

# Evaluación de la efectividad de la Tasa Retributiva (TR) como instrumento económico para la protección del recurso hídrico en Colombia\*

Andrea Carolina Guzmán-Cabrera\*\*

Universidad de Antioquia, Colombia

Jesús Fernando Flórez-Herrera\*\*\*

Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, Colombia

<https://doi.org/10.15446/ede.v29n55.79561>

## Resumen

Una de las principales externalidades negativas sobre el medio ambiente, es la contaminación del agua generada por los vertimientos de las diferentes actividades económicas. Para enfrentar esta externalidad, la literatura económica habla sobre instrumentos como las normas, las tasas y los sistemas de permisos transables, derivados de desarrollos teóricos como los impuestos pigouvianos y el teorema de Coase, los cuales introducen en la función de costos de los agentes económicos el daño que generan con la contaminación. Colombia a partir de la Ley 99 de 1993, estableció un instrumento económico para corregir este problema, la Tasa Retributiva –TR–. El objetivo de este estudio es mostrar el funcionamiento de este instrumento económico en Colombia, determinar su impacto y analizar los problemas de implementación que presenta. Para lograrlo se desarrolla una serie de modelos de data panel que asocian las cargas contaminantes objeto de cobro en Colombia a su respectiva TR, encontrando que la TR no explica el comportamiento de estas cargas contaminantes y concluyendo que el instrumento económico no alcanza en su totalidad el objetivo de reducir la contaminación que llega a los cuerpos de agua en Colombia.

**Palabras clave:** externalidades; recurso hídrico; vertimiento; instrumento económico.

**JEL:** D62; Q25; Q53; Q28.

---

\* **Artículo recibido:** 08 de mayo de 2019/ **Aceptado:** 31 de julio de 2019/ **Modificado:** 09 de septiembre de 2019. El artículo es resultado de la consultoría “Productividad del agua, el tratamiento de aguas residuales y el reúso en Colombia”, desarrollada por el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA) para el Departamento Nacional de Planeación (DNP) en el marco de la Misión de Crecimiento Verde (MCV) y financiada por la Agencia Francesa para el Desarrollo (AFD) y el Fondo Acción. Los autores agradecen los aportes y sugerencias recibidas durante el proyecto por parte del equipo asesor del DNP y los profesionales del CTA encargados de los demás componentes de la consultoría.

\*\* Magíster en Medio Ambiente y Desarrollo por la Universidad Nacional de Colombia (Medellín, Colombia). Docente en Universidad de Antioquia. Correo electrónico: acarolina.guzman@udea.edu.co  <https://orcid.org/0000-0003-3755-2522>

\*\*\* Economista por la Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia). Investigador del área de Economía Ambiental en Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia - Línea de Agua y Medio Ambiente. Correo electrónico: fflorez@cta.org.co  <https://orcid.org/0000-0002-7328-5321>

### Cómo citar/ How to cite this item:

Guzmán-Cabrera, A. C. & Flórez-Herrera, J. F. (2019). Evaluación de la efectividad de la Tasa Retributiva (TR) como instrumento económico para la protección del recurso hídrico en Colombia. *Ensayos de Economía*, 29(55), 129-151. <https://doi.org/10.15446/ede.v29n55.79561>

## Effectiveness of the Retributive Rate (TR) as an Economic Instrument for the Protection of Water Resources in Colombia

### Abstract

One of the main negative externalities on the environment is water pollution generated by the discharge of waste carried out by different economic activities. To deal with this externality, economic literature discusses instruments such as norms, charges and tradable permit systems, derived from theoretical developments such as Pigouvian taxes and the Coase theorem, which introduce into the cost function of economic agents the damage they generate with pollution. Colombia, through Law 99 of 1993, established an economic instrument to correct this problem, the Retribution Rate -TR. The objective of this study is to show the functioning of this economic instrument in Colombia, determine its impact and analyze the implementation problems it presents. To achieve this, a series of data panel models are developed that associate the pollution charges collected in Colombia to their respective TR, finding that the TR does not explain the behavior of these pollution charges and concluding that the economic instrument does not completely achieve its objective of reducing the pollution that reaches the bodies of water in Colombia.

**Keywords:** externalities; water resource; dumping; economic instrument.

**JEL:** D62; Q25; Q53; Q28.

### Introducción

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 (Méndez-Sayago, Méndez-Sayago & Hernández-Escolar, 2017).

La protección del medio ambiente en un país es responsabilidad directa del Estado, quien debe velar por conservar y recuperar los recursos naturales dentro de sus límites territoriales; pero para lograrlo el Estado debe hacer partícipes de las estrategias de protección y conservación del medio ambiente a los agentes productivos del aparato económico y a la sociedad civil como responsables directos del consumo y contaminación de los recursos naturales.

A lo largo de la historia ha existido una clara relación inversa entre el crecimiento de la población, el crecimiento de las economías y el estado de los recursos naturales; principalmente en las primeras etapas del desarrollo tal como lo señala la hipótesis de la curva medioambiental de Kuznets –CMK– la cual plantea que el crecimiento económico –medido a través del ingreso per cápita– y el deterioro ambiental tienen una relación de “U” invertida, es decir, que la contaminación aumenta con el crecimiento económico, alcanza un máximo, y luego comienza a caer a partir de un nivel crítico de ingreso (Correa-Restrepo, Vasco-Ramírez & Pérez-Montoya, 2005)

La forma de la CMK esta explicada por razones como: 1) en las primeras etapas del desarrollo predominan las actividades agrícolas y extractivas que son de alto impacto para el medio ambiente, mientras que en las etapas avanzadas del desarrollo predominan los servicios, los cuales tienen menor impacto, 2) en los países de bajos ingresos existe una mayor preocupación por aumentar el PIB que por la conservación de los recursos naturales, mientras que en los países de altos ingresos se presenta la situación contraria, lo que hace que la regulación ambiental a las actividades económicas sea más débil en el primer grupo.

Colombia como un país de ingreso medio, se preocupa cada día más por la protección del medio ambiente, una muestra de ello es la Misión de Crecimiento Verde –MCV–, la cual busca generar políticas en pro del crecimiento económico sostenible con el medio ambiente y socialmente incluyente, sin embargo, en el país todavía son muchos los retos para poner en un balance los intereses del sector productivo y la conservación ambiental.

Uno de los principales recursos naturales que se ve afectado por el desbalance entre la actividad económica y la conservación es el recurso hídrico, puesto que es un elemento vital para la vida en el planeta y se requiere para todas las actividades humanas y económicas. Dentro del sistema económico, el agua tiene dos grandes funciones: la primera es ser insumo para la producción de bienes y servicios y la segunda es ser receptor de los desperdicios tanto de la producción como del consumo. Por esta razón es susceptible a dos grandes riesgos: 1) la escases por sobre explotación y 2) contaminación por vertimientos.

Este artículo centra su atención en el instrumento económico utilizado en Colombia para la protección del recurso hídrico en cuanto al riesgo de contaminación por vertimientos: la Tasa Retributiva por vertimientos puntuales –TR–. La TR es un instrumento económico inspirado en los impuestos pigouvianos (Pigou, 1946 [1920]), que utiliza el principio de que quien contamina paga para corregir las externalidades negativas causadas por la contaminación del recurso hídrico por parte del sector productivo.

Si bien los impuestos pigouvianos son instrumentos ideales para internalizar una externalidad, la información necesaria para su definición y puesta en marcha no está disponible. Ello no significa que se deban abandonar los instrumentos económicos como opción de política ambiental y aplicar un énfasis exclusivo a las políticas de comando y control. Los instrumentos económicos pueden ser útiles para alcanzar metas ambientales a un mínimo costo, pese a no poder internalizar completamente la externalidad (Ibañez, s.f.).

El propósito del artículo es determinar si este instrumento ha logrado cumplir el objetivo de reducir la contaminación del agua durante el periodo de 2010-2015. Para ello se tomó información a nivel nacional sobre los vertimientos que llegan a los cuerpos de agua asociados a las cargas contaminantes gravadas con TR y el valor de la TR cobrada. Dicha información permite tener un panel data a partir del cual se pretende estimar los coeficientes de correlación lineal de Pearson entre las cargas contaminantes y la TR. Además, se estimaron tres tipos de modelos: 1) Modelos *Pooling* OLS,

2) Modelos de Efectos Fijos y 3) Modelos de Efectos Aleatorios, con el fin de elegir el mejor modelo según los datos analizados. Los coeficientes del mejor modelo seleccionado permitieron conocer si existe o no una relación de determinación estadística significativa entre las TR y las cargas contaminantes, y si esta relación es inversa, tal como lo plantea el objetivo del instrumento económico.

El desarrollo del artículo se presenta en cinco secciones además de esta introducción. En la primera sección se presenta el contexto de la TR en Colombia y se explica su funcionamiento y aplicabilidad, para entender la esencia del instrumento y su diseño; en la segunda sección se presenta la metodología aplicada para determinar si la TR ha cumplido o no su propósito; en la tercera sección se presentan los resultados para luego analizarlos en la cuarta sección y finalmente la quinta sección presenta una serie de recomendaciones de parte para mejorar la implementación de la TR en Colombia.

Este artículo se logra a partir de la consultoría Productividad del agua, el tratamiento de aguas residuales y el reúso en Colombia, cuyo objetivo era realizar un diagnóstico sobre el estado actual de la productividad del agua, el tratamiento de aguas residuales y el reúso en el país (Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA), 2017), priorizar los elementos críticos a mejorar (Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA), 2018a) y finalmente generar recomendaciones (Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA), 2018b). Este proyecto fue insumo para la elaboración del Conpes 3934: política de crecimiento verde (DNP, 2018).

Los resultados presentados en este artículo están consignados en los informes de la consultoría<sup>1</sup> y corresponden al componente encargado de evaluar el funcionamiento de los instrumentos económicos para la protección del recurso hídrico en Colombia.

## Funcionamiento de la TR en Colombia

La TR es un instrumento económico aplicado por la política ambiental en Colombia cuyo objetivo es disminuir los vertimientos de cargas contaminantes en los cuerpos de agua. La tasa busca emitir señales económicas vía precios de mercado a los agentes para que, bajo el supuesto de racionalidad económica, modifiquen sus patrones de consumo-producción y tomen decisiones acordes con los costos sociales y ambientales de contaminar las fuentes de agua, y adelanten cambios hacia tecnologías más limpias (Vasco, Tobón & Vargas, 2018).

En Colombia se habla de tasas retributivas desde 1974 cuando el Código de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, en su artículo 18 contempla la importancia de proteger al medio ambiente de los residuos generados por el sector productivo y de utilizar las tasas ambientales para hacerlo. Luego este concepto fue abordado por la Ley 99 de 1993 en

---

1 Se puede consultar los informes en: <https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Ejes-estrategicos/Paginas/Productividad-del-agua.aspx>

su artículo 42, el cual dice que 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 (Ley 99, 1993).

En este momento la TR está reglamentada por el Decreto 2667 de 2012 el cual dictamina que la TR es aquella tasa que cobrará la autoridad ambiental competente a los usuarios por la utilización directa o indirecta del recurso hídrico como receptor de vertimientos puntuales 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 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), 2012).

La TR se puede considerar como un instrumento económico ya que utiliza el mecanismo de los precios y se vale de la racionalidad del agente económico para desincentivar el vertimiento de cargas contaminantes a los cuerpos de agua aumentando su costo, bajo el principio fundamental de que quien contamina paga.

Aunque la TR se creó como tal en la Ley 99 de 1993, no fue hasta el año de 1998 que empezó a implementarse en el país (Villegas et al., 2005). La competencia de su administración y recaudo es de las Corporaciones Autónomas Ambientales –CAR– y se cobra en función de dos parámetros de contaminación del recurso hídrico: Demanda Biológica de Oxígeno –DBO– y los Sólidos Suspendedos Totales –SST–.

La TR funciona conjuntamente con un instrumento de comando y control conocido como límites permisibles de vertimientos, el cual determina para cada usuario con permiso de vertimiento cual es la concentración máxima de carga contaminante que puede descargar en el cuerpo de agua.

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 multa que consiste en la re liquidación de la tasa (Méndez-Sayago, Méndez-Sayago & Hernández-Escolar, 2017).

El cálculo de la tarifa que debe pagar cada usuario de puntos de vertimiento por concepto de TR se hace por medio de [1]. La tarifa mínima es determinada por el MADS en función de los costos de remoción de las sustancias contaminantes, es un valor estándar para todos los usuarios a nivel nacional que se actualiza año a año en función de las variaciones del IPC. El factor regional es un valor que puede variar entre 1.0 y 5.5 y representa los costos sociales y ambientales de la contaminación del recurso hídrico (MADS, 2012). Se calcula para cada cuerpo de agua o tramo del mismo y su variación depende del cumplimiento por parte de los usuarios de las metas de carga contaminante establecidas por la CAR correspondiente.

## 1) Cálculo de la TR:

$$TR = \sum_i Tm_i * Fr_i, \quad i: DBO, SST^2 \quad [1]$$

Donde: TR: tasa retributiva

Tm: tarifa mínima

Fr: factor regional

Por lo anterior se deduce que el éxito en la aplicación del instrumento recae por completo en la CAR quien debe contar con toda la capacidad para el levantamiento de información sobre usuarios de puntos de vertimientos, niveles de calidad de agua, cargas vertidas y metas de contaminación en los cuerpos de agua de su jurisdicción. Para lograr obtener esta información las CAR deben seguir 4 etapas de la implementación de la TR: 1) levantar la línea base de información en cuanto a cuencas y puntos de vertimiento, 2) establecer el índice de calidad de agua, 3) determinar los objetivos de calidad para cada cuerpo de agua o tramo del mismo, 4) establecer las metas de reducción para los usuarios (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS); Ministerio de Hacienda y Crédito Público (MHCP) & Departamento Administrativo de Ciencia y Tecnología e Innovación (Colciencias), 2013).

En Colombia la TR cobrada a los usuarios de puntos de vertimientos ha sido históricamente baja, por dos motivos: 1) la variación de la tarifa mínima solo está en función de la variación del IPC, por lo tanto no tiene en cuenta posibles variaciones en los costos de remoción de sustancias contaminantes que se hayan podido dar en los últimos 20 años, 2) el cálculo de las variaciones del factor regional depende de verificar el cumplimiento de las metas contaminantes por parte de los usuarios, lo cual es muy costoso para las CAR, razón por la cual a muchos usuarios se les termina aplicando un factor regional de 1 sin que en realidad cumplan con las metas de descontaminación. En la tabla 1 se presenta el comportamiento de la tarifa mínima y el factor regional en los últimos años.

**Tabla 1.** Evolución de la tarifa mínima y factor regional promedio para el cálculo de TR

Año	Tarifa Mínima DBO (\$/kg)	Tarifa Mínima SST (\$/kg)	Factor Regional Promedio DBO	Factor Regional Promedio SST
2010	106.05	45.35	1.20	1.26
2011	109.41	46.79	1.40	1.47
2012	113.49	48.53	1.53	1.58
2013	116.26	49.72	1.42	1.68
2014	118.52	50.68	1.56	1.74
2015	122.86	52.54	1.59	1.68
2016	131.17	56.09		
2017	138.72	59.32		

Fuente: elaboración y cálculos propios<sup>3</sup>.

2 Decreto 2667 de 2012.

3 Tarifa mínima tomada de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) (2017). Factor regional promedio calculado en base a datos de MADS.

Los costos de remoción de DBO en cuerpos de agua son más altos que los costos de remoción de SST, razón por la cual la tarifa mínima de DBO siempre ha sido más del doble que la tarifa mínima de SST, y como ya se mencionó, el crecimiento de ambas tarifas solo depende de la inflación.

En cuanto al factor regional promedio anual, se observa que el factor asociado a SST supera levemente al factor asociado a DBO, pero en ambos casos ocurre que este factor se encuentra mucho más cercano al límite inferior  $-1.0$  que al límite superior  $-5.5$ , con una tasa de crecimiento promedio de 6% tanto para DBO como SST. Esto podría llevar a intuir que los usuarios de puntos de vertimientos cumplen sus metas de cargas contaminantes, sin embargo, no necesariamente es así.

Dado que la administración de la TR implica una importante gestión por parte de las CAR —gestión de información de usuarios de puntos de vertimientos, establecimiento de metas y verificación de las mismas—, cuando no es posible verificar el cumplimiento de metas o incluso no puede establecerlas, debe aplicar a los usuarios de puntos de vertimientos un valor de factor regional mínimo.

De hecho, según MADS, MHCP & Colciencias (2013), para el año 2012 se tenían identificados en el país 699 cuerpos de agua con puntos de vertimiento, de los cuales el 90% tenía establecido un objetivo de calidad de agua, el 68% contaba con meta de reducción de carga contaminante, pero solo el 35% eran objeto de verificación del cumplimiento de metas por parte de las CAR.

En cuanto a la contaminación del agua, existen tres fuentes principales de contaminación: las aguas negras domésticas, los efluentes industriales y la escorrentía por el uso del suelo (Méndez-Sayago, Méndez-Sayago & Hernández-Escolar, 2017).

Para el caso de Colombia, el reporte de avance del Estudio Nacional del Agua 2018 presenta la evaluación de cargas contaminantes vertidas a los sistemas hídricos por parte de los sectores: doméstico, industrial y beneficio de café, encontrando que del total del vertido estimado para los tres sectores, el sector doméstico aporta la mayor carga de materia orgánica con el 50% representada por la Demanda Biológica de Oxígeno —DBO—, el 84% de Sólidos Suspendedos Totales —SST— y de nutrientes, con 76% de nitrógeno total y 91% de fósforo total. En cuanto a materia orgánica representada por la Demanda Química de Oxígeno —DQO—, el sector que más aporta es la industria manufacturera con el 57% de la carga vertida (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2018).

Por lo anterior, es posible pensar que la TR no tiene gran influencia en el sector industrial ya que no grava su principal carga contaminante, la DQO. De hecho al hacer zoom sobre las cargas vertidas por el sector industrial se encuentra que el 67% corresponden a DQO, mientras que solo el 22% corresponden a DBO (IDEAM, 2018), la cual si está gravada con TR.

En cuanto a la distribución espacial de las cargas contaminantes vertidas se tiene que los departamentos que más generaron carga doméstica en 2016 fueron Bogotá, Antioquia, Valle del Cauca y Atlántico, mientras que los departamentos que más vertieron cargas contaminantes industriales fueron Bolívar, Valle del Cauca y Atlántico (IDEAM, 2018).

Se han desarrollado en los últimos años algunos estudios asociados a evaluar la efectividad de la TR en Colombia, entre ellos se destaca:

Vasco, Tobón & Vargas (2018) quienes para una cuenca hidrográfica en particular desarrollan un modelo de equilibrio general con capital natural. En el análisis de la TR los autores resaltan que desde la fijación de la tarifa mínima en 1998, que el valor apenas ha sobrepasado el umbral de los 100 COP/kg DBO, lo que es considerablemente bajo en comparación con el impacto ambiental que puede ocasionar este contaminante, así como la no generación de incentivos a descontaminar, asimismo, la eficiencia en el monitoreo y el recaudo de la tasa es baja. El número de usuarios objeto de cobro son pocos en comparación con todos los agentes que vierten sobre los cuerpos de agua (Vasco, Tobón & Vargas, 2018). Por su parte Méndez-Sayago, Méndez-Sayago & Hernández-Escolar (2017), evaluaron el impacto de las tarifas de la tasa retributiva para el control de vertimientos en Colombia, encontrando que para que la TR asociada a DBO y SST tenga efecto se debe incrementar en más de un 50%, ya que sus valores actuales son muy bajos y el productor no los percibe como un verdadero costo de la contaminación.

Beltrán (2015), evaluó el caso particular del comportamiento de la facturación y el recaudo de la TR en el departamento de Caquetá, encontrando que la tasa retributiva no tiene un gran impacto sobre los presupuestos. Al realizar el análisis comparativo sobre los ingresos obtenidos en cada uno de los años objeto de estudio, el cobro de tasas retributivas requiere de un mandato y mecanismos ágiles que les permitan a las autoridades ambientales coordinar desde las distintas instancias gubernamentales y niveles del gobierno, la ejecución de estos recursos, y de la coherencia con que estos mecanismos pueden generar una estructura dentro de las políticas ambientales que permitan una mejor gestión ambiental en cuanto al manejo de los recursos financieros.

En 2013 se desarrolló el estudio sobre la efectividad de impuestos, tasas, contribuciones y demás gravámenes existentes para la preservación y protección del ambiente, así como de la identificación y viabilidad de nuevos tributos por la emisión de efluentes líquidos y de gases contaminantes y de efecto invernadero (MADS, MHCP & Colciencias, 2013). En este estudio se evaluó el funcionamiento de la TR en tres frentes: 1) efectividad institucional de la implementación, 2) efectividad ambiental, 3) eficiencia económica. MADS, MHCP & Colciencias (2013) destacan que la implementación de la tasa ha producido externalidades positivas relacionadas con la generación de capacidad técnica al interior de las autoridades ambientales y mejoras en cuanto al nivel de información disponible, así como en lo relacionado con el conocimiento que han acumulado dichas autoridades sobre sus usuarios y las características de sus vertimientos, lo cual ha redundado en un seguimiento más efectivo de las descargas contaminantes realizadas y un mayor autocontrol de las mismas.

Galarza-García (2009) realizaron el estudio “Análisis de la efectividad de las tasas retributivas en Colombia: estudio de caso”. De las recomendaciones generadas se resalta que para que los instrumentos de política sean útiles es necesario hacerles seguimiento y efectuar los ajustes correspondientes. Para tal fin es preciso contar con información veraz y oportuna que permita establecer la

eficacia de dichos instrumentos. Debido a que Colombia no cuenta con un sistema de información bien constituido, hacer seguimiento exhaustivo a las políticas ha sido una tarea casi imposible de realizar. En el caso específico de las tasas retributivas la falta de un sistema de información unificado y un seguimiento activo por parte del Ministerio, ha generado que no se tenga disponible información para poder hacer un seguimiento de la implementación de la tasa a nivel nacional.

Mucho más atrás, en 2003, se evaluó el caso particular de la implementación de la TR en el departamento de Antioquia, mediante el estudio “Evaluación del proceso de implementación y cobro de tasas retributivas por vertimientos hídricos en el departamento de Antioquia” (González-Ceballos & Bedoya-Agudelo 2003), con información de Corantioquia, Cornare y Corpourabá. En este estudio se encontró que para el caso particular de Antioquia, la TR ha logrado impactos positivos en lo ambiental, lo económico y el fortalecimiento institucional.

## Metodología

Los resultados a presentar en este documento se obtienen a partir de una base de datos sobre TR originaria del MADS, la cual corresponde a los reportes de seguimiento a la TR de 34 Autoridades Ambientales –AA– a nivel nacional, compartida a los autores por parte del economista Guillermo Rudas en el marco de la Misión de Crecimiento Verde –MCV–. Esta base de datos contiene 24 084 registros de usuarios de TR en Colombia para el periodo 2010-2015.

Aunque se cuenta con una gran fuente de información, se encontraron varios problemas para el análisis de datos. El primer problema tiene que ver con que algunas AA, no reportan la información en el formato solicitado por el MADS, por lo que se debía adaptar sus reportes a este formato para poder agregar la información, por ejemplo, para una de las CAR analizadas su formato tan solo proveía información de facturación y recaudo.

El segundo problema tiene que ver con la continuidad de la información a través del tiempo, se encontró para varias CAR que no contaban con todos los reportes anuales del periodo 2010-2015.

El tercer problema tiene que ver con la continuidad de la información a través de usuarios y de variables. Se encontró para todas las CAR espacios vacíos, incluso columnas completas de variables clasificadas por usuarios sin información. La base de datos original contiene 24 084 registros de 22 variables, para un total de 529 848 datos, pero dados los problemas mencionados, se encuentra que faltan 167 553 datos, que equivalen al 31.62% de la información.

En la tabla 2 se presentan los años sin información de las CAR que presentaban al menos un año sin información y en la tabla 3 se presenta el número de datos faltantes por variable.

**Tabla 2.** Años sin reportar. CAR, 2010-2015

CAR	Años sin reportar
CARSUCRE	2013, 2014, 2015
CAS	2012
CDA	2011
CORALINA	2013, 2014, 2015
CORANTIOQUIA	2010
CORPOBOYACÁ	2010
CORPOCALDAS	2011
CORPOCÉSAR	2012
CORPOGUAJIRA	2014
CORPONARIÑO	2011
CORPORINOQUIA	2011
CORPOURABÁ	2012
CRQ	2011, 2012, 2013
CRC	2010, 2011, 2012, 2015
CVC	2012
CVS	2012

Fuente: elaboración y cálculos propios a partir de datos del MADS.

**Tabla 3.** Total CAR. Datos faltantes por variable, 2010-2015

Variable	Número de registros faltantes
Cuenca y Tramo	1636
Nombre usuario	39
Municipio donde el usuario realiza el vertimiento	555
Código del sector económico al que pertenece (CIIU Revisión 3)	6881
Tipo de meta de reducción	7521
Tipo de autorización	14 189
Factor regional DBO vigente	1873
Factor regional SST vigente	1920

Variable	Número de registros faltantes
Caudal vertido (m3/año)	11 572
Carga de DBO5 de línea base (kg/año) (calculada bajo el Decreto 3100/03)	9407
Carga de DBO5 esperada al final del quinquenio (kg/año)	9840
Carga actual de DBO5 (kg/año calendario)	734
Carga de SST de línea base (kg/año)	9316
Carga de SST esperada al final del quinquenio (kg/año)	9385
Carga actual de SST (kg/año calendario)	605
Facturación DBO5	788
Facturación SST	796
Facturación total	88
Recaudo total (DBO5 + SST)	9413
Valor acuerdos de pago	23820
Duración del acuerdo de pago y fecha de inicio	24060
Valor cobros coactivos	23095

Fuente: elaboración y cálculos propios a partir de datos del MADS.

Así entonces, se tomó la decisión de construir una nueva base de datos que siguiera manteniendo la temporalidad 2010-2015, pero donde los individuos fueran los municipios donde se presentaban vertimientos objeto de cobro de TR, obteniendo así una base de datos con 911 municipios, para los cuales se estimó el promedio de carga de Demanda Biológica de Oxígeno –DBO– y promedio de carga de Sólidos Suspendedos Totales –SST– que llegan a sus cuerpos de agua, así como el promedio de TR cobrada a cada una de estas cargas contaminantes en cada municipio.

El objetivo de la nueva base de datos es entonces poder observar el comportamiento conjunto de las cargas contaminantes gravadas con TR, y este instrumento económico.

### Modelo a estimar

El modelo econométrico de la TR pretende estimar variaciones porcentuales, entonces, se deben implementar dos regresiones: la primera donde la variable dependiente es el logaritmo de la media del nivel de vertimientos DBO del municipio  $i$  en el momento  $t$  ( $carga\_DBO_{it}$ ) y la variable explicativa es el logaritmo de la media de la TR aplicada en el municipio  $i$  en el momento  $t$  ( $tr\_DBO_{it}$ ) y una segunda regresión, donde la variable dependiente es el logaritmo de la media del nivel de vertimientos de SST del municipio  $i$  en el momento  $t$  ( $carga\_SST_{it}$ ) y la variable explicativa, el logaritmo de la media de la TR aplicada en el municipio  $i$  en el momento  $t$  ( $tr\_SST_{it}$ ).

Un ejercicio similar fue desarrollado por Galarza-García (2009), quienes con información sobre cargas vertidas y TR cobrada por tres CAR para usuarios industriales, plantearon un panel de datos balanceado y estimaron modelos log-log que permitieran estimar el impacto de la TR sobre las cargas contaminantes.

De este modo, los modelos que se deberían estimar son [2] y [3].

$$\log \log (\text{carga\_DBO}_{it}) = a + \log \beta_1 \log (\text{tr\_DBO}_{it}) + u_{it} \quad [2]$$

$$\log \log (\text{carga\_SST}_{it}) = a + \log \beta_1 \log (\text{tr\_SST}_{it}) + u_{it} \quad [3]$$

Pero existe el problema que dada la gran cantidad de datos faltantes, tanto a nivel de municipios como a nivel de CAR, no hay registros de todos los años correspondientes al periodo 2010-2015, y se considera importante construir variables dummy  $car_{it}$ , tal que tomen el valor de 1 si el dato corresponde a la CAR  $i$  en el momento  $t$  y que tomen valor de 0 en otro caso, con el fin de tener en cuenta las posibles diferencias de las cargas DBO y SST explicadas por la CAR. De este modo los modelos a estimar son [4] y [5]:

$$\log \log (\text{carga\_DBO}_{it}) = a + \log \beta_1 \log (\text{tr\_DBO}_{it}) + \delta_1 car1_{it} + \delta_2 car2_{it} + \dots + \delta_n carn_{it} + u_{it} \quad [4]$$

$$\log \log (\text{carga\_SST}_{it}) = a + \log \beta_1 \log (\text{tr\_SST}_{it}) + \delta_2 car1_{it} + \delta_3 car2_{it} + \dots + \delta_n carn_{it} + u_{it} \quad [5]$$

Estos modelos contienen 28 variables  $car_{it}$ , asociadas a 28 CAR que tienen en la base de datos final al menos un municipio de su jurisdicción en al menos un año del periodo 2010-2015.

### Método de estimación

Suponiendo que las variables explicativas son exógenas, se puede plantear un panel estático, con tres posibles estimaciones. La primera es un modelo *pooling* OLS el cual no toma en cuenta la estructura de panel de datos y hace una estimación por mínimos cuadrados suponiendo datos de corte transversal. En el ejercicio planteado por Galarza-García (2009), solo se desarrolló una estimación por Mínimos Cuadrados Ordinarios –OLS– o *pooling* OLS.

La segunda es una estimación de efectos fijos individuales, la cual contempla la posibilidad que características invariantes en el tiempo, pero que varían entre individuos, provoquen que el fenómeno no se pueda estandarizar en una sola forma funcional, por lo que estima interceptos diferentes para cada individuo y una pendiente común, generando  $N$  modelos diferentes. La estimación del modelo de efectos fijos se hace por medio de la metodología *Within* que consiste en un modelo de desviaciones de la media.

La tercera estimación es efectos aleatorios, la cual al contrario que efectos fijos, contempla que las características invariantes en el tiempo, pero que varían entre individuos, se pueden estandarizar en una sola forma funcional, por lo que calculan un intercepto medio para todos los individuos y una pendiente común como lo hace efectos fijos, generando así un solo modelo.

Para elegir cuál de los tres modelos es el más adecuado, se someten a pruebas de hipótesis comparativas como se muestra en [6]. De los resultados de estas pruebas de hipótesis se determina finalmente que modelo será utilizado.

[6]. Pruebas de hipótesis para selección de modelos de datos panel

Prueba 1. Breusch-Pagan test o test de multiplicadores de Lagrange (Montero, 2011):

*H<sub>0</sub>: pooling OLS es adecuado*

*H<sub>1</sub>: pooling OLS no es adecuado*

Si resulta que el modelo *pooling* no es adecuado se aplica la prueba 2:

Prueba 2. Hausman test (Montero, 2011):

*H<sub>0</sub>: efectos aleatorios es el más adecuado*

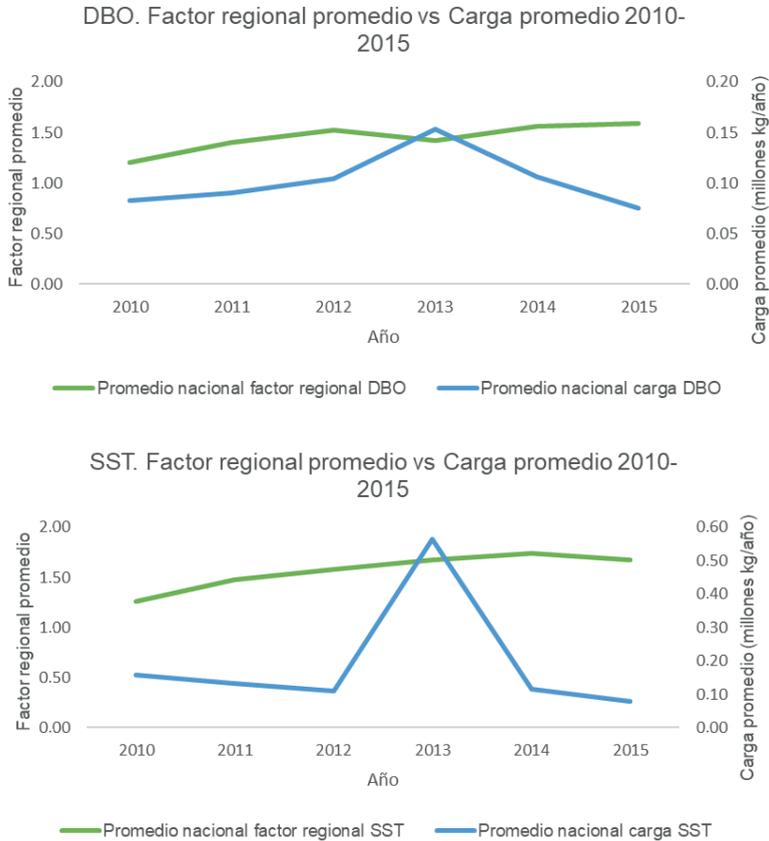
*H<sub>1</sub>: efectos fijos es el más adecuado*

Todos los modelos estimados y pruebas aplicadas se trabajaron en el software estadístico R.

## Resultados

Para verificar la hipótesis que la TR no ha logrado su objetivo de desincentivar los vertimientos en los cuerpos de agua del país, se inicia con el cálculo del coeficiente correlación lineal de Pearson entre el factor regional promedio y carga contaminante promedio a nivel nacional tanto para DBO como para SST encontrando que para el caso de DBO este coeficiente de correlación es de 0.034 y para el caso de SST es de 0.181, el comportamiento conjunto de estas variables se puede observar en la figura 1. Dado el diseño del instrumento, que indica que las variaciones en el factor regional son función del cumplimiento de las metas de carga contaminante, sería de esperar una correlación más alta, lo que refuerza la idea que el bajo crecimiento del factor regional se debe a dificultades de implementación por parte de las CAR y no a que los usuarios estén cumpliendo las metas. De hecho, en el año 2013 se observa un fuerte aumento en la concentración de ambas cargas sin que el factor regional reaccione en el 2013 ni en años posteriores a este fenómeno.

**Figura 1.** Colombia. Evolución 2010-2015 del factor regional promedio asociado a DBO y SST y sus respectivas cargas promedio



Fuente: elaboración y cálculos propios a partir de datos del MADS.

En cuanto a la relación entre la actividad económica y la generación de vertimientos contaminantes en los cuerpos de agua, se presenta figura 2 la cual muestra la distribución de las cargas contaminantes de DBO y SST vertidas en el año 2015. Se observa una alta participación del sector doméstico en la generación de vertimientos de las sustancias gravadas por la TR –superior al 70% en ambos casos– mientras que sectores como el industrial y el minero que se consideran potencialmente contaminantes del recurso hídrico tienen participaciones mínimas. Esto puede ocurrir por dos causas: 1) tanto DBO como SST son cargas contaminantes propias del sector doméstico mientras que los demás sectores se caracterizan por generar otro tipo de contaminantes, 2) el sector doméstico está compuesto por las Empresas de Servicios Públicos –ESP– lo que facilita el censo de usuarios, razón por la cual la cobertura de medición en este sector es más alta.

**Figura 2.** Colombia. Distribución de la generación de cargas contaminantes por sectores económicos 2015



Fuente: elaboración y cálculos propios a partir de información del MADS.

Otra variable importante al momento de analizar la situación de la TR en Colombia es el recaudo, el cual permite intuir el nivel de eficiencia de la CAR al momento de hacer efectivo el instrumento en los usuarios de puntos de vertimiento en su jurisdicción. Para el periodo 2010-2015 el recaudo promedio por usuario de puntos de vertimiento del instrumento –tanto recaudo por concepto de DBO y SST– fue del 46.46% de lo facturado. En la figura 3 se presenta en términos totales la evolución de la facturación y el recaudo en el periodo 2010-2015, encontrando que en total el recaudo fue del 27% de lo facturado. El aumento extraordinario en la facturación del año 2013 puede deberse al aumento en las cargas contaminantes de DBO y SST de este mismo año –figura 1–, aun así, el recaudo no aumentó.

**Figura 3.** Colombia. Facturación y recaudo de TR, 2010-2015  
TR. Facturación vs Recaudo



Fuente: elaboración propia a partir de información del MADS.

Una vez observado el comportamiento de las variables más relevantes asociadas a la implementación de la TR en Colombia, se pasa a la estimación del modelo que permita conocer el impacto que tiene el cobro de la TR sobre la generación de vertimientos de carga contaminante en los cuerpos de agua en el país.

Recordando [4] y [5] presentadas en la metodología, los modelos a estimar son:

$$\log \log (carga\_DBO_{it}) = a + \log \beta_1 \log (tr\_DBO_{it}) + \delta_1 car_{1it} + \delta_2 car_{2it} + \dots + \delta_n carn_{it} + u_{it} \quad [4]$$

$$\log \log (carga\_SST_{it}) = a + \log \beta_1 \log (tr\_SST_{it}) + \delta_2 car_{1it} + \delta_3 car_{2it} + \dots + \delta_n carn_{it} + u_{it} \quad [5]$$

Donde:

- $carga\_DBO_{it}$ : media de la carga DBO generada por los usuarios del municipio  $i$  en el año  $t$  —millones kg/año—.
- $tr\_DBO_{it}$ : media de la TR por concepto de DBO aplicada a los usuarios del municipio  $i$  en el año  $t$  —COP—.
- $carga\_SST_{it}$ : media de la carga SST generada por los usuarios del municipio  $i$  en el año  $t$  —millones kg/año—.
- $tr\_SST_{it}$ : media de la TR por concepto SST aplicada a los usuarios del municipio  $i$  en el año  $t$  —COP—.
- $car\_i$ : conjunto de variables dummy que toman valor de 1 si el municipio pertenece a la CAR  $i$  y 0 en otro caso.

Antes de realizar la estimación de los modelos, se calcula el coeficiente de correlación lineal de Pearson entre  $\log \log (carga\_DBO5)$  y el  $\log \log (tr\_DBO5)$  encontrando que es de -0.053, indicando una asociación lineal negativa muy débil entre estas variables y el coeficiente de correlación lineal de Pearson entre  $\log \log (carga\_SST)$  y el  $\log \log (tr\_SST)$ , encontrando que es de -0.034, que también es una asociación lineal muy débil entre estas variables.

Estos coeficientes de correlación refuerzan la sospecha que no se encontrará una relación fuerte entre los niveles de carga contaminante por DBO y SST y su respectiva TR en los modelos a estimar. En cuanto al signo esperado es ambiguo ya que las correlaciones son muy cercanas a cero.

Una vez calculados los coeficientes de correlación se procede con la estimación de los modelos *pooling* OLS, efectos fijos y efectos aleatorios. Para DBO se encuentra que los tres modelos estiman coeficientes positivos de la relación entre la TR y las cargas DBO, lo que indica una relación directa entre estas variables, contrario a lo inferido en el coeficiente de correlación de logaritmos, donde se esperaba una relación negativa; aun así, el coeficiente de correlación es muy cercano a cero lo que podría justificar el cambio de signo. Los coeficientes estimados para la relación entre las cargas DBO y su TR se presentan en la tabla 4.

**Tabla 4.** Modelos estimados para TR\_DBO por tipo de estimación

Tipo de estimación	Coefficiente estimado TR_DBO	Error estándar	P-valor	R <sup>2</sup> del modelo
Pooling OLS	0.087211	0.051465	0.090233	0.25692
Efectos fijos (Within)	0.129442	0.039677	0.001123	0.0030807
Efectos aleatorios	0.1250277	0.0386221	0.0012162	0.21574

Fuente: elaboración y cálculos propios.

Al aplicar el Breusch-Pagan test o test de multiplicadores de Lagrange se encontró que una regresión *pooling* no es adecuada, y al aplicar el test de Hausman, se encontró que existen diferencias estadísticamente significativas entre los coeficientes estimados por efectos fijos y efectos aleatorios, por lo que es más adecuado el modelo de efectos fijos, a pesar de tener un R<sup>2</sup> bajo, lo que ocurre en parte gracias a que el modelo de efectos aleatorios presenta muchos más regresores que el modelo de efectos fijos. Los resultados de estas pruebas se presentan en la tabla 5.

**Tabla 5.** Pruebas para selección de modelos TR\_DBO

Prueba	H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>	P-valor
Breusch Pagan test o test de multiplicadores de Lagrange	Pooling OLS es adecuado	Pooling OLS no es adecuado	<2.2e-16
Hausman Test	Efectos aleatorios es más adecuado	Efectos fijos es más adecuado	1.06E-04

Fuente: elaboración y cálculos propios.

El modelo de efectos fijos estima entonces que dado un aumento de 1% en la TR DBO se espera un aumento de 0.129442% en los niveles de carga contaminantes DBO. Y que existen diferencias en los niveles de carga DBO autónomas en cada municipio, ya que el modelo de efectos fijos estima un intercepto diferente para cada uno de ellos. El R<sup>2</sup> del modelo fue de solo 0.0030807, indicando que la TR no logra explicar ni siquiera el 1% de las variaciones de las cargas de DBO.

En el caso de SST, al estimar los modelos *pooling* OLS, efectos fijos y efectos aleatorios, se encuentra que los coeficientes asociados a la TR tienen signo positivo, igual que ocurrió con los modelos para DBO. Los coeficientes estimados indican una relación directa entre estas variables, mientras que el coeficiente correlación indica una relación inversa, esto es posible dado que el coeficiente correlación arrojó muy cercano a cero. En la tabla 6 se presenta los coeficientes estimados de la relación entre las cargas SST y su TR.

**Tabla 6.** Modelos estimados para TR\_SST por tipo de estimación

Tipo de Estimación	Coeficiente Estimado TR_SST	Error estándar	P-valor	R <sup>2</sup> del modelo
Pooling OLS	0.185605	0.052282	0.0003892	0.2079
Efectos fijos (Within)	0.203003	0.043059	2.52E-03	0.0097885
Efectos Aleatorios	0.198486	0.041583	1.87E-06	0.19464

Fuente: elaboración y cálculos propios.

Al aplicar el Breusch-Pagan test o test de multiplicadores de Lagrange se encontró que una regresión *pooling* OLS no es adecuada y al aplicar el test de Hausman se encontró que existen diferencias estadísticamente significativas entre los coeficientes estimados por efectos fijos y efectos aleatorios, por lo que es más adecuado el modelo de efectos fijos, a pesar de su pequeño R<sup>2</sup>. Los resultados de estas pruebas se presentan en la tabla 7.

**Tabla 7.** Pruebas para selección de modelos TR\_SST

Prueba	H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>	P-valor
Breusch Pagan test o test de multiplicadores de Lagrange	Pooling OLS es adecuado	Pooling OLS no es adecuado	<2.2e-16
Hausman test	Efectos aleatorios es más adecuado	Efectos fijos es más adecuado	1.19E-05

Fuente: elaboración y cálculos propios.

El modelo de efectos fijos estima entonces que dado un aumento de 1% en la TR SST se espera un aumento de 0.203003% en las cargas contaminantes SST. El R<sup>2</sup> de este modelo es de tan solo 0.0097885 lo que indica que la TR no logra explicar ni siquiera el 1% de las variaciones de las cargas SST.

En conclusión, tanto para la DBO como para los SST el mejor modelo fue el de efectos fijos. En general los resultados muestran que la TR no está logrando su objetivo de ser incentivo a la reducción de cargas contaminantes dado que según el bajo R<sup>2</sup> de los modelos, la TR no está explicando el comportamiento de las cargas contaminantes. Si bien los R<sup>2</sup> de los modelos aleatorios son más altos que los R<sup>2</sup> de los modelos de efectos fijos, esto ocurre gracias a que efectos aleatorios están tomando en cuenta los regresores adicionales por CAR mientras que efectos fijos no.

## Análisis de resultados

El resultado de los modelos de TR tanto para DBO como para SST es similar al encontrado por Galarza-García (2009) quienes con un panel más pequeño –tres CAR– y un modelo de primeras diferencias, también encontraron coeficientes positivos de la relación de la TR con los niveles DBO y SST, cuyos R<sup>2</sup> eran inferiores a 0.05, por lo que declararon sus resultados como no concluyentes.

El hecho que la TR no esté logrando su objetivo de manera completa, puede estar explicada por varias hipótesis que requieren un estudio más amplio de la situación. Algunas de las razones son las siguientes:

Las variaciones del factor regional están en función del cumplimiento de las metas de reducción de vertimientos contaminantes a los cuerpos de agua, pero si las CAR no pueden verificar el cumplimiento de estas metas con una periodicidad adecuada, o incluso ni siquiera las establecen, entonces en los casos donde no se actualice el factor regional por falta de información, las variaciones de la TR tan solo serán el reflejo del costo marginal de remoción y tratamiento de aguas y no del daño marginal causado por los vertimientos, por lo que si el costo marginal de remoción es bajo y por lo tanto la TR también, las empresas preferirán mantener o incluso aumentar los niveles de vertimientos y pagar la TR, antes que mejorar sus tecnologías de producción o al menos instalar Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales –PTAR– propias que posiblemente representen un costo mayor.

Otro problema importante que puede explicar el no funcionamiento de la TR está relacionado con la gestión por parte de las CAR. Este es un problema de institucionalidad, en el sentido que se refiere a la capacidad de la CAR para ejercer autoridad y aplicar los instrumentos de manera eficiente, lo que puede ocurrir especialmente en las CAR más pequeñas y de regiones más apartadas del país. Evidencia de este problema pueden ser los bajos niveles de recaudo –figura 3–, donde para el periodo 2010-2015 el promedio de recaudo fue de 27%, es decir que más del 70% de los recursos que deberían estar recibiendo las CAR por concepto de TR no están siendo pagados por los usuarios de puntos de vertimiento; quienes no pagan, pero tampoco reducen sus cargas contaminantes.

Además, si las CAR no reciben el recurso financiero esperado, seguirán perdiendo capacidad institucional en el sentido que se dificulta ejercer las funciones de vigilancia y control sobre los cuerpos de agua, lo que está estrechamente relacionado con el problema de la no actualización periódica del factor regional.

Relacionado también con la institucionalidad, existe el riesgo que la TR pase a ser un instrumento mucho más financiero que económico. Esto puede ocurrir con tasas bajas que hacen que el costo de oportunidad para los usuarios de reducir los niveles de vertimientos sea mayor al costo de oportunidad de pagar la TR, lo que al final mantiene estable o aumenta los niveles de cargas contaminantes vertidas a los cuerpos de agua y por ende el recurso financiero obtenido por las CAR por concepto de la TR.

Otros problemas institucionales que afectan el buen funcionamiento de la TR pueden ser los identificados por Rudas (2005) referentes a la desarticulación de las normas del agua de los sistemas de ordenamiento territorial y una limitada capacidad de sanción a quienes no cumplen las normas de vertimiento.

Por otra parte, los costos futuros asociados a la contaminación del agua dependen del tipo de usuario, por ejemplo, para las empresas conlleva un aumento de los costos de producción, dado que la contaminación reduce a futuro la disponibilidad del recurso hídrico y aumenta su precio. Mientras que para las administraciones municipales encargadas de la operación de las empresas de acueducto y alcantarillado y por ende de los vertimientos, el costo futuro está asociado a problemas de salud de la población, lo que aumenta el costo de atención, además del deterioro de actividades económicas propias de cada municipio por problemas de disminución de la productividad agrícola, reducción de las zonas de pesca, contaminación de zonas turísticas, entre otros.

## Conclusiones

A partir de los resultados de los modelos de TR tanto para DBO como para SST se identifica que aún no se ha logrado una estrategia para lograr que la TR sea más efectiva, lo que abre la pregunta de si es necesario un instrumento de Ley que modifique el funcionamiento y aplicación de la TR en el país. El hecho que la TR no esté logrando el objetivo de ser un instrumento económico que incentive la reducción de cargas contaminantes vertidas a los cuerpos de agua puede estar explicada por varias hipótesis que requieren un estudio más amplio de la situación.

Algunas de ellas están relacionadas con la verificación en el cumplimiento de las metas de reducción, con la capacidad de gestión por parte de las Corporaciones Autónomas Regionales –CAR–, con la funcionalidad del instrumento en relación con ser un instrumento financiero y no económico.

Específicamente, el tema de la capacidad institucional es fundamental para cualquier programa de gestión y regulación ambiental. Los instrumentos económicos como la TR no funcionan por si solos, es necesario que los entes encargados de aplicarlos tengan claro el objetivo de los instrumentos y, además, que logren ejercer vigilancia, control y sanción, y producir información de calidad y en los tiempos adecuados a fin de evaluar y detectar los problemas en la aplicación de los instrumentos para corregirlos a tiempo. Ante la ausencia de vigilancia, control y sanción, los usuarios tendrán el incentivo a la evasión y la efectividad del instrumento se pierde.

Finalmente, es necesario evaluar los esfuerzos realizados en el tema de educación ambiental, el cual es un complemento fundamental a los instrumentos económicos como la TR. Los usuarios de puntos de vertimiento posiblemente tienen una visión de corto plazo, en ese sentido, hacen la evaluación costo-beneficio de verter cargas contaminantes en los cuerpos de agua, solo tomando en cuenta el costo presente, es decir, el pago de la TR; pero si el usuario de puntos de vertimientos toma en cuenta el costo futuro asociado a la contaminación del agua, es posible que cambie su decisión y reduzca los vertimientos.

Además, también es necesario evaluar el valor de la TR, en el sentido que logre ser un valor costo efectivo que incentive a los usuarios a reducir los vertimientos a los cuerpos de agua.

Aun así, los instrumentos económicos como la TR, son incentivos adecuados para la reducción de los vertimientos contaminantes en los cuerpos de agua, ya que son quienes introducen la racionalidad del agente económico en el problema de la contaminación y permiten hacer óptima la decisión de reducirla por medio de la implementación de tecnologías de producción más limpias, entre otras.

Es posible que gran parte de las dificultades de la implementación de la TR no necesariamente sean porque el instrumento es ineficiente, sino porque su aplicación posiblemente no se esté haciendo de forma adecuada por problemas de institucionalidad, dificultades técnicas para la actualización del factor regional y falta de esfuerzos en generación de conciencia ambiental en los usuarios de puntos de vertimientos.

## Recomendaciones

A partir de la evaluación del funcionamiento de la TR como instrumento económico desarrollada por los autores en el marco de la consultoría Productividad del Agua, el tratamiento de aguas residuales y el reúso en Colombia de la MCV (Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA), 2018b), los autores generan una serie de recomendaciones para mejorar la implementación del instrumento en el país. Entre estas recomendaciones se destaca complementar la fórmula de cálculo de la TR, si bien es cierto que la fórmula actual de la TR logra incorporar la racionalidad del agente económico bajo el principio del que contamina paga, se sugiere involucrar criterios adicionales a los actuales como los siguientes:

- Gravamen para contaminantes además de DBO y SST, como por ejemplo DQO y nutrientes, a fin de lograr aumentar impacto de la TR sobre cargas contaminantes de sectores como el industrial manufacturero y el minero.
- El cálculo actual de la tarifa mínima a pagar para el caso de la TR está en función de los costos marginales de remoción de los contaminantes gravados, es importante que esta tarifa mínima tenga criterios de cálculo adicionales relacionados con las externalidades negativas derivadas de los vertimientos a los cuerpos de agua y el costo marginal social, como los son los daños a la salud humana y la degradación del medio ambiente. Si bien no se puede conocer con exactitud el costo de estas externalidades, la fórmula de TR podría incluir variables que lo aproximen, continuando así con su enfoque de eficiencia sin optimalidad.
- Como los vertimientos tienen mayor impacto en los tramos de caudal bajo, se recomienda incluir en el cálculo de la TR un parámetro asociado al orden de corriente el cual genere un cobro mayor en los tramos de cuenca con menor caudal.

## Referencias

- [1] Beltrán, J. J. (2015). Impacto de los ingresos por tasas retributivas en el departamento del Caquetá, Colombia. *Sotavento*, 26, 70–80. Recuperado de <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/sotavento/article/view/4688/5439>
- [2] Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA). (2017). *Diagnóstico de los determinantes que inciden en la productividad del agua, la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales y el reúso en Colombia*. Recuperado de [https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Agua/20180422\\_DIAGNOSTICO\\_Vfinal.pdf](https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Agua/20180422_DIAGNOSTICO_Vfinal.pdf)
- [3] Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA). (2018a). *Informe de priorización de los elementos críticos para mejorar la productividad del agua y la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales y el reúso en Colombia*. Recuperado de [https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Agua/INFORME\\_PRIORIZACION\\_12\\_02\\_18.pdf](https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Agua/INFORME_PRIORIZACION_12_02_18.pdf)
- [4] Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA). (2018b). *Propuestas de acciones y recomendaciones para mejorar la productividad del agua, la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales y el reúso de agua en Colombia*. Recuperado de [https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Agua/INFORME\\_PROPUUESTAS\\_FINAL\\_18\\_05\\_18.pdf](https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Agua/INFORME_PROPUUESTAS_FINAL_18_05_18.pdf)
- [5] Congreso de la República. (22 de diciembre de 1993). *Por 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 99 de 1993]. DO: 41146. Recuperado de [http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_0099\\_1993.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0099_1993.html)
- [6] Correa-Restrepo, F., Vasco-Ramírez, A. F. & Pérez-Montoya, C. (2005). La Curva Medioambiental de Kuznets: evidencia empírica para Colombia. *Semestre Económico*, 8(15), 13–30. Recuperado de <http://revistas.udem.edu.co/index.php/economico/article/view/1104/1075>
- [7] Departamento de Planeación Nacional (DNP). (2018). *Conpes 3934. Política de crecimiento verde*. Recuperado de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Economicos/3934.pdf>
- [8] Galarza-García, M. A. (2009). *Análisis de la efectividad de las tasas retributivas en Colombia. Estudio de caso* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/economia/tesis147.pdf>
- [9] González-Ceballos, M. M., & Bedoya-Agudelo, R. (2003). Evaluación del proceso de implementación y cobro de tasas retributivas por vertimientos hídricos en el departamento de Antioquia. *Semestre Económico*, 6(11), 1-27. Recuperado de <https://revistas.udem.edu.co/index.php/economico/article/view/1375>
- [10] Ibañez, A. M. (s.f.). *Eficiencia sin optimalidad*. Universidad de los Andes. Recuperado de [https://economia.uniandes.edu.co/files/profesores/ana\\_maria\\_ibanez/docs/Economia%20Ambiental%20Avanzada/Apuntes%20de%20Clase/Eficiencia\\_sin\\_optimalidad.pdf](https://economia.uniandes.edu.co/files/profesores/ana_maria_ibanez/docs/Economia%20Ambiental%20Avanzada/Apuntes%20de%20Clase/Eficiencia_sin_optimalidad.pdf)

- [11] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2018). *Reporte de avance del estudio nacional del agua 2018*. Recuperado de [http://www.andi.com.co/Uploads/Cartilla\\_ENA\\_%202018.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/Cartilla_ENA_%202018.pdf)
- [12] Méndez-Sayago, J. M., Méndez-Sayago, J. A. & Hernández-Escolar, H. A. (2017). El impacto de las tasas retributivas para el control de vertimientos en Colombia. *Apuntes del CENES*, 36(64), 167-198. <https://doi.org/10.19053/01203053.v36.n64.2017.5314>
- [13] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (21 de diciembre 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*. [Decreto 2667 de 2012]. DO: 48651. Recuperado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=51042>
- [14] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2017). *Tasa Retributiva por vertimientos puntuales 1997-2017*. Recuperado de [http://www.minambiente.gov.co/images/NegociosVerdesySostenible/pdf/tarifas\\_retributivas/Tarifa\\_m%C3%ADnima\\_Tasa\\_Retributiva\\_por\\_Vertimientos\\_Puntuales\\_al\\_Agua.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/NegociosVerdesySostenible/pdf/tarifas_retributivas/Tarifa_m%C3%ADnima_Tasa_Retributiva_por_Vertimientos_Puntuales_al_Agua.pdf)
- [15] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Ministerio de Hacienda y Crédito Público (MHCP), & Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias). (2013). *Estudio sobre la efectividad de impuestos, tasas, contribuciones y demás gravámenes existentes para la preservación y protección del ambiente, así como de la identificación y viabilidad de nuevos tributos por la emisión de efluentes líquidos, gases contaminantes y gases de efecto invernadero*.
- [16] Montero, R. (2011). *Efectos fijos o aleatorios: test de especificación*. Documentos de Trabajo en Economía Aplicada, Universidad de Granada. Recuperado de <https://www.ugr.es/~montero/matematicas/especificacion.pdf>
- [17] Pigou, A. (1946 [1920]). *The Economics of Welfare*. Barcelona: Aguilar.
- [18] Rudas, G. (2005). *Comentarios sobre concesiones y permisos, tasas ambientales e instrumentos financieros en la legislación del agua*. Foro Nacional Ambiental. Recuperado de <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/06474.pdf>
- [19] Vasco, C. A., Tobón, D. & Vargas, J. H. (2018). Impuestos ambientales diferenciados espacialmente en Colombia: un modelo teórico de equilibrio general con capital natural. *Cuadernos de Economía*, 37(74), 589-624. <https://doi.org/10.15446/cuad.econ.v37n74.61553>
- [20] Villegas, C. I., Castiblanco, C., Borrouet, L. M. & Vidal, L. M. (2006). El programa de tasas retributivas en Colombia y el fortalecimiento institucional de las Corporaciones Autonomas Regionales. *Gestión y Ambiente*, 9(1), 7-24. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/52084>