

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN ECONOMÍA DE LOS RECURSOS
NATURALES Y EL DESARROLLO SUSTENTABLE



“EFECTIVIDAD DE LAS TASAS RETRIBUTIVAS COMO
INSTRUMENTO ECONÓMICO PARA EL CONTROL DE LA
CONTAMINACIÓN DE CUERPOS DE AGUA EN BOGOTÁ,
COLOMBIA”

Presentada por:

JOHANNA MILDRED MÉNDEZ SAYAGO

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE:

DOCTORIS PHILOSOPHIAE EN ECONOMÍA DE LOS RECURSOS
NATURALES Y EL DESARROLLO SUSTENTABLE

Lima-Perú

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN ECONOMÍA DE LOS RECURSOS NATURALES Y
EL DESARROLLO SUSTENTABLE

“EFECTIVIDAD DE LAS TASAS RETRIBUTIVAS COMO INSTRUMENTO
ECONÓMICO PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DE CUERPOS DE
AGUA EN BOGOTÁ, COLOMBIA”

Presentada por:

JOHANNA MILDRED MÉNDEZ SAYAGO

Sustentada y aprobada ante el siguiente Jurado:

.....
Dr. Carlos Orihuela Romero
Novoa Presidente

.....
Ph. D. Jorge Alarcón
Asesor

.....
Dr. Luis Jiménez Díaz
Miembro

.....
Dr. Eric Rendón Schneir
Miembro

.....
Dr. Boris Wolfgang Marañón
Pimentel Miembro Externo

DEDICATORIA

Mi tesis se la dedico a mis padres, porque ellos siempre están conmigo en las buenas y en las malas; me educan, me imparten valores para conducirme correctamente y me ofrecen el sabio consejo en el momento oportuno. A mi hermano querido Jhon Méndez.

A todas aquellas personas que me apoyan, y también para todo aquel que se pueda beneficiar de este trabajo. Esta hecho con todo mi amor, lo cual produce una gran satisfacción en poder servir a quien así lo requiera.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1.1 Efecto de las tarifas de las tasas retributivas sobre la contaminación	7
1.1.2 El problema de la evaluación del impacto de las tasas retributivas.....	9
1.2. OBJETIVOS	10
1.2.1 General.....	10
1.2.2 Específicos.....	10
1.3. HIPÓTESIS Y RESULTADOS ESPERADOS	11
II. REVISION DE LA LITERATURA	15
2.1. EL PROBLEMA DE LA REGULACIÓN AMBIENTAL.....	15
2.1.1 Instrumentos para el control de la contaminación	16
2.1.2 Contaminación óptima.....	17
2.2. TASAS RETRIBUTIVAS	22
2.2.1 Revisión de la normatividad sobre las tasas retributivas	24
2.3. ESTADO DEL ARTE SOBRE EVALUACIÓN DE LAS TASAS RETRIBUTIVAS	28
2.4. EXPERIENCIA INTERNACIONAL EN LA APLICACIÓN DE PAGOS PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA	34
2.4.1 Estudios de evaluación del impacto.....	40
2.5. RESUMEN HISTÓRICO DEL MARCO NORMATIVO PARA LA GESTIÓN DEL AGUA Y EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN EN ECUADOR.....	42
2.6. RACIONALIDAD LIMITADA	46
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	50
3.1. ESTRATEGIA EMPÍRICA Y DATOS	50
3.1.1 Estrategia de estimación 1	50
3.1.2 Estrategia de estimación 2	52
3.1.3 Estrategia de estimación 3	54
3.1.4 Potencia de la prueba y tamaños de muestra	56
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	62

4.1. ESTRATEGIA DE ESTIMACIÓN 1	62
4.2 ESTRATEGIA DE ESTIMACIÓN 2	64
4.3 ESTRATEGIA DE ESTIMACIÓN 3	69
V. CONCLUSIONES	72
VI. RECOMENDACIONES	75
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	78
VIII. ANEXOS	85

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de la tarifa de la tasa retributiva sobre la contaminación.....	8
Figura 2. Contaminación eficiente e impuesto pigouviano	18
Figura 3. Ilustración de mecanismo de Baumol & Oates	22
Figura 4. Algoritmo de funcionamiento de las tasas retributivas	27
Figura 5. Distribución de la actividad económica de las empresas	53
Figura 6. Potencia asociada a los diferentes tamaños de muestra. Estimación 1	57
Figura 7. Potencia asociada a los diferentes tamaños de muestra. Estimación 2	58
Figura 8. Potencia asociada a los diferentes tamaños de muestra. Estimación 3	60
Figura 9. Conoce la tarifa de la tasa retributiva para DBO y SST	64
Figura 10. Destino de los vertimientos	65
Figura 11. Autodeclaración de vertimientos.....	66
Figura 12. Percepción sobre las tasas retributivas	66
Figura 13. ¿Qué motivó de la toma de acciones para el control de la contaminación?..	67

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de entrada cálculo de potencia estimación 1.	57
Tabla 2. Parámetros de entrada cálculo de potencia estimación 2.	58
Tabla 3. Estimación con datos panel. Variable dependiente: concentración de sustancia contaminante en kg/m ³	63
Tabla 4. Estimación sur. Variable dependiente: reducción de la concentración de las sustancias contaminantes en la plata de tratamiento (en %).	68
Tabla 5. Simulación de incrementos del precio de la tasa.....	69
Tabla 6. Estimación del impacto de la norma de tasas retributivas sobre la DBO.....	70
Tabla 7. Estimación del impacto de la norma de tasas retributivas sobre los SST	71

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Do file stata- Modelos estimados	85
Anexo 2. Encuesta de la investigación	89
Anexo 3. Reglamentación vigente de las tasas retributivas	94
Anexo 4. Descarga de información de CORNARE	95
Anexo 5. Decretos emitidos de las tasas retributivas hasta 2020	96

ABREVIATURAS

CAR: Corporaciones Autónomas Regionales

CDMB: Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga

CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe

CNRH: Consejo Nacional de Recursos Hídricos de Ecuador

COOTAD: Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y
Descentralización

CORNARE: Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare

CORPOCHIVOR: La Corporación Autónoma Regional de Chivor

CRA: La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico

CVC: Corporación autónoma regional del Valle del Cauca

DBO: Demanda bioquímica de oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

INEC: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda de Ecuador

MCO: Mínimos Cuadrados Ordinarios

MIDUVI: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda de Ecuador

MP: Monto a pagar por concepto de la tasa retributivas

PTAR: Planta de tratamiento de aguas residuales

SENAGUA: Secretaria Nacional del Agua de Ecuador

SST: Sólidos suspendidos totales

UNEP: Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente

RESUMEN

El objetivo de esta tesis fue evaluar la efectividad de las tasas retributivas como instrumento económico para el control de la contaminación de los cuerpos de agua en Colombia. También se propone recomendaciones en la normatividad ambiental y la administración de la tasa, tendientes a mejorar el desempeño del instrumento. Esta tesis compara sobre la habilidad de las técnicas econométricas de antecedente, para evaluar el impacto de las tasas retributivas como instrumento para el control de los vertimientos en Colombia. Con este propósito se estima el efecto de las tarifas sobre la contaminación a partir de tres estrategias, que difieren en cuanto al tipo de información que se utiliza como variable de tratamiento. En la primera estimación se emplea un conjunto de datos panel, resultado de la implementación de las tasas retributivas en la jurisdicción de CORNARE durante el periodo 2011-2014. En esta primera evaluación, el precio a la contaminación es la tarifa que cobra la autoridad ambiental. En el segundo caso, la información proviene de una encuesta aplicada a empresas con vertimientos en la ciudad de Bogotá durante el año 2014. Para este caso, la variable de tratamiento es el precio percibido por los agentes contaminadores. Se encontró que la primera estrategia subestima el efecto de las tarifas, porque no captura el efecto heterogéneo del precio a la contaminación, lo que genera estimadores sesgados e inconsistentes de su impacto. Una tercera regresión intenta descubrir si el modelo de tasa retributiva, no solo el efecto de las tarifas tiene efecto positivo sobre el control de la contaminación, comparándolo con otro modelo de control de la contaminación sin incentivos económicos (como el de Ecuador). En la tercera estimación se encontró que, aunque se controle por sectores económicos, las concentraciones de DBO y SST son estadísticamente más altas en Colombia que en Ecuador.

Palabras clave: tasas retributivas, control de vertimientos, endogeneidad

ABSTRACT

In this thesis, is evaluated the effectiveness of retributive rate as an economic instrument for the control of contamination of waterbodies in Colombia. Recommendations are also proposed in the environmental regulations and the administration of the tax, aimed at improving the performance of the instrument. Recommendations are also proposed in environmental regulations and the administration of the rate, aimed at improving the performance of the instrument. This thesis discusses the ability of traditional econometric estimates of the impact of the retributive taxes as an instrument for spill control in Colombia. For this purpose the effect of fees on pollution is estimated based on two strategies that differ in the type of information that is used as a treatment variable. The first estimate uses a panel data set resulting from the implementation of the retributive taxes in CORNARE's jurisdiction during the period 2011-2014. In this first evaluation the price of the pollution is the rate that charges the environmental authority. In the second case the information comes from a survey applied to companies with spills in the city of Bogotá during the year 2014. For this case the treatment variable is the price perceived by the polluting agents. It was found that the first strategy underestimates the effect of fees because it does not capture the heterogeneous effect of price to pollution and this generates biased and inconsistent estimators of its impact. A third regression tries to discover whether the model of the retributive rate, not only the effect of the tariffs has positive effect on the control of the pollution, comparing it with another model of control of the pollution without economic incentives (like that of Ecuador). The third estimate found that, although controlled by economic sectors, DBO and SST concentrations are statistically higher in Colombia than in Ecuador.

Keywords: retributive taxes, spill control, endogeneity.

I. INTRODUCCIÓN

La tasa retributiva es un pago que cobra la autoridad ambiental competente en Colombia a quienes utilizan el recurso hídrico como receptor de vertimientos puntuales directos o indirectos, Velásquez (2002). Entre los usuarios de los cuerpos de agua como sumidero se encuentran las empresas, los municipios y las empresas prestadoras de servicios públicos municipales. La tasa retributiva se cobra por la totalidad de la carga contaminante vertida al recurso hídrico.

El instrumento económico tiene una doble función. Envía una señal de precio a los usuarios de los recursos naturales incentivándolos a un uso más eficiente del que harían si pueden acceder a ellos de manera gratuita. También se constituye en fuente de ingresos para financiar la política ambiental mediante la captación de recursos financieros pagados por los usuarios directos de los recursos naturales, (Rudas 2008). El mismo autor identifica dos condiciones para que las tasas retributivas tengan el efecto deseado: primero, el cobro debe ser proporcional a la magnitud de uso del recurso natural; y segundo, la tarifa de la tasa se debe fijar en un nivel que efectivamente induzca al usuario a un uso más eficiente del recurso.

Méndez et al. (2010), Rudas (2005) y Rudas (2008) coinciden en que no siempre a los usuarios se les cobra la tasa en función a la carga efectivamente vertida al cuerpo de agua o a la red de alcantarillado. Una práctica habitual es que cuando el receptor de los vertimientos es la red de alcantarillado, las empresas de acueducto cobran las tasas retributivas como una tarifa por metro cúbico de agua consumida, y no por cada unidad de carga contaminante vertida. También ocurre que no se le exige a la empresa autodeclaración de vertimientos y se le cobra con base en cálculos presuntivos realizados por la autoridad ambiental.

La tarifa de la tasa comprende un par de factores que le permiten al instrumento funcionar de acuerdo con el sistema de estándar y precios de Baumol y Oates (1971). El primer componente es una tarifa mínima que estableció el Ministerio del Medio Ambiente en la

Resolución 273 de 1997 y se actualiza anualmente de acuerdo con el índice de precios al consumidor. El segundo es un factor regional que puede incrementarse semestralmente y tiene como propósito hacer más costosa la contaminación a los usuarios para que sea posible alcanzar la meta de contaminación.

Lograr esta meta ambiental al mínimo costo requiere agentes racionales capaces de resolver su propio problema de minimización de costos por contaminar lo que incluye el costo de abatimiento más el pago por concepto de la tasa. Un elemento importante para este proceso es el conocimiento de la tarifa de la tasa que debe ser información común para todos los agentes contaminadores de manera que estos puedan determinar su nivel óptimo de contaminación comparando el costo de reducción de la última unidad de contaminación con el precio de la tasa.

Méndez y Hernández (2012) encontraron que el 94 por ciento de las empresas encuestadas no conocían las tarifas de la tasa retributiva. Esto redundaba en que los agentes no resolvían el problema de minimización de costos por contaminar porque ni siquiera conocen la tarifa de la tasa. Ellos encontraron que las decisiones de reducción de los agentes contaminadores obedecen más a su percepción de la tasa retributiva como una sanción por contaminar que al incentivo económico de precios.

Las evaluaciones de impacto de la tasa retributiva tratan de determinar el efecto que tiene la tarifa de la tasa (precio) sobre la concentración de sustancias contaminantes en los vertimientos o sobre el total de carga contaminante. No obstante, a partir de los hallazgos de Méndez y Hernández (2012) se desprende que el efecto de la tarifa es heterogéneo entre agentes contaminadores. El efecto de la magnitud de la tarifa es nulo para las empresas que no se preocupan por conocer su valor y positivo en caso contrario. El efecto marginal estimado de la tarifa tampoco es el efecto promedio porque es muy probable que el efecto de la tarifa dependa de la concentración de la contaminación o la carga contaminante del usuario (endogeneidad). Esto podría invalidar los resultados de las evaluaciones de antecedente del impacto de las tarifas de la tasa retributiva sobre la contaminación, que asumen que el efecto es homogéneo, como por ejemplo Galarza (2009).

En esta investigación se comparan los resultados de la estimación del efecto de la tarifa de la tasa sobre la concentración (o reducción) de las sustancias contaminantes en los vertimientos mediante dos modelos con técnicas de regresión diferentes.

La primera es una regresión de la concentración de las sustancias contaminantes sobre las tarifas de la tasa retributiva. La información para la estimación proviene de la corporación autónoma regional de las cuencas de los ríos Negro y Nare (CORNARE) en Colombia. De su página web se descargó información para cada usuario con vertimientos: el factor regional que se le aplicó (para DBO y SST), el caudal vertido (en m³/año) y las cargas de DBO y SST (en kg/año) desde el año 2010 al 2014¹. El número de usuarios es superior a 200 en cada periodo.

La segunda es una regresión de la reducción de la concentración de las sustancias contaminantes en la planta de tratamiento, sobre la tarifa de la tasa. La principal diferencia es que el regresor toma el valor de cero si el agente contaminador no conoce el valor de la tarifa de la tasa. Para esto se aplicó una encuesta con el propósito de determinar el conocimiento y percepción de los agentes contaminadores sobre la tasa retributiva. El número de encuestados fue de 315 funcionarios del departamento de gestión ambiental de empresas con vertimientos en Bogotá – Colombia.

La segunda aproximación permite que el efecto de la tarifa sea heterogéneo, nulo para las empresas que ignoran la tarifa y por lo tanto no toman decisiones de reducción de sus vertimientos en función del precio a la contaminación y teóricamente positivo en caso contrario. El efecto promedio de la segunda aproximación es el efecto estimado multiplicado por el porcentaje de firmas de la muestra que tienen conocimiento del precio de la tasa.

Una tercera regresión intenta descubrir si el modelo de tasa retributiva, no solo el efecto de las tarifas tiene efecto positivo sobre el control de la contaminación, comparándolo con otro modelo de control de la contaminación sin incentivos económicos (como el de Ecuador).²

¹ Tasas retributivas. Disponible en: <http://www.cornare.gov.co/tasas-retributivas/> (CORNARE)

² Tasas retributivas. Disponible en: <http://www.cornare.gov.co/tasas-retributivas/> (CORNARE)

La tesis discute la habilidad de las estimaciones econométricas de antecedente para evaluar el impacto de las tarifas de las Tasas Retributivas sobre la reducción de la concentración de las sustancias contaminantes de usuarios con vertimientos. Con el mismo propósito se realiza el contraste estadístico del efecto de las tarifas sobre la contaminación, a partir de tres estrategias de estimación econométricas que difieren en cuanto al tipo de información que se utiliza como variable de tratamiento.

Lo que se pretende en la investigación es determinar si las tasas retributivas logran modificar el comportamiento de las firmas y si las inducen a tomar acciones destinadas a moderar sus vertimientos. Sin embargo, el instrumento de precio no es un incentivo para que todas las firmas mitiguen su contaminación especialmente para las que tienen costos marginales de reducción altos, su reducción de la concentración de la contaminación puede obedecer más a la meta de contaminación que a la tarifa de la tasa. Se pretende determinar si la responsabilidad ambiental es una de las razones por las cuales las firmas moderan sus vertimientos. También resulta importante el proceso de facturación y cobro de la tasa, ya que sin el buen desempeño administrativo el instrumento pierde efectividad.

Esta investigación está estructurada en ocho secciones, de las cuales esta introducción es la primera e incluye el planteamiento del problema, los objetivos, las hipótesis y potenciales resultados. En la segunda sección se presenta una amplia revisión de la literatura, incluyendo el marco teórico sobre el cual se sustenta el tema de investigación. La metodología que se utiliza para la obtención de resultados se presenta en la sección tercera, en tres escenarios vinculados mediante modelos econométricos diferentemente especificados. Posteriormente en la cuarta sección se presentan los resultados obtenidos y una discusión de los mismos. La sección cinco y seis contiene conclusiones y recomendaciones del estudio relacionadas fundamentalmente con la comprobación de las hipótesis. La sección siete presenta las referencias bibliográficas utilizadas. La sección 8 presenta los anexos de la tesis.

Estadísticas Ambientales y varios dominios. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-ambientales-y-varios-dominios/>

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las actividades humanas productivas y no productivas contaminan el medio ambiente. Esta relación entre el hombre y el medio natural no se rige por el mercado, así que sin la intervención del gobierno el uso del medio ambiente como vertedero puede sobrepasar su capacidad de asimilación produciendo efectos negativos sobre el bienestar de las comunidades, generando costos a los productores, a los consumidores y el deterioro de los ecosistemas. Dado que la contaminación afecta el bienestar y reduce la productividad, los agentes que la generan deben asumir los costos de eliminar o mitigar los impactos negativos que causan sus vertimientos.

Existen tres fuentes principales de contaminación del agua: las aguas negras domésticas, los efluentes industriales y la escorrentía por el uso del suelo. En la década de los noventa en Colombia ya se había identificado la contaminación hídrica como uno de los problemas ambientales de mayor gravedad para la sociedad colombiana (Villegas et al. 2006). El vertimiento de aguas negras de origen urbano y rural se cuantificó en un aporte de carga orgánica de 1.200 toneladas de DBO/día, producto de que el 95% de aguas residuales domésticas y agrícolas se vertían sin tratamiento alguno. El 85% de las aguas residuales industriales se vertían sin tratamiento adecuado resultando en una contaminación industrial de 520 toneladas de DBO/día (Oficina de análisis económico del Ministerio del Medio Ambiente 1997).

El inadecuado tratamiento y disposición de las aguas residuales generó una creciente problemática de contaminación ambiental y sanitaria principalmente en las fuentes abastecedoras de agua, limitando así la disponibilidad del recurso hídrico y restringiendo su uso en el país. Para obtener la calidad ambiental deseada por la sociedad al mínimo costo económico posible, la Ley 99 de 1993 y el Decreto Reglamentario 901 de abril de 1997 profundizan el uso del instrumento económico Tasa Retributiva.

La tasa retributiva es un pago que cobra la autoridad ambiental competente en Colombia, a quienes utilizan el recurso hídrico como receptor de vertimientos puntuales directos o indirectos (Velásquez 2002). Rudas (2008) aclara que el instrumento tiene una doble función. Envía una señal de precio a los usuarios de los recursos naturales,

incentivándolos a un uso más eficiente del que harían si pueden acceder a ellos de manera gratuita. También se constituye en fuente de ingresos para financiar la política ambiental, mediante la captación de recursos financieros pagados por los usuarios directos de los recursos naturales.

El estudio nacional del agua IDEAM (2014) registra que en el 2012 se estimó que la materia orgánica biodegradable (DBO) vertida a los cuerpos de agua es de 756.945 toneladas/año, mientras que la materia orgánica no biodegradable, es decir sustancias químicas, se estimó en 918.670 toneladas/año. También 205 toneladas/año de mercurio son vertidas al suelo y al agua de los ríos a nivel nacional. En cuanto a materia orgánica la cifra del 2012 supera las 627.800 toneladas/año de DBO la década de los 90. Este crecimiento de la contaminación por materia orgánica puede ser producto del aumento de la contaminación de origen doméstico producto del incremento de la población, también puede ser causado por un incremento de la producción o un indicador de la ineficacia del programa de Tasas Retributivas.

En este orden de ideas cabe preguntarse ¿Son las Tasas Retributivas un instrumento eficaz para el control de la contaminación de los cuerpos de agua en Colombia? Esta tesis pretende responder esta pregunta y su principal aporte es desvelar y avanzar en superar las limitaciones de las evaluaciones de impacto de las tasas retributivas de antecedente. Dichas evaluaciones de impacto tratan de determinar el efecto que tiene la tarifa de la Tasa Retributiva sobre la concentración de sustancias contaminantes en los vertimientos, o sobre el total de carga contaminante.

Esta investigación tiene también como objeto identificar las razones por las cuales los agentes contaminadores reducen la contaminación ante el cobro de las tasas retributivas. Y desde el punto de vista económico evaluar si las tasas retributivas son un instrumento costo-efectivo para el control de los vertimientos.

El apartado 1.1.1 aporta una explicación teórica del por qué el efecto del precio a la contaminación es heterogéneo y por qué algunos agentes contaminadores no tienen motivaciones para conocer la tarifa de la tasa retributiva. El apartado 1.1.2 expone las consecuencias de esta heterogeneidad sobre la evaluación del impacto de las tarifas y justifican la investigación.

1.1.1 Efecto de las tarifas de las tasas retributivas sobre la contaminación

El Decreto 2667 del 2012 es la norma jurídica que contiene la reglamentación vigente sobre las tasas retributivas y en el artículo 18 precisa la fórmula para el cálculo del monto a pagar MP por concepto de la tasa retributivas:

$$MP = \sum_{i=1}^n Tm_i * Fr_i * C_i \quad (1)$$

Donde:

Tm_i : Tarifa mínima del parámetro i .

Fr_i : Factor regional del parámetro i aplicado al usuario.

C_i : Carga contaminante del parámetro i .

n : Parámetros sujetos de cobro. Son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y sólidos suspendidos totales (SST).

El producto $Tm_i * Fr_i$ corresponde a la tarifa de la tasa (precio de la contaminación). El factor regional Fr_i permite el ajuste gradual de la tarifa de la tasa hasta que el precio de la contaminación sea tan alto que provoque una reducción de la contaminación tal que se cumpla una meta fijada por la autoridad ambiental.

La Figura 1 ilustra un escenario probable para el efecto de la tarifa de la tasa retributiva sobre la contaminación de las empresas. Se asume la existencia de dos firmas con costos marginales de reducción de la contaminación CMR_1 y CMR_2 . La contaminación es e . Obsérvese que para la firma 2 es más costoso reducir cada unidad adicional de contaminación. Supóngase también que el nivel inicial de contaminación para ambas firmas es e^0 ya sea porque es su meta de contaminación fijada por la autoridad ambiental (una meta baja) o porque su responsabilidad ambiental la lleva a tener algún nivel de reducción de la contaminación. Ahora considere que la tarifa de la tasa es $t=Tm*Fr$. Ante

el cobro de este precio a la contaminación las firmas minimizadoras de costos reducen su contaminación hasta el punto en que el precio a la contaminación t iguala el costo marginal de reducción de la contaminación. Obedeciendo este criterio, la contaminación final será $e_1^f < e^o$ para la firma 1 y $e_2^f > e^o$. El impacto de la tarifa de la tasa para la firma 1 es una reducción de la concentración de la contaminación de magnitud $e_1^f - e^o$. La firma 2 no reduce la contaminación sus costos marginales de reducción son tan altos que para esta magnitud de la tarifa de la tasa, la contaminación es más alta que la meta, por lo tanto, la tarifa de la tasa no afecta su comportamiento de reducción.

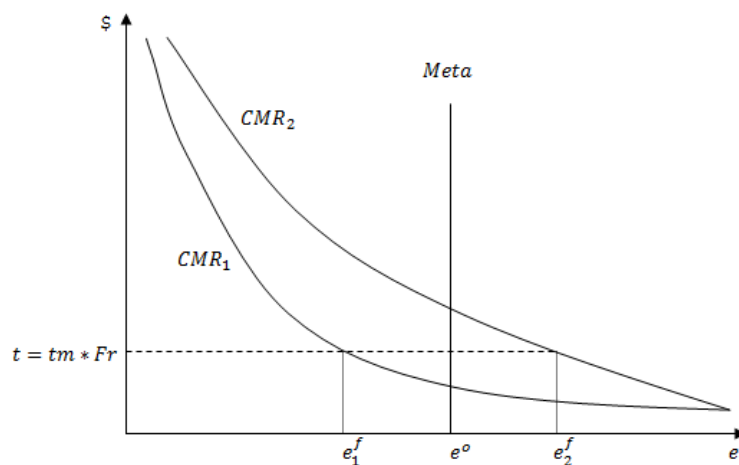


Figura 1: Efecto de la tarifa de la tasa retributiva sobre la contaminación

Lo que se quiere advertir con el ejemplo de la Figura 1 es que el efecto de la tarifa de la tasa retributiva es heterogéneo. Precios a la contaminación bajos no tendrán efectos de reducción en firmas con costos marginales de reducción altos. Esta puede ser una explicación para que algunas firmas (con dichas características) no se preocupen por conocer el monto de la tarifa y obviamente no basan sus decisiones de reducción de la contaminación en la tarifa de la tasa retributiva. Básicamente es un problema generado por tarifas de la tasa pequeñas, esto ocurre especialmente cuando las autoridades ambientales tienen metas ambientales no muy exigentes y la tarifa de la tasa es la tarifa mínima, lo cual ocurre con mucha frecuencia (Rudas 2008).

1.1.2 El problema de la evaluación del impacto de las tasas retributivas

Para estimar el impacto de las tasas retributivas sobre la moderación de la contaminación de los usuarios con vertimientos, en las estimaciones de antecedente como Galarza (2009) y Guerra (2014), se especifica un modelo econométrico cuya variable dependiente es la carga contaminante en los vertimientos e y una de las variables explicativas es la tarifa de la tasa t :

$$e_i = \beta_0 + \gamma * t_i + \text{efectodeotrosfactores} + \varepsilon_i \quad (2)$$

En la especificación (2) el efecto marginal de la tarifa de la tasa sobre la contaminación $\frac{de}{dt} = \gamma$ es constante ¿Cómo se interpreta $\hat{\gamma}$? Podría pensarse en interpretar dicho estimador como el efecto promedio de la tarifa de la tasa retributiva sobre la contaminación pero esto no es correcto. Para explicar por qué, se reformula el modelo (2) considerando la heterogeneidad del efecto de la tarifa de la tasa sobre la carga contaminante presente en los vertimientos. Se omite el efecto de otros factores sobre la carga contaminante por simplicidad.

$$e_i = \beta_0 + \gamma_i t_i + u_i \quad (2b)$$

$$e_i = \beta_0 + \gamma_i t_i + \gamma t_i + u_i - \gamma t_i$$

$$e_i = \beta_0 + \gamma t_i + u_i + \gamma_i t_i - \gamma t_i$$

$$e_i = \beta_0 + \gamma t_i + u_i + t_i(\gamma_i - \gamma)$$

$$e_i = \beta_0 + \gamma t_i + \varepsilon_i$$

$$\varepsilon_i = u_i + t_i(\gamma_i - \gamma)$$

$$E(\varepsilon_i | t_i) = E(u_i | t_i) + E(t_i(\gamma_i - \gamma) | t_i)$$

Por el teorema condicional de la ley de expectativas iteradas³:

$$E(\varepsilon_i|t_i) = E(u_i|t_i) + t_iE(\gamma_i - \gamma|t_i)$$

Si (2b) no tiene errores de especificación y el error u_i es exógeno, se tiene que $E(u_i|t_i) = 0$. Sin embargo, $E(\gamma_i - \gamma|t_i) \neq 0$, porque como se explicó en el apartado anterior γ_i y t_i no son independientes ya que el efecto individual depende de la tarifa de la tasa retributiva. Se tiene por tanto que $E(\varepsilon_i|t_i) \neq 0$, y dada la endogeneidad de la tarifa de la tasa t en la ecuación (2), el estimador $\hat{\gamma}$ es sesgado e inconsistente y no es el efecto promedio de la tarifa de la tasa retributiva sobre la contaminación.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1 General

Evaluar la efectividad de las tasas retributivas como instrumento económico para el control de la contaminación de los cuerpos de agua en Colombia y con base en ello proponer recomendaciones en la normatividad ambiental y la administración de la tasa, tendientes a mejorar el desempeño del instrumento.

1.2.2 Específicos

- Precisar el grado de conocimiento que tienen las firmas en Colombia acerca del instrumento tasa retributiva y su funcionamiento.
- Delimitar las acciones que toman los agentes contaminadores ante el cobro de las tasas retributivas.

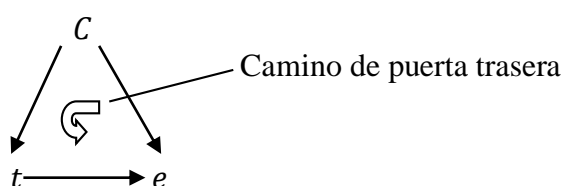
³ $E[g(x)y|x] = g(x)E(y|x)$

- Incorporar mejoras a la estimación estadística de la sensibilidad de la(s) variable(s) representativa(s) de la contaminación ante cambios en la tasa retributiva.

1.3. HIPÓTESIS Y RESULTADOS ESPERADOS

Se genera la hipótesis mediante el uso de los diagramas causales de modo que se pueda plantear las posibles rutas de asociación entre causas y efectos, así como otras rutas alternativas que pueden producir sesgos en la asociación.⁴

El problema que se presenta en la identificación de la causalidad de la tarifa de la tasa retributiva sobre la reducción de la concentración de la sustancia contaminante se puede representar mediante el siguiente diagrama causal:



Donde C representa el costo marginal de reducción de la contaminación, t la tarifa de la tasa retributiva para una determinada sustancia contaminante y e la concentración de dicha sustancia contaminante.

La flecha de t a e representa la causalidad entre la tarifa de la tasa retributiva y la concentración de la sustancia contaminante. El precio a la contaminación tiene un efecto positivo sobre la reducción de la carga contaminante porque las firmas minimizadoras de costos reaccionaran ante el precio reduciendo la carga contaminante hasta un nivel tal que el costo de reducción de una unidad adicional sea igual al precio a pagar por unidad de carga contaminante.

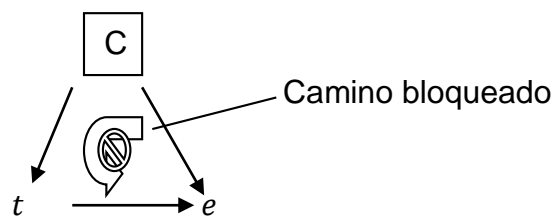
⁴ Niubò, A; Forero, C; Benavides, F. 2016. Utilidad de los diagramas causales para conceptualizar mecanismos en la investigación epidemiológica. Arch Prev Riesgos Labor, v.19, N° 2. Barcelona

Hay una flecha de C a e porque la reducción de la concentración de la sustancia contaminante también depende de los costos marginales de reducción de la firma. Firmas con altos costos marginales de reducción reducirán menos la contaminación que las firmas con bajos costos marginales de reducción.

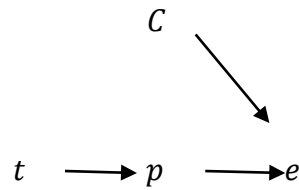
Se incluye una flecha de C a t porque si la tarifa de la tasa es pequeña, firmas con altos costos marginales de reducción no actúan como minimizadoras de costos, no se preocupan por conocer el precio a la contaminación y como consecuencia la tarifa de la tasa no tiene efecto sobre la concentración de carga contaminante.

La variable C es catalogada en el contexto de diagramas causales de la epidemiología como un confusor (Hernan y Robins 2019), porque es una variable que al abrir un “camino de puerta trasera” entre $e - C - t$ (es decir un camino entre la variable resultado e y la de tratamiento t) confunde una simple asociación con la relación causal entre t y e .

La solución clásica para mitigar el sesgo consiste en estratificar por el confusor convirtiéndolo en un colisionador que cierre el camino de puerta trasera $e - C - t$.



Sin embargo, la solución es inviable, no se puede estratificar por el confusor porque no se conocen los costos marginales de reducción de las firmas. La alternativa es encontrar el efecto causal entre el precio a la contaminación p y la concentración de la sustancia contaminante e . El precio a la contaminación es la información de la tarifa que conocen las firmas, no la tarifa de la tasa definida por la normatividad.



En este segundo diagrama causal no hay flecha de C a t porque como se conoce p , la variable C no afecta la forma en que los sujetos pasivos de la tasa hacen uso de la tarifa de la tasa. Si son minimizadores de costos $p = t$, de lo contrario $p = 0$, pero no se requiere de C . Por lo tanto no hay camino de puerta trasera entre e y el precio de la contaminación p y la asociación entre p y e corresponde al efecto causal del precio de la contaminación sobre la concentración de la sustancia contaminante.

En conclusión, la hipótesis general de trabajo es que el precio a la contaminación p_i tiene efecto positivo en la reducción de la concentración de las sustancias contaminantes en los efluentes de las firmas con vertimientos. Partiendo de la ecuación (3):

$$e_i = \beta_0 + \gamma * p_i + \text{efecto de otros factores} + \varepsilon_i \quad (3)$$

Siendo e la carga contaminante en los vertimientos.

La hipótesis de investigación se puede representar econométricamente de la siguiente forma:

$$H_0: \gamma = 0$$

$$H_a: \gamma < 0$$

La hipótesis del investigador es la hipótesis alterna, porque si se presenta reducción de la concentración de la contaminación la carga contaminante será menor.

No obstante, si la variable dependiente es la reducción de la carga contaminante:

$$\%reducción_{e_i} = \beta_0 + \lambda * p_i + \text{efecto de otros factores} + \varepsilon_i \quad (3b)$$

Las hipótesis serán las siguientes:

$$H_0: \lambda = 0$$

$$H_a: \lambda > 0$$

La hipótesis de investigación es la hipótesis alterna.

En las ecuaciones 3 y 3b se utiliza como regresor el precio a la contaminación p y no la tarifa de la tasa t . Esta especificación obedece a que se asume que el efecto de la tarifa de la tasa sobre la reducción de la concentración de las sustancias contaminantes de las firmas es heterogéneo y esta heterogeneidad, como se expuso en el apartado 1.2 y en los diagramas causales de este apartado, genera la endogeneidad de la variable tarifa de la tasa y la estimación de una simple asociación y no de la causalidad que va del precio a la contaminación sobre la concentración de carga contaminante, lo que subestima el efecto promedio de la tarifa de la tasa retributiva sobre el control de los vertimientos por parte del sujeto pasivo de la tasa.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. EL PROBLEMA DE LA REGULACIÓN AMBIENTAL

«El problema básico de la regulación ambiental es que el gobierno trata de inducir al contaminador a que lleve a cabo acciones socialmente convenientes, lo que obviamente no es lo mejor para el contaminador» (Kolstad 2001).

La intervención del gobierno se justifica en la necesidad de adoptar políticas de uso y manejo de los bienes ambientales que sean más eficientes y atenúen la degradación ambiental. Desde la perspectiva de la economía la contaminación excesiva es atribuida a las *fallas de mercado*⁵. Está visto que los mercados no reflejan el daño de la actividad económica sobre el medio ambiente a través de los costos y por tanto estos daños no inciden en las decisiones económicas de productores y consumidores; de esa forma se genera una tendencia a la sobreutilización de los bienes y servicios ambientales que aceleran su degradación.

En su tarea el gobierno representado por la autoridad ambiental enfrenta distintas complicaciones como tener que determinar exactamente cuál es el mejor nivel de contaminación para la sociedad y el hecho de que no siempre le es posible controlar al contaminador de manera precisa. A esto se le suman las presiones de consumidores y especialmente de contaminadores organizados, con una considerable capacidad de ejercer presión política (Kolstad 2000).

⁵ Existen fallas de mercado cuando no es posible lograr la eficiencia a través del libre funcionamiento del mercado.

2.1.1 Instrumentos para el control de la contaminación

En la gestión ambiental los instrumentos son herramientas que permiten al ente regulador ejecutar sus políticas. Los dos tipos más importantes de instrumentos para la regulación ambiental son: los instrumentos de comando y control y los instrumentos económicos.

El concepto básico de *comando y controles*⁶ que la regulación debe especificar los pasos que los contaminadores tienen que dar para resolver el problema. En esencia, el regulador reúne la información necesaria para decidir las acciones físicas que deben llevarse a cabo para controlar la contaminación y se las comunica al contaminador para que este las ejecute (Kolstad 2000). No obstante, el concepto evolucionó y en la actualidad el instrumento hace referencia a diversos tipos de estándares⁷ para generar mejoras en la calidad ambiental. Estos estándares pueden clasificarse en: ambientales, de emisión o tecnológicos.⁸

Las regulaciones de comando y control tienen como ventaja principal la mayor flexibilidad para regular los procesos ambientales complejos y más certidumbre respecto a la cantidad de contaminación que se obtendrá (Kolstad 2000). Posiblemente el problema más grande de la regulación de comando y control es la dificultad para cumplir con el principio de equimarginalidad, lo que conlleva costos de reducción de la contaminación excesivamente altos.

Los instrumentos económicos tienen como objetivo incentivar un cambio en la conducta de los agentes contaminadores con el fin de alcanzar metas ambientales previamente establecidas, al mínimo costo. Estos incentivos económicos pueden agruparse en dos categorías: (1) impuestos y subsidios y (2) permisos transferibles.

⁶ Se basan en la promulgación de normas y en la ecuación coerción sanción; estos tratan de hacer cumplir la ley llevada al campo de la conducta ambiental.

⁷ El estándar es un nivel decretado de desempeño ambiental que se hace cumplir mediante ley.

⁸ Para un análisis más detallado sobre estándares, consultar: Field, B. 1995. Economía Ambiental. McGraw-Hill.

El *impuesto a la contaminación* es un tipo de instrumento económico que implica el pago de un cargo por unidad de contaminación emitida. Cuando el contaminador es obligado a pagar por cada unidad de contaminación, a este le interesará reducir sus emisiones.

Los *subsidios* recompensan a los contaminadores por hacer lo que se percibe es de interés público. “La fijación de subsidios pretende estimular al agente contaminante a que invierta en equipos que permitan eliminar, o al menos reducir, la contaminación. En la práctica se asigna al subsidio a aquellas empresas que contaminan por debajo de un determinado nivel” (Romero 1997).

La idea de los *permisos transferibles* consiste en emitir un número de permisos igual al nivel óptimo de contaminación. Estos permisos se pueden comprar y vender en un mercado establecido para tal fin, lo que induce un precio sobre el permiso para contaminar y ocasiona que las empresas consideren la contaminación como una actividad costosa, porque entre más contaminen más permisos deben comprar (Kolstad 2000).

2.1.2 Contaminación óptima

El criterio económico para determinar el nivel de óptimo de contaminación es la minimización de todos los costos sociales derivados de la actividad contaminadora. Estos costos comprenden el daño generado por la contaminación $Daño(e)$ y los costos en los que se incurra al tratar de reducirla $CR(e)$. Matemáticamente el problema es el siguiente:

$$\min_e Daño(e) + CR(e) \quad (4)$$

Como se ilustra en la Figura 2, la optimalidad paretiana se alcanza cuando el costo marginal de reducción de la contaminación es igual al daño marginal generado por el nivel de contaminación:

$$CMR(e^*) = DMA(e^*) \quad (5)$$

Dónde:

$CMR(e)$: Función de costo marginal de reducción de la contaminación.

$DMA(e)$: Función de costo marginal de la externalidad (daño marginal).

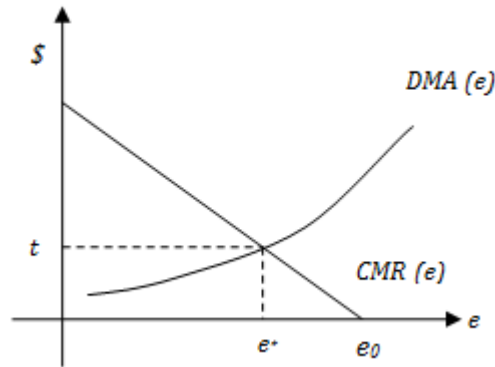


Figura 2: Contaminación eficiente e impuesto pigouviano

En teoría es posible para la sociedad alcanzar el nivel óptimo de contaminación e^* , con ayuda de un instrumento económico denominado impuesto pigouviano. Un Impuesto eleva el costo de uso del medio ambiente como sumidero y da al contaminador la flexibilidad para encontrar la estrategia de menor costo para el control de la contaminación.

Con el cobro de un impuesto por unidad de emisión, los costos en los que incurre una empresa por contaminar estarán dados por:

$$\text{costo} = t * e + CR(e) \tag{6}$$

Donde el término $t * e$ es el monto a pagar por concepto del impuesto y $CR(e)$ es el costo de reducción de la contaminación de la empresa. La solución del problema de minimización de costos por contaminar del agente contaminador tiene una condición de optimalidad que está dada por:

$$CMR(\tilde{e}) = t \tag{7}$$

Donde \bar{e} es denominada contaminación eficiente de la firma.

Conocido el nivel óptimo de contaminación e^* , la solución económica al problema de exceso de contaminación consistiría en cobrar un impuesto por unidad de contaminante emitido igual al costo marginal de reducción de la contaminación, o al daño marginal (evaluados en el óptimo e^*). Este impuesto corresponde al impuesto pigouviano, el cual también se ilustra en la Figura 2.

$$t_{pigou} = CMR(e^*) = DMA(e^*) \quad (8)$$

La razón por la que el impuesto pigouviano t permite alcanzar el nivel de contaminación óptimo es que para ese nivel de impuesto a la empresa no le conviene contaminar una cantidad $e' > e^*$ porque en ese caso el valor a pagar por el exceso de contaminación $t * (e' - e^*)$ es superior al costo de reducir el exceso de contaminación. Tampoco le convendría contaminar una cantidad $e'' < e^*$ porque los costos de la sobreredución de la contaminación serían superiores al ahorro en valor a pagar $t * (e^* - e'')$.

Equimarginalidad y minimización de los costos totales de reducción de la contaminación:

La equimarginalidad de costos de reducción de la contaminación de los agentes contaminadores, es importante porque conduce a la minimización de los costos totales de reducción de la contaminación. La prueba es la siguiente:

Considérese un conjunto de J empresas contaminadoras, y una meta de reducción de la contaminación \bar{e} . El problema de minimización del costo total de reducción de la contaminación será:

$$\min_{e_j} \sum_{j=1}^J CR_j(e_j) \text{ s. a : } \sum_{j=1}^J e_j \leq \bar{e} \quad (9)$$

Donde CR_j son los costos de reducción de la contaminación de la empresa $j \in 1, \dots, J$.

Solución:

$$L = \sum_{j=1}^J CR_j(e_j) - \lambda \left(\sum_{j=1}^J e_j - \bar{e} \right) \quad (10)$$

Se obtienen las condiciones de primer orden:

$$\frac{dL}{de_j} = CMR_j(e_j) - \lambda = 0 \Rightarrow CMR_j(e_j) = \lambda \forall j = 1, \dots, J \quad (11)$$

De donde se deduce que la minimización de los costos totales de reducción de la contaminación se consigue cuando los costos marginales de abatimiento de todas las firmas son iguales:

$$CMR_1(e_1) = CMR_2(e_2) = \dots = CMR_J(e_J) = \lambda \quad (12)$$

Como todas las empresas actúan de acuerdo con la ecuación (12) ante el impuesto uniforme, este precio a la contaminación logra la minimización de los costos totales de abatimiento, porque:

$$t = CMR_1(\tilde{e}_1) = CMR_2(\tilde{e}_2) = \dots = CMR_J(\tilde{e}_J) \quad (13)$$

El nivel del impuesto t para el cual $\sum_{j=1}^J \tilde{e}_j = e^*$ es el impuesto pigouviano.

Eficiencia sin optimalidad

El uso del impuesto pigouviano en la práctica es poco factible, debido a que el gobierno representado por la autoridad ambiental, no dispone de la información necesaria, como las preferencias de los hogares y tecnología de las firmas, que le permita identificar la contaminación óptima.

Como estrategia alternativa al impuesto pigouviano, Baumol & Oates (1971) recomiendan que la autoridad ambiental fije algún nivel de contaminación socialmente

deseable \bar{e} fijado exógenamente, e implemente este estándar ambiental al mínimo costo, mediante la aplicación de un impuesto uniforme por unidad de emisión, que sería fijado a prueba y error.

El impuesto t fijado debe ser tal que induzca el cumplimiento de la restricción de que la contaminación agregada no sobrepase el nivel de contaminación socialmente deseable, es decir:

$$\sum_{j=1}^J \tilde{e}_j \leq \bar{e} \quad (14)$$

Se puede ilustrar el funcionamiento del mecanismo de Baumol & Oates con ayuda de la Figura 3 y partiendo de la meta de contaminación socialmente deseable \bar{e} y la contaminación agregada \hat{e} , suma de las contaminaciones individuales de todas las empresas: $\hat{e} = \sum_{j=1}^J e_j$. Para cumplir con la meta se requiere un impuesto t desconocido que logre unos niveles de emisión: $e_j \forall j = 1, \dots, J$ tales que $\hat{e} \cong \bar{e}$

Obsérvese en la Figura 3 que para el nivel de impuesto t_1 la contaminación agregada es superior a la meta: $\hat{e}' > \bar{e}$, por tanto la autoridad ambiental debe elevar el valor del impuesto unitario hasta t_2 , con el cual la contaminación agregada corresponde a la meta de la autoridad ambiental: $\hat{e}'' \cong \bar{e}$.

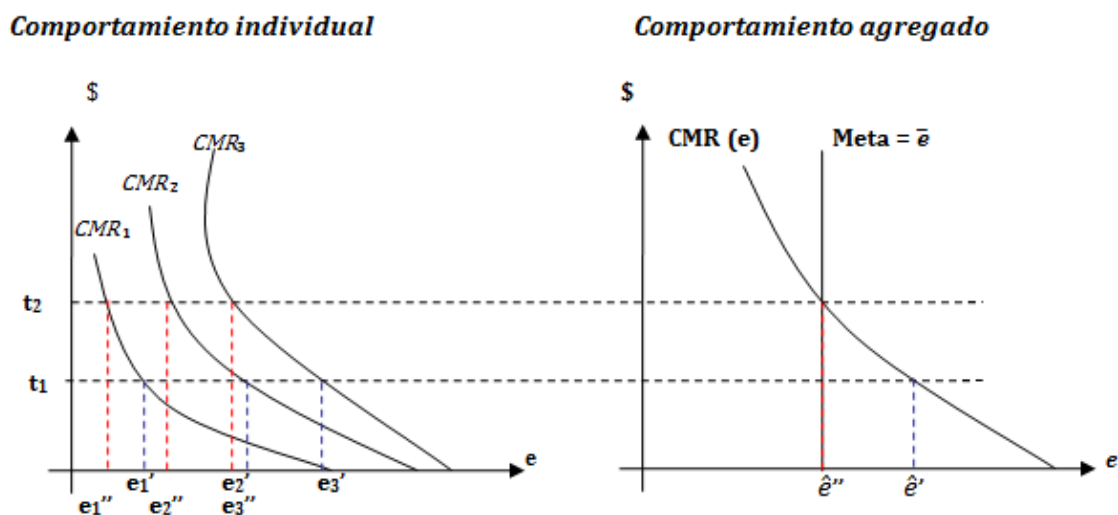


Figura 3: Ilustración de mecanismo de Baumol & Oates

2.2. TASAS RETRIBUTIVAS

La Tasa Retributiva por utilización del recurso hídrico, es un instrumento económico que tiene como propósito transmitir el costo de las medidas correctivas y compensatorias a quienes utilicen las fuentes hídricas como sumidero.

Para obtener la calidad ambiental deseada por la sociedad al mínimo costo económico posible, se creó la normatividad de la tasa retributiva que inicia desde el decreto Ley 2811 de 1974, posteriormente el decreto 1594 de 1984 y la Ley 99 de 1993 y el Decreto Reglamentario 901 de 1997 (modificado posteriormente por los Decreto 3100 de 2003, 3440 de 2004 y 2667 de 2012, siendo derogados, y quedando vigente el Decreto 1076 de 2015) introducen el uso de un instrumento económico: la Tasa Retributiva.⁹

El decreto 1076 de 2015 es la norma jurídica que contiene la reglamentación vigente sobre las tasas retributivas y en el Artículo 2.2.9.7.2.5 la define así:

«Es aquella que cobrará la autoridad ambiental competente a los usuarios por la utilización directa e indirecta del recurso hídrico como receptor de vertimientos puntuales

⁹ Tasas retributivas. 2020. Disponible en: <http://www.cornare.gov.co/tasas-retributivas/> (CORNARE)

directos o indirectos y sus consecuencias nocivas, originados en actividades antrópicas o propiciadas por el hombre y actividades económicas o de servicios, sean o no lucrativas.

La tasa retributiva por vertimientos puntuales directos o indirectos, se cobrará por la totalidad de la carga contaminante descargada al recurso hídrico. La tasa retributiva se aplicará incluso a la contaminación causada por encima de los límites permisibles sin perjuicio de la imposición de las medidas preventivas y sancionatorias a que haya lugar. (Decreto 2667 de 2012, artículo 7°)»

Según Decreto 2811 de 1974 «las aguas son de dominio público, inalienables e imprescriptibles del Estado. Las aguas de dominio público son de uso público y su administración y manejo corresponde al Estado». Como las aguas son propiedad del Estado, su uso por parte de agentes particulares tiene un costo. Por esta razón, Velásquez (2002) define las tasas retributivas como un ingreso ordinario no tributario que deben pagar los particulares por ciertos servicios que presta el Estado.

Las tasas retributivas obedecen el principio del contaminador-pagador, principio básico en derecho ambiental, que busca la restitución o el resarcimiento del daño ambiental causado a la comunidad por un agente contaminador. Así que quien causa el deterioro, debe pagar los gastos requeridos para prevenir o corregir el mismo (Velásquez 2002)

El sistema fue diseñado para inducir a las empresas a descontaminar bajo los lineamientos de la producción más limpia. En efecto, el pagar por contaminar induce a la empresa a buscar la alternativa más costo-efectiva de descontaminar: la inversión en tecnología y procesos productivos modernos que utilicen los insumos con mayor eficiencia y minimicen los desechos a la vez (Ministerio del Medio Ambiente 2002).

Desde la perspectiva de la economía ambiental, la tasa retributiva es un instrumento económico que busca reducir la contaminación de los cuerpos de agua al mínimo costo, así que su utilización persigue la eficiencia económica, pero reconoce la imposibilidad de lograr la optimalidad, es decir no es un impuesto pigouviano que conduzca al óptimo de pareto.

2.2.1 Revisión de la normatividad sobre las tasas retributivas

Las tasas retributivas tienen como origen el artículo 18 del decreto 2811 de 1974, que tiene como título Código de Recursos Naturales Renovables y establece las tasas retributivas como:

«**Artículo 18.** La utilización directa o indirecta de la atmósfera, de los ríos, arroyos, lagos y aguas subterráneas, y de la tierra y el suelo, para introducir desechos o desperdicios agrícolas, mineros o industriales, aguas negras o servidas de cualquier origen, humos, vaporosas y sustancias nocivas que sean resultado de actividades lucrativas, podrá sujetarse al pago de tasas retributivas del servicio de eliminación o control de las consecuencias de las actividades nocivas expresadas. También podrán fijarse tasas para compensar los gastos de mantenimiento de la renovabilidad de los recursos naturales renovables».

El artículo no es claro en cuanto a cuál es realmente el objetivo principal de las tasas retributivas ¿el control de la contaminación o establecer un pago para la eliminación de sus consecuencias? en este sentido, pareciera que su intención era que el agente contaminador respondiera por el daño causado.

Diez años más tarde, se expide el Decreto 1594 de 1984, en el que a partir del capítulo XII, se reglamenta el artículo 18 del decreto 2811 de 1974. Entre otros aspectos, el decreto 1594 fórmula una expresión para el cálculo de la tasa retributiva ordinaria diaria (pesos):

$$TO = CC * SM_1 + TOX * SM_2 \quad (15)$$

Donde CC significa carga combinada (kg/día), es decir la carga contaminante medida en términos de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y los sólidos suspendidos totales. TOX son sumatoria de sustancias de interés sanitario, en (kg/día). SM_1 y SM_2 representan las tarifas por CC y por TOX respectivamente. Las tarifas SM_1 y SM_2 son factores relacionadas con el costo de programa de control para cada sustancia contaminante en (pesos/kg).

Este instrumento definido por la norma no persigue la eficiencia económica ni establece metas de contaminación que se puedan asociar con objetivos ambientales, solo se concentra en un cobro como remuneración al Estado por la prestación de un servicio.

El artículo 18 del Decreto ley 2811 de 1974 fue derogado por la Ley 99 de 1993, que aportó en el artículo 42, una nueva definición de las tasas retributivas para el uso del agua como receptor de vertimientos:

«Artículo 42. Tasas retributivas y compensatorias. La utilización directa o indirecta de la atmósfera, del agua y del suelo, para introducir o arrojar desechos o desperdicios agrícolas, mineros o industriales, aguas negras o servidas de cualquier origen, humos, vapores y sustancias nocivas que sean resultado de actividades antrópicas o propiciadas por el hombre, o actividades económicas o de servicio, sean o no lucrativas, se sujetará al pago de tasas retributivas por las consecuencias nocivas de las actividades expresadas».

Para la definición de los costos y beneficios de que trata el inciso 2o. del artículo 338 de la Constitución Nacional, sobre cuya base hayan de calcularse las tasas retributivas se aplicará el sistema establecido por el conjunto de las siguientes reglas:

- a) La tasa incluirá el valor de depreciación del recurso afectado;
- b) El Ministerio del Medio Ambiente teniendo en cuenta los costos sociales y ambientales del daño, y los costos de recuperación del recurso afectado, definirá anualmente las bases sobre las cuales se hará el cálculo de la depreciación;
- c) El cálculo de la depreciación incluirá la evaluación económica de los daños sociales y ambientales causados por la respectiva actividad. Se entiende por daños sociales, entre otros, los ocasionados a la salud humana, el paisaje, la tranquilidad pública, los bienes públicos y privados y demás bienes con valor económico directamente afectados por la actividad contaminante. Se entiende por daño ambiental el que afecte el normal funcionamiento de los ecosistemas o la renovabilidad de sus recursos y componentes;

d) El cálculo de costos así obtenido, será la base para la definición del monto tarifario de las tasas.

Desde el enfoque de la economía ambiental, esta versión de las tasas retributivas podría ser catalogada como un impuesto pigouviano. Ley 99 de 1993 pretendía que la autoridad ambiental fijara el monto de la tasa con base en los costos sociales y ambientales del daño, y los costos de recuperación del recurso afectado. A partir de estos costos se podía determinar el nivel óptimo de la contaminación, y definir el impuesto pigouviano que permitiera obtener dicho óptimo.

Posteriormente se expidió el Decreto 901 de 1997 reglamentó el cobro de las tasas retributivas con el propósito de incentivar a los usuarios de los cuerpos de agua como receptores de vertimientos, a atenuar sus descargas contaminantes. Aunque el artículo 42 de la Ley 99 definió a las tasas retributivas como un instrumento que pretendía alcanzar optimalidad paretiana, el Decreto 901 de 1997 dejó de lado esa pretensión. En cambio, este decreto muestra un modelo económico de eficiencia sin optimalidad, con una meta de reducción de la carga contaminante y una tasa no pigouviana, como precio a la contaminación. Es decir, la reglamentación de la tasa plasmada Decreto 901 de 1997 sigue las recomendaciones de Baumol & Oates (1971).

La Figura 4 permite ilustrar como debían funcionar las tasas retributivas bajo racionalidad perfecta de los agentes contaminadores. Inicialmente se define una meta de contaminación \bar{e} y una tarifa de la tasa o precio por cada unidad de sustancia contaminante vertida t_i . La meta de contaminación debía ser definida por la autoridad ambiental responsable del cuerpo de agua, para un quinquenio de aplicación de la tasa y la tarifa de la tasa es el producto de multiplicar la tarifa mínima de la tasa por un factor regional con valor inicial de uno. Ante el cobro del precio uniforme las empresas decidían cuanto contaminar igualando la tarifa de la tasa al costo marginal de reducción de la contaminación, obteniéndose la equimarginalidad de costos de reducción de la contaminación y reduciendo así la contaminación al mínimo costo. Si la suma de la contaminación era superior a la meta de contaminación, el factor regional aumentaba en 0,5 unidades cada semestre, incrementando de esa forma el precio a la contaminación y por ende, la reducción de la contaminación hasta alcanzar la meta.

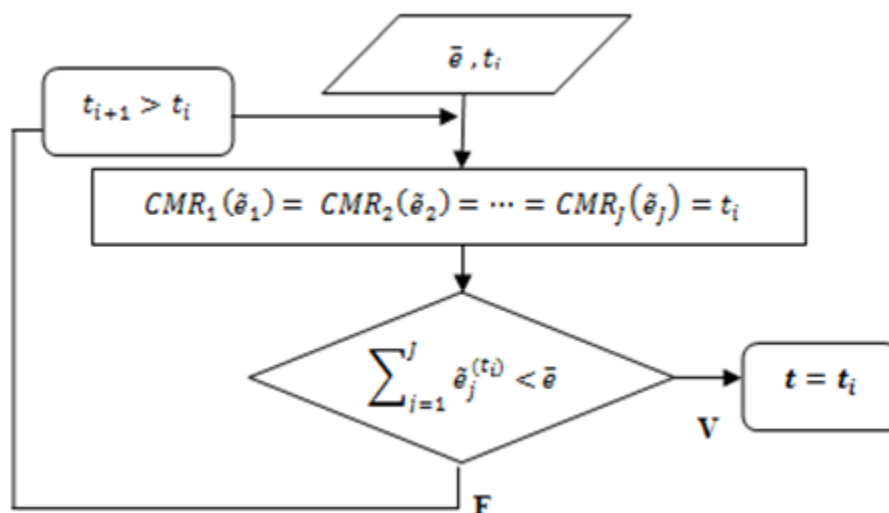


Figura 4: Algoritmo de funcionamiento de las tasas retributivas

Continuando con el registro histórico de la evolución de la reglamentación de las tasas retributivas, el Decreto 901 de 1997 fue derogado por el Decreto N° 3100 de 2003. La reglamentación requería que la autoridad ambiental definiera una meta global de reducción de carga contaminante total y metas individuales y sectoriales para entidades prestadoras de servicio de alcantarillado y otros usuarios cuya carga vertida sea mayor al 20 por ciento del total de carga que recibe el cuerpo de agua. La meta global se redefine cada quinquenio para cada cuerpo de agua. El factor regional empieza con un valor igual a 1 y debía ajustarse anualmente a partir del segundo año, solo a los usuarios que no cumplan con la meta de reducción. Es decir, a los contaminadores se les cobra diferentes precios, violando así el principio de equimarginalidad, condición básica para la reducción costo efectiva de la contaminación. El Decreto 3100 de 2003 es modificado parcialmente por el Decreto 3440 de 2004. Las modificaciones están orientadas a aspectos relacionados con la gestión del cobro de las tasas retributivas, por parte de la autoridad ambiental, y la presentación de informes para evaluar su efectividad.

El Decreto 2667 del 2012 exige a la autoridad ambiental, definir metas individuales para cada usuario sujeto pasivo de la tasa y a petición de los mismos, puede establecer metas grupales cuando estos compartan la misma actividad económica. También introduce en el artículo 12 un procedimiento detallado para el establecimiento de la meta global de carga contaminante, así como modificaciones para el ajuste del factor regional (artículo 16), y una especie de sanción para las empresas que no cumplen con la meta individual o

grupales de reducción (artículo 17), que consiste en la re liquidación del cobro de las tasas retributivas, considerando la diferencia entre el factor regional al final del año, con el factor regional del periodo causado.

Las metas individuales y la sanción convierten el sistema en un híbrido entre un instrumento económico y uno de comando y control, porque se establecen límites de vertimientos (meta) que al no ser respetados, las firmas son objeto de una sanción, que está dada por la re liquidación de la tasa. La multa marginal es la diferencia entre el factor regional al final del año, con el factor regional del periodo causado.

2.3. ESTADO DEL ARTE SOBRE EVALUACIÓN DE LAS TASAS RETRIBUTIVAS

En el Ministerio del Medio Ambiente (2002) se presentan los resultados de la Evaluación Nacional al Programa de Tasas Retributivas por Vertimientos Puntuales después de cinco años de reglamentado este instrumento. La evaluación del primer quinquenio de operación de la tasa por contaminación hídrica en Colombia consideró tres aspectos: la efectividad ambiental, la eficiencia económica y la eficiencia institucional.

En la evaluación de la efectividad ambiental se concluyó que en las jurisdicciones en donde las autoridades ambientales implementaron el programa adecuadamente, se logró una reducción en los vertimientos de DBO equivalente al 27 por ciento, desde 117.000 toneladas por semestre a 85.000 toneladas hoy. Los de SST disminuyeron en 45 por ciento, desde 162.000 a 88.000 toneladas. Como la tendencia nacional de vertimientos crecía en términos absolutos antes de la introducción de la tasa, los resultados fueron considerados como muy positivos para el desarrollo sostenible de Colombia. En las regiones donde las autoridades ambientales implementaron el programa de manera incompleta, inconsistente o incorrecta, las reducciones de contaminación fueron significativamente menores. En las que no implementaron el cobro de la tasa por contaminación, los vertimientos continuaron creciendo.

Los análisis econométricos realizados para la evaluación encontraron que los vertimientos reaccionan de manera significativa al cobro de la tasa. El modelo especificado fue un

modelo logit en el que la variable dependiente tomaba un valor de 1 si se presentaba reducción de la contaminación. Sin embargo, reacción no es inmediata, se determinó que la concentración de las sustancias contaminantes en los vertimientos comenzaba a reducirse después de dos períodos de rezago¹⁰. Por tratarse de un modelo de respuesta binaria, el coeficiente de la variable de precio no medía el impacto de la tarifa sobre la contaminación.

Las tasas retributivas generaron casi 25 mil millones de pesos en su primer quinquenio de operación para la gestión e inversión ambiental, sin embargo, el total facturado por vertimientos asciende a 73 mil millones, por tanto el nivel de recaudo fue bajo, equivale a aproximadamente el 33 por ciento.

La tasa retributiva se calificó como un programa eficiente en términos del gasto público. El sistema de tasas por contaminación resultó ser mucho más costo-efectivo que el sistema anterior de comando y control. La costo efectividad administrativa de las tasas retributivas mostró que por cada cuatro pesos recaudados por el cobro a la contaminación, las autoridades ambientales solo gastaron uno en gestión. Este bajo costo de operación logró reducir la dependencia del sector sobre el presupuesto nacional.

Se identificaron tres problemas institucionales que inciden en la eficiencia regulatoria: (1) el programa de Producción Más limpia del Ministerio del Medio Ambiente fue severamente debilitado por falta de recursos. Sin la transferencia constante de información y apoyo técnico requerido para guiar la modernización, las empresas no progresan en la dirección deseada. (2) las regulaciones de comando y control¹¹ actúan en contra de la flexibilidad y orientan la inversión hacia el final del tubo, donde no contribuye a la modernización, productividad o competitividad económica. (3) algunas autoridades ambientales no han aplicado con rigor los programas de regulación de la contaminación necesarios para inducir a la descontaminación.

¹⁰ Periodo comprendido entre el cobro de la tasa y la reacción del agente contaminador que le lleva a escoger un nivel de contaminación óptimo que minimiza sus costos.

¹¹ En este instrumento de regulación el regulador reúne la información necesaria para decidir las acciones físicas que deben llevarse a cabo para controlar la contaminación y se las comunica al contaminador para que este las ejecute.

Entre los problemas institucionales más importantes detectados se destacaban:

Las autoridades ambientales debían mejorar el bajo nivel de recaudo, con esto presionarán a que las fuentes de contaminación reduzcan aún más sus vertimientos y obtendrán mayores recursos. Esto permitirá una gestión más estable y aumentar los programas de inversión en proyectos ambientales de importancia, como la promoción de la producción más limpia, los sistemas de gestión ambiental empresarial y los sistemas las plantas de tratamiento municipales.

Las autoridades ambientales tendrían que modernizar y actualizar sus planes de monitoreo de vertimientos y de la calidad del recurso. Sin la información necesaria sobre los vertimientos, constantemente actualizada, ningún programa podrá controlar la contaminación hídrica. Dadas las limitaciones económicas de algunas autoridades ambientales, los esfuerzos deberán dirigirse a aquellas fuentes que, por su volumen, frecuencia de vertimiento y nivel de cumplimiento, sean percibidas como más importantes dentro de la gestión de la contaminación hídrica.

Rudas (2005) estimó una función de costos de reducción de plantas de tratamiento de aguas residuales, para una muestra de firmas del sector manufacturero en Bogotá. A partir de la derivada de la función de costos de reducción se obtienen los costos marginales. El autor asume que si se cobran tasas por contaminar, cada firma llevará sus vertimientos de aguas servidas hasta un punto en donde el costo marginal por reducirlos sea igual a la tarifa de la tasa. Así se obtiene el impacto de la tasa retributiva en la reducción de la contaminación, comparando la situación inicial o línea base con la contaminación eficiente después de aplicada la tasa. Posteriormente se simulan escenarios para una muestra ampliada de firmas, frente a distintos niveles de tarifas de las tasas. El resultado que se obtiene es que si se cobra la tarifa mínima que fija la norma vigente en Colombia, el impacto sería nulo; pero con la tarifa máxima permitida, se obtendría reducciones netas de alrededor del 50 por ciento de los vertimientos actuales. No obstante, estos resultados asumen racionalidad perfecta de los agentes contaminadores, que conozcan la tarifa de la tasa, su función de costo de reducción de la contaminación y la habilidad para resolver el problema de minimización de costos. Esta metodología es más indicada para una

evaluación ex ante de la aplicación del instrumento de precios a la contaminación y no para la evaluación de impacto ex post.

Briceño y Chávez (2007) encontraron que las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) no contaban con el apoyo de sanciones con suficiente poder disuasivo para inducir adecuados niveles de cumplimiento de las tasas retributivas. El cobro coactivo resultaba ser el único instrumento legal para inducir el cumplimiento en el pago de tasas retributivas. El análisis del caso de CORPOCHIVOR indicó para el periodo analizado (2001-2006), que el incumplimiento promedio en el pago de la tasa alcanzó el 40 por ciento de las fuentes. El incumplimiento se agudizaba en fuentes de carácter privado, fuentes pertenecientes al sector porcícola y fuentes auditadas mediante visitas de funcionarios.

Méndez (2008) empleó algoritmos genéticos para simular el comportamiento de un conjunto de empresas artificiales con vertimientos contaminantes sobre cuerpos de agua, ante el cobro de un precio uniforme, con las mismas características que las tasas retributivas. Las simulaciones tratan de reproducir el comportamiento de las empresas bajo distintos escenarios de aplicación del instrumento, con el propósito de evaluar su eficacia. La necesidad de evaluación obedece al comportamiento estratégico de las empresas contaminadoras no contemplado por Baumol y Oates (1971) y originado por su racionalidad limitada, así como el cumplimiento parcial de la autoridad ambiental en sus actividades de facturación y monitoreo.

De la simulación se obtiene que facturación parcial no afecta significativamente la competencia de las tasas retributivas para el control de la contaminación. La medida de facturarle a las firmas que más contaminan como una medida para mitigar los resultados de la subfacturación, provoca sobre reducción de la contaminación e introducen tanta ineficiencia en costos que no resulta siendo una medida positiva. También se concluye que de la forma en la que están reglamentadas, las tasas retributivas no imponen una verdadera penalización a las empresas que mienten sobre sus verdaderos niveles de contaminación. Se sugiere que aunque el artículo 83 de la ley 99 de 1993 otorga a las autoridades ambientales funciones policivas para imponer multas y sanciones, en general las autoridades ambientales no optan por este tipo de medidas para el tratamiento del problema en cuestión. Se recomiendan medidas como monitorear a las empresas que

reducen más su contaminación declarada respecto a la inicial o penalizar a las empresas con un impuesto más alto para su contaminación no declarada, porque pueden contribuir a mejorar los resultados del instrumento.

Galarza (2009) realizó un análisis de la efectividad de las tasas retributivas en Colombia, utilizando información de los usuarios con vertimientos en la jurisdicción de las corporaciones autónomas regionales¹² CDMB, CORNARE y CVC. El número de usuarios industriales fue de 186 empresas y se contó con información para los 10 semestres del período 1998 – 2002. El panel balanceado le permitió estimar modelos en niveles y en primeras diferencias del impacto de índices de precios de las tarifas de DBO y SST sobre índices de carga contaminante de DBO y SST respectivamente. En el modelo en primeras diferencias, no se encontró efecto de las tarifas sobre la reducción de cargas contaminantes (DBO y SST). Si se encontraron efectos positivos en el modelo en niveles, pero estos resultados no son confiables porque la estimación por mínimos cuadrados ordinarios con datos agrupados puede ser sesgada e inconsistente debido a los efectos fijos individuales no observados.

Méndez y Méndez (2010) demostraron que cuando funcionan plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (PTAR), la reducción de la contaminación al mínimo costo también implica la equimarginalidad de costos de abatimiento, de todos los usuarios con vertimientos a la red de alcantarillado y de la PTAR. Sin embargo, la formulación actual de las tasas retributivas no promueve esta condición. La reglamentación está diseñada para que al agente contaminador se le cobre la tarifa mínima por concepto de la tasa retributiva y sea mediante la operación de la PTAR que se logre el ajuste de contaminación necesario para garantizar la meta de contaminación. Esto genera sobre costos en la reducción de la contaminación, que son asumidos por las mismas firmas contaminadoras y los hogares, porque el artículo 16 de la resolución 287 de 2004 de la comisión reguladora de agua potable y saneamiento Básico (CRA) obliga a trasladar a todos los usuarios los costos de operación de la PTAR. Es decir, por un mal diseño de la norma, los hogares terminan asumiendo una parte de los costos de la reducción de la contaminación que deberían recaer sobre las firmas.

¹² Autoridades ambientales

Méndez y Hernández (2012) evaluaron el impacto de la tasa retributiva en la toma de acciones para el control de vertimientos por parte de los agentes contaminadores. El artículo pretende determinar si las acciones de las firmas siguen una estrategia racional de minimización de costos de la actividad contaminadora o si las decisiones son tomadas bajo racionalidad limitada. Se aplicó un cuestionario a los funcionarios del departamento de gestión ambiental de empresas con vertimientos, para conocer su percepción sobre las tasas retributivas y que acciones han tomado las empresas como respuesta al cobro de la tasa. También se estimó una regresión probit para establecer las circunstancias por las cuales las empresas tomaban esas acciones. Se encontró que el 54 por ciento de los encuestados percibe la tasa sólo como una sanción por contaminar y no como un incentivo económico que los conduzca a moderar sus vertimientos en función de la tarifa de la tasa. En cuanto al valor aproximado de la tarifa de la tasa retributiva para los parámetros Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST), el 94 por ciento de los encuestados manifestó no conocerlo. Se concluyó que las empresas que autodeclaran sus vertimientos y al mismo tiempo perciben las tasas retributivas como una sanción y no como un impuesto a la contaminación, son las que tienen mayor probabilidad de tomar acciones para el control de sus vertimientos.

Guerra (2014) estimó un modelo econométrico para evaluar la efectividad de las tasas retributivas utilizando datos panel, con información sobre la concentración de DBO y SST en las aguas residuales municipales. La estimación se realizó por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) aplicados a los datos agrupados. Se encontró que la tarifa de la tasa retributiva no tiene efectos sobre la reducción de la concentración de las sustancias contaminantes. Tampoco tiene ningún impacto la implementación de plan de manejo y saneamiento de vertimientos. El índice de recaudo, definido como la relación entre el monto recaudado y facturado si tiene de efectos positivos y estadísticamente significativos en la reducción de las concentraciones de DBO y SST en los vertimientos.

Una explicación para estos resultados es que las empresas de servicios públicos no tienen incentivos para reducir la concentración de la contaminación construyendo o mejorando sus sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales, porque el monto por el pago de la tarifa puede ser transferido a los usuarios (Méndez y Méndez 2010). Por otra parte, la estimación por MCO también deja duda sobre los resultados de la estimación del impacto de las tarifas, al no tener en cuenta la heterogeneidad individual no observada.

2.4. EXPERIENCIA INTERNACIONAL EN LA APLICACIÓN DE PAGOS PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Los pagos por la contaminación del agua han sido utilizados en muchos países, inicialmente en Europa y Estados Unidos, pero en los últimos 20 años se ha presentado un auge en la implementación de instrumentos económicos en los países en desarrollo, incentivados por el Banco Mundial. En términos generales, las restricciones de tipo institucional, político y presupuestal, hacen que el instrumento no presente la efectividad esperada (Galarza 2009). La inclusión de las tasas dentro de la legislación ambiental, obedece principalmente a objetivos financieros y no como incentivo económico para reducir la contaminación. La motivación es recaudar recursos para el control de la contaminación hídrica, a través de la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Helmer y Hespanhol (1997), Glachant (2001) y UNEP (2006) exponen el caso de las tasas por vertimientos en Francia. Para reducir la creciente contaminación de los ríos, el gobierno francés decidió en 1964, aplicar instrumentos económicos para complementar su normatividad sobre el control de la contaminación del recurso hídrico. En 1969 se creó un sistema de tasas en el cual cada usuario paga según sus vertimientos. El cobro se estableció sobre la base de un pequeño número de variables claramente definidas. Inicialmente, la base para la tasa constaba de dos variables: El peso de la materia orgánica y el peso de los sólidos suspendidos. La razón es que ambos representan el tipo más visible de contaminación. Posteriormente la base para el cobro se amplió y los contaminantes sujetos al pago de la tasa son DBO, DQO, SST, compuestos orgánicos halogenados, Fósforo, nitratos y varios metales pesados. El objetivo era utilizar la tasa como un incentivo para reducir la contaminación y evitar que los costos se transfirieran a los usuarios que no eran responsables del aumento de los niveles de contaminación.

Las rentas obtenidas por el cobro de las tasas son empleadas en la implementación de programas de saneamiento como la financiación y subsidio para la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales (Galarza 2009). Las tarifas eran fijadas por agencias del gobierno y aprobadas por los comités responsables de las cuencas.

Como resultaba poco práctico medir la contaminación generada por cada usuario, el cobro se hacía de acuerdo a una escala nacional basada en el tipo de actividad (en el caso de la industria) o el número de habitantes (en el caso de los centros urbanos). La medición exacta de la cantidad de contaminación producida por un particular, como un establecimiento industrial, se mide sólo a petición de la agencia o el agente contaminador, en un laboratorio autorizado por la agencia y los costos corren a cargo de quien realiza la petición.

El éxito alcanzado por Francia en controlar la contaminación hídrica, puede atribuirse a una combinación de políticas de comando y control, instrumentos económicos, aspectos culturales, presión de la comunidad, etc. Las tasas por contaminación no han sido muy eficientes debido a que el precio de la tasa ha sido muy bajo y a problemas institucionales y políticos, tales como la lentitud en la aplicación de la regulación, poder de negociación de los contaminadores, conflictos entre las agencias y el Ministerio de Ambiente.

Helmer y Hespagnol (1997), UNEP (2006) y Ortiz (2005) analizan las tasas por contaminación hídrica en Alemania. Las tasas se cobran desde 1981 por descargas directas sobre los cuerpos de agua. Las descargas indirectas realizadas al sistema de alcantarillado, son cobradas al operador del sistema, y este la puede trasladar a sus usuarios. Las tasas son calculadas a partir del daño ocasionado por el vertimiento. El daño se calcula a partir de unidades de daño, que corresponden al impacto que tiene el agua residual vertida por un consumidor característico durante un año. La descarga de un consumidor característico es: 50 Kg de DQO, 25 Kg de N, 3 Kg de P, 2 Kg de halógenos orgánicos, 20 gr de Hg, 100 gr de Cd, 500 gr de Cr, 500 gr de Ni, 500 g de Pb o 1000 gr de Zn por año.

Todos los recursos generados por el cobro de las tasas deben ser destinados a mantener la calidad de agua. A pesar de que el mecanismo fue concebido para la obtención de recursos, logró generar un cambio de comportamiento en los contaminadores. Su éxito radica en lo siguiente: Si las firmas contaminan por debajo del límite permitido, se les hace una reducción en el precio de la tasa. Las empresas pueden descontar del pago de las tasas, las inversiones realizadas en reducción de la contaminación. Ante el incremento progresivo de las tasas, los agentes contaminadores prefieren invertir en tecnologías más

limpias o plantas de tratamiento de aguas residuales, para reducir su contaminación y pagar menos.

Galarza y Rudas (2009) reportó que en Holanda las tasas fueron creadas en 1969. Consisten en un cobro por unidad de concentración y carga contaminante por descargas directas sobre cuerpos de agua y por descargas indirectas tales como el uso del alcantarillado. Las mediciones solo se hacen a las grandes fuentes contaminantes, mientras a las pequeñas y medianas firmas, al igual que a los hogares, se hace a través de cargas presuntivas. En el caso de la firma, de acuerdo al sector productivo al que pertenece, su número de empleados y en el caso de los hogares, de acuerdo al número de miembros. Los recursos obtenidos de mediante el cobro de las tasas son destinados en su totalidad al control de la contaminación del agua.

El éxito en el funcionamiento de las tasas en Holanda puede ser atribuido a tres factores: i. los altos precios de las tasas incentivan a los contaminadores a implementar medidas de prevención, toda vez que estos costos pueden ser descontados del pago que deben hacer de tasas, ii el monto que deben pagar los contaminadores está directamente relacionado con la carga de contaminación vertida (por lo menos para las grandes fuentes) y iii. el programa de tasas es descentralizado y transparente para los usuarios de agua.

Pascó-Font y Montoya (1993) comentaron que la experiencia holandesa refuta los argumentos en contra de los impuestos a las emisiones. Una creencia común es que éstos aumentan el costo de producción, obstaculizando el crecimiento económico, lo que ocasiona la quiebra de empresas y genera desempleo. Pero en realidad, muchas veces las empresas justifican su fracaso comercial, causado por otras razones, culpando al que se hayan visto obligadas a controlar sus emisiones de contaminantes. Sin embargo, en Holanda el aumento de los gastos de las industrias privadas y de las autoridades municipales fue marginal y representa mucho menos del 1% del PIB. Existen muchos casos en los que son posibles grandes mejoras en control de los vertimientos a costos muy reducidos.

Según Galarza (2009) en Estados Unidos las tasas fueron creadas con criterios financieros, en la medida que tenían como propósito financiar la construcción masiva de plantas de tratamiento, las cuales eran subsidiadas por el gobierno y operadas por las

municipalidades. La gran resistencia de grupos ecologistas, a los cuales se les hacía éticamente incorrecto que las personas al pagar tuvieran el derecho de contaminar, limitó el éxito de las tasas. Los mecanismos de comando y control siguen siendo el principal instrumento para el control de la contaminación hídrica en Estados Unidos, el uso de tasas para el control de los vertimientos no es efectivo, ya que tienen valores muy bajos y generalmente no hay relación entre la carga efectivamente vertida y el valor a pagar por concepto de la tasa.

Ameriso (2013) comentó que en Dinamarca se propuso en 1993 la ley sobre el impuesto de aguas residuales y las tasas se comenzaron a aplicar desde 1998. El objetivo principal del tributo es proporcionar un incentivo para que las empresas industriales y plantas de tratamiento de aguas residuales hagan inversiones ambientales y así se reduzcan los vertidos de nitrógeno, fósforo y materia orgánica en los cuerpos de agua.

El diseño del impuesto es complejo y se aplica a las plantas de tratamiento de aguas residuales, a la evacuación de la industria y a las unidades ubicadas en zonas escasamente urbanizadas que no están conectadas a un sistema de alcantarillado. Los vertidos directos pagan el impuesto directamente y los hogares a través de las facturas de agua de los servicios de agua combinados.

La imposición se basa en la cantidad de las aguas residuales tratadas y las concentraciones de nitrógeno, fósforo y de las sustancias orgánicas en el agua residual tratada y descargada. El impuesto se calcula en función del control de los vertidos o de acuerdo a una tabla de valores de descarga hidráulica estándar.

Para la mayoría de los grandes agentes contaminadores, como las plantas de tratamiento de aguas residuales e industrias, existe una licencia ambiental que requiere una vigilancia continua de los vertidos y en estos casos, el impuesto se calcula sobre la base de este seguimiento. La preocupación por los efectos distributivos, la competitividad y los distintos sectores industriales han dado lugar a pagos reducidos o exenciones del impuesto.

El agente contaminador reporta sus descargas, pero se verifican a través de un monitoreo por muestreo. Respecto de los vertidos no industriales se puede optar por pagar el

impuesto en función del consumo medido de agua, junto con las tarifas estándar de acuerdo con el tipo de tratamiento aplicado.

Helmer y Hespanhol (1997) manifestaron el caso de tasas por vertimiento de aguas residuales industriales que ha experimentado Brasil en algunos Estados. La tasa se basa en el volumen y concentración de sustancias contaminantes en los efluentes, esto incluye DBO y metales pesados. Aunque las fórmulas adoptadas para definir los niveles de la tarifa o precio de la tasa varían entre los Estados, el objetivo en todos los casos es la recuperación de los costos. La tarifa se fija de tal forma que se puedan solventar las necesidades presupuestarias de la autoridad ambiental estatal. Los ingresos se distribuyen generalmente para funciones como el abatimiento de la contaminación, la financiación de los gastos administrativos y campañas educativas.

Caffera (2011) cita a Braga et al. (2005) para referenciar el caso de la tasa implementada en la cuenca del río Paraíba do Sul en Brasilia desde el año 2003. El monto de la tasa depende de la relación entre el volumen de agua tratada y el efluente producido, así como de la eficiencia teórica del proceso de tratamiento. Sin embargo, los efluentes no son monitoreados ni existen reportes de las empresas. Se menciona que una encuesta reciente encontró que 157 de 488 plantas industriales no pudieron determinar el volumen de los efluentes producidos por ellos y sólo el 15 por ciento de las 488 plantas encuestadas declararon que supervisan sus efluentes (Féres et al. 2005). Otro problema es que el nivel de tarifa de la tasa es significativamente inferior al costo marginal de reducción estimado más bajo por estos autores, lo que sugiere que la tasa no puede ser un incentivo suficiente para inducir una reducción la contaminación.

La experiencia de las tasas retributivas en Colombia influyó en la implementación y diseño de un canon por vertidos en Costa Rica (Ortega 2006 y Caffera 2011). Se empezó definiendo los parámetros de contaminación por los cuales se impondría la tasa y se determinó que éstos serían DQO soluble y SST, por ser los que mejor reflejan la naturaleza de la carga contaminante que se vierte a la cuenca y se estableció una norma de vertidos.

La tarifa de la tasa está definida por tramos. Si la concentración C_j del vertimiento del agente contaminador de la sustancia contaminante j , es inferior a la concentración de la

contaminación de la misma sustancia C_{a_j} en el cuerpo de agua, no se exige ningún tipo de pago. Si la concentración del vertimiento de la sustancia contaminante C_j es inferior a un estándar de contaminación previamente definido C_{p_j} , $C_{a_j} < C_j < C_{p_j}$ se pagan $\text{US\$}0.22 * 0.75 * (C_{DQO} - C_{a_{DQO}})$ y $\text{US\$}0.19 * 0.75 * (C_{SST} - C_{a_{SST}})$, respectivamente, por kilogramo de DQO y SST. Si la concentración del vertimiento de la sustancia contaminante es superior al estándar C_{p_j} , se pagan $\text{US\$}0.22 * (C_{DQO} - C_{a_{DQO}})$ y $\text{US\$}0.19 * (C_{SST} - C_{a_{SST}})$ respectivamente, por kilogramo de DQO y SST más $\text{US\$}0.22 \times 3.5$ y $\text{US\$}0.19 \times 3.5$, respectivamente, por kilogramo de DQO y SST correspondiente al nivel de exceso en relación con el estándar de concentración $C_j - C_{p_j}$.

Caffera (2011) afirmó que los problemas de ejecución han sido importantes en el ámbito administrativo. El Departamento de Aguas del Ministerio de Medio Ambiente tuvo que contratar personal, construir una base de datos sobre los vertimientos y pagos y adquirir los materiales necesarios para supervisar las emisiones y administrar los ingresos por inversiones. El cobro de la tasa estaba más desarrollado en la cuenca los Tárcoles, donde se encuentra el 60 por ciento de la industria y el 65 por ciento de la población de Costa Rica. Sin embargo, se estimaba que el recaudo es tan solo del 80 por ciento del potencial total. En el resto de las regiones, los reguladores estaban empezando a recopilar la información necesaria para cobrar la tarifa, pero todavía no se había iniciado.

Este problema de recaudo deficiente de las tasas causa que los ingresos generados no sean suficientes para financiar las inversiones en plantas de tratamiento y costos de control, por lo que el programa no se puede desarrollar correctamente. Los reguladores de Costa Rica han encontrado que es más difícil acordar el pago con las empresas de servicios públicos de acueducto y alcantarillado y riego. De hecho, el Instituto de Acueductos Costarricense y Aguas residuales, un servicio público nacional, no pagaba la cuota. En contraste, las empresas privadas ven la tasa como una oportunidad para acceder a los mercados extranjeros.

2.4.1 Estudios de evaluación del impacto

Dasgupta et al. (1996) evaluaron el impacto de tasas a la contaminación del agua en la industria China. Primero se estimó el impacto de los precios a la contaminación sobre la reducción de la concentración de las sustancias contaminantes y posteriormente se evaluó la costo efectividad del instrumento de precios, comparando su costo contra el costo de reducción de la contaminación mediante estándares (límites a la concentración de la contaminación en los vertimientos). Para este propósito ellos estimaron una función de costo de reducción de la contaminación del agua en la industria china con base en una muestra de 260 fábricas. Después de estimar la función de costo de abatimiento, la derivaron con respecto a cada sustancia contaminante para obtener sendas funciones de costo marginal de reducción. Cuando se igualan los precios de cada unidad de sustancia contaminante con las funciones de costo marginal de reducción, es posible determinar el impacto ex ante de las tasas sobre la reducción de la concentración de los contaminantes en los vertimientos. Posteriormente se compara cuánto cuesta reducir la contaminación imponiendo límites permisibles a la concentración de sustancias contaminantes en los vertimientos (normatividad vigente), con el costo de conseguir los mismos niveles de reducción de la contaminación mediante precios uniformes. Ellos concluyen que cambiar el sistema de estándares por precios a la contaminación sería más costo efectivo y lograría ahorrar alrededor de USD 344 millones. Esta metodología de evaluación ex ante del impacto de las tarifas a la contaminación es utilizada por otros autores como por ejemplo Rudas (2005), Sarmiento et al.(2005), Saavedra y López (2006) etc.

Wang y Wheeler (1996) estimaron funciones de oferta y demanda ambientales. La función de demanda ambiental establece la relación entre el precio local de la tasa a la contaminación del agua (variable explicativa) y la intensidad de contaminación industrial del agua (variable dependiente). La función de oferta ambiental especifica la relación entre el daño ambiental (variable explicativa) y el precio impuesto a la contaminación (variable dependiente). Lo que se concluye del modelo de equilibrio general desarrollado, es que el precio a la contaminación no es arbitrario ni ineficaz. Las variaciones locales en el precio a la contaminación son bien explicadas por las valoraciones de los daños locales y la capacidad de la comunidad para hacer cumplir las normas locales. Los resultados también revelan que la intensidad de las emisiones de la industria china es muy sensible

al aumento de los precios a la contaminación, porque los costos marginales de reducción eran en realidad más bajos que los precios a la contaminación, por lo tanto los agentes contaminadores prefieren reducir la contaminación que pagar por contaminar.

En lo que se refiere específicamente a la función de demanda ambiental, se evalúa el impacto del precio de la sustancia contaminante *Demanda Química de Oxígeno* (DQO) sobre la intensidad de la misma. Los autores denominan *intensidad de la contaminación* a la descarga total de DQO de la localidad (medida en toneladas) sobre el producto interno local (medido en unidades de 10 millones de Yuanes). El precio a la contaminación se mide en Yuanes a precios de 1990 por tonelada de DQO. La unidad de análisis por tanto es la localidad. Se utilizó un panel con 29 provincias y cinco años entre 1987-1993. Otras variables explicativas fueron el porcentaje de participación de diferentes sectores industriales en el producto industrial local (como por ejemplo papel, químicos, plástico, alimentos etc), la participación en porcentaje de plantas grandes en el producto industrial local y el porcentaje de participación de las plantas en propiedad del estado sobre la producción industrial local. La variable dependiente y la variable de precio están en logaritmos y se estimó una elasticidad de aproximadamente -1, así que un aumento en el precio a la contaminación por DQO en un 1 por ciento reduce la intensidad de la contaminación de DQO en 1 por ciento.

Wang (2000) estima lo que denomina función de descarga utilizando información del año 1994 de 1500 firmas de la industria China. La variable dependiente en la especificación del modelo econométrico es la descarga de DQO de cada firma (medido en unidades de 10 mil toneladas), como variables explicativas se utilizaron: el producto de la firma (medida en unidades de 10 mil Yuanes), una variable binaria que representa si la firma es del estado (porque se asume que son menos eficientes), el salario promedio de la ciudad donde la firma está localizada, el promedio de concentración de DQO en la región, la densidad poblacional y variables binarias para representar los sectores industriales a los que pertenece la firma. La variable de precio de la contaminación se define como la tarifa de la tasa del sector al que pertenece la firma, multiplicado el volumen, por la concentración de DQO en los efluentes menos el límite permisible de concentración de la contaminación, dividido entre el límite permisible de concentración de la contaminación. La variable dependiente y la variable de precio aparecen en logaritmos, la elasticidad estimada fue nuevamente de aproximadamente -1, así que un aumento en el

precio a la contaminación por DQO en un 1 por ciento reduce la intensidad de la contaminación de DQO en 1 por ciento.

2.5. RESUMEN HISTÓRICO DEL MARCO NORMATIVO PARA LA GESTIÓN DEL AGUA Y EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN EN ECUADOR

En los últimos años, la gestión del agua en el Ecuador se rigió por la Ley de Aguas de 1972 y en su Art. 22 de la ley codificada No.2004-016 se indica que el ex-Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), actual Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA), conjuntamente con el Ministerio de Salud y las demás entidades estatales, eran las instituciones encargadas de las políticas para prohibir toda contaminación de las aguas que perjudicara la flora o de la fauna.

Al momento de su expedición, en 1972, la Ley de Aguas era considerada como una de las mejores en Latinoamérica. Sin embargo, con el tiempo fueron quedando al descubierto sus limitaciones, tales como dar un énfasis preferente al riego con relación a otros usos y prestar poca atención a la gestión integral, la calidad y uso sustentable de este recurso, asuntos que no se consideraban con especial atención en la época en que fue dictada.

La Constitución de la República del Ecuador introdujo un nuevo enfoque sobre los recursos hídricos, estableciendo que el derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable, patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida; y que el Estado a través de la autoridad única del agua, será responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos (Art. 12 y 318 de la constitución).

De igual forma, el mismo marco Constitucional establece que corresponde al Estado ecuatoriano garantizar la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales asociados al ciclo hidrológico (Art. 411); y se determina que el agua es uno de los sectores estratégicos de decisión y control exclusivo del Estado, al que corresponde administrar, regular, controlar y gestionar, de conformidad

con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia (Art.313).

El estudio Santac (2003) ya había llamado la atención sobre la inconveniencia de distribuir entre varias instituciones las responsabilidades sobre la preservación de la calidad del agua y el control de la contaminación. Afirmaba que esas distribuciones resultaban inconsistentes con las atribuciones funcionales de las instituciones.

La información sobre la contaminación es difícil de obtener y se complica aún más el logro de datos por la existencia de la intrincada superposición de funciones entre instituciones que toman parte en el manejo del agua.

La Ley de Gestión Ambiental establece que la Autoridad Ambiental Nacional la ejerce el Ministerio del Ambiente, instancia rectora, coordinadora y reguladora del sistema nacional descentralizado de Gestión Ambiental; sin perjuicio de las atribuciones que en el ámbito de sus competencias y acorde a las Leyes que las regulan, ejerzan otras instituciones del Estado. El Ministerio del Ambiente es la máxima autoridad ambiental, cuya función rectora le permite el establecimiento de normas ambientales para el control de la contaminación en el recurso hídrico.

Como comenta Zurita (2010) el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) establece que los gobiernos autónomos descentralizados municipales, establecerán, en forma progresiva, sistemas de gestión integral de desechos, a fin de eliminar los vertidos contaminantes en ríos, lagos, lagunas, quebradas, esteros o mar, aguas residuales provenientes de redes de alcantarillado, público o privado, así como eliminar el vertido en redes de alcantarillado.

No se puede minimizar entonces el esfuerzo realizado por varios municipios, en los cuales se ha implementado en los últimos años laboratorios con capacidad importante para realizar análisis de aguas, además están tratando de actualizar sus ordenanzas y leyes locales en pro de evitar la contaminación y mejorar la calidad del agua en sus distritos.

La función rectora de la Secretaria Nacional del Agua le permitía gestionar las políticas de conservación y administración del recurso hídrico. Sin embargo según CEPAL (2013)

SENAGUA no dispone de una estructura que le permita el control efectivo de la calidad del agua, limitando sus funciones. La Ley asignaba al ex-CNRH el control sobre los vertidos y tratamiento de aguas servidas, mientras que el monitoreo dejaba al poder local de los Municipios. En la práctica, hay diversos organismos que realizan muestreos de la calidad, como Municipios, Consejos provinciales, MIDUVI y otros, pero sin que se haga de forma planificada y coordinada. Actualmente este control de la calidad del agua esta designada a ser llevada por los gobiernos autónomos desconcentrados. La falta de planificación mantiene al Ecuador con problemas de contaminación hídrica, suelos, sedimentos, aire y salud deteriorada.

Aunque la legislación establecía la prohibición de contaminar, carecía de instrumentos de regulación y control como el de autorización de vertidos o canon de vertimientos. Tampoco se contaba con instrumentos para el manejo de zonas sensibles como lagos, estuarios, páramos. Sin embargo, aunque la antigua ley del agua no incorporaba ninguna tarifa por los vertimientos, con base en ordenanzas municipales algunos municipios establecieron ciertos cobros por vertidos, como por ejemplo en el municipio de Cuenca. Esto a pesar de las limitaciones obvias de no contar con una ley nacional que diera el marco regulador al respecto.

Ley orgánica de recursos hídricos usos y aprovechamientos del agua

El 6 de Agosto del 2014 la Asamblea Nacional del Ecuador expidió la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua. Su objetivo es garantizar el derecho humano al agua, así como regular y controlar la autorización, gestión, preservación, conservación, restauración de los recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua, la gestión integral y su recuperación en sus distintas fases, formas y estados físicos, a fin de garantizar el Buen Vivir y los derechos de la naturaleza establecidos en la Constitución nacional del Ecuador. La nueva ley prohíbe la privatización del agua por su trascendencia para la vida, la economía y el ambiente, así que no puede ser objeto de ningún acuerdo comercial, con gobierno, entidad multilateral o empresa privada (nacional o extranjera). La gestión debe ser exclusivamente pública o comunitaria y no reconoce ninguna forma de apropiación o de posesión individual o colectiva sobre el agua, cualquiera sea su estado.

La normativa determina que el Estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable y de riego, los consumidores y usuarios son responsables de la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua y del manejo de páramos, así como la participación en el uso y administración de las fuentes de agua que se hallen en tierras, sin perjuicio de las competencias generales de la autoridad única del agua, de acuerdo con lo previsto en la Constitución y la ley.

Para la protección de las aguas que circulan por los cauces y los ecosistemas asociados la ley establece una zona de protección hídrica. Se crea el Sistema Nacional Estratégico del Agua que constituye el conjunto de procesos, entidades e instrumentos que permitan la interacción de los diferentes actores, sociales e institucionales para organizar y coordinar la gestión integral e integrada de los recursos hídricos, por tanto, deberá generar mecanismos e instancias para coordinar la planificación y aplicación de la política pública de los recursos hídricos con los actores sociales vinculados con el agua y los diferentes niveles del gobierno para garantizar el buen vivir.

La Autoridad Única del Agua es la entidad que dirige el sistema nacional, estratégico de este recurso, por lo que coordinará con la autoridad ambiental nacional y la autoridad sanitaria nacional la formulación de las políticas sobre calidad de agua y control de contaminación de las aguas, así como elaborar el plan nacional de recursos hídricos y los planes de gestión integral e integrada de recursos hídricos por cuenca hidrográfica y aprobar la planificación hídrica nacional; y establecer y delimitar las zonas de protección hídrica, entre otros aspectos.

A través de la normativa se determina que la Agencia de Regulación y Control contará con un directorio que dictará y controlará el cumplimiento de las normas técnicas sectoriales y parámetros para regular el nivel técnico de la gestión del agua de conformidad con las políticas nacionales.

El cuerpo legal determina el derecho humano al agua como el derecho de todas las personas a disponer de agua limpia, suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y doméstico en cantidad, calidad, continuidad y cobertura. Se garantiza la aplicación de las formas tradicionales de gestión y manejo de ciclo hidrológico, practicadas por comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades indígenas,

afroecuatorianos y montubios y se respeta sus propias formas, usos y costumbres para reparto interno y distribución de caudales autorizadas sobre el agua

La ley establece los criterios y los principios para la fijación de tarifas por aprovechamiento productivo, generación de energía, autorización de vertidos, y para el aprovechamiento productivo para la economía popular y solidaria; así mismo instaura un procedimiento sancionatorio de infracciones administrativas y medidas preventivas para la salvaguarda del recurso.

Se definen los vertidos como las descargas de aguas residuales que se realizan directa o indirectamente en el dominio hídrico público. La ley prohíbe el vertido directo o indirecto de aguas o productos residuales, aguas servidas, sin tratamiento y lixiviados susceptibles de contaminar las aguas del dominio hídrico público. El control de los vertidos está a cargo de la Autoridad Ambiental Nacional en coordinación con la Autoridad Única del Agua y los Gobiernos Autónomos Descentralizados acreditados en el sistema único de manejo ambiental.

El artículo 81 de la ley establece que los Gobiernos Autónomos Descentralizados serán los encargados de emitir la autorización para las descargas con sujeción a las políticas públicas dictadas por la Autoridad Ambiental Nacional. Los parámetros de la calidad del agua por ser vertida y el procedimiento para el otorgamiento, suspensión y revisión de la autorización, serán regulados por la Autoridad Ambiental Nacional o acreditada, en coordinación con la Autoridad Única del Agua.

El artículo 145 se refiere a las Tarifas por autorización de vertidos. La autorización de vertidos obliga el pago anual de una tarifa, que deberá ser fijada sobre la base de criterios técnicos establecidos por la Autoridad Ambiental Nacional, la cual será encargada del control y su recaudación.

2.6. RACIONALIDAD LIMITADA

La racionalidad se puede definir como el uso adecuado de la razón con el propósito de elegir la mejor forma posible de actuar en una determinada situación. Ser racional

significa comportarse obedeciendo a buenas razones. En el marco de la economía neoclásica la racionalidad de los agentes económicos siempre ha sido un supuesto importante para la modelación y el encuentro de situaciones de equilibrio.

Streb (1998) explica la racionalidad económica como el principio de que el individuo toma la mejor decisión dentro del conjunto de decisiones posibles. Este conjunto de posibilidades depende de las restricciones existentes; es decir que las restricciones pueden afectar las decisiones que toma el individuo y sus consecuencias.

La economía neoclásica u ortodoxa asume un mundo donde prevalece la competencia, con individuos racionales y plenamente informados, capaces de comprender completamente el entorno en el que actúan estratégicamente y están en capacidad de realizar cálculos fantásticos para tomar la mejor decisión con el fin de alcanzar su máximo nivel de bienestar (Rubinstein 1998).

Para Gonzalez (2000) el cuerpo teórico de la economía ortodoxa se fundamenta alrededor de esquemas de pensamiento preestablecidos, que simulan la física newtoniana y que le aportan exactitud y cuasi transparencia a la solución de los problemas económicos. La economía adoptó un sistema de leyes naturales que gobiernan el comportamiento de la sociedad imitando los aspectos reguladores que gobiernan el comportamiento del universo físico. Aunque esto le ha permitido a la economía ortodoxa construir una teorización que le da un aire de exactitud y de rigor a nociones esenciales imprecisas, la volvió ajena a las interrelaciones entre los agentes.

Las decisiones humanas también pueden ser producto del hábito; los prejuicios y las emociones no siempre son gobernados por la reflexión. El modelo racional también está limitado por el hecho de que en el mundo real no siempre existen las condiciones óptimas para tomar las decisiones. Los humanos tomamos decisiones realizando solo inferencias acerca de las características desconocidas de su mundo, no existe información perfecta (Fonseca 2013). Como señala Kreps (1988): “No encontramos a los consumidores paseando por los pasillos de los supermercados consultando una función de utilidad a maximizar cuando realizan sus elecciones”.

Por estas razones, algunos economistas han advertido la incapacidad de la modelización económica ortodoxa para describir satisfactoriamente el comportamiento humano en una situación real de decisión. Entre estos economistas destaca Herbert A. Simon, quien se orientó hacia una teoría de la decisión basada en la idea de que la racionalidad humana está acotada o limitada (Mejía 2012). Él definió la racionalidad limitada como el término que describe el proceso de decisión de un individuo considerando limitaciones cognoscitivas tanto de conocimiento como de capacidad computacional. La idea es que el ser humano, ante limitaciones en conocimientos y capacidad de procesamiento de la información que le son propias, antes que maximizar, busca niveles de conformidad, de satisfacción (Simon 1955)

Fonseca (2013) destaca que para Simon, el individuo es antes que nada un ser adaptativo a su entorno. El individuo recoge una parte de la información del entorno y desecha el resto por su complejidad; utiliza representaciones mentales, que almacena en una memoria que tiene capacidad finita. La formación, los instintos, la personalidad, el entorno, los valores, las creencias, la cultura y las experiencias, entre otros muchos factores, determinan la forma en que analizamos la información y tomamos decisiones, no necesariamente racionales.

Frantz (2003) cita que Simon (1987) creía que muchas personas usan la intuición para la toma de decisiones, pero lo ocultan para no revelar que se basan en algo que es inexplicable. Estas personas prefieren racionalizar sus creencias y proyectarse como plausibles. Simon (1987) cita un ejemplo: «los socios inversionistas esperan que los gerentes manejen las empresas racionalmente. Los gerentes tratan de proyectar esa racionalidad utilizando distintas técnicas administrativas que así lo reflejen, pero es probable que en el proceso acumulen más información de la necesaria. El problema es que es que las decisiones deben ser tomadas tan rápidamente que no es posible un análisis secuencial de la situación. No obstante, el agente decisor confía en su elección y atribuye a la experiencia, la habilidad de tomar las decisiones rápidamente».

En el contexto de esta investigación la racionalidad limitada surge porque los agentes no tienen información perfecta. Muchos no conocen la tarifa de la tasa retributiva y también es improbable que resuelvan su problema de minimización de costos de abatimiento para encontrar su nivel óptimo de contaminación, no solo por el desconocimiento de la tarifa,

tampoco conocen su función de costo de reducción de la contaminación y no tienen la habilidad matemática para plantear el problema de optimización. En esas circunstancias no se puede estimar el impacto de la tasa a través de la estrategia de minimización de costos, es preferible estimar un modelo de reducción de la concentración de sustancias contaminantes en función del precio de la tasa pero controlando la heterogeneidad del impacto del precio a la contaminación.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ESTRATEGIA EMPÍRICA Y DATOS

Esta tesis evalúa el impacto de las tarifas de las tasas retributivas para el control de vertimientos de los cuerpos de agua en Colombia, utilizando tres conjuntos diferentes de información y técnicas distintas de estimación. En la dirección hacia ese objetivo se presenta argumentación teórica y evidencia empírica que pone en duda la fiabilidad de las estimaciones econométricas previas del impacto de la tasa retributiva.

La primera estrategia asume que el impacto del precio a la contaminación es homogéneo o que aun siendo heterogéneo el estimador arroja el efecto promedio de las tarifas de la tasa sobre la concentración de sustancias contaminantes.

El segundo modelo incorpora la heterogeneidad directamente al modelo al asumir que cuando las empresas no conocen la tarifa de la tasa el precio a la contaminación no tiene efecto en las decisiones de reducción de la contaminación de estas firmas.

La tercera estrategia plantea un modelo de regresión que intenta determinar si la aplicación de la tasa retributiva no solo el efecto de las tarifas tiene efecto positivo sobre el control de la contaminación, comparándolo con otro modelo de control de la contaminación sin incentivos económicos (como el de Ecuador).

3.1.1 Estrategia de estimación 1

En esta primera aproximación al problema, se estima el efecto de las tarifas de la tasa sobre la concentración de las sustancias contaminantes DBO y SST suponiendo que las tarifas de la tasa retributiva son información conocida por todos usuarios con vertimientos

y estos toman sus decisiones de reducción de la concentración de la contaminación en función de sus precios. Este es un ejercicio similar a las estimaciones de antecedente ya reseñadas y que puede presentar el problema de endogeneidad de la variable de precio a la contaminación.

La información para la estimación del efecto de las tarifas proviene de la corporación autónoma regional de las cuencas de los ríos Negro y Nare, CORNARE. Esta autoridad ambiental es líder en el proceso de implementación de la tasa y tiene un sistema de información ambiental que facilita la concertación de metas, facturación, monitoreo y no restringe el acceso al público a la consulta de información. De su página web se descargó la información de los usuarios con vertimientos, desde el año 2010 al 2014. Los mismos son clasificados según el código del sector económico al que pertenece, la cuenca y tramo en la que realizan los vertimientos. Se dispone de información como el tipo de meta de reducción que le impone la autoridad ambiental (global o individual), el factor regional (para DBO y SST), el caudal vertido (en m³/año), las cargas actuales de DBO y SST (en kg/año), la meta al final del quinquenio, la facturación y el recaudo total. El número de usuarios con vertimientos es superior a 200 cada año. La ventaja utilizar la información de CORNARE para la estimación del impacto de la tasa retributiva es que esta autoridad ambiental trabaja de la mano con los agentes contaminadores y los mantiene informados acerca de las metas ambientales y las tarifas de la tasa a través de su sitio web y un manual de usuario de las tasas retributivas.

La especificación del modelo econométrico de la primera alternativa es:

$$\text{Concentración}_{i,t,j} = \beta_{0,j} + \alpha_{1,j} * FR_{i,t,j} + \beta_{1,j} p_rf_{i,t} + a_{i,j} + \varepsilon_{i,t,j} \quad (16)$$

Donde:

*Concentración*_{i,t,j}: Concentración de la carga contaminante de la sustancia j, del usuario i, en el periodo t (en kg/m³).

*FR*_{i,t,j}: Factor regional para la sustancia j, del usuario i, en el periodo t, esta variable representa el nivel real de la tarifa de la tasa.

$p_{rf_{i,t}}$: Es la relación entre el recaudo total y la facturación.

Se espera que $\alpha_1 < 0$, porque a mayor valor de la tarifa de la tasa, los usuarios tienen mayor incentivo para reducir la contaminación. El coeficiente $\beta_1 < 0$ porque entre más rápido se le cobre a las firmas, más incentivadas estarán a reducir la contaminación.

3.1.2 Estrategia de estimación 2

Para tener en cuenta la heterogeneidad del efecto de las tarifas de la tasa sobre la reducción de las sustancias contaminantes, en esta segunda estrategia se realizó una encuesta en la que se pregunta a los funcionarios del departamento de gestión ambiental de 315 empresas colombianas con vertimientos, si conocen o no el precio marginal de la tasa retributiva por DBO y SST y se les pide que respondan cuál es su valor exacto.

La idea es que, si en la firma no conocen la tarifa de la tasa, entonces se le asigna un valor de cero a la variable en el modelo de regresión, porque es claro que la empresa no toma sus decisiones de reducción con base en el precio a la contaminación.

La encuesta trató de incluir distintas ramas de la actividad económica, pero haciendo énfasis en industrias cuyo proceso productivo incorpora de modo muy visible la utilización de agua. Del análisis de afinidad entre actividades, se puede ver en la Figura 5 la distribución de las empresas a las que se dirigió la encuesta. La lista de empresas fue tomada del ecodirectorio de la secretaria distrital de ambiente de Bogotá.

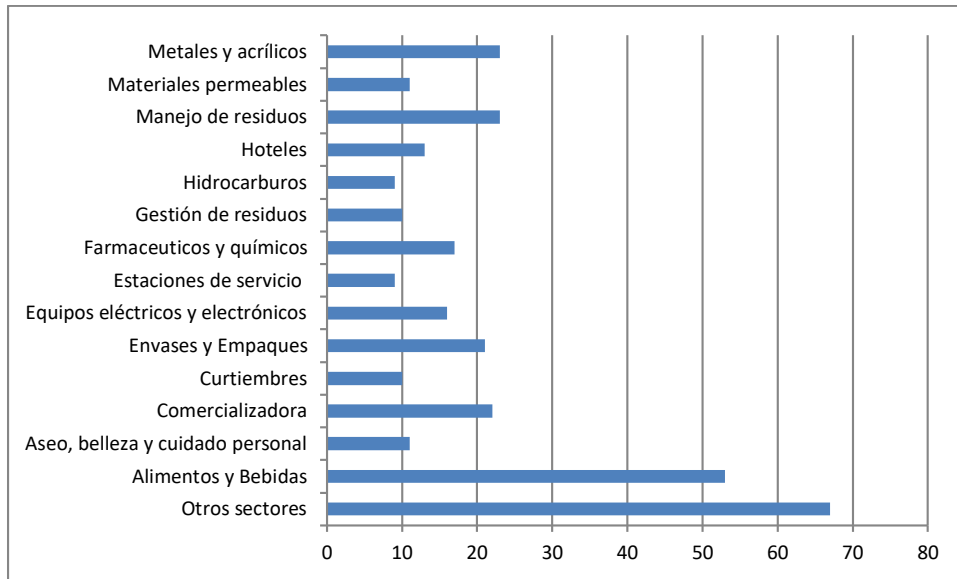


Figura 5: Distribución de la actividad económica de las empresas

El segundo modelo econométrico estima el impacto de las tarifas de la tasa retributiva sobre la reducción de la carga contaminante en las plantas de tratamiento de aguas residuales de las firmas. La especificación del modelo es:

$$rCC_{i,j} = \beta_{0,j} + \beta_{1,j}Q_i + \sum_{k=1}^{K-1} \delta_{k,j} * sector_k + \alpha_{1,j} * t_j + \sum_{k=1}^{K-1} \lambda_{k,j} * t_j * sector_k + \beta_{1,j} * sancion_i + \beta_{2,j} * responsabilidad_i + \varepsilon_{i,j} \quad (17)$$

Donde:

i : es el subíndice que representa la firma.

j : es el subíndice para la sustancia contaminante DBO o SST.

$rCC_{i,j}$: Es la razón entre las cargas contaminantes de salida CC_s y entrada CC_e a la PTAR de la empresa contaminadora i , $\left(\frac{CC_s}{CC_e}\right)$ para la sustancia contaminante j . Esta variable corresponde la remoción de la contaminación de la sustancia j .

Q_i : Caudal de agua tratada por la firma i .

sector: Conjunto de variables binarias que representan a que sector económico pertenece cada firma contaminadora.

t_j : Tarifa de la tasa retributiva para la sustancia contaminante j . Variable cuantitativa medida en \$. La variable toma el valor reportado en la encuesta por la empresa, si la empresa no conoce el monto de las tarifas de la tasa retributiva para las sustancias contaminantes, su valor es de cero, porque en ese caso en la práctica la tarifa no es un incentivo para el esfuerzo de reducción de las firmas. Por otra parte, solo a las firmas que realizan autodeclaración de vertimientos se les cobra en función de sus vertimientos, es decir son las que tienen incentivo para reducir la contaminación ante el cobro de las tasas retributivas. Por tanto, solo las firmas que realizan autodeclaración y reportaron la tarifa de la tasa para cada sustancia contaminante, son las que tienen valor no nulo en esta variable.

sancion: variable que toma el valor de uno si la firma percibe la tasa retributiva como una sanción.

responsabilidad: variable que toma el valor de uno si la firma respondió que la responsabilidad ambiental es su principal motivo para el control de los vertimientos.

3.1.3 Estrategia de estimación 3

El modelo econométrico para estimar el impacto de la normatividad de la tasa retributiva sobre las cargas contaminantes de DBO y SST es:

$$Concentracion_{i,j} = \beta_{0,j} + \alpha_{1,j} * d_{i,j} + \sum_{j=1}^8 \gamma_j d_j + \varepsilon_{i,j} \quad (18)$$

Donde:

$Concentracion_{i,t,j}$: Concentración de la carga contaminante de la sustancia j, del usuario i (en kg/m³).

d_{ij} : Variable de tratamiento, toma el valor de uno para las empresas con vertimientos en Colombia y cero en Ecuador.

Q_i : Caudal del usuario i, expresado en m³/año.

d_j : Variable binaria del sector económico al que pertenece la empresa j.

El tercer modelo econométrico está dirigido a evaluar el efecto del instrumento tasas retributivas en Colombia comparando los vertimientos de empresas contaminadoras de Colombia (grupo de tratados), con los vertimientos de empresas de Ecuador que no son afectadas por la política de tasas retributivas. Aquí no se trata de medir el impacto de las tarifas, sino de comparar los resultados en términos de la concentración de sustancias contaminantes de Colombia y Ecuador.

La información para la estimación del efecto del modelo de tasas retributivas proviene de la Corporación Autónoma Regional de las cuencas de los ríos Negro y Nare - CORNARE, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, y de las estadísticas ambientales, del instituto nacional de estadísticas de Ecuador - INEC. Los usuarios de los cuerpos de agua como receptor de vertimientos de las cuencas cuyas jurisdicciones les corresponden a CORNARE y la CAR, durante el año 2013 son los afectados por el tratamiento: tasa retributiva. Las empresas con vertimientos en Ecuador, que no son afectadas por la tasa, conforman el grupo de control. La información de estas empresas es recolectada por el INEC en sus estadísticas ambientales en la base de empresas. Esta información es del año 2013.

3.1.4 Potencia de la prueba y tamaños de muestra

El poder o potencia de la prueba es la probabilidad de que rechacemos H_0 , si H_0 es falsa. Por ejemplo, en la evaluación de impacto con experimentos aleatorizados, es la probabilidad que no detectemos un efecto cuando si existe un efecto medible de la intervención. Se comete un error de tipo II (β) si una evaluación concluye que un programa no ha tenido impacto, cuando en realidad lo ha tenido. El error tipo II es un falso negativo. La potencia de la prueba se define como:

$$\text{Potencia de la prueba} = 1 - \beta \quad (19)$$

Para el cálculo del poder asociado al tamaño de la muestra utilizada en las estrategias de estimación 1 y 2 se utilizó el software XLSTAT. La potencia está relacionada a la siguiente prueba:

H_0 : El valor R^2 es igual a 0

H_a : El valor R^2 es diferente de 0

Para determinar la potencia asociada a los diferentes tamaños de la muestra, se requiere como input el número de regresores que aparecen en la ecuación a estimar. En el caso de la estrategia de estimación 1 la variable concentración de sustancia contaminante es explicada por *dos* variables, el factor regional de la sustancia contaminante y la relación entre el recaudo y el total de facturación. En la estrategia de estimación 2 la reducción de la concentración de las sustancias contaminantes en la plata de tratamiento es explicada por las variables tarifa de la tasa, responsabilidad ambiental y el sector económico al que pertenece la firma.

- Estrategia de estimación 1

Los parámetros para el cálculo de la potencia de la prueba asociada al tamaño de muestra de esta primera estimación son los siguientes:

Tabla 1: Parámetros de entrada cálculo de potencia estimación 1.

Parámetros	Resultados
Predictores	2
Error tipo I (α)	0,05
Tamaño del efecto	0,02

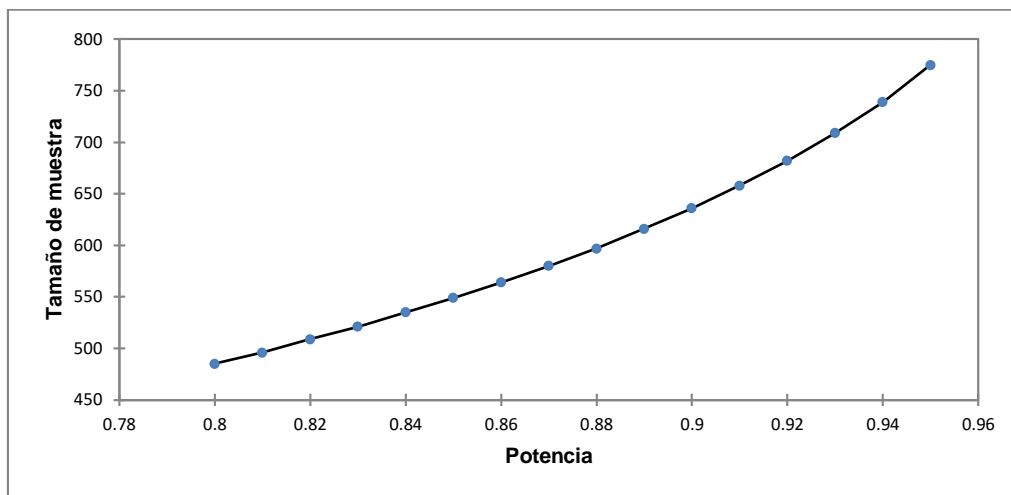


Figura 6: Potencia asociada a los diferentes tamaños de muestra. Estimación 1

El tamaño del efecto es el tamaño mínimo detectable. Se utiliza normalmente un efecto pequeño, que para este caso es un 2% (es decir, detectar un coeficiente de determinación de al menos el 2%). El número de observaciones en las regresiones es de 742, así que la potencia de la prueba es superior al 94%. Comúnmente se acepta utilizar potencias por encima del 80%, lo que sugiere trabajar con tamaños de muestra superiores a 485 observaciones para esta estimación.

- Estrategia de estimación 2

Los parámetros para el cálculo de la potencia de la prueba asociada al tamaño de muestra de esta primera estimación son los siguientes:

Tabla 2: Parámetros de entrada cálculo de potencia estimación 2.

Parámetros	Resultados
Predictores	3
Error tipo I (α)	0,05
Tamaño del efecto	0,05

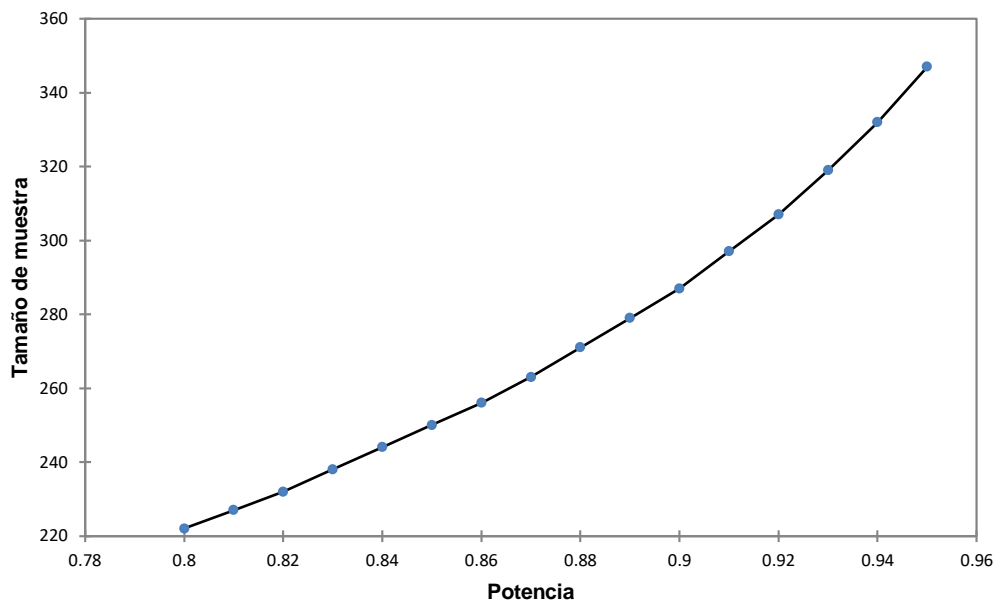


Figura 7: Potencia asociada a los diferentes tamaños de muestra. Estimación 2

El tamaño del efecto o tamaño mínimo detectable utilizado es de 0.05. El número de observaciones en las regresiones es de 296, así que la potencia de la prueba es superior al 90%. La razón por la que se utiliza un efecto más grande al del caso anterior, es que la regresión es más precisa porque se considera la heterogeneidad del efecto de las tarifas sobre la reducción de la concentración de la contaminación en la planta de tratamiento. En cualquier caso un tamaño mínimo detectable del 5% es muy pequeño.

- Estrategia de estimación 3

En la estrategia de estimación 3 se pretende determinar si el instrumento tasas retributivas tiene impacto negativo sobre la concentración de sustancias contaminantes (DBO y SST) comparando las concentraciones de DBO y DQO al final del tubo de empresas Colombianas (tratadas) y Ecuatorianas (no tratadas).

Si se tratara de un experimento en que los grupos de tratados y control son asignados aleatoriamente, la potencia de la prueba es la probabilidad que detectemos un efecto de la política (tasas retributiva) cuando si existe un efecto medible de la intervención.

Formalmente la evaluación de impacto pone a prueba la hipótesis nula:

$H_0: \text{impacto} = 0$ El programa no tiene efecto sobre el peso de los niños

$H_a: \text{impacto} < 0$ El programa tiene impacto positivo sobre la reducción de la contaminación

Cuando la unidad de aleatorización son los individuos, el efecto mínimo detectable, que es el efecto mínimo que queremos detectar (con cierta probabilidad) se expresa a partir de la siguiente ecuación:

$$EMD = [t_{(1-\beta)} + t_{(\alpha)}] * \sqrt{\frac{1}{p * (1 - p)}} * \sqrt{\frac{\sigma^2}{N}} \quad (20)$$

Donde:

EMD : Efecto Mínimo Detectable

$1 - \beta$: Poder

α Nivel de significancia.

p : Proporción de la muestra asignada a Tratamiento.

N : Tamaño muestral

σ^2 : Varianza

$t_{(1-\kappa)}$ con 80% de poder es aproximadamente = 0.80.

$t_{(\alpha)}$ con 5% de significancia es aproximadamente 1.96.

A partir de la expresión (20) se puede despejar el tamaño mínimo de la muestra que corresponda a un determinado nivel de poder ($1 - \beta$). La figura 8 muestra que se requiere una muestra con cerca de 710 observaciones para que el poder de la prueba sea del 80%. Los cálculos son realizados con el software Optimal Design. A partir de estos cálculos la muestra debería repartirse de forma aleatoria entre 305 tratados y 305 controles.

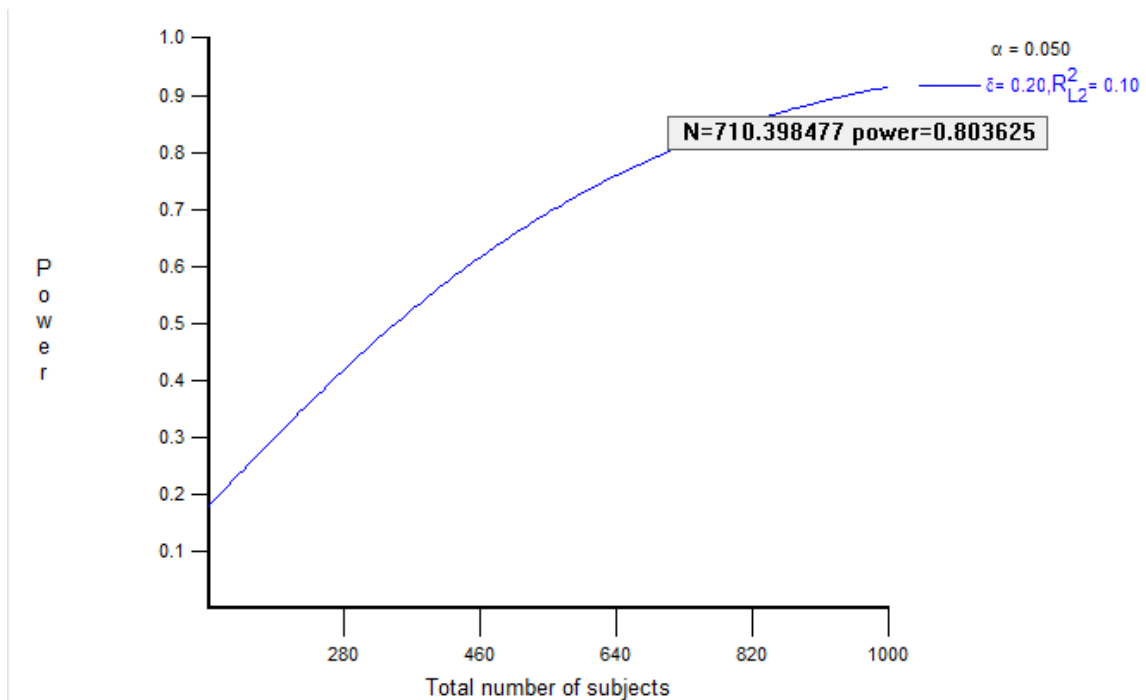


Figura 8: Potencia asociada a los diferentes tamaños de muestra. Estimación 3

El problema es que la evaluación que se está realizando con la estrategia de estimación 3 no corresponde a un experimento aleatorio, es más un experimento natural en el que las empresas no son asignadas aleatoriamente a los grupos de tratamiento y de control, sino

una determinada política (el cobro de las tasas retributivas en Colombia) la que definió los grupos. Por lo tanto, este cálculo del tamaño de muestra sirve solo como referencia.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ESTRATEGIA DE ESTIMACIÓN 1

Los resultados de la estimación de los efectos de las tarifas de la tasa retributiva sobre la concentración de sustancias contaminantes por efectos fijos y aleatorios se presentan en la Tabla 3.

En la ecuación de carga contaminante de la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO, el coeficiente del factor regional de la tasa por DBO (valor real de la tarifa) tiene el signo esperado, pero el efecto de la tarifa no es significativo en las estimaciones por efectos fijos y aleatorios. Lo que evidencia la estimación es que la reducción de la concentración de carga contaminante de DBO depende de la facturación y cobro de la tasa retributiva, porque la relación entre el recaudo total y facturación a la empresa si resulta significativa.

En la ecuación de carga contaminante de Sólidos Suspendidos Totales SST se obtuvo que tanto el coeficiente del factor regional de la tasa por SST, como la facturación y cobro de la tasa retributiva, tienen el signo esperado y las variables son significativas.

Lo que se concluye de este primer ejercicio econométrico es que la tarifa real de la tasa retributiva no tiene efecto sobre carga contaminante de materia orgánica (DBO). Aumentar el factor regional de SST en una unidad, lo que implica el incremento de la tarifa de la tasa retributiva en una cuantía igual a la magnitud de la tarifa mínima para SST, tiene un efecto “promedio” en la concentración de la sustancia contaminante de 10 *mg/ltr* según la estimación por efectos fijos y 7 *mg/ltr* en la estimación por efectos aleatorios. La concentración promedio de SST de las empresas es de 133 *mg/ltr*, así que la reducción promedio estaría por debajo del 10%. También se concluye que la facturación y cobro de la tasa retributiva si induce en los agentes contaminadores un comportamiento más cooperativo con el medio ambiente, porque entre más alta sea la

relación entre recaudo y la facturación la concentración de DBO y SST al final del tubo es menor.

Tabla 3: Estimación con datos panel. Variable dependiente: concentración de sustancia contaminante en kg/m³

Regresores	Concentración de DBO		Concentración de SST	
	Efectos Fijos	Efectos Aleatorios	Efectos Fijos	Efectos Aleatorios
<i>Factor regional para DBO</i>	-. 009 [. 007]	-. 004 [. 006]	-. 010** [. 005]	-. 007* [. 004]
<i>Recaudo total/facturación</i>	-. 089*** [. 031]	-. 081*** [. 028]	-. 062*** [. 023]	-. 054** [. 021]
<i>Intercepto</i>	. 268 [. 026]	. 257 [. 036]	. 195 [. 020]	. 177 [. 024]
N° de observaciones:	742	742	742	742
N° de grupos:	194	194	194	194
R-cuadrado:	0.0227	0.0222	0.0227	0.0432
Test de Hausman:	<i>p_valor</i> =	0.3782	<i>p_valor</i> =	0.0099

Nota: Errores estándar robustos entre paréntesis. ***p-valor<0.01, **p-valor<0.05, *p-valor<0.10

Estimación por efectos fijos DBO

$$cdbo_q = .2684453 - .0093345frdbo - .0896274 p_{rf} \quad (21)$$

Estimación por efectos aleatorios DBO

$$cdbo_q = .2566859 - .0041367 frdbo - .0810832 p_{rf} \quad (22)$$

Estimación por efectos fijos SST

$$csst_q = .195057 - .0102725frsst - .0624737 p_rf \quad (23)$$

Estimación por efectos aleatorios SST

$$csst_q = .1778692 - .0071175 frsst - .0536559 p_rf \quad (24)$$

4.2 ESTRATEGIA DE ESTIMACIÓN 2

Resultados de la encuesta:

Ante la pregunta ¿cuál es el valor aproximado de la tarifa de la tasa retributiva para DBO y SST?. La Figura 9 revela que el 79% de los encuestados manifestó no conocerla. Solo 66 de las 315 firmas conocen y reportan las tarifas de la Tasa Retributiva. En todos los casos el valor reportado coincide con las tarifas mínimas por DBO y SST para el año 2014 o el valor del año 2013. Esto evidencia que realmente las firmas no conocen la tarifa de la tasa que es el producto de la tarifa mínima por el factor regional.

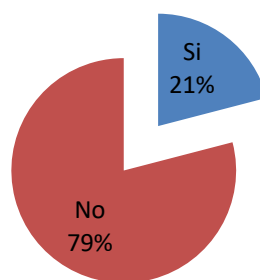


Figura 9: Conoce la tarifa de la tasa retributiva para DBO y SST

La encuesta encontró que la mayoría de empresas realiza sus vertimientos a la red de alcantarillado (98%) y solo el 2% de las empresas son usuarios directos de los cuerpos de agua como receptores de vertimientos (Figura 10). Esta información es importante porque

los usuarios directos son considerados el sujeto pasivo por la normatividad de las tasas retributivas, es decir, pagan directamente el monto de la tasa a la autoridad ambiental. Cuando las empresas realizan vertimientos a la red de alcantarillado, el sujeto pasivo es la empresa de servicios públicos (ESP) y esta traslada el cobro de la tasa a sus usuarios según lo dispuesto en la resolución 287 de 2004 de la Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA). Esto último requiere que la ESP exija a sus usuarios la autodeclaración de sus vertimientos, de lo contrario el cobro de la tasa será sobre unos niveles de contaminación presuntivos.

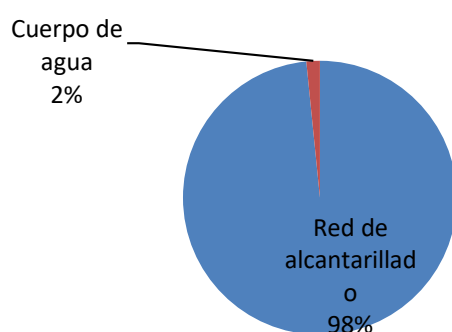


Figura 10: Destino de los vertimientos

La Figura 11 indica que el 39% de las empresas encuestadas no realizan autodeclaración de sus vertimientos de DBO y SST. La normatividad ambiental obliga a las autoridades ambientales a solicitar autodeclaraciones de contaminación al sujeto pasivo de la tasa. Sin embargo, cuando el sujeto pasivo es la empresa de servicios públicos, esta exigencia parece ser relajada en muchos casos, como lo demuestra la encuesta. Bajo esta limitación administrativa, la tasa retributiva no funciona bien como un incentivo económico para la reducción de la contaminación.

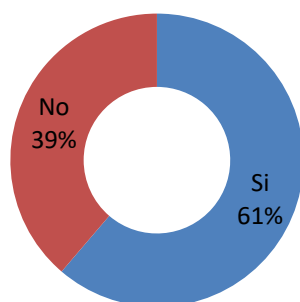


Figura 11: Autodeclaración de vertimientos

La Figura 12 muestra cuál es la percepción de los encargados del departamento de gestión ambiental de las empresas sobre el instrumento tasas retributivas. Obsérvese que una gran cantidad de empresas (71 de 315) perciben la tasa retributiva como una sanción por contaminar y no como lo que se pretende, que sea un incentivo económico (precio a la contaminación) que los lleve a tomar acciones que conduzcan a moderar sus vertimientos en función de la tarifa de la tasa. Un número de 25 de 315 empresas percibe las tasas retributivas como un cobro simbólico, así que sería lógico que estas empresas no tomen acciones para modificar su contaminación.

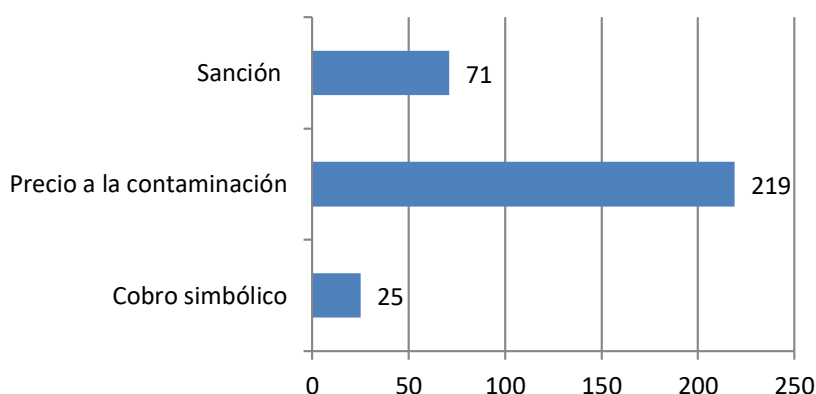


Figura 12: Percepción sobre las tasas retributivas

Como resultado de la aplicación de las tasas retributivas el 26% de las empresas encuestadas manifiesta que han cambiado insumos para moderar su contaminación, el 22% modificaron sus procesos productivos, y el 33% realizó inversiones para mejorar sus

sistemas de tratamiento. Se reconoció por parte de los encuestados que en los casos en que las repercusiones ambientales motivaron un cambio estratégico, ello tuvo origen principalmente en la responsabilidad ambiental (81%) y no por el cobro de la tasa retributiva (19%) (Figura 13).

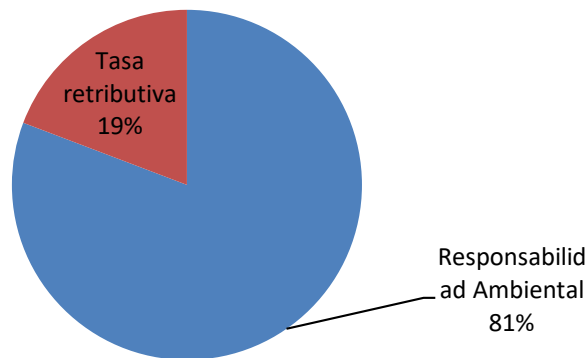


Figura 13: ¿Qué motivó de la toma de acciones para el control de la contaminación?

- **Estimación del modelo**

Antes de realizar la estimación SUR es importante establecer la existencia de correlación contemporánea entre los errores de las ecuaciones de reducción de DBO y SST.

El valor del estadístico de prueba es $\lambda = 109.07$. Como este valor es superior a $\chi_{(1,0.05)} = 3.84$ se rechaza la hipótesis nula y se concluye que si existe correlación contemporánea y debe utilizarse el estimador SUR.

Los resultados de la estimación de las ecuaciones de reducción de las concentraciones de las sustancias contaminantes DBO y SST en la planta de tratamiento mediante la técnica SUR, se presentan en la Tabla 4. Los efectos son los esperados (positivos) y además son significativos. Un incremento de \$1 en las tarifas de DBO y SST tiene un efecto de reducción de la concentración de DBO del 0,089% y del 0,17% para SST. La responsabilidad ambiental también tiene efecto positivo y significativo en las reducciones de DBO y SST.

Tabla 4: Estimación sur. Variable dependiente: reducción de la concentración de las sustancias contaminantes en la plata de tratamiento (en %)

Variables	Reducción de DBO	Reducción de SST
Tarifa de la tasa	.00089** [.00031]	.00170** [.00053]
Responsabilidad ambiental	.08969** [.00328]	.05485** [.02557]
Binarias de Sector		
Otros sectores	.50227	.68567
Alimentos y Bebidas	.51239	.66733
Aseo, belleza y cuidado personal	.58927	.76533
Comercializadora	.55639	.77962
Curtiembres	.64330	.77163
Envases y Empaques	.55176	.65589
Equipos eléctricos y electrónicos	.56014	.72445
Estaciones de servicio	.41690	.67955
Farmacéuticos y químicos	.48024	.6561
Gestión de residuos	.63141	.75663
Hidrocarburos	.40811	.63556
Hoteles	.46807	.67661
Manejo de residuos	.57570	.68386
Materiales permeables	.57169	.72514
Metales y acrílicos	.59392	.74266
N° de observaciones:	296	296
R-cuadrado	0.43	0.47

Nota: Errores estándar robustos entre paréntesis. ***p-valor<0.01, **p-valor<0.05

Las tarifas mínimas para el año 2014 fueron de \$ 118.52/Kg de DBO y \$ 50,68/Kg de SST. La Tabla 5 muestra que el incremento del 50% de la tarifa mínima reduciría la concentración de la contaminación de DBO en 5.29% y de SST en 4.31%. Un incremento del 100% de la tarifa mínima reduciría la concentración de DBO en 10.58% y de SST en 8.63%. Un incremento del 200% de la tarifa mínima reduciría la concentración de la contaminación de DBO en 21.16% y de SST en 17.25%. Pero esto solo para las empresas que realmente perciben la tasa retributiva como un incentivo económico para el control

de la contaminación. Para encontrar el efecto promedio deben multiplicarse estos efectos por el porcentaje de empresas que si toman sus decisiones de reducción en función del precio a la contaminación.

Tabla 5: Simulación de incrementos del precio de la tasa

Efecto marginal del precio de la tasa		
Porcentaje de la TM	DBO	SST
	0,00089278	0,00170204
25%	2,65%	2,16%
50%	5,29%	4,31%
75%	7,94%	6,47%
100%	10,58%	8,63%
150%	15,87%	12,94%
200%	21,16%	17,25%
250%	26,45%	21,56%
300%	31,74%	25,88%
325%	34,39%	28,03%
350%	37,03%	30,19%
400%	42,32%	34,50%
450%	47,62%	38,82%
500%	52,91%	43,13%

Notas. **Las tarifas mínimas para el año 2014 fueron de \$118.52/kg de DBO y 50,68/kg de SST

TM DBO=118,52

TM SST=50,68

4.3 ESTRATEGIA DE ESTIMACIÓN 3

Las Tablas 6 y 7 presentan los resultados de la estimación del impacto de la norma de tasas retributivas por contaminación hídrica en Colombia, sobre la concentración de sustancias contaminantes DBO y SST en su orden. Se puede concluir que la norma de

tasas retributivas no tiene efecto positivo sobre la reducción de la concentración de las sustancias contaminantes. Por el contrario, se encuentra que las concentraciones de DBO y SST son estadísticamente más altas en Colombia, donde funcionan las tasas retributivas. Este Resultado puede obedecer a una especificación incorrecta del modelo, debido a la variables que capturen la heterogeneidad individual de las firmas, porque quizás no es suficiente con las variables binarias de sector económico; o porque en Ecuador a pesar de no contar con un sistema de precios a la contaminación como las tasas retributivas, existe un comportamiento más responsable con el medio ambiente, que no es función de incentivos económicos.

Tabla 6: Estimación del impacto de la norma de tasas retributivas sobre la DBO

Linear regression						Number of obs = 712	
						F(9, 702) = 12.50	
						Prob > F = 0.0000	
						R-squared = 0.1231	
						Root MSE = 5.8907	
dbo_q	Coef.	Robust Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]		
d	1.650648	.289593	5.70	0.000	1.082076	2.21922	
d1	1.733828	.7807212	2.22	0.027	.2010001	3.266657	
d2	.8142356	.1711533	4.76	0.000	.4782019	1.150269	
d3	.6516441	.140728	4.63	0.000	.3753458	.9279423	
d4	1.800272	.647775	2.78	0.006	.5284634	3.07208	
d5	1.840141	.5025667	3.66	0.000	.8534269	2.826855	
d6	1.984852	.5449397	3.64	0.000	.914945	3.054759	
d7	7.647372	1.618774	4.72	0.000	4.469155	10.82559	
d8	.5180008	.0659012	7.86	0.000	.3886137	.6473878	
_cons	-1.572878	.2850524	-5.52	0.000	-2.132536	-1.013221	

Ecuación:

$$\begin{aligned}
 dbo_q = & -1.572878 + 1.650648 d + 1.733828d1 + .8142356 d2 + .6516441d3 \\
 & + 1.800272d4 + 1.840141d5 + 1.984852 d6 + 7.647372 d7 \\
 & + .5180008 d8 \qquad \qquad \qquad (25)
 \end{aligned}$$

Tabla 7: Estimación del impacto de la norma de tasas retributivas sobre los SST

Linear regression

Number of obs = 712
 F(9, 702) = 14.93
 Prob > F = 0.0000
 R-squared = 0.1763
 Root MSE = 11.62

sst_q	Coef.	Robust Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
d	2.409651	.566733	4.25	0.000	1.296957	3.522346
d1	.3474277	.2793279	1.24	0.214	-.2009903	.8958458
d2	-.0197647	.2072644	-0.10	0.924	-.426697	.3871677
d3	.1336573	.1980461	0.67	0.500	-.2551762	.5224909
d4	1.312542	.637255	2.06	0.040	.061388	2.563696
d5	1.583906	.5497903	2.88	0.004	.5044759	2.663336
d6	2.935503	.9459976	3.10	0.002	1.07818	4.792826
d7	17.85665	3.887075	4.59	0.000	10.22496	25.48833
d8	2.016471	.2660552	7.58	0.000	1.494112	2.538831
_cons	-1.874736	.5676934	-3.30	0.001	-2.989316	-.7601555

$$\begin{aligned}
 sst_q = & -1.874736 + 2.409651 d + .3474277d1 - .0197647 d2 + .1336573d3 \\
 & + 1.312542d4 + 1.583906d5 + 2.935503 d6 + 17.85665 d7 \\
 & + 2.016471 d8 \tag{26}
 \end{aligned}$$

V. CONCLUSIONES

1. Esta tesis presenta argumentos teóricos y evidencia empírica que demuestra que las estimaciones econométricas tradicionales utilizadas para estimar el impacto del precio de la contaminación sobre la concentración de las sustancias contaminantes, pueden arrojar estimaciones sesgadas e inconsistentes de su efecto debido a la endogeneidad de la tarifa de la tasa en la ecuación de concentración o reducción de carga contaminante. La endogeneidad tiene origen en la heterogeneidad del efecto del precio a la contaminación sobre la contaminación de las empresas. El problema es que los efectos individuales de las tarifas sobre la concentración de la contaminación (nulo o positivo) dependen de la magnitud de las tarifas, así que la relación entre tarifas y contaminación es bidireccional.
2. La encuesta desarrollada evidencia que no todas las empresas se preocupan por conocer las magnitudes de las tarifas de la tasa retributiva por DBO y SST. Es posible que las empresas que tienen costos marginales de reducción altos y enfrentan tarifas de la tasa pequeñas como la tarifa mínima, se limiten a cumplir con su meta individual de contaminación porque la reducción adicional es demasiado costosa, por eso prefieren pagar la tasa a una tarifa mínima. No es necesario para estas firmas conocer el precio exacto a la contaminación, solo son conscientes que la tarifa es tan baja que su minimización de costos requiere cumplir con la meta de contaminación individual para evitar la sanción que implica la re liquidación del exceso de contaminación a una tarifa más alta, es decir con un factor regional superior a la unidad. Para estas empresas el efecto de la tarifa sobre los esfuerzos de contaminación es nulo.
3. En la estrategia de estimación 1, la conclusión estadística es que la tarifa real de DBO no tiene efecto sobre la concentración de esta sustancia contaminante. Este resultado se debe a la subestimación del impacto de la tarifa de DBO por la endogeneidad de esta variable de precio a la contaminación.

4. La estrategia de estimación 2 intentó medir el impacto de la tarifa de la tasa retributiva percibida por los usuarios, sobre la reducción de la concentración de las sustancias contaminantes en las plantas de tratamiento. Es decir, se asume que el precio a la contaminación no es la tarifa real sino el conocimiento del precio que tiene el agente contaminador. La idea es que si la empresa no conoce la tarifa de la tasa tampoco toma sus decisiones de reducción en función de la misma, por lo tanto, mediante esta estrategia no se subestima el impacto del instrumento. Se encontró evidencia estadística de que el efecto de las tarifas es significativo para DBO y SST. Sin embargo, estos no son los efectos promedio de las tarifas de la tasa sobre la reducción de la concentración de DBO y SST, son los efectos sobre las firmas que perciben las tasas retributivas realmente como un precio a la contaminación.
5. Con ayuda de los efectos marginales encontrados en el modelo con las características descritas anteriormente, se determinó que lograr reducciones adicionales en la concentración de los contaminantes requiere grandes incrementos en las tarifas de la tasa retributiva. Considerando que las tarifas mínimas para DBO y SST para el año 2014 fueron en su orden 118.52 (\$/kg) y 50,68 (\$/kg), un incremento del 50 por ciento de la tarifa mínima reduciría la concentración de la contaminación de DBO en 5.29 por ciento y de SST en 4.31 por ciento. Un incremento del 100 por ciento de la tarifa mínima reduciría la concentración de DBO en 10.58 por ciento y de SST en 8.63 por ciento. Un incremento del 200 por ciento de la tarifa mínima reduciría la concentración de la contaminación de DBO en 21.16 por ciento y de SST en 17.25 por ciento.
6. Los efectos estimados de la tarifa de sólidos suspendidos totales sobre la reducción de las sustancias contaminantes en las dos estrategias de estimación son similares, ligeramente inferior al 10 por ciento. Esto sugiere que la estimación del efecto de la tarifa de SST sobre la carga contaminante de la misma sustancia en la estrategia 1 es consistente. Esto podría explicarse porque a las empresas de la muestra se les cobran tarifas con factores regionales de hasta 5.5 que son el máximo permitido por la ley. Los. Con tarifas altas es menos probable que las empresas no se preocupen por el precio y si lo van a tener en cuenta al tomar sus decisiones de reducción de la contaminación. Con la DBO no ocurre lo mismo, quizás porque aunque también se alcancen factores regionales altos, la tarifa mínima es pequeña.

7. En una tercera regresión se intentó descubrir si el modelo de tasa retributiva (no solo el efecto de las tarifas) tiene efecto positivo sobre el control de la contaminación, comparándolo con otro modelo de control de la contaminación sin incentivos económicos. Se encontró que la norma no tiene efecto positivo sobre la reducción de la concentración de las sustancias contaminantes, por el contrario, se encuentra que las concentraciones de DBO y SST son estadísticamente más altas en Colombia donde funcionan las tasas retributivas comparadas con Ecuador. Sin embargo, este resultado también puede ser consecuencia de una mala especificación del modelo, porque probablemente faltan variables que capturen la heterogeneidad individual de las firmas y quizás no es suficiente con las variables binarias de sector económico; o porque en Ecuador a pesar de no contar con un sistema de precios a la contaminación como las tasas retributivas, existe un comportamiento más responsable con el medio ambiente que no es función de incentivos económicos.

VI. RECOMENDACIONES

1. En la tesis se demuestra con el ejemplo de la figura 1 que el efecto de la tarifa de la tasa retributiva es heterogéneo. A niveles bajos de la tarifa de la tasa retributiva ese precio a la contaminación no tendrá efectos de reducción en firmas con costos marginales de reducción altos y si modificará el comportamiento de reducción de firmas con bajo costo de abatimiento.
2. Con base a los resultados surge una explicación del por qué una proporción significativa de firmas no se preocupan por conocer la tarifa de la tasa. El problema se presenta cuando las metas de reducción de la contaminación no son muy ambiciosas y la tarifa de la tasa es la tarifa mínima lo cual se da con mucha frecuencia (Rudas 2008). Empresas con altos costos marginales de reducción se limitan a cumplir con su meta individual de contaminación porque la reducción adicional es demasiado costosa, por eso prefieren pagar la tasa a una tarifa mínima. No es necesario para estas firmas conocer el precio exacto a la contaminación, solo son conscientes que la tarifa es tan baja que su minimización de costos requiere cumplir con la meta de contaminación individual para evitar la sanción que implica la re liquidación del exceso de contaminación a una tarifa más alta, es decir con un factor regional superior a la unidad.
3. Para corregir esta situación se recomienda que las corporaciones autónomas Colombianas se preocupen para que las empresas perciban la tasa retributiva como un precio a la contaminación para que estas tengan un mayor compromiso de responsabilidad ambiental y cambien su comportamiento tomando acciones destinadas a moderar sus vertimientos.
4. Las tasas retributivas obedecen el principio del contaminador-pagador, principio básico en derecho ambiental, que busca la restitución o el resarcimiento del daño ambiental causado a la comunidad por un agente contaminador. Así que quien causa el deterioro, se recomienda que debe pagar los gastos requeridos para prevenir o corregir el mismo (Velásquez 2002).

5. Es importante que las empresas entiendan que el sistema de tasas retributivas fue diseñado para descontaminar bajo los lineamientos de la producción más limpia. En efecto, el pagar por contaminar induce a la empresa a buscar la alternativa más costo-efectiva de descontaminar: la inversión en tecnología y procesos productivos modernos que utilicen los insumos con mayor eficiencia y minimicen los desechos a la vez (Ministerio del Medio Ambiente 2002)
6. Sin embargo, el Ministerio del Medio Ambiente (2002) presentó la evaluación del primer quinquenio de operación de la tasa por contaminación hídrica en Colombia y en ella considero: la efectividad ambiental, la eficiencia económica y la eficiencia institucional.
7. En la evaluación de la efectividad ambiental se concluyó que en las jurisdicciones en donde las autoridades ambientales implementaron el programa adecuadamente, se logró una reducción en los vertimientos de DBO equivalente al 27%, desde 117.000 toneladas por semestre a 85.000 toneladas hoy. Los de SST disminuyeron en 45%, desde 162.000 a 88.000 toneladas. Como la tendencia nacional de vertimientos crecía en términos absolutos antes de la introducción de la tasa, los resultados fueron considerados como muy positivos para el desarrollo sostenible de Colombia. En las regiones donde las autoridades ambientales implementaron el programa de manera incompleta, inconsistente o incorrecta, las reducciones de contaminación fueron significativamente menores. En las que no implementaron el cobro de la tasa por contaminación, los vertimientos continuaron creciendo.
8. Las tasas retributivas generaron casi 25 mil millones de pesos en su primer quinquenio de operación para la gestión e inversión ambiental, sin embargo, el total facturado por vertimientos asciende a 73 mil millones, por tanto, el nivel de recaudo fue bajo, equivale a aproximadamente el 33%.
9. La tasa retributiva se calificó como un programa eficiente en términos del gasto público. El sistema de tasas por contaminación resultó ser mucho más costo-efectivo que el sistema anterior de comando y control. La costo efectividad administrativa de las tasas retributivas mostró que por cada cuatro pesos recaudados por el cobro a la contaminación, las autoridades ambientales solo gastaron uno en gestión. Este bajo

costo de operación logró reducir la dependencia del sector sobre el presupuesto nacional.

10. Según estos resultados la aplicación de las tasas retributivas han sido un instrumento que ha permitido la reducción de la contaminación y si la autoridad ambiental fortalece la gestión administrativa del programa este además tendría un comportamiento costo efectivo reduciendo la dependencia del sector sobre el presupuesto nacional.
11. Estas problemáticas se recomienda que la autoridad ambiental colombiana las trate para mejorar el programa de tasas retributivas: (1) el programa de Producción Más limpia del Ministerio del Medio Ambiente que ha sido severamente debilitado por falta de recursos. Sin la transferencia constante de información y apoyo técnico requerido para guiar la modernización, las empresas no progresan en la dirección deseada. (2) las regulaciones de comando y control actúan en contra de la flexibilidad y orientan la inversión hacia el final del tubo, donde no contribuye a la modernización, productividad o competitividad económica. (3) algunas autoridades ambientales no han aplicado con rigor los programas de regulación de la contaminación necesarios para inducir a la descontaminación.
12. Además es importante que la autoridad ambiental refuerce el proceso de facturación y cobro de la tasa, ya que sin el buen desempeño administrativo, el instrumento pierde efectividad. También es necesario que el Ministerio de Ambiente fortalezca los programas para el control de la contaminación hídrica como el de Producción más Limpia para que de esta manera las empresas puedan disminuir sus vertimientos y optimizar sus procesos y mejorar su productividad.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ameriso, C. 2013. Agua e industria: internalización de los costos de su degradación. Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Económicas. Disponible en <http://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/2714/71-369-1-PB.pdf?sequence=1> (Universidad Nacional del Rosario).

Baumol, W; Oates, W. 1971. The use of standards and prices for protection of the environment. *The Swedish Journal of Economics*, v. 73, p. 42-54.

Blundell, R; Costa, M. 2002. Alternative approaches to evaluation in empirical microeconomics. CWP10/02, Institute of fiscal studies, UCL.

Briceño, S; Chávez, C. 2007. Programa de tarifas retributivas en Colombia una evaluación del diseño de fiscalización y su cumplimiento en el caso de Corpochivor. *Ensayos de economía*, ISSN 0121-117X, v. 17, N°. 30, p. 105-138.

Braga, B; Strauss, C; Paiva, F. 2005. Water Charges: Paying for the Commons in Brazil. *International Journal of Water Resources Development*, v.21 N°.1: p. 119 – 132.

Caffera, M. 2011. The use of economic instruments for pollution control in Latin America: lessons for future policy design. *Environment and Development Economics*, 16(3), p. 247- 273.

Censos, I. 2013. Estadísticas de las empresas. Disponible en <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-de-las-empresas/> (Instituto Nacional de Estadística y Censos).

Comisión Reguladora de Agua Potable y saneamiento Básico. Resolución 287 de 2004. Por la cual se establece la metodología ~~utilizada~~ para regular el cálculo de los costos de prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado. Colombia. 25 de mayo. 2004.

Dasgupta, S; Huq, M; Wheeler, D; Zhang, C. 1996. Water pollution abatement by Chinese industry: cost estimates and policy implications. World Bank, Environment, Infrastructure and Agriculture Division of Policy Research Department, Policy Research Working Paper #1630, May.

Frantz, R. 2003. Herbert Simon: Artificial intelligence as a framework for understanding intuition, *Journal of Economic Psychology*, v. 24, N° 2, p. 265.

Fonseca, C. 2013. Toma de Decisiones: ¿Teoría racional o de racionalidad limitada? Kálayhos. *Revista transdisciplinaria Metro-Inter*, v.7, N° 1. Recuperado de: <http://kalathos.metro.inter.edu/archivo.asp?ano=2013>

Galarza, M; Rudas, G. 2009. Análisis de la tasa de tasas retributivas en Colombia. Estudio de caso. Bogotá, Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana: Facultad de ciencias administrativas y económicas. Departamento de economía.

González, N. 2000. ¿El consenso sobre la racionalidad económica ?. *Estudios Gerenciales*, v.16, N° 76.

Glachant, M. 2001. The political economy of water effluent charge in France: Why are rates kept low? Centre d'économie industrielle école nationale supérieure des Mines de Paris (CERNA).

Guerra, M. 2014. Impacto del programa de tasas retributivas en Colombia. Bogotá, Monografía presentada para optar por el título de economista. Universidad Piloto de Colombia. Programa de Economía.

Helmer, R; Hespanhol, I. 1997. Water pollution control: a guide to the use of water quality management principles. London, WHO/UNEP.

Holland, P. 1986. Statistics and causal inference. *Journal of the American Statistical Association*, v. 81, N°. 369, p. 945-970.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) 2014. Estudio Nacional del Agua. Bogotá: IDEAM

Kreps, D. 1988. Notes on the Theory of Choice. Boulder, CO: Westview Press. ISBN: 0813375533.

Kolstad, C. 2000. Environmental Economics. Oxford University Press, ISBN: 0195119541

Kolstad, C. 2001. Economía ambiental. México, D.F.: Oxford University Press

Mejía, I. 2012. La racionalidad acotada de Herbert A. Simon: Una comparación con la racionalidad estándar en economía. Tesis de Maestría en ciencias, Instituto Politécnico Nacional, México. Disponible en: <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/6087>

Méndez, J; Hernández, H. 2012. La racionalidad limitada de los agentes contaminadores y sus efectos sobre la eficiencia económica en el control de vertimientos: el caso de las tasas retributivas. Producción + Limpia, v.7, N°.1, p. 32-47.

Méndez, J. 2008. Adaptación de Algoritmos Genéticos para la Simulación del Comportamiento Estratégico de los Agentes Contaminadores Ante el Cobro de Tasas Retributivas. Revista Cuadernos de Administración, v.35, N°.21, p. 161-187.

Méndez, J; Méndez, Jh. 2010. Un sistema de permisos negociables para el control de la contaminación de empresas con vertimientos a la red de alcantarillado. Revista Sociedad y economía, v. 18, p. 241-265.

Ministerio del Medio Ambiente. 2002. Evaluación Nacional del Programa de Tasas Retributivas por Vertimientos Puntuales. Bogotá.

Ministerio de agricultura. Decreto-Ley 2811 de 1974. 2002. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Presidencia de la República. Colombia. 18 de diciembre. 1974.

Ministerio de Agricultura. Decreto 1594 de 1984. Usos del agua y residuos líquidos. Colombia. 26 de junio. 1984.

Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible. Decreto 2667 de 2012. Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones. Colombia. 21 de diciembre. 2012.

Ministerio del Medio Ambiente Decreto 901 de 1997. Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa o indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se establecen las tarifas de éstas. Colombia. 1 de abril. 1997.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto 3100 de 2003. Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones. Colombia. 30 de octubre. 2003.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto 3440 de 2004. Por el cual se modifica el Decreto 3100 de 2003 y se adoptan otras disposiciones. Colombia. 21 de octubre. 2004.

Ministerio del Medio Ambiente. Ley 99 de 1993. Tasas Retributivas por la Utilización Directa del Agua como receptor de vertimientos puntuales. Bogotá.

Ministerio del Medio Ambiente. Resolución 372 de 1998. Por la cual se actualizan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos y se dictan disposiciones. Colombia. 6 de mayo. 1998.

Moral, I. 2009. Técnicas cuantitativas de evaluación de políticas públicas. Curso de evaluación de políticas públicas y programas presupuestarios. Madrid, octubre de 2009. Disponible en:

http://www.sefin.fortaleza.ce.gov.br/apresentacoes/gerados/apresentacoes_madri/Ignacio_Moral.pdf

Ministerio del Medio Ambiente (Oficina de análisis económico). 1997. Aguas limpias para Colombia al menor costo. Implementación de las tasas retributivas por contaminación hídrica. Palmas, v. 18, N° 3, p. 59-69.

Ortiz, J. 2005. La experiencia de Holanda y Alemania en el uso de cargos por vertimientos de aguas residuales como instrumentos para el control de la contaminación hídrica. Economía y desarrollo, v. 4, N° 1.

Pascó-Font, A; Montoya A. 1993. Incentivos económicos y protección ambiental: Una revisión de la experiencia norteamericana y europea. Notas para el debate, v. 11, p. 43-60.

Romero, C. 1997. Economía de los recursos ambientales y naturales. Madrid: Alianza Editorial. p. 44.

Rosenbaum, P; Rubin, D. 1983. The central role of the propensity score in the observational studies for causal effects. Biometrika, v. 70, N° 1, p. 41-55.

Rubinstein, A. 1998. Modeling bounded rationality. MIT Press. Cambridge Massachusetts.

Rudas Lleras, G. 2005. Instrumentos Económicos y Regulación de la Contaminación Industrial: Primera aproximación al caso del río Bogotá (Colombia). Segundo congreso latinoamericano de economistas ambientales y de recursos naturales (ALEAR), Oaxaca, México.

Rudas, G. 2008. Instrumentos económicos en la política del agua en Colombia: Tasas retributivas. Disponible en <https://www.cornare.gov.co/tasas-retributivas/> (CORNARE).

Sarmiento, A; Gordillo, D; Villa, J. 2005. Propuesta Metodológica para la Evaluación del Impacto de la Contaminación de las Cuencas Hídricas del País: Estudio de caso del río “La Vieja”. Disponible en: DNP – Dirección de Estudios Económicos. Archivos de Economía, Documento 297.

Saavedra, M; López, A. 2006. Costo eficiencia para control de contaminación en ríos aplicación a una sección de la cuenca del río Bío-Bío. Dirección General de aguas, Gobierno de Chile.

Simon, H. 1955. A behavioral model of rational choice. The quarterly journal Economics, v. 69, N°. 1, p. 99-118.

Simon, H. 1987. Making management decision: The role of intuition and emotion, the academy of management executive, v. 1, N°. 1, p. 57-64.

Streb, J 1998. El significado de racionalidad en economía. Documento de Trabajo del UCEMA 139.

UNEP – United Nations Environment Program. 2006. Division of technology, industry and economics. Planning and management of lakes and reservoirs: An integral approach to eutrophication.

Universidad Externado de Colombia. Sistema Nacional Ambiental – SINA, 15 años. 2008. Evaluación y perspectivas. Bogotá, p. 365-381.

Velásquez, C. 2002. Financiación de la Gestión Ambiental en Colombia: El Caso de las Tasas. Revista de Derecho Universidad del Norte, N°. 18, p. 151-171.

Villegas, C; Castiblanco, C; Berrouet, L; Vidal, L. 2006. El programa de tasas retributivas en Colombia y el fortalecimiento institucional de las Corporaciones Autónomas Regionales. Gestión y Ambiente, v. 9, N° 1, p. 7-24.

Wang, H; Wheeler, D. 1996. Pricing industrial pollution in China: An econometric analysis of the levy system. World bank policy research working paper N° 1644.

Wang, H. 2000. Pollution charge, community pressure and abatement cost: An analysis of Chinese industries. Working paper, development research group world bank.

Wooldridge, J. M. 2002. Econometric analysis of cross section and panel data. MIT Press, Cambridge, MA.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Do file stata- Modelos estimados

Regresiones Modelo 1

```
reg cdbo frdbo q p_rf metadbo
reg csst frsst q p_rf metasst
xtset id ao
gen cdbo_q= cdbo/q
gen csst_q= csst/q
```

***Estimación por efectos fijos DBO**

```
xtreg cdbo_q frdbo p_rf, fe vce(robust)
estimates store FIXED
```

```
xtreg cdbo_q frdbo p_rf, fe
```

***Estimación por efectos aleatorios DBO**

```
xtreg cdbo_q frdbo p_rf, re vce(robust)
```

***Test ML para efectos aleatorios DBO**

```
xttest0
```

****El mejor modelo seria efectos aleatorios****

***Estimación por efectos fijos SST**

```
xtreg csst_q frsst p_rf, fe vce(robust)
estimates store FIXED1
```

***Estimación por efectos aleatorios SST**

```
xtreg csst_q frsst p_rf, re vce(robust)
```

***test ML para efectos aleatorios SST**

```
xttest0
```

****El mejor modelo seria efectos aleatorios****

***Test de Hausman DBO**

```
xtreg cdbo_q frdbo p_rf, fe
estimates store FIXED
xtreg cdbo_q frdbo p_rf, re
estimates store RANDOM
```



```
hausman FIXED RANDOM
```

```
*Test de Hausman SST  
xtreg csst_q frsst p_rf, fe  
estimates store FIXED1
```

```
xtreg csst_q frsst p_rf, re  
estimates store RANDOM1
```

```
hausman FIXED1 RANDOM1
```

```
*Regresiones Modelo 2*
```

```
gen tarifa_dbo = autodeclaracion*t_dbo  
gen tarifa_dbo_d3 = t_dbo*autodeclaracion*d3
```

```
gen tarifa_sst = autodeclaracion*t_sst  
gen tarifa_sst_d3 = t_sst*autodeclaracion*d3  
gen intercepto =1
```

```
reg r_dbo q tarifa_dbo responsabilidad sancion d*, noconstan vce(robust)
```

```
predict resid_dbo, residuals
```

```
reg r_sst q tarifa_sst responsabilidad sancion d*, noconstan vce(robust)
```

```
predict resid_sst, residuals
```

```
* _____
```

```
reg r_dbo tarifa_dbo responsabilidad d*, noconstan vce(robust)
```

```
reg r_sst tarifa_sst responsabilidad d*, noconstan vce(robust)
```

```
* _____
```

```
scalar T = 293
```

```
mkmat resid_dbo, matrix(e_dbo)
```

```
mkmat resid_sst, matrix(e_sst)
```

```
matrix sigma11 = e_dbo'*e_dbo/T
```

```
matrix sigma12 = e_dbo'*e_sst/T
```

```

matrix sigma22 = e_sst'*e_sst/T

matrix sigma = J(2, 2, 0)

matrix list sigma

matrix sigma[1,1]= sigma11
matrix sigma[1,2]= sigma12
matrix sigma[2,1]= sigma12
matrix sigma[2,2]= sigma22

matrix list sigma

matrix identidad = I(T)

matrix fi = sigma#identidad

mkmat r_dbo, matrix(y1)

mkmat r_sst, matrix(y2)

matrix y = y1\y2

mkmat tarifa_dbo responsabilidad sancion d*, matrix(x_dbo)

mkmat tarifa_sst responsabilidad sancion d*, matrix(x_sst)

matrix aux1 =[1,0]
matrix aux2 =[0,1]

matrix aux11 =aux1#x_dbo
matrix aux21 =aux2#x_sst

matrix X = aux11\aux21

matrix betasur = inv(X'*inv(fi)*X)*X'*inv(fi)*y

matrix list betasur

matrix varcov = inv(X'*inv(fi)*X)

matrix list varcov

matrix t1 = betasur[1,1]/sqrt(varcov[1,1])
matrix t2 = betasur[2,1]/sqrt(varcov[2,2])
matrix t3 = betasur[3,1]/sqrt(varcov[3,3])
matrix t19 = betasur[19,1]/sqrt(varcov[19,19])
matrix t20 = betasur[20,1]/sqrt(varcov[20,20])

```

```
matrix t21 = betasur[21,1]/sqrt(varcov[21,21])

matrix list t1

matrix list t2

matrix list t3

matrix list t19

matrix list t20

matrix list t21

matrix lambda= T*sigma12*sigma12*inv(sigma11*sigma22)
matrix list sigma11
matrix list sigma12
matrix list sigma22

matrix list lambda
```

Regresiones Modelo 3

```
gen dbo_q = dbo/q
gen sst_q = sst/q

reg dbo_q d d1 d2 d3 d4 d5 d6 d7 d8, vce(robust)

reg sst_q d d1 d2 d3 d4 d5 d6 d7 d8, vce(robust)
```

Anexo 2. Encuesta de la investigación

**EFFECTIVIDAD DE LAS TASAS RETRIBUTIVAS COMO INSTRUMENTO
ECONÓMICO PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DE LOS
CUERPOS DE AGUA EN COLOMBIA**

**Tesis de doctorado
Universidad Nacional Agraria la Molina**

Investigadora Johanna Mildred Méndez Sayago

PROPÓSITO

Esta encuesta tiene como propósito evaluar la percepción de los encargados del Departamento de Gestión Ambiental de las empresas, sobre el instrumento para el control de la contaminación de los cuerpos de agua en Bogotá denominado tasas retributivas y las acciones que han tomado en respuesta a la tasa.

CONFIDENCIALIDAD

La información recogida a través de esta encuesta no será publicada en forma individual nombrando a las personas y empresas que participaron.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo general

Evaluar el impacto de las tasas retributivas como instrumento económico para el control de la contaminación de los cuerpos de agua, y con base en ello proponer recomendaciones en la normatividad ambiental y la administración de la tasa, tendientes a mejorar el desempeño del instrumento.

Objetivos específicos

- Precisar el grado de conocimiento que tienen las unidades económicas en Bogotá D.C. acerca del instrumento tasa retributiva y su funcionamiento.
- Delimitar las acciones que toman los agentes contaminadores ante el cobro de las tasas retributivas.
- Incorporar mejoras a la estimación estadística de la sensibilidad de la(s) variable(s) representativa(s) de la contaminación ante cambios en la tasa retributiva.

ENCUESTA

1. Datos Generales

1.1 Fecha	Día _____	Mes _____	Año _____	1.2 Número de encuesta	_____
1.3 Nombre de la empresa _____ _____					
1.4 Actividad económica de la empresa _____ _____					
1.5 Nombre del encuestado _____ _____					
1.6 Cargo del encuestado _____ _____					
1.7 Profesión del encuestado _____ _____					

2. Información sobre los vertimientos de la empresa

2.1 La empresa realiza vertimientos:

A la red de alcantarillado _____

A algún cuerpo de agua _____

¿Cuál cuerpo de agua? _____

2.2 ¿La autoridad ambiental le solicita a la empresa auto declaraciones de vertimientos?

Sí _____

No _____

2.3 ¿La empresa cuenta con algún sistema de tratamiento de aguas residuales?

Sí _____

No _____

¿Cuál?

Pre tratamiento¹³ _____

Tratamiento secundario¹⁵ _____

Tratamiento primario¹⁴ _____

¿Cuál es el **caudal** de agua tratada por la firma al **mes**?

_____ (m3)

¿Cuál es la carga contaminante de **DBO** a la **entrada** de la planta de tratamiento?

_____ (mg/ltr)

¿Cuál es la carga contaminante de **DBO** a la **salida** de la planta de tratamiento?

_____ (mg/ltr)

¿Cuál es la carga contaminante de **SST** a la **entrada** de la planta de tratamiento?

_____ (mg/ltr)

¿Cuál es la carga contaminante de **SST** a la **salida** de la planta de tratamiento?

_____ (mg/ltr)

3. Percepción sobre el instrumento Tasa Retributiva

3.1 Usted describiría la Tasa Retributiva como:

Seleccione solo una alternativa

a. Una sanción económica para las empresas que no cumplen con las normas de vertimiento _____

¹³ Son los procesos de tratamiento localizados antes del tratamiento primario; buscan la eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares de tratamiento. Los procesos de desbaste como las rejillas; procesos de flotación como las trampas de grasas; procesos de sedimentación como los desarenadores, hacen parte de este tipo de tratamiento.

¹⁴ Se define como el tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. El proceso más utilizado en las diferentes actividades productivas es la sedimentación, el cual va acompañado de una adición de agentes químicos para obtener mejores resultados en los sedimentadores.

¹⁵ El Tratamiento secundario se define como el directamente responsable de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos⁶ y utiliza microorganismos para la degradación de la materia orgánica (biodegradación o tratamiento biológico). Este proceso reduce o convierte la materia orgánica disuelta en sólidos sedimentables, que pueden ser separados por sedimentación en tanques de decantación.

b. Una cobro simbólico para que la empresa voluntariamente haga un mayor esfuerzo para la reducción de la contaminación en sus vertimientos _____

c. Un impuesto que obliga a su empresa a que tome medidas de reducción de la contaminación como cambios en los insumos, en los procesos productivos o inversiones en sistemas de tratamiento para minimizar los costos de la aplicación del impuesto. _____

3.2 Como resultado de la aplicación de las tasas retributivas, la empresa ha adoptado las siguientes estrategias para reducir las concentraciones de DBO y SST:

a. Ha realizado cambios en los insumos

Sí _____

No _____

b. Ha adoptado cambios en los procesos productivos

Sí _____

No _____

c. Ha realizado inversiones para mejorar su sistema de tratamiento de aguas residuales

Sí _____

No _____

d. Otros

Indique cuales _____

3.3 Las estrategias adoptadas para la disminución de las concentraciones de DBO y SST están más relacionada con:

Seleccione solo una alternativa

a. La tarifa de la tasa retributiva _____

b. La responsabilidad social de la empresa _____

3.4 La tarifa de la tasa retributiva tiene actualmente un valor de aproximadamente:

a. No sabe _____

b. \$/kg _____

c. \$/Kg de DBO _____

d. \$/Kg de SST _____

Anexo 3. Reglamentación vigente de las tasas retributivas



Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR
Dirección de Evaluación, Seguimiento y Control Ambiental
República de Colombia

Bogotá,

Señorita
JOHANNA MILDRED MENDEZ SAYAGO
jmmendez@universidadean.edu.co
Bogotá

CAR	12/03/2020 19:26
A/ Contestar cte este No.:	20202116801
Origen:	Dirección de Evaluación, Seguim
Destino:	JOHANNA MILDRED MENDEZ SAYAGO
Anexos:	Fot: 1

ASUNTO: Respuesta al radicado 20201110758: Solicitud información sobre la reglamentación hasta este año de las tasas retributivas

Cordial Saludo:

De acuerdo con lo solicitado le informo que la reglamentación de tasas retributivas se encuentra compilada en el Decreto 1078 de 2015 en el capítulo 7 sección 1 expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Atentamente,

CARLOS ANTONIO BELLO QUINTERO
Director de Evaluación, Seguimiento y Control Ambiental

Respuesta a: 20201110758 del 03/03/2020

Elaboró: Angelica Fernanda Segura Avila / DESCA



Protección Ambiental ... Responsabilidad de Todos

Bogotá Av. Esperanza No. 62-49 PB 6; Código Postal 11321 - Conmutador: 5801111 Ext: 2220 <https://www.car.gov.co/>
Correo electrónico: sau@car.gov.co

Anexo 4. Descarga de información de CORNARE

Solicitud información sobre la reglamentación hasta este año de las tasas retributivas

Gobierno en Línea Cornare <gel@comare.gov.co>
Para: jmmendez@universidadean.edu.co
CC: Servicio al cliente Cornare <cliente@comare.gov.co>

3 de marzo de 2020 a las 16:32

Buen día Johanna,

Cordial saludo. En nuestro sitio web se encuentra un espacio de información sobre las tasas retributivas, ingresando a <http://www.comare.gov.co/> y en el menú principal ventanilla integral / instrumentos económicos, o directamente a través del enlace: <http://www.comare.gov.co/tasas-retributivas/> allí encontrará diversa información, normativas y los reportes anuales de seguimiento que se realizan en nuestra jurisdicción de la tasa retributiva.

Por favor verificar en el enlace compartido anteriormente, si requiere mayor información por favor no dude en contactarnos. Muchas gracias.

Cordialmente,



Servicio al Cliente

Cornare

PBX: (+057) (4) 5201170
Rionegro (Ant.) – Colombia
gel@comare.gov.co / www.comare.gov.co

El mar., 3 mar. 2020 a las 16:19, Servicio al cliente Cornare (<cliente@comare.gov.co>) escribió:

SUBDIRECCION DE SERVICIO AL CLIENTE
CORNARE 5201170 EXT 212

[Texto citado oculto]

Anexo 5. Decretos emitidos de las tasas retributivas hasta 2020



SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE Folios 2 Anexos: 0
Proc. # 4737008 Radicado # 2020EE57053 Fecha: 2020-03-12
Tercero: 30050277 - JOHANNA MENDEZ S
Dep.: DIRECCION LEGAL AMBIENTAL
Tipo Doc.: Oficio de salida Clase Doc.: Salida

Bogotá D.C.

Señora

JOHANNA MILDRED MENDEZ SAYAGO

jmmendez@universida
dean.edu.co Ciudad

Asunto: Respuesta a su radicado

2020ER49524 Cordial Saludo.

En atención a la inquietud planteada en el radicado del asunto: “*Información sobre cuáles son los decretos emitidos de las tasas retributivas en Colombia hasta el año 2020. Si me pueden indicar en una lista la reglamentación*”, me permito hacer referencia a las siguientes disposiciones normativas de carácter Nacional que tienen relación con el tema:

- Ley 99 de 1993, mediante la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
- Ley 1450 de 2011, por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2010 – 2014, artículo 211.
- Ley 1753 de 2015, por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014 – 2018, artículo 228.
- Decreto 2667 de 2012, que reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de vertimientos puntuales. (Deroga los Decretos 3100 de 2003 y 3440 de 2004). Compilado por el Decreto 1076 de 2015.
- Resolución 1433 de 2004, modificada por la Resolución 2145 de 2005 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, por la cual se

reglamenta el artículo 12 del Decreto 3100 de 2003, sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV.

- Decreto compilatorio 1076 de 2015 en su capítulo 7, reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del recurso hídrico como receptor de los vertimientos puntuales, establecimiento como sujetos activos del cobro y recaudo de la tasa a las Corporaciones Autónomas Regionales.
- Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: *“Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”*.
- Decreto 2141 de 2016 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: *“Por medio del cual se adiciona una sección al decreto 1076 de 2015, Decreto único Reglamentario del sector Ambiente y desarrollo Sostenible”, en lo relacionado con el ajuste a la tasa retributiva”*.

Adicionalmente, debe tener en cuenta que el artículo 2.2.9.7.4.2. del Decreto 1076 de 2015, consagra que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establecerá anualmente mediante resolución, el valor de la tarifa mínima de la tasa retributiva para los parámetros sobre los cuales se cobrará dicha tasa, basado en los costos directos de remoción de los elementos, sustancia o parámetros contaminantes presentes en los vertimientos líquidos, los cuales forman parte de los costos de recuperación del recurso afectado.

Atentamente,



**CRISTIAN ALONSO
CARABALY CERRA
DIRECCION LEGAL
AMBIENTAL**

Secretaría Distrital de Ambien
Av. Caracas N° 54-38
PBX: 3778899 / Fax: 3778930
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá, D.C. Colombia

