tarifa regional (Tr) corresponde al valor en pesos de la tasa mínima (establecida por el MAVDT para cada tipo de sustancia contaminante y ajustada anualmente según el índice de precios al consumidor, IPC) multiplicado por el factor regional, el cual empezará con un valor de 1 y se incrementará en 0.5 semestralmente, si las metas de reducción no son alcanzadas. De esta manera, el monto total cobrado a cada fuente, por concepto TR, será la suma de los montos calculados para cada una de las sustancias contaminantes presentes.

De acuerdo con la regulación vigente, en caso que se alcancen las metas de descontaminación concertadas, se congelará el valor del factor regional con el que se está operando, en caso contrario, el factor regional empezará a incrementarse aumentando el monto por pagar por concepto de tasa retributiva. Con el Decreto 3100 de 2003 se establece metas globales, sectoriales e individuales de reducciones de carga contaminante. Esto implica una evaluación del cumplimiento de dichas metas, por medio de la verificación de límites máximos permisibles para el caso de algunas fuentes reguladas que poseen metas individuales.⁶ No obstante las dificultades en la cantidad y calidad de la información requerida para el establecimiento de dichas metas en cada cuenca son la principal razón por la que en la mayoría de las CAR aún no se aplica esta modificación.

2. *Fiscalización para inducir el cumplimiento en el PTRC:*

El caso de la Corpochivor

En Colombia las actividades de fiscalización para inducir el cumplimiento en el PTRC están a cargo de las CAR, entidades autónomas en la aplicación de la

⁶ Los límites máximos permisibles estarán asociados a la fijación de metas individuales. Estas metas se fijan para entidades prestadoras del servicio de alcantarillado y para fuentes cuyos vertidos son mayores a 20% de la carga que recibe el cuerpo de agua en el que se realizan los vertidos.

norma ambiental en su jurisdicción y en la determinación de sanciones y multas para las fuentes que incumplan con la regulación a la que son sometidas.

Existen tres aspectos clave en la elaboración y aplicación del sistema de tasas retributivas relativo al cumplimiento ambiental de las fuentes reguladas. Primero, el cumplimiento de metas de reducción de carga contaminante, consultadas sectorialmente por las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y las fuentes reguladas. Segundo, desarrollo de capacidad institucional para ejercer control y vigilancia en la realización de actividades de supervisión que permitan identificar las fuentes reguladas que mienten en sus informes de vertidos, adjudicándose un menor monto de tasa retributiva.⁷ Tercero, desplegar esfuerzos para hacer efectivo el cobro y la disposición del recaudo de las tasas retributivas a fin de evitar incumplimientos en el pago de la tasa.

Las metas globales de reducción de carga contaminante incorporan las metas individuales y/o sectoriales y la de los demás usuarios sujetos al pago de la tasa, más la proyección de los vertidos de los nuevos usuarios. Las fuentes infractoras son “castigadas” con un incremento en el factor regional y por ende, en el monto de la tasa retributiva por pagar. Las actividades de supervisión y seguimiento por parte de las CAR consideran el registro del informe de vertidos puntuales que realizan las fuentes a los respectivos cuerpos de agua. Los métodos analíticos utilizados para la toma y análisis de las muestras de vertidos son establecidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).⁸ La verificación de las auto-declaraciones se realiza por medio de visitas de funcionarios de las CAR. Cuando los resultados del proceso de verificación sean desfavorables a la fuente la CAR efectuará la reliquidación del caso, aunque no existen sanciones o multas monetarias establecidas que castiguen la infracción de una fuente en su autodeclaración. Los resultados del programa de supervisión se presentan al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y se publican en medios masivos de comunicación.

Las CAR efectúan el recaudo de las tasas retributivas, vigilan el incumpli-

⁷ Además, otro tipo de incumplimiento daría cuenta del sobrepaso en el máximo de vertidos permitido para cada fuente. Este tipo de trasgresión está implícitamente consagrado en la legislación por medio del ajuste de metas de contaminación individual. Sin embargo, las CAR no tienen documentadas las posibles multas o sanciones para el castigo de esta infracción. Además, las dificultades para determinar metas individuales hacen casi inoperante este tipo de trasgresión.

⁸ Cada CAR precisará el procedimiento para realizar los muestreos para cada fuente regulada, debiendo como mínimo consignar aspectos como: volumen total de la muestra, tipo de muestra, número de días de muestreo y especificaciones generales para el aforo de caudales vertidos.

miento en el pago y realizan las respectivas inversiones, acordando que el cobro debe realizarse mediante factura con periodicidad no mayor a un año.⁹ El instrumento jurídico fundamental del cual se deben valer las CAR para inducir el cumplimiento en el pago de la tasa es el cobro coactivo. Este proceso de cobro considera tres etapas: *i*) cobro persuasivo o notificación de deuda y/o morosidad en el pago de la tasa; *ii*) proceso ejecutivo por jurisdicción coactiva o cobro forzado por mandamiento de pago dictado por un juez, y *iii*) acuerdo de pago, repacto de deuda con intereses y consecuencias del incumplimiento.

Las principales limitaciones para hacer efectivo el recaudo, encontradas por la evaluación del Ministerio del Medio Ambiente (2004) obedecen a factores como la ausencia de procesos de cobro coactivo debidamente reglamentados, documentados y sistematizados, y la resistencia de las empresas de servicios públicos (ESP) y los municipios para realizar el pago.

En el caso de la Corpochivor son tres los tipos de supervisión que se realizan en el marco del programa de la tasa retributiva.¹⁰ El primero, consiste en la revisión de los formularios de autodeclaración de vertidos informados por las fuentes reguladas. En el momento de la devolución del formulario de autodeclaración tramitado por la fuente, funcionarios de la corporación se encargan de revisar la metodología de cálculo empleada por la fuente para el registro de sus vertidos, junto con la actualización en la información para la posterior liquidación de la tasa. El segundo tipo de supervisión empleado se denomina inspección visual, que consiste en realizar visitas de inspección a diferentes usuarios con el fin de confrontar la información existente en las bases de datos de la corporación con la situación real de éstos; durante la visita se verifican datos de producción, sistemas de tratamiento, etc. Finalmente, se considera también como un tercer tipo de supervisión la caracterización de los vertidos de varios usuarios, para lo cual se toma la muestra compuesta y se analiza los parámetros objeto del cobro de la tasa en el laboratorio de calidad ambiental de la corporación.

La inspección visual, al igual que la toma de muestras para caracterización, se realiza semestralmente y se hace para usuarios de manera aleatoria, teniendo en cuenta que en la supervisión se represente la mayoría de los sec-

⁹ En la práctica, algunas CAR optaron por emitir facturas semestralmente, en la cual se registra la totalidad del cobro mensual por vertidos para los seis meses; este es el caso de corporaciones como la CVC y la Corpochivor.

¹⁰ Contacto personal con Carlos Alfonso Alonso, encargado del programa de tasas retributivas en la Corpochivor.

tores (alcantarillado, porcícolas, lavaderos de automóviles, etc), además que se supervisan usuarios de todas las cuencas.

La Corpochivor no realiza una evaluación de las supervisiones que permita identificar si las mediciones de efluentes informadas corresponden a las descargas reales. En este sentido, y a pesar que de acuerdo con contacto personal con el funcionario encargado del programa, existiría la percepción que lo encontrado en las supervisiones ha correspondido con las autodeclaraciones presentadas por los usuarios, no es posible comparar efluentes informados con descargas reales de manera de inferir de allí la presencia de subinformes.

Las actividades realizadas en la Corpochivor tendentes al pago de la tasa, se realizan por medio de la Secretaría General de la Corporación, e implican sólo dos figuras legales para ejercer presión en las fuentes deudoras y/o morosas: el cobro coactivo y el establecimiento de acuerdos de pago directamente con las fuentes.

II. MODELO, DATOS Y ESPECIFICACIONES ECONÓMICAS

En esta sección se presenta los modelos conceptuales y las especificaciones utilizadas en el análisis de los factores determinantes en las decisiones de informar los vertidos de carga contaminante y del cumplimiento en el pago de la tasa retributiva, de las fuentes individuales reguladas por el PTRC, en la jurisdicción de la Corpochivor y los respectivos datos y especificaciones económicas requeridos para las estimaciones.

1. *Un modelo de comportamiento individual en un sistema de impuesto a los vertidos*

El modelo conceptual que motiva nuestro trabajo empírico se basa ampliamente en el trabajo de Harford (1987), en el cual se estudia el comportamiento de una empresa individual, que debe generar un informe de sus emisiones, y que opera en un sistema de impuesto uniforme a las emisiones, suponiendo que el esfuerzo de fiscalización (vigilancia y sanciones) es insuficiente para inducir perfecto cumplimiento. Harford (1987) examina las elecciones de emisión, informe de emisión y violación del informe en el contexto descrito.¹¹

¹¹ Nuestro análisis conceptual de los determinantes de informes de emisión admite la posibilidad de subinformes. No obstante, reconocemos que no disponemos de información para evaluar directa-

El esquema conceptual de este trabajo compromete la regulación de n fuentes neutrales al riesgo.¹² Cada fuente es representada por una función de costos de abatimiento, que denotamos $c(e, \cdot)$, la que describe los costos asociados al control de sus vertidos. La función es estrictamente decreciente y convexa en el nivel de vertidos e , $c(e, \cdot) \geq 0$ y $c'(e, \cdot) < 0$. Los costos de abatimiento individuales dependen también de un conjunto de características distintivas de cada fuente representadas por el vector \cdot .¹³

El monto que la fuente debe pagar por concepto de impuesto por unidad de vertido lo denotamos r .¹⁴ La fuente debe generar un informe de sus vertidos, r , a la autoridad ambiental, y comete una infracción si informa $r < e$. El

mente esta hipótesis. Según analizamos líneas abajo en esta misma sección, la información disponible permite, sin embargo, comprobar de manera indirecta la referida hipótesis evaluando estadísticamente si las acciones de fiscalización afectan las emisiones informadas, presentadas en nuestra base de datos. Reconocemos que el modelo teórico aquí utilizado no capta muy probablemente todas las especificidades de un programa de regulación ambiental basado en un sistema de impuestos a las emisiones en el contexto del caso de Colombia. Sin embargo, y a pesar de sus posibles limitaciones, lo utilizamos aquí porque es útil para motivar y guiar nuestro trabajo empírico. El modelo no es único en la bibliografía. El análisis del comportamiento de una empresa con impuestos a las emisiones ha sido también considerado, entre otros, por Harford (1978), Sandmo (2002), Cremer y Gahvari (2002), Macho-Stadler y Pérez-Castrillo (2006). En la referida bibliografía los autores suponen que el perfecto cumplimiento no puede ser logrado. Este es precisamente el supuesto del modelo considerado en nuestro trabajo. Una excepción reciente es Stranlund, Chávez y Villena (2009), quienes muestran que una política ambiental basada en un impuesto a las emisiones en que la fiscalización no es capaz de inducir perfecto cumplimiento podría ser subóptima si la imposición de sanciones es costosa. Otros trabajos relacionados para el caso de una empresa operando con un sistema de permisos de emisión transferibles con posibilidades de incumplimiento incluyen, por ejemplo, Malik (1990), Stranlund y Dhanda (1999), y Stranlund y Chávez (2000).

¹² Basados en estudios anteriores, se anticipa como consecuencias de no asumir neutralidad al riesgo, una mayor infracción al PTR en un panorama con fuentes reguladas con mayor disposición al riesgo, y un menor número de violaciones en fuentes que presentan aversión al riesgo en comparación con otras fuentes idénticas, pero con administradores neutrales al riesgo.

¹³ Los costos de abatimiento de las fuentes pueden variar por diferentes razones, incluyendo diferencias en tecnologías de producción, tecnologías de abatimiento o control de vertidos, precios de factores productivos y de productos finales, así como también otros factores específicos quizá relacionados al sector industrial al cual pertenece la fuente.

¹⁴ El modelo teórico considerado supone que en cada periodo de cumplimiento/cobro la empresa enfrenta una tasa determinada exógenamente. De acuerdo con la legislación que proporciona el marco del programa de tasas retributivas, la tasa se ajusta a lo largo del tiempo en función del resultado del cumplimiento agregado; específicamente si el nivel agregado informado de efluentes es superior a la meta ambiental, entonces la tasa retributiva se incrementa en un factor predeterminado. Ello podría hacer que la tasa retributiva sea endógena a la elección de la empresa. Sin embargo, esto requeriría que la empresa individual sea capaz de influir en el nivel agregado de efluentes informados a través de su propio informe de efluentes. En la Corpochivor no se detectan fuentes reguladas lo suficientemente grandes o influyentes que generen contaminación excesiva dentro de las cuencas existentes, y que finalmente les permitiera tener un comportamiento estratégico o poder individual para influir, por medio de informes de vertido, la tasa del siguiente periodo de cumplimiento. Considerando la totalidad de las fuentes analizadas en el estudio, ninguna de ellas representa individualmente más de 5% del total de efluentes informados.

organismo regulador no puede conocer el estado de cumplimiento de la fuente sin efectuar una auditoría. La fuente es auditada con una probabilidad α , que es conocida. Además, suponemos que las violaciones en los informes son sancionadas dependiendo del tamaño de la violación (emisiones no informadas) y considerando un esfuerzo dado de fiscalización (β).¹⁵

Denotamos la función de sanción como $f(e - r, \beta)$. La función de sanción es 0 en el caso que la fuente emita un informe verdadero; sin embargo, la sanción marginal asociada a una infracción igual a 0 es estrictamente positiva, esto es, con $f(0, \beta) > 0$; $f'(0, \beta) > 0$. En el caso que la fuente que subinforma sus vertidos, la sanción es estrictamente creciente y convexa.¹⁶

El análisis supone que la estrategia de fiscalización de la autoridad reguladora es conocida por las fuentes reguladas. Con base en esta información la fuente elige el monto de vertidos (e) y la cantidad que informa de éste. Las fuentes resuelven el problema de seleccionar el nivel de emisiones y la información que minimiza los costos esperados de cumplimiento, esto es,

$$\begin{aligned} \min_{e, r} \quad & c(e, \beta) - r - \beta f(e - r, \beta) \\ \text{s.d.} \quad & e - r \geq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

La ecuación de Lagrange es $L = c(e, \beta) - r - \beta f(e - r, \beta) - \lambda(e - r)$, y las condiciones de Kuhn-Tucker están dadas por,

$$L_e = c'(e, \beta) - \beta f'(e - r, \beta) = 0 \quad (3)$$

$$L_r = -1 + \beta f'(e - r, \beta) = 0 \quad (4)$$

$$L_\lambda = e - r \leq 0; \quad \lambda \geq 0; \quad (e - r) \lambda = 0 \quad (5)$$

Suponemos que las condiciones (3)-(5) son necesarias y suficientes para garantizar una solución única respecto a los niveles óptimos de vertidos y de informes de la fuente. Las ecuaciones (3) y (4) sugieren que $c'(e, \beta) = 0$, consecuentemente, la fuente regulada elegirá un nivel de vertido tal que sus costos marginales de control de contaminación sean iguales al monto del

¹⁵ El parámetro β representa el compromiso de recursos de parte de la autoridad en términos de presión fiscalizadora de la fuente, esto podría incluir notificación de infracciones, e incluso denuncia de una fuente infractora y tramitación de una causa en tribunales de justicia (véase por ejemplo Stranlund y Dhandu, 1999, y Garvie y Keeler, 1994).

¹⁶ Destacamos aquí que la función de sanción esperada es estrictamente convexa. Este supuesto es usual en la bibliografía de fiscalización y cumplimiento de políticas ambientales basadas en incentivos económicos. Una excepción es el reciente trabajo de Stranlund, Chávez y Villena (2009), en que los autores consideran una función de sanción esperada lineal.

impuesto.¹⁷ Esta condición permite inferir que el vertido real óptimo, no observable, (e) seleccionado por la fuente es una función de los impuestos que ésta enfrenta y de sus características individuales. Denotamos la elección óptima de vertidos de la fuente:

$$e = e(\tau, \theta) \quad (6)$$

La cantidad de vertidos de la fuente es una función estrictamente decreciente en impuesto.¹⁸ De igual modo, suponiendo que el esfuerzo de fiscalización es insuficiente para inducir perfecto cumplimiento, usando el resultado obtenido en (6) junto con la condición (4) se deduce que el vertido autoinformado estará determinado por el impuesto (τ), la probabilidad de ser auditado (α), el esfuerzo de fiscalización (θ) y las características de la fuente (θ). La forma reducida para el vertido autoinformado es:

$$\tau = \tau(\alpha, \theta, \theta) \quad (7)$$

Es posible mostrar que el nivel óptimo de vertido autoinformado por la fuente, τ en la ecuación (7), es decreciente en el monto de la tasa de impuestos a las emisiones (α) y los parámetros de fiscalización (θ, θ); además se espera que ciertas características de la fuente afecten la magnitud de los vertidos autoinformados.¹⁹

Finalmente, es importante destacar que nuestro análisis conceptual respecto a los determinantes del informe individual de emisiones supone que el control regulatorio podría ser insuficiente para inducir a las empresas a informar las verdaderas descargas. Reconocemos que, tal como lo señalamos en la sección I, lamentablemente no existe información que permita evaluar empíricamente y de manera directa los determinantes de eventuales de los subinformes, esto es ($e - \tau > 0$), de las empresas reguladas con el programa en la Corpochivor. No obstante, la ecuación (6) sugiere que en ausencia de

¹⁷ Adviértase que la ecuación (4) puede ser escrita como $f(e - \tau, \theta) = 0$; sustituyendo este resultado en (3) obtenemos $c(e, \theta) = 0$.

¹⁸ Este resultado puede ser obtenido de la siguiente manera: sustituya la elección óptima de vertido $e = e(\tau, \theta)$ en $c(e, \theta) = 0$, obtenemos $c(e(\tau, \theta), \theta) = 0$. Derivando esta expresión: respecto al impuesto resulta $e(\tau, \theta) / c(e, \theta) < 0$ dada la convexidad estricta de la función de costos de abatimiento.

¹⁹ Estos resultados de estática comparada pueden ser obtenidos de la siguiente manera: sustituya la elección óptima del informe de la fuente individual $\tau = \tau(\alpha, \theta, \theta)$ en (4) y obtenga $f(e(\tau, \theta), \tau(\tau, \theta, \theta)) = 0$. Derivando esta expresión respecto a las variables de interés es posible obtener, por ejemplo, $\tau(\tau, \theta, \theta) / e(\tau) < 0$ y $\tau(\tau, \theta, \theta) / f(e(\tau)) < 0$ y $\tau(\tau, \theta, \theta) / f(e(\tau)) < 0$; los signos resultan de nuestros supuestos respecto a que la función de sanción es estrictamente creciente y convexa en el subinforme, así como del resultado discutido líneas arriba respecto al efecto de un incremento de impuestos en la elección óptima de la cantidad de vertidos.

subinformes (e^{-r}), las descargas observadas (igual a la verdadera cantidad de efluentes) debiera ser independiente de las acciones de fiscalización. En contraste, la ecuación (7) sugiere que en el supuesto de fiscalización incompleta para inducir cumplimiento, la cantidad de efluentes informada por una empresa individual depende de parámetros de fiscalización. Los resultados que presentamos en la siguiente sección indican que el informe de vertidos es efectivamente afectado por las actividades de fiscalización ejercidas por la corporación en las fuentes reguladas. Este resultado es congruente con nuestro supuesto de la posibilidad de subinformes.

2. Factores determinantes del cumplimiento en el pago de la tasa retributiva

Consideramos también un modelo de cumplimiento para estudiar los factores que inciden en las decisiones de cumplimiento en el pago de la tasa retributiva por parte de las fuentes reguladas. Dada la decisión de informar los vertidos, se proponen los siguientes tres elementos de análisis: *i*) el monto por pagar por concepto de tasa (MPT) que enfrenta cada fuente regulada responde a los vertidos informados por cada fuente (r), y al valor de la tasa asociado (k), de manera que: $MPT = r \cdot k$; *ii*) pago efectivo (PE) de la tasa expresa el valor cancelado de la factura por tasa que asume la fuente, es decir: $PE = k \cdot r$, en que k representa la fracción de la factura cancelada por la fuente, por tanto $0 \leq k \leq 1$; *iii*) un indicador p representa la cantidad de vertidos que pagan las fuentes, al cancelar una fracción o la totalidad de la factura por concepto de la tasa, es decir, el volumen de vertidos informados efectivamente pagados por la fuente, luego se tiene: $p = PE / r$, de lo cual se observa que $p = k$.

El incumplimiento en el pago de la tasa ingresa a un programa especial de cobro, según el incumplimiento (diferencia entre las emisiones informadas y las que efectivamente paga cuando cancela la factura) y el esfuerzo de fiscalización para esta clase de trasgresión (α). La función de sanción para este caso se representa así: $g(r - p, \alpha)$. Considerando que $p = k \cdot r$, en adelante escribimos la función de sanción como $g((1 - k)r, \alpha)$ y mantiene las características $g(0, \alpha) = 0$; $g(0, \alpha) = 0$, previamente consideradas en el caso de infracción por subinforme de vertidos.

Las fuentes reguladas conocen la probabilidad de ser identificadas y sancionadas como morosas o deudoras. Denotamos tal probabilidad como β . Con

base en esta información la fuente elige el monto de factura por cancelar o, dicho de otro modo, la fracción de emisiones informadas que serán pagadas.

La fuente regulada resuelve un problema de maximización del ahorro obtenido por el no pago o pago parcial de la tasa (ganancia asociada al volumen de vertidos informados no cancelados) menos la sanción esperada por encontrarse moroso. De este modo, la fuente deberá escoger el valor k que resuelve el siguiente problema:

$$\text{Max}_k (1 - k)r - g((1 - k), \theta) \quad (8)$$

La cantidad de vertidos efectivamente pagada por la fuente, $p = k r$, puede corresponder a un volumen parcial (total si $k = 1$ o nulo en el caso que no pague nada, de modo que $k = 0$) del vertido informado por la fuente. De la condición de primer orden para una solución interna se define implícitamente que el valor de k está determinado por el vertido informado por la fuente (r), la probabilidad de ser auditada (θ) y el esfuerzo de fiscalización (ϕ). La ecuación reducida para k , está dada por:²⁰

$$k = k(r, \theta, \phi) \quad (9)$$

Del análisis de las decisiones de vertidos por informar por las fuentes reguladas obtuvimos que $r = r(\theta, \phi, \tau)$, por lo que finalmente se tiene que la decisión de las fuentes respecto a la fracción por pagar del total facturado por tasa estará determinada por:

$$k = k(\theta, \phi, \tau, \tau_{DBO_5}, \tau_{TSST}) \quad (10)$$

en la que los parámetros considerados son el valor de la tasa (τ), las probabilidades de ser detectada subinformando los vertidos o identificada como deudora o morosa (θ, ϕ), el esfuerzo de fiscalización ($\tau_{DBO_5}, \tau_{TSST}$) y el vector de características de la fuente (τ).

3. Especificaciones y datos

Evaluamos los determinantes del informe de vertidos de las fuentes reguladas por el PTRC en la jurisdicción de la Corpochivor. La ecuación utilizada para estimar la decisión de informar es:²¹

²⁰ La condición de primer orden para un máximo del problema en (8) está dada por $r = g(1 - k, \theta)$, la cual define implícitamente el óptimo de k , de acuerdo con la ecuación (9).

²¹ Igualmente se realizan estimaciones para el tipo de carga contaminante de sólidos suspendidos totales (SST) con una ecuación análoga en la que se sustituye la variable $TDBO_5$ por la variable $TSST$.

$$RDBO_5 \quad RDBO_5(TACUICOL, TLACTION, TMADE, TPORCI, TLAVA, LIMPIAS, LTIPO_1, LTIPO_2, REMOCI, TDBO_5, ESFUERZO, CARGREAL) \quad (11)$$

Las variables independientes se clasificaron en dos tipos: las que examinan las características individuales de las fuentes y las que evalúan los aspectos relacionados con las actividades de fiscalización por parte de la corporación ambiental. El primer grupo reúne a las variables: *TACUICOL*, *TLACTION*, *TMADE*, *TPORCI*, *TLAVA*, que indican el tamaño de las fuentes según su producción para los sectores acuícola, lácteo, matadero, porcícola y lavaderos de automóviles; las variables *LIMPIAS*, *LTIPO_1*, *LTIPO_2* y *REMOCI* indican si la fuente posee un sistema de producción limpia, si tiene tecnología de abatimiento tipo 1 o 2 y el porcentaje de remoción de contaminantes medido por la corporación en las descarga de las fuentes, respectivamente. En el segundo grupo de variables se encuentran: *TDBO_5* (o *TSS* en la ecuación para *SST*) que indica la tasa aplicada a la fuente según tipo de contaminante, *ESFUERZO* que indica el compromiso fiscalizador que la corporación manifiesta en cada periodo, como el porcentaje de fuentes supervisadas respecto al total de fuentes inscritas, y *CARGREAL* que indica si la fuente ha sido visitada por funcionarios de la corporación para consignar la carga real del contaminante vertido.²² La definición de variables consideradas dentro del modelo, así como su media estadística y su desviación estándar son presentados en el cuadro A1 del apéndice.

Los datos considerados para la estimación econométrica de las ecuaciones del informe de carga contaminante incluyen las observaciones de 54 fuentes para 10 semestres, comprendidos entre octubre de 2001 y octubre de 2006, es decir un total de 540 observaciones.

Para el análisis del modelo de cumplimiento en el pago de la tasa, ajustado al PTRC en la Corpochivor, se define una variable dicotómica llamada “estado de cumplimiento (EC)” que será igual a 1 si la fuente cumple con el pago, es decir, si $k \leq \bar{k}$; en caso contrario, si $0 < k < \bar{k}$, la variable asumirá el valor de 0.²³

²² Bartel y Thomas (1985) estudian un modelo de cumplimiento para empresas manufactureras, en las que la decisión de cumplir de las empresas considera su tecnología, multas por violación y auditoría por trabajador. Posteriormente, los trabajos de Margat y Viscusi (1990) y Laplante y Ristone (1995) realizan estudios de fiscalización para la gestión reguladora de recursos hídricos en la industria de pulpa y papel, en la que se mide el efecto de las inspecciones en las emisiones autoinformadas, considerando las características propias de la empresa, como su tipo de producción, su localización y su producción, además de las experiencias anteriores de fiscalización y la probabilidad de ser auditadas.

²³ Recordamos que k representa la fracción de la factura cancelada por la fuente. El pago de la tasa retributiva es legítimamente una señal de cumplimiento ambiental por parte de las fuentes reguladas. Algunas fuentes no cancelan la totalidad de su factura, sin embargo, el esfuerzo por cumplir la norma

La variable EC estará en función de los determinantes de $k(EC = f(\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7, \beta_8, \beta_9, \beta_{10}, \beta_{11}, \beta_{12}))$ y la ecuación estimada para el modelo de cumplimiento es

$$EC = f(UBICA, SECTOR, LOCALIZA, PRIVADA, LTIPO, REMOCI, MAUTODEC, CARGREAL, TDBO_5, TSST, VISITAS, ESFUERZOS, VISITASC) \quad (12)$$

en la que las variables independientes que examinan las características individuales de las fuentes son: ubicación (*UBICA*), sector (*SECTOR*), privada (*PRIVADA*), localización (*LOCALIZA*), producción limpia (*LTIPO*), remoción de carga contaminante (*REMOCI*) y tamaño (*TSECTOR*). A su vez, la variable tasa (k) se observa para DBO_5 y SST. Dentro de los factores asociados a la fiscalización, las variables son: supervisión de la autodeclaraciones (*MAUTODEC*), caracterización por carga real (*CARGREAL*) y visitas por cobro (*VISITASC*). El esfuerzo de fiscalización de la autoridad ambiental está observado en las variables: número de visitas de control (*VISITAS*) y esfuerzo institucional (*ESFUERZO*). La definición de variables consideradas dentro del modelo, así como su media estadística y su desviación estándar son presentados en el cuadro A2 del apéndice.²⁴

Para la estimación del modelo de cumplimiento, se cuenta con información del pago individual de la tasa retributiva de 77 fuentes reguladas. Esta información sólo está disponible para los cuatro primeros semestres de cobro en la Corpochivor, por lo que la base de datos utilizada para la estimación comprende el periodo 2001-2003 (cuatro semestres).

III. RESULTADOS ECONÓMICOS

En esta sección se presentan los resultados econométricos para los modelos de informe de vertidos (ecuación 11) y cumplimiento en el pago de la tasa retributiva (ecuación 12) de las fuentes inscritas en el PTRC pertenecientes a la Corpochivor.

ambiental será tenido en consideración, y se asumirá que una fuente se encuentra en cumplimiento si cancela a lo menos 65% de su factura de tasa retributiva, es decir, para esta investigación se considera $k = 0.65$. No obstante, se consideraron otros umbrales para k , pero los resultados no variaron considerablemente.

²⁴ Gray y Daily (1996) analizan determinantes del cumplimiento y la fiscalización para la industria del acero en los Estados Unidos, incorporando al análisis de determinantes de la decisión de cumplimiento factores como la probabilidad de fiscalización, la probabilidad de clausura de la empresa y el costo de estar en cumplimiento. Igualmente el trabajo de Dasgupta, Hettige y Wheeler (2000), acerca del cumplimiento ambiental en la industria mexicana, considera como factores determinante de la función de sanción a los niveles de actividad regulatoria, la supervisión de cada planta y las experiencias anteriores de fiscalización, entre otros.

1. Resultados para el modelo del informe de vertidos

Dada la estructura de los datos, se realizaron estimaciones con una regresión lineal de tipo datos de panel.²⁵ Estas estimaciones proponen dos métodos tradicionales, los modelos de efectos fijos y efectos aleatorios, basados en el modelo de intercepto variable $Y_{it} = \alpha_i + x_{it}\beta + v_{it}$, con $\alpha_i = (\alpha_i, u_i)$. El modelo de efectos fijos (EF) define a α_i como una constante invariante en el tiempo, lo que permite utilizar el método de mínimos cuadrados ordinarios con variables dicotómicas (MCOVD). El modelo de efectos aleatorios (EA) considera las variables u_i como variables aleatorias que son *iid* con una varianza constante σ_u^2 , lo que permite su estimación mediante mínimos cuadrados generalizados (MCG). Para comprobar la validez relativa entre un modelo de efectos aleatorios y uno de efectos fijos se utiliza la prueba de Hausman.

En nuestro caso, la estimación econométrica es un estudio que limita el trabajo a una base de datos única, no aleatoria, perteneciente a la Corpochivor, y no es de interés la realización de inferencias respecto al total de corporaciones a nivel nacional. El trabajo con datos de población, sugiere la estimación por efectos fijos como la más adecuada, decisión que es apoyada por los resultados de la prueba de Hausman.

Se realizaron estimaciones para el informe de vertidos usando un panel de datos estratificado por fuentes para un modelo de coeficientes fijos con los dos tipos de contaminantes reglamentados por el PTRC, para las fuentes pertenecientes a la Corpochivor, en el periodo 2001-2006.²⁶ El cuadro 1 muestra los resultados de la estimación correspondientes al informe para el tipo de contaminante demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) (segunda columna) y para sólidos suspendidos totales (SST) (tercera columna).

Las estimaciones de ambas ecuaciones mediante el modelo de regresión de panel de datos en función de los valores indicados por la prueba de La-

²⁵ Los modelos con datos de panel permiten analizar dos aspectos en la heterogeneidad no observable: *i*) los efectos individuales específicos, es decir, característica que afectan de manera desigual a cada uno de los agentes de estudio, y *ii*) los efectos temporales, que afectan por igual a todas las unidades individuales de estudio. En nuestro caso, captan la heterogeneidad no observable entre los agentes regulados como también en el tiempo.

²⁶ El análisis estadístico de las variables consideró pruebas de normalidad de tipo Kolmogorov-Smirnov, presentando resultados aprobatorios de la hipótesis de normalidad para las variables de interés. La variable TALCAN (que expresa el número de usuarios que son atendidos por los servicios públicos de alcantarillado), finalmente, no se consideró en el modelo dado que se advirtieron problemas de colinealidad, observable en un alto grado de correlación entre esta variable y el informe. Además se revisaron diferentes especificaciones estadísticas para las variables presentes en el modelo; sin embargo, los resultados que mejor se ajustan a los requerimientos estadísticos según criterios econométricos son los que se presentan en el texto.

CUADRO 1. *Parámetros estimados para las decisiones de informar los vertidos en la Corpochivor (2001-2006)*

Variable	Informe DBO ₅		Informe SST	
	Coef.	t-student	Coef.	t-student
TACUICOL	0.037	1.712	0.169	6.921*
TLACTEO	0.429	7.131*	0.222	3.282*
TMATADE	6.033	2.492*	5.109	1.910**
TPORCI	9.090	9.182*	9.868	8.847*
TLAVC	3.339	0.946	6.777	1.740**
LTIPO_1	91.141	0.850	193.520	1.619
LTIPO_2	26	1.850**	85.960	0.538
	6.195			
REMOCI	13.488	5.908*	17.108	6.981*
TDBO5	4.566	2.424*	—	—
TSST	—	—	7.640	1.624
ESFUERZO	2.561	1.971*	2.971	2.068*
CARGREAL	17	1.599	27	2.183*
	7.123		5.634	
Función de máxima verosimilitud	4139.798		4202.833	
Función de máxima verosimilitud restringida	4665.201		4650.729	
Estadístico de máxima verosimilitud	1050.810		895.790	
²	82.675		83.675	
Prueba de Hausman	28.35		21.44	
Valor crítico de la prueba Hausman	19.68		19.68	
Prueba de Lagrange	275.23		67.39	
Número de observaciones		540		

FUENTE: Elaboración propia con base en resultados econométricos.

grange y la prueba de Hausman apoyan la elección del modelo de efectos fijos presentado.²⁷ Para evaluar la significación conjunta del modelo se utiliza la prueba de la proporción de máxima verosimilitud generalizada.²⁸ El valor crítico a una significación de 95% es de 82.675. El estadístico de máxima verosimilitud es de 1 050.8 para DBO₅ y de 895.9 para SST, por tanto se rechaza la hipótesis de que los coeficientes de las variables explicativas son iguales a 0.

La significación individual de los parámetros varía para los dos tipos de

²⁷ La prueba de Lagrange es un contraste de hipótesis recomendado para la selección del método de estimación de un modelo de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) o el de datos de panel, cuando la base de datos es un panel. La prueba de Hausman contrasta la hipótesis nula de efectos aleatorios frente a la opción de efectos fijos.

²⁸ Proporción de máxima verosimilitud generalizada es $-2[\ln(L_r) - \ln(L)]$, en la que L_r representa la función de máxima verosimilitud restringida y L la función máxima verosímil sin restringir.

contaminantes. La estimación para el informe de DBO_5 , tiene seis variables significativas a 95%, tres de ellas relacionadas con el tamaño del sector económico, una relativa a los procesos de producción limpia, otra a los parámetros de fiscalización y finalmente el nivel de tasa. Se tiene entonces que el tamaño de los sectores lácteo, porcícola y mataderos incrementa el informe de carga contaminante, lo cual es de esperarse si se considera que en muchas ocasiones el informe se realiza por medio de caracterizaciones que indican determinada cantidad de DBO_5 por número de cerdos, litros producidos o reses sacrificadas y no de mediciones en la zona de descarga. La variable *REMOCI*, presenta un signo esperado, lo que indica que fuentes que presentan remoción de carga contaminante efectivamente restringen sus informes. La tasa para el tipo de contaminante DBO_5 presenta signo negativo, lo cual es una prueba en apoyo del supuesto teórico de que las fuentes reguladas que enfrentan una tasa retributiva disminuyen sus niveles de informe. Igualmente es negativo el signo para la variable *ESFUERZO*, lo que presupone que las fuentes reguladas reducen el informe ante una mayor actividad fiscalizadora por parte de la corporación.

Para el caso del tipo de contaminante SST, igualmente presenta seis variables explicativas significativas a 95%, pero con la salvedad que para este caso la variable tasa TSST no resulta ser significativa, lo que indica que la tasa utilizada para este contaminante no alcanza a ser significativa para las decisiones de informar de SST, en esta corporación. Además, para esta estimación la variable de fiscalización CARGREAL se presenta significativa y negativa, al igual que el resultado observado para la variable de fiscalización en el caso de DBO_5 .

Para una mejor interpretación de los resultados se calculan las elasticidades del informe de carga contaminante a partir de los coeficientes estimados. Se dará una interpretación tipo elasticidad multiplicando los coeficientes por el cociente entre la media para la variable explicativa de interés y la información del contaminante específico.²⁹ Considerando las medias mostradas en el cuadro A1 para los informes tanto de DBO_5 (1 078) como de SST (1 053), se obtiene la elasticidad de los informes para cada tipo de contaminante. Los resultados se presentan en el cuadro 2.

Se observa que la mayor elasticidad para el contaminante DBO_5 se presenta con respecto a la tasa retributiva, alcanzando ésta a 0.404, lo cual sugiere

²⁹ Para el caso de las variables dicotómicas, el coeficiente representa directamente la variación en el informe.

CUADRO 2. *Elasticidades para el informe de vertidos*

<i>Variable</i>	<i>Elasticidad del informe de DBO₅</i>	<i>Elasticidad del informe de SST</i>
TACUICOL	—	0.252
TMATADE	0.156	—
TLACTEO	0.143	0.076
TPORCI	0.264	0.294
REMOCI	0.216	0.281
ESFUERZO	0.119	0.141
TDBO ₅	0.404	—

FUENTE: Elaboración propia según resultados econométricos.

que un aumento de 5% en la tasa retributiva generaría una disminución de hasta 0.021 ton. de DBO₅ informadas semestralmente. Igualmente, para el caso de los SST, un aumento de 5% en la remoción de una fuente incidirá una reducción de 0.0114 ton. en el informe de SST.

2. *Resultados para el modelo de cumplimiento en el pago de la tasa retributiva*

El modelo econométrico para la estimación de la decisión del cumplimiento ajustado al programa de tasas retributivas mostrará al EC* como una variable dicotómica, en cuya estimación se utilizó el modelo *Probit*. El cuadro 3 presenta los resultados para el modelo de cumplimiento considerando la información disponible en los cuatro primeros semestres de cobro en la Corpochivor (2001-2003).

El modelo estimado presenta un ajuste global, considerando las pruebas de máxima verosimilitud, el seudo R^2 y el porcentaje de acierto. Se rechaza la hipótesis nula correspondiente a que todos los coeficientes de las variables independientes son 0, con el valor crítico para una χ^2 con 20 grados de libertad de 31.4104 y el valor obtenido para el estadístico de máxima verosimilitud de 109.048. También se observa el indicador de verosimilitudes, el cual tiene un valor de 0.2732. Aun cuando el seudo R^2 es relativamente bajo, el estadístico de máxima verosimilitud muestra que las variables consideradas en el modelo tiene un poder explicativo significativo. Asimismo, la predicción supera el 70% (véase cuadro 3).

En la estimación individual de parámetros se observa que la variable *ALTOG*, es positiva y significativa, lo cual indica que si la fuente se localiza en el territorio del Alto Garagoa tendrá una mayor probabilidad de cumpli-

CUADRO 3. *Parámetros estimados para la decisión de cumplimiento en el pago de la tasa retributiva de la Corpochivor (2001-2003)*

<i>Variable</i>	<i>Coef.</i>	<i>t-student</i>
Constante	1.6338	2.684*
ALTOG	0.5274	2.383*
BAJOG	0.7702	0.355
PRIVADA	0.4127	1.009
ACUICOL	1.0382	2.256*
MATADE	0.3931	1.057
PORCI	0.8296	2.414*
htSERVI	1.4543	1.257
TACUICOL	0.0002	0.864
TLACTEO	0.0001	0.019
TMATADE	0.0030	1.407
TPORCI	0.0006	0.063
TLAVA	0.0282	1.956**
LTIPO_1	0.1229	0.511
LTIPO_2	1.4998	3.043*
REMOCI	0.0189	2.030*
TDBO5	0.0210	3.918*
TSST	0.0146	1.495
VISITASC	0.3614	1.541
MAUTODEC	0.2362	1.125
Función de máxima verosimilitud	202.8211	
Función de máxima verosimilitud restringida	257.3455	
Estadístico de máxima verosimilitud	109.0488	
Seudo R^2	0.27322	
	31.4104	
Porcentaje de acierto	73.958	
Número de observaciones	308	

FUENTE: Elaboración propia con base en resultados econométricos.

* Significativa a 5%, prueba de dos colas.

** Significativa a 10%, prueba de dos colas.

miento en el pago de la tasa retributiva. Las variables *ACUICOL* y *PORCI* resultan ser significativas y presentan signos opuestos. Esto significa que una fuente que pertenece al sector acuícola tiene más probabilidades de cumplir con el pago de la tasa y, que por lo contrario, una fuente que pertenece al sector porcícola tiene menos probabilidades de cumplir con dicho pago.

La variable *LTIPO_2* es significativa y contrario a los resultados esperados tiene signo negativo. Esto indicaría que las fuentes que cuentan con procesos de producción limpia tipo 2 (filtros percoladores, sedimentadores y

lagunas de oxidación, en combinación con la realización de compostaje, y/o manejo de fracción sólida) tienen menos probabilidades de cumplir con el pago de la tasa. Situación atribuible a tres posibles panoramas: *i*) las fuentes que clasifican dentro de los procesos de producción limpia “tipo” presentan problemas con el mantenimiento y operación de sus procesos, lo que implica que sus volúmenes de reducción de carga contaminante no sean los óptimos para sus tipos de procesos; *ii*) tener un proceso más limpio de producción incrementa los costos y esto afecta el pago de la tasa; *iii*) una menor presión fiscalizadora en las fuentes que poseen procesos de producción limpia más complejos incitan a dichas fuentes a realizar mayores vertidos de carga contaminante, lo que aumenta la probabilidad de incumplir.

Por otra parte, la variable *REMOCI* es significativa y positiva de acuerdo con los resultados esperados; esto quiere decir que fuentes con una remoción efectiva de carga contaminante tendrán una mayor probabilidad de encontrarse en cumplimiento. Asimismo y de acuerdo con la teoría, el coeficiente de la variable *TDBO₅* es negativo y significativo, lo que indica que cuanto mayor sea la tasa, las fuentes tendrán una menor probabilidad de encontrarse en cumplimiento. De igual manera recordemos que un aumento en la tasa, reduce el informe y conduce a un menor cumplimiento.

El conjunto de variables restantes no resultan ser significativas a 5%, es decir que no proporcionan pruebas de que estas variables influyan en la probabilidad de cumplimiento. Con lo que se concluye que la probabilidad de cumplimiento en el pago de la tasa retributiva para la Corpochivor (ecuación 12) no depende de las variables de fiscalización, los informes de carga contaminante, ni la tasa retributiva cobrada por sólidos suspendidos totales como se había previsto, sino más bien de las variables asociadas a localización, procesos de producción limpia y sectores. Tampoco se logra obtener evidencia significativa que permita evaluar la hipótesis que las fuentes de carácter público son menos cumplidoras que las fuentes privadas. La incidencia directa de las variables explicativas del modelo en la probabilidad de cumplimiento (efectos marginales del modelo *Probit*) se presentan en el cuadro 4.

Observando los resultados obtenidos para las variables dicotómicas, se concluye que si una fuente regulada por la Corpochivor se ubica en el territorio del Alto Garagoa tiende a aumentar la probabilidad de cumplimiento en el pago de la tasa en 0.19 en relación con fuentes que se ubiquen en otros territorios. Si la fuente pertenece al sector acuícola su probabilidad de cumplimiento será incrementará 0.31, y si la fuente realiza actividades porcícolas

CUADRO 4. *Efectos marginales de las variables independientes evaluadas en sus medias*

<i>Variable</i>	<i>Coef.</i>	<i>t-student</i>
<i>Variables dicotómicas</i>		
ALTOG	0.1894	2.555
ACUICOL	0.3121	3.271
PORCI	0.3165	2.486
LTIPO_2	0.5198	4.487
<i>Variables continuas</i>		
REMOCI	0.00717	2.024
TDBO5	0.00797	3.923

FUENTE: Elaboración propia con base en los resultados obtenidos en la estimación econométrica

su probabilidad de cumplimiento disminuirá 0.32. Análogamente, si la fuente regulada clasifica dentro de los procesos de producción limpia tipo 2, su probabilidad de cumplimiento caerá 0.52.³⁰ Los resultados obtenidos para las variables continuas permiten concluir que aumentar un punto la capacidad de remoción de las fuentes reguladas en la Corpochivor incrementa el cumplimiento en el pago de la tasa en 0.008; vale decir, fuentes con mayor remoción efectiva de carga contaminante tenderían a cumplir más que las fuentes con menor remoción. En cuanto al efecto marginal de la tasa retributiva para DBO₅, un aumento de 10% en la tasa retributiva disminuirá la probabilidad de cumplimiento en 0.08.

De esta manera, con los resultados obtenidos de la estimación con el modelo *Probit* se presenta una expresión para la probabilidad de estado de cumplimiento:

$$Prob(EC = 1) = Z(1.634 - 0.5274 ALTOG - 1.0382 ACUICOL - 0.8296 PORCI - 1.4998 LTIPO_2 - 0.0189 REMOCI - 0.0210 TDBO5 + 82.3490) \quad (13)$$

en la que Z representa la función de distribución normal estándar. La expresión (13) utiliza los resultados del cuadro 3 y las medias muestrales para las variables cuantitativas presentadas en el cuadro A2 del apéndice. Con esta ecuación se realizan ejercicios para fuentes tipo, variando las características de las fuentes reguladas. Los resultados más importantes en este ejercicio señalan que, para la cuenca del río Garagoa, las fuentes pertenecientes al terri-

³⁰ Los efectos marginales de las variables dicotómicas se interpretan como la diferencia en la probabilidad de cumplimiento para los casos definidos por la variable dicotómica, respecto a los que no siguen la definición.

torio del Alto Garagoa, que pertenecen al sector acuícola y que presentan alguna remoción de carga contaminante en sus vertidos, tienen una probabilidad de cumplimiento alta (95%). Asimismo, las fuentes que pertenecen al territorio del Bajo Garagoa, que no realizan remoción de carga contaminante y que pertenecen al sector porcícola, presentan una probabilidad de cumplimiento baja (46%), lo que advierte un mayor esfuerzo de fiscalización.

CONCLUSIONES

El cobro de las tasas retributivas tiene como objetivo principal mitigar los efectos contaminantes en los cuerpos de agua y reducir los vertidos puntuales, junto con la generación de ingresos para la gestión e inversión ambiental.

Esta investigación propone un modelo para evaluar los factores determinantes en las decisiones de informar los vertidos de carga contaminante y cumplimiento ambiental de fuentes reguladas por el PRTC, evaluado particularmente en fuentes es jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Chivor (Corpochivor). Las estimaciones para las ecuaciones de informes de DBO_5 y SST, realizadas con un modelo de panel de datos de efectos fijos, obtienen resultados interesantes: *i)* el informe de carga contaminante se incrementa con características asociadas al tamaño del sector que identifica las fuentes reguladas en la Corpochivor, lo que se infiere que fuentes más grandes informan mayores vertidos; *ii)* el informe de vertidos se reduce en consideración a la remoción en fuentes con producción limpia, a la tasa retributiva para DBO_5 ³¹ y extraordinariamente a las medidas de fiscalización.

La estimación del modelo de cumplimiento en el pago de la tasa retributiva para la Corpochivor arrojó como determinantes significativos del estado de cumplimiento las características de las fuentes reguladas asociadas a la localización y al sector de actividad económica, así como las relativas al tipo de producción limpia y la remoción de carga contaminante. La probabilidad de cumplimiento en el pago de la tasa retributiva depende también de la tasa retributiva cobrada para DBO_5 , y no de variables de fiscalización ni de la tasa retributiva cobrada por SST.

La prueba que entrega esta investigación es congruente con la propuesta teórica que el informe de vertidos de las fuentes reguladas responde a las ca-

³¹ Para el caso de la tasa retributiva sobre sólidos suspendidos totales, la tasa utilizada no alcanza a ser significativa para las decisiones de informar de SST, en esta corporación.

racterísticas propias de la fuente, a la tasa y a parámetros de fiscalización y no aporta pruebas significativas para el análisis del informe de fuentes públicas o privadas. Específicamente, el resultado referido a que el informe de descargas es afectado por el esfuerzo de fiscalización sugiere, aunque de manera indirecta, la posible presencia de subinformes de contaminantes de parte de las empresas participantes en el programa. Además, se obtiene que las decisiones de cumplimiento en el pago de la tasa no responden a las acciones de fiscalización ejercidas por la Corpochivor, razón por la cual dichas acciones deberían revisarse y focalizarse para lograr una mayor eficiencia en el proceso.

Finalmente, la falta de información periódica de los vertidos, el precario registro de actividades de control y supervisión y de identificación de características de las fuentes reguladas, así como la poca claridad en la imposición de multas y sanciones como instrumentos clave para inducir el cumplimiento ambiental en el PTRC, limitan gravemente cualquier evaluación de la gestión fiscalizadora de las CAR.

APÉNDICE

CUADRO A1. Definición de variables, medias, desviación estándar y signos esperados

Variables	Media	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo	Signo esperado ^a
<i>Variable(s) dependiente(s)</i> ^b					
RDBO5: informe de carga semestral en niveles de DBO5	1077.4037	1368.1976	12	9 826	?
RSST: informe de carga semestral en niveles de SST	1052.487	1332.01631	31	10 728	?
<i>Variables independientes (dicotómicas)</i>					
LTIPO_1: 1, si la fuente tiene procesos limpios de producción tipo 1; 0 en otro caso	0.36852	0.48285	0	1	+
LTIPO_2: 1, si la fuente tiene procesos limpios de producción tipo 2; 0 en otro caso	0.2	0.4003	0	1	+
CARGREAL: fuentes visitadas para consignar el vertido real	0.06	0.2496	0	1	+
<i>Variables independientes (cuantitativas)</i>					
TACUICOL: producción de peces en fuentes acuícolas	1572.03	58.03	0* (900)	30 000	+
TLAVA: número de autos atendidos	6.366	21.528	0*(20)	150	+
TLACTEO: litros de leche procesados por fuentes del sector lácteos	358.5185	1595.88	0*(600)	12 000	+
TMATADE: capacidad en sacrificio de reses de los mataderos municipales	27.7944	61.8315	0*(4)	300	+
TPORCI: cantidad de cerdos en fuentes porcícolas	31.3055	81.244	0*(4)	428	+
TDBO5: valor de la tasa por kg. de DBO5 vertido	95.311	22.706	66.925	131.175	-
TSST: valor de la tasa por kg. de SST vertido	34.3307	6.1687	28.63	66.925	-
REMOCI: remoción de carga contaminante	17.2685	22.1390	5	84	-
ESFUERZO: porcentaje de supervisión manifestado por la corporación	50	24.8637	15	96.2	+
Número de observaciones			540		

FUENTE: Elaboración propia con base en datos suministrados por Corpochivor (2007).

^a El símbolo ? significa que hay incertidumbre en el signo de la variable en la estimación, mientras que el signo + significa que el signo esperado de la variable es positivo y el signo - hace referencia a un signo negativo para la variable.

^b El modelo estimará dos ecuaciones según el tipo de carga contaminante, obteniendo resultados para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y para los sólidos suspendidos totales (SST).

* Variable dicotómica multiplicativa. Entre paréntesis los valores mínimos para cada sector.

CUADRO A2. Estadística descriptiva para las variables empleadas en la estimación del modelo de cumplimiento

Variables		Media	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo	Signo esperado ^a
<i>Variable dependiente</i>						
EC: 1, si la fuente se encuentra en estado de cumplimiento, 0 en otro caso		0.606771	0.489104	0	1	—
<i>Variables independientes</i>						
ALTOG: 1, si la fuente pertenece al territorio Alto Garagoa, 0 en otro caso		0.28125	0.450196	0	1	?
BAJOG: 1, si la fuente clasifica en el territorio Bajo Garagoa, 0 en otro caso		0.239583	0.427386	0	1	?
PRIVADA: 1, si la fuente es de carácter privado; 0 en otro caso		0.604167	0.489667	0	1	+
ACUICOL: 1, si la fuente pertenece al sector acuícola; 0 en otro caso		0.114583	0.318934	0	1	?
MATADE: 1, si la fuente es el matadero municipal; 0 en otro caso		0.197917	0.398949	0	1	?
PORCL: 1, si la fuente pertenece al sector porcícola; 0 en otro caso		0.333333	0.47202	0	1	?
LAVA: 1, si la fuente es lavadero de autos; 0 en otro caso		0.0729167	0.260339	0	1	?
LTIPO_1: 1, si la fuente tiene procesos limpios de producción tipo 1; 0 en otro caso		0.489583	0.500544	0	1	+
LTIPO_2: 1, si la fuente tiene procesos limpios de producción tipo 2; 0 en otro caso		0.0703125	0.256007	0	1	+
TACUICOL: producción de peces en fuentes acuícolas		997656	4544.02	0* (900)	30000	+
TALCAN: capacidad de cobertura en usuarios del servicio de alcantarillado		395896	1353.64	0*(396)	10153	+
TLACTEO: litros de leche procesados por fuentes del sector lácteos		186979	1051.71	0*(600)	10000	+
TMATADE: capacidad en sacrificio de reses de los mataderos municipales		16.5781	51.0765	0*(4)	300	+
TPORCL: cantidad de cerdos en fuentes porcícolas		37.2943	93.8961	0*(4)	800	+
TLAVA: cantidad de autos atendidos		5,53125	20.4862	0*(20)	110	+
REMOCI: porcentaje de remoción de SST y DBO ₅ de cada fuente		7.4114	138399	0	75	+
TDBO ₅ : valor de la tasa por kg. de DBO ₅		82.349	18.2999	66,925	111.36	-
TSST: valor de la tasa por kg. de SST		32.4862	8.7726	28.63	66.925	-
VISITASC: 1, si la fuente objeto de cobro coactivo; 0 en otro caso		0.3203	0.467205	0	1	+
MAUTODEC: 1, si la fuente fue supervisada en su autodeclaración, 0 en otro caso		0.1770	0.382237	0	1	+
Número de observaciones		308				

FUENTE: Elaboración propia con base en datos suministrada por la Corpochivor (2007).

^a El símbolo ? significa que hay incertidumbre en el signo de la variable en la estimación, mientras que el signo — significa que el signo esperado de la variable es positivo y el signo — hace referencia a un signo negativo para la variable.

* Variable dicotómica multiplicativa. Entre paréntesis los valores mínimos para cada sector.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arjona, F., G. Molina y L. F. Castro (2000), "Desafíos y propuestas para la implementación más efectiva de instrumentos económicos en la gestión ambiental de América Latina y el Caribe: El Caso de Colombia", CEPAL-ECLAC, División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos 18.
- Banco Mundial (1997), "Five Years After Rio: Innovations in Environmental Policy, Rio Edition", borrador de discusión, Washington, Banco Mundial.
- Bartel, P., y L. Thomas (1985), Direct and Indirect Effects of Regulation: A New Look at OSHA'S Impact", *Journal of Law & Economics*, XXVIII (2), pp. 1-25.
- Baumol, W., y W. Oates (1988), *The Theory of Environmental Policy*, Cambridge University Press, segunda edición.
- Blackman, A. (2009), "Colombia's Discharge Fee Program: Incentives for Polluters or Regulators?", *Journal of Environmental Management*, 90, pp. 101-119.
- Castro, L. F., J. C. Caycedo y A. Jaramillo (2001), "Aplicación del principio contaminador pagador en América Latina: Evaluación de la efectividad ambiental y eficiencia económica de la tasa por contaminación hídrica en el sector industrial colombiano", ECLAC-Serie Medio Ambiente y Desarrollo, 47.
- Castro, R., y J. Bonilla (2003), "Análisis econométrico de la efectividad y eficiencia del programa de tasas retributivas en Colombia", Documento de Trabajo, Universidad de Los Andes, Facultad de Economía.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2000), "Instrumentos económicos para el control de la contaminación del agua: Condiciones y casos de Aplicación", LC/IN 137.
- Cremer, H., y F. Gahvari (2002), "Imperfect Observability of Emissions and Second-Best Emission and Output Taxes", *Journal of Public Economics* 85, pp. 385-407.
- Dasgupta, S., H. Hettige y D. Wheeler (2000), "What Improves Environmental Compliance? Evidence From Mexican Industry", *Journal of Environmental Economics and Management*, núm. 39, pp. 39-66.
- Decreto 901 del 1 de abril de 1997, Ministerio del Medio Ambiente, República de Colombia.
- Decreto 3100 del 30 de octubre de 2003, Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, República de Colombia.
- Garvie, D., y A. Keeler (1994), "Incomplete Enforcement with Endogenous Regulatory Choice", *Journal of Public Economics* 55, pp. 141-162.
- Gray, W., y M. Deily (1996), "Compliance and Enforcement: Air Pollution Regulation in the US. Steel Industry", *Journal of Environmental Economics and Management*, 31, pp. 96-111.
- Hanley, N., J. Shogren y B. White (2007), *Environmental Economics in Theory and Practice*, Palgrave-Macmillan, segunda edición.

- Harford, J. (1978), "Firm Behavior under Imperfectly Enforceable Pollution Standards and Taxes", *Journal of Environmental Economics and Management* 5, pp. 26-43.
- (1987), "Self-Reporting of Pollution and the Firm's Behavior Under Imperfectly Enforceable Regulations", *Journal of Environmental Economics and Management* 14, pp. 293-303.
- Laplante, B., y P. Rislstone (1995), "Environmental Inspections and Emissions of the Pulp and Paper Industry: The Case of Quebec", *Policy Research Working Paper* núm. 1447, Banco Mundial.
- Macho-Stadler, I., y D. Pérez-Castrillo (2006), "Optimal Enforcement Policy and Firms, Emissions and Compliance with Environmental Taxes", *Journal of Environmental Economics and Management*, 51, pp. 110-131.
- Magat, W., y W. Viscusi (1990), "Effectiveness of the EPA's Regulatory Enforcement: The Case of Industrial Effluent Standards", *Journal of Law and Economics*, 33, pp. 331-360.
- Malik, A. (1990), "Markets for Pollution Control when Firms are Noncompliant", *Journal of Environmental Economics and Management* 18, pp. 97-106.
- Ministerio del Medio Ambiente de Colombia (MMA) (2004), "Evaluación del programa de tasas retributivas en Colombia", documento preliminar.
- Montero, J. P., J. M. Sánchez y R. Katz (2002), "A Market-Based Environmental Policy Experiment in Chile", *Journal of Law and Economics* 45, pp. 267-287.
- , — y — (2001), "Análisis del mercado de emisiones de material particulado en Santiago", *Estudios Públicos* 81, pp. 177-203.
- Palacios, M., y C. Chávez (2005), "Determinants of Compliance in the Emissions Compensation Program in Santiago, Chile", *Environment and Development Economics* 10(4), pp. 453-483.
- , y — (2002), "Programa de compensación de emisiones: Evaluación de su diseño de fiscalización y cumplimiento", *Estudios Públicos* 88, pp. 97-126.
- Rudas, G. (2006), "Instrumentos económicos y regulación de la contaminación industrial: primera aproximación al caso del Río Bogotá", Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad Pontificia Javeriana.
- Sandmo, A. (2002), "Efficient Environmental Policy with Imperfect Compliance", *Environmental and Resource Economics* 23, pp. 85-103.
- Stranlund, J., y K. Dhanda (1999), "Endogenous Monitoring and Enforcement of a Transferable Emissions Permit System", *Journal of Environmental Economics and Management* 38(3), pp. 267-282.
- , y C. Chávez (2000), "Effective Enforcement of a Transferable Emissions Permit System with a Self-Reporting Requirement", *Journal of Regulatory Economics*, 18 (2), pp. 113-131.
- (2007), "Risk Aversion and Compliance in Markets for Pollution Control", *Journal of Environmental Management* 88(2), pp. 203-210.

Stranlund, J., C. Chávez y M. Villena (2009), "The Optimal Pricing of Pollution when Enforcement is Costly", *Journal of Environmental Economics and Management*, 58, pp. 183-191.

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín (2005), "Regulación de la contaminación hídrica en Colombia: Capacidad institucional y niveles de cumplimiento", *Informe Final*, Facultad de Minas.