



**Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas
Departamento de Economía**

**Instrumentos Económicos y Regulación de la Contaminación Industrial:
Primera aproximación al caso del río Bogotá (Colombia)**

Guillermo Rudas Lleras

Bogotá, Julio de 2006

SEGUNDO CONGRESO LATINOAMERICANO DE
ECONOMISTAS AMBIENTALES Y DE RECURSOS NATURALES

Oaxaca, México
18 a 20 de marzo de 2005

**Instrumentos Económicos y Regulación de la Contaminación Industrial:
Primera aproximación al caso del río Bogotá (Colombia)**

Guillermo Rudas Lleras
grudas@javeriana.edu.co

Profesor Titular, Departamento de Economía, Universidad Javeriana (Bogotá, Colombia)

Resumen

Se parte de asumir 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. De esta forma el nivel de reducción agregado se obtendrá al menor costo posible, debido a que todas las firmas asumirán los mismos costos marginales de manejo de sus vertimientos. En términos empíricos se estima una función de costos de plantas de tratamiento para una muestra de firmas manufactureras que operan actualmente estas plantas. Con esta función se simulan escenarios para una muestra ampliada de firmas, frente a distintos niveles de tarifas de las tasas. Se estiman así los comportamientos de firmas con costos marginales superiores a la tarifa y de las firmas con costos marginales inferiores a la misma tarifa. El resultado obtenido es que si se cobra la tarifa mínima que fija la norma vigente en Colombia, el impacto sería neutro; pero con la tarifa máxima permitida, se obtendría reducciones netas de alrededor del 50% de los vertimientos actuales.

Clasificación JEL: D62 H23 K32 Q52

1. Introducción^(*)

Con este trabajo se busca identificar, como primera aproximación, la potencialidad de los instrumentos económicos disponibles en Colombia para inducir cambios de comportamiento de la industria manufacturera en relación con los vertimientos de aguas servidas.

^(*) Este trabajo es resultado parcial del proyecto *Indicadores de Seguimiento de la Financiación de la Política Ambiental en Colombia*, adelantado por el Departamento de Economía de Universidad Javeriana en asocio con el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) Especial reconocimiento a Henry Rodríguez, María Carmenza González y Lina Barrios, quienes con su colaboración y procesamiento de información en el DANE hicieron posible este trabajo. Agradecimientos muy especiales a Jaime Tenjo Galarza, Juan Camilo Cárdenas y Francisco Alberto Galán Sarmiento, por sus valiosos comentarios, sugerencias y aportes. De todas formas los resultados aquí presentados son responsabilidad exclusiva del autor y no los comprometen ni a ellos ni a las instituciones que apoyaron la investigación.

Se parte de un modelo que ilustra la forma en que los cobros por cargas contaminantes inducen a una reducción de las mismas, si las firmas que las generan actúan como minimizadoras de costos. Con base en este marco se procede a estimar una función de costos de reducción de contaminación para una muestra de firmas manufactureras en Bogotá que disponen actualmente de plantas de tratamiento de aguas servidas. Esta estimación, con resultados altamente significativos, se lleva a cabo con base en información de los costos de tratamiento de aguas residuales en que incurren las firmas y de las condiciones técnicas de este tratamiento. Para tal efecto se trabaja con información de costos del tratamiento y de las características técnicas del mismo, reportada respectivamente por la *Encuesta Anual Manufacturera* aplicada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y por los monitoreos de vertimientos contaminantes que en su condición de autoridad ambiental efectúa directamente sobre las firmas el Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente del Distrito Capital (DAMA)

A partir de la función de costos así estimada, se procede entonces a identificar cuál sería la respuesta esperada de las firmas de la ciudad en un escenario de cobro de sus vertimientos a la red de alcantarillado, bajo el régimen de tasas retributivas por contaminación actualmente vigente en el país. Con base en estas estimaciones, aplicadas a 339 firmas para las cuales se dispone de información de vertimientos al alcantarillado, se identifican las reducciones de vertimientos que aplicarían aquellas firmas que operan bajo condiciones de costos marginales de reducción de vertimientos inferiores a las tarifas fijadas por la norma. Igualmente se identifica el comportamiento que para minimizar sus

costos asumirían aquellas firmas con costos marginales de reducción mayores que las tarifas, manteniendo o incrementando los niveles actuales de vertimientos.

Finalmente se sintetizan y comentan los resultados de diversos escenarios y se formulan algunas recomendaciones aplicables a la regulación de la contaminación por vertimientos de aguas residuales del sector productivo.

2. Enunciado del problema

La legislación ambiental en Colombia estableció desde 1974 el cobro de tasas retributivas por contaminación, a cargo de todas las actividades lucrativas que usan el agua, el aire o el suelo para depositar sus desechos contaminantes. Con base en la reforma ambiental de 1993 se reglamentó este instrumento de política para orientarlo a incentivar a los usuarios de los cuerpos de agua como receptores de contaminación, a reducir sus vertimientos. Uno de los aspectos más notorios de esta reforma se refiere a que incorpora a las empresas prestadoras del servicio de acueducto y alcantarillado dentro de los sujetos obligados a pagar estas tasas.

Además de establecer de manera directa el pago de las tasas a quien hace los vertimientos finales a los cuerpos de agua (la empresa de alcantarillado), con esta reforma se incorpora también de manera indirecta como pagador de las tasas a todo el sector productivo que emplea las redes de alcantarillado para disponer de sus vertimientos. En efecto, las empresas de acueducto y alcantarillado están obligadas a pagar a la autoridad ambiental las tasas retributivas en proporción a la cantidad de vertimientos finales que hagan a los cuerpos de agua. Pero además la regulación del sistema de tarifas de los servicios públicos vigente en el país, obliga a trasladar al usuario final de estos servicios

todos los costos de operación y de reposición de la inversión requeridos para la prestación del servicio. Por tanto están obligadas a trasladar a los usuarios finales, dentro de los cuales están las firmas comerciales y manufactureras, todos los costos de operación y reposición en que incurre la empresa que presta el servicio. Dentro de estos costos se incluyen por supuesto todos aquellos relacionados con el manejo de las aguas servidas, incluyendo los que se derivan del cumplimiento de la obligación de pagar las tasas por los vertimientos finales a los cuerpos de agua.

Los costos de prestación del servicio de alcantarillado dependen de manera proporcional de la cantidad de carga contaminante que se maneja en la red y que se deposita finalmente sobre el cuerpo de agua. Y esta carga depende de los vertimientos que hagan los usuarios de la red y que no logren ser removidos por las plantas de tratamiento operadas por el prestador del servicio. De allí que las tarifas del servicio de alcantarillado deberían fijarse de manera proporcional a los costos de manejo de la carga contaminante en que incurre la empresa prestadora del servicio. Estos costos dependen entonces de los costos en que incurran en el tratamiento de las aguas servidas y de las tasas que finalmente tienen que pagar por las cargas no removidas.¹

Si se aplicaran de manera adecuada estas normas, en las tarifas del servicio de alcantarillado se debería incorporar entonces los costos en que incurre la empresa de acueducto y alcantarillado por concepto de las tasas que paga a la autoridad ambiental. En síntesis debería cobrarse una tarifa por unidad de carga contaminante, y no solamente por el volumen de caudal vertido, por lo menos a los usuarios comerciales y manufactureros del servicio. De esta forma la señal económica de las tasas, orientadas a cobrar el servicio

¹ En el caso de la ciudad de Bogotá en la actualidad el servicio de alcantarillado se cobra únicamente en proporción a la cantidad de agua consumida, sin tener en cuenta la calidad de los vertimientos a la red de alcantarillado efectuados por el usuario.

proporcionalmente a la cantidad de contaminación, se trasladaría de manera adecuada a los generadores iniciales de esta contaminación.²

El sistema de tasas retributivas por contaminación vigente en Colombia opera bajo un mecanismo inspirado en el concepto de eficiencia sin optimalidad, tal como el propuesto por *Baumol & Oates (1973)* La autoridad nacional fija una tarifa mínima vigente para todo el país, la cual se indexa anualmente con base en el comportamiento del índice de precios al consumidor. A su vez cada autoridad ambiental regional establece una meta de reducción del total de vertimientos que se arrojan a un determinado cuerpo de agua, la cual debe ser alcanzada en un plazo de 5 años. Al finalizar cada año se verifica si la meta establecida ha sido alcanzada, tomando como referencia el total de vertimientos que recibe el respectivo cuerpo de agua. Si se logra la meta, la autoridad mantiene para todos los usuarios la tarifa del período inmediatamente anterior. Pero si no se logra alcanzar la meta de reducción fijada, la tarifa se incrementa igualmente para todos los usuarios del respectivo cuerpo de agua aplicándole un factor multiplicador previamente definido por la norma.

Con este instrumento se busca que cada firma regulada, actuando como minimizadora de costos, reduzca sus vertimientos hasta un punto en donde su costo marginal de reducirlos sea igual a la tasa que debe pagar por hacer el vertimiento. Si todas las firmas actúan de la misma manera, todas ellas terminarán manejando sus aguas residuales al mismo nivel de costos marginales. Se podría alcanzar así una meta de reducción de vertimientos previamente definida por la autoridad ambiental, al menor costo posible.

² Esto sería aplicable a las firmas comerciales y manufactureras, pero no necesariamente a los hogares. Estos últimos tienen una capacidad muy limitada para modificar sus vertimientos en función de los costos de uso de la red de alcantarillado, incluso si éste uso se cobrara de manera proporcional a la cantidad de contaminación vertida.

En el caso particular de la ciudad de Bogotá, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado está pagando a la autoridad ambiental tasas por sus vertimientos al río Bogotá cercanos a dos millones de dólares anuales. Sin embargo no transfiere de manera discriminada estos valores a sus propios usuarios. En el caso de las firmas comerciales y manufactureras que hacen vertimientos a la red de alcantarillado, éstas no reciben entonces la señal de precio como incentivo para reducir la contaminación en la fuente. Pagan el servicio de alcantarillado sólo en función de la cantidad de agua consumida, sin que se les cobre este servicio de manera proporcional a la magnitud de sus vertimientos contaminantes.

En este contexto, el objeto del presente trabajo es analizar el impacto potencial que podrían tener las tasas por contaminación como incentivo a la reducción de los vertimientos de las firmas comerciales y manufactureras. Es decir, analizar cuál podría ser la respuesta de estas firmas en el caso en que se les transfiriera de una manera adecuada el valor de las tasas como parte del valor a pagar por el uso de la red de alcantarillado.

Para tal efecto se estima la función de costos de reducción de vertimientos por parte de las firmas industriales. A partir de esta estimación se simula cuál podría ser el comportamiento de las firmas como minimizadoras de costos, si tuvieran que pagar el servicio de alcantarillado de manera proporcional a sus vertimientos de sustancias contaminantes a la red.

3. Metodología

Se aplica el principio formulado por *Baumol & Oates (1973)* de la posibilidad de alcanzar unos objetivos de política de regulación de la contaminación de las firmas

productivas al menor costo posible, sin necesidad de plantear como objetivo de la política alcanzar los niveles óptimos de contaminación. De esta forma se puede fijar como objetivo de política alcanzar un nivel de reducción de la contaminación establecido de manera relativamente arbitraria, pero logrando esta meta al menor costo posible. Se podrían así usar señal económica solamente para minimizar los costos de la regulación; y no necesariamente para alcanzar un nivel óptimo social de contaminación, en donde el costo marginal social por contaminar sea igual al beneficio neto marginal social derivado de la actividad que contamina.

Para analizar el impacto potencial que tendría un instrumento de esta naturaleza, se parte de estimar una función de costos totales del proceso de reducción de la contaminación industrial. Para tal efecto se analiza esta reducción llevada a cabo por la firma mediante una actividad auxiliar, orientada a disminuir los vertimientos a la red de alcantarillado, recurriendo a una planta de tratamiento de las aguas residuales generadas por la actividad productiva propiamente dicha.

Retomando la propuesta de estudios previos (*Dasgupta et al, 1996*) se estima una función de costos totales de la forma

$$C_k = e^{\alpha_0} Q^{\alpha_1} \prod_{i=1}^n p_i^{\gamma_i} \prod_{j=1}^m \left(\frac{S_{fj}}{S_{Tj}} \right)^{\beta_j} \quad (1)$$

donde

- C_k = costo total de la planta de tratamiento por la firma k
- Q = tamaño del proceso de tratamiento asumido por la firma k , medido en volumen de agua tratada
- p_i = precio del factor i usado en la planta de tratamiento por la firma k ($i = 1...n$)
- S_{Tj} = cantidad total del contaminante j generada por la firma k ($j = 1...m$)
- S_{fj} = cantidad final del contaminante j vertida por la firma k

$$S_{f,j} / S_{T,j} = \text{eficiencia técnica de la firma } k \text{ en el tratamiento del contaminante } j$$

Con base en esta función se aplica el principio de eficiencia sin optimalidad formulado por Baumol & Oates (1973) De esta forma se asume que, si se cobra a todas las firmas una tasa (t) por contaminación, cada una de ellas adoptará un proceso de control interno de los vertimientos hasta un punto tal en donde el costo marginal de reducir la contaminación sea igual a esta tasa. Con base en este principio y aplicando la función (1), cada firma minimizará sus costos de manejo de la contaminación cuando

$$CMg_{k,1} = \frac{\partial}{\partial S_{f,1}} C_k = t_1 \quad (2)$$

donde

$$\begin{aligned} CM_{k,1} &= \text{costo marginal por remover la sustancia contaminante 1 mediante la planta de tratamiento de la firma } k \\ t_1 &= \text{tarifa de la tasa por vertimientos de la sustancia 1} \end{aligned}$$

A partir de (1) y (2), esta condición de primer orden de minimización de costos se obtendrá cuando la firma ajuste sus niveles finales de vertimientos de la sustancia 1 hasta un punto $S_{f,1}^*$ tal que

$$S_{f,1}^* = \left(\beta_1 e^{\alpha_0} \right)^{\frac{1}{(1-\beta_1)}} Q^{\frac{\alpha_1}{(1-\beta_1)}} (S_{T_1})^{\frac{-\beta_1}{(1-\beta_1)}} \prod_{i=1}^n (p_i)^{\frac{-\beta_1}{(1-\beta_1)}} \prod_{j=2}^m \left(\frac{S_{f_j}}{S_{T_j}} \right)^{\frac{\beta_j}{(1-\beta_1)}} * (t_1)^{\frac{-1}{(1-\beta_1)}} \quad (3)$$

4. Los datos

Para estimar la función de costos requerida, se parte de una muestra de firmas manufactureras que operan en la ciudad de Bogotá y que cumplen con tres condiciones básicas: (i) disponen de una planta de tratamiento para remover las sustancias contaminantes generadas durante su proceso productivo; (ii) tienen información técnica sobre la magnitud y efectividad de estas plantas, reportada por los monitoreos directos efectuados sobre los efluentes de las firmas (DAMA, 1997-1999);³ y (iii) hay información disponible para el período 1995-2001 de las inversiones y los costos de operación del tratamiento de aguas residuales en la Encuesta Anual Manufacturera (DANE, 1995-2001)

Esta información se clasifica en dos períodos (1995-1998 y 1999-2001) y se obtienen promedios anuales para cada período y para cada una de las siguientes variables:

- C_Tot_k = costo total anual (costo de oportunidad de las inversiones más costos de operación, promedio anual a pesos constantes del año 2000) de la firma k durante el respectivo período (miles de pesos / año)⁴
- Q_k = caudal promedio anual de aguas servidas tratadas por la planta de tratamiento de la firma k (m³/año)
- e_sst_k = concentración de sólidos suspendidos totales (SST) que entran a la planta de tratamiento de la firma k durante el respectivo período (mg/L)
- s_sst_k = concentración de sólidos suspendidos totales (SST) que salen de la planta de tratamiento de la firma k durante el respectivo período (mg/L)
- e_dbo_k = concentración de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) que entra a la planta de tratamiento de la firma k durante el respectivo período (mg/L)
- s_dbo_k = concentración de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) que sale de la planta de tratamiento de la firma k durante el respectivo período (mg/L)
- e_dgo_k = concentración de demanda química de oxígeno (DQO) que entra a la planta de tratamiento de la firma k durante el respectivo período (mg/L)
- s_dgo_k = concentración de demanda química de oxígeno (DQO) que sale de la planta de tratamiento de la firma k durante el respectivo período (mg/L)

³ Para mayores detalles de las características de este tipo de monitoreos, véase *DAMA-ILAM (1998)*

⁴ Tasa de cambio representativa del mercado (promedio anual, año 2000): 1US\$ = Col\$ 2,087.42

- e_{CC_k} = concentración de carga combinada de contaminación que entra a la planta de tratamiento de la firma k durante el respectivo período, donde $e_{CC} = e_{SST} + 0.5 * [e_{DBO} + 0.46 * e_{DQO}]$ (mg/L)⁵
- s_{CC_k} = concentración de carga combinada de contaminación que sale de la planta de tratamiento de la firma k durante el respectivo período, donde $s_{CC} = s_{SST} + 0.5 * [s_{DBO} + 0.46 * s_{DQO}]$ (mg/L)
- r_{SS_k} = relación técnica de efectividad de la planta de tratamiento de la firma k , calculada como s_{CC_k} / e_{CC_k}
- I_{sal_k} = índice promedio de salarios para la firma k en el respectivo período, calculado con base en el índice nacional de salarios reales y ponderado según los costos anuales de la firma en mano de obra
- I_{ktal_k} = índice promedio de costos del capital para la firma k en el respectivo período, calculado con base en la tasa real anual de interés del mercado ponderada según los costos de oportunidad del capital de la firma en cada año (%)

Con base en la información arriba señalada, se obtienen para cada una de las variables aquí definidas las 36 observaciones que se describen en la tabla 1.

Tabla 1. Características y costos de tratamiento de las aguas residuales					
Variable	Obs	Media	Desv Est	Mín	Máx
C_{Tot}	36	123,834	159,580	1,280	590,779
Q	36	156,133	346,155	852	1,841,679
e_{sst}	36	6,149	22,647	24	135,379
s_{sst}	36	1,307	4,148	21	25,008
e_{dbo}	36	6,168	20,127	206	121,324
s_{dbo}	36	2,224	6,011	84	36,025
e_{dgo}	36	11,627	36,720	587	219,477
s_{dgo}	36	7,024	28,053	85	169,740
e_{CC}	36	11,907	29,667	294	137,741
s_{CC}	36	4,035	10,832	130	61,114
r_{CC}	36	0.47	0.34	0.04	1.04
I_{sal}	36	121.8	5.7	113.3	130.7
I_{ktal}	36	7.99	2.95	1.82	13.61

Fuente: Dane - Universidad Javeriana. *Proyecto Indicadores de Seguimiento de la Financiación de la Política Ambiental en Colombia*, Bogotá, 2004

⁵ Aplicando el criterio de *Metcalf & Eddy (1998)* sobre la relación existente entre las medidas de materia orgánica DBO y DQO, con base en información de DAMA(1997-1999) se estimó esta relación mediante mínimos cuadrados ordinarios sin intersección. Tomando como referencia esta relación, se concluye que la medición de la materia orgánica reportada por cada una unidad DQO se puede expresar en unidades equivalentes de DBO, DQO_{DBO} , de acuerdo con la relación $DQO_{DBO} = 0.46 * DQO$. Estas unidades equivalentes se usan aquí para calcular el promedio de las dos medidas de materia orgánica en cada observación.

5. Estimación

Con base en la información disponible se aplica un panel de mínimos cuadrados ordinarios para estimar una función doblemente logarítmica del costo total de la planta de tratamiento (costo de oportunidad de la inversión, más costos de operación) dependiente de la magnitud del tratamiento de las aguas servidas y de los precios de los factores, de la forma

$$\ln_C_Tot = \alpha_0 + \alpha_1 \ln_Q + \beta \ln_r_CC + \gamma_1 \ln_I_ktal + \gamma_2 \ln_I_sal + \varepsilon$$

donde: $\ln$ representa el logaritmo de cada una de las variables arriba definidas; α_i , β y γ_i los respectivos coeficientes estimados; y ε el error aleatorio.

Con esta función se asume que los costos totales son exponencialmente dependientes del volumen de sustancias contaminantes removidas (caudal de aguas servidas tratadas y eficiencia del tratamiento) y de los precios de los factores (expresados como variables *proxy* de los precios del capital y del trabajo)

Tal como se observa en la prueba (1) de la tabla 2, inicialmente se incorporan las variables que determinan la cantidad del producto de la actividad auxiliar orientada al tratamiento de las aguas residuales, expresada mediante el caudal (Q) y la efectividad del tratamiento de la carga combinada (r_CC); igualmente se incorporan para esta prueba las variables *proxy* de los precios de los factores capital y trabajo (I_ktal y I_sal , respectivamente)

De esta forma se obtienen coeficientes con altos niveles de significancia (mayores al 99%) para el caudal y la efectividad del tratamiento. Además estos coeficientes presentan los signos esperados: a mayor caudal tratado y mayor efectividad del tratamiento,⁶ mayores los costos totales de inversión y operación de la planta.

Tabla 2. Regresión del Logaritmo del Costo Total de Tratamiento de Aguas Servidas				
	(1)	(2)	(3)	(4)
Ln_Q	0.503 (4.52) (****)	0.508 (4.66) (****)	0.511 (4.61) (****)	0.508 (4.67) (****)
Ln_r_CC	-0.699 (3.22) (****)	-0.704 (3.29) (****)	-0.717 (3.32) (****)	-0.717 (3.37) (****)
Ln_I_ktal	0.265 (0.45)		-0.122 -0.28	
Ln_I_sal	5.919 (0.97)	4.057 (0.92)		
$_cons$	-24.138 (0.81)	-14.735 (0.69)	4.944 (3.38) (****)	4.729 (3.83) (****)
$R^2_{(Ajust)}$	0.394	0.409	0.395	0.412
# de obs	36	36	36	36
Notas: Entre paréntesis, el valor absoluto del t-estadístico calculado con mínimos cuadrados ordinarios (MCO) Los niveles de significancia se indican con estrellas, así: (****) $\geq 99\%$; (***) $\geq 97.5\%$; (**) $\geq 95\%$; (*) $\geq 90\%$; sin estrellas $< 90\%$				
Fuente: Dane - Universidad Javeriana. <i>Proyecto Indicadores de Seguimiento de la Financiación de la Política Ambiental en Colombia</i> , Bogotá, 2004				

Por otra parte en esta primera prueba, en la cual se incorporan los precios de los factores de manera simultánea, se obtienen coeficientes para estas variables con niveles de significancia inferiores al 90%. De allí que se opte por incorporarlos de manera independiente, tal como se observa en las pruebas (2) y (3)

⁶ La variable r_CC se encuentra entre 0 y 1, donde 1 indica eficiencia nula (o inexistencia de planta de tratamiento) y 0 eficiencia total (eliminación completa de los vertimientos)

En estas nuevas pruebas los coeficientes de tamaño y efectividad del tratamiento siguen manteniendo valores estables y elevados niveles de significancia. No obstante los coeficientes de los precios factores trabajo y capital, individualmente considerados, continúan sin ser significativamente distintos de cero. Sin embargo el intersepto comienza a ser positivo y significativamente distinto de cero en la prueba (3), en donde se contemplan los precios del capital conjuntamente con las variables que reflejan la cantidad de producto y se excluyen los precios del factor trabajo.

De estos resultados se puede asumir que --durante el período considerado y para firmas que operan en un solo mercado de trabajo y capital-- las variaciones en los precios de los factores no parecen tener una incidencia significativa en las variaciones de los costos totales del tratamiento de las aguas servidas. Esta conclusión se refuerza con la prueba (4), en donde se excluyen todos los precios de los factores. En comparación con los resultados de la prueba (3), en esta última se mantiene igualmente significativo y relativamente estable el valor del intersepto. Este resultado puede ser interpretado entonces en el sentido de que los precios de los factores quedan relativamente bien incorporados en el intersepto de la estimación, en la medida en que no tienen variaciones que incidan de manera significativa sobre el comportamiento de los costos del tratamiento.

6. Resultados e implicaciones

A partir de los resultados obtenidos en la sección anterior y tomando como referencia los valores de la prueba (4), se obtendría una función de costos totales en función de la magnitud y efectividad del tratamiento de las aguas residuales de la forma

$$C^e = e^{4.729} * Q^{0.508} * (CC_f / CC_T)^{-0.717}$$

donde

- C^e = costo total anual estimado en que incurre la firma por mantener y operar la planta de tratamiento de aguas residuales (millones de pesos del año 2000)
- Q = caudal promedio anual de aguas servidas tratadas por la planta de tratamiento de la firma ($m^3/año$)
- CC_T = concentración (promedio anual) de la carga combinada de contaminación que genera la firma en su proceso productivo y que entra a su planta de tratamiento (mg/L)
- CC_f = concentración (promedio anual) de carga combinada de contaminación que sale de la planta de tratamiento de la firma (mg/L)

Aplicando las funciones (2) y (3) definidas en la metodología, se deriva la función de costos marginales de reducir una unidad de carga contaminante y la función de salidas de esta carga que minimiza los costos de manejo de aguas residuales de la firma (condición de primer orden de minimización de costos cuando debe pagar una tarifa por unidad de contaminación vertida)

Tomando como referencia una muestra ampliada de 339 firmas comerciales y manufactureras de la ciudad de Bogotá que arrojan sus vertimientos a la red de alcantarillado, y finalmente al río Bogotá, se procede finalmente a construir una serie de escenarios del impacto potencial de las tasas sobre los vertimientos de estas firmas. Se asume entonces que cada una de las firmas tiene una función de costos de tratamiento equivalente a la estimada arriba, y que minimiza estos costos igualando sus costos marginales a la tarifa que le cobren por contaminar.

Se calcula de esta manera la nueva carga contaminante que arrojaría cada firma después de ajustar el manejo de sus aguas residuales, ante el requerimiento de pagar esta tasa. Para tal efecto se consideran dos escenarios básicos: cuando se cobra la tarifa mínima

establecida por la autoridad ambiental en la norma vigente, y cuando se cobra la tarifa máxima autorizada por la ley.⁷

Tal como se observa en la tabla 3, el comportamiento de las firmas frente a las tasas es notablemente heterogéneo. Tanto a las tarifas mínimas como a las máximas se encuentra una gran cantidad de firmas que, por presentar costos marginales superiores a las tarifas de las tasas, no disminuyen sus vertimientos. Incluso algunas de ellas que ya tenían planta de tratamiento en operación antes de que se cobren las tasas, tendrían que incrementar estos vertimientos para colocarse en un punto de minimización de costos. En contraste solo una porción minoritaria de las firmas contempladas reduciría sus vertimientos, tanto a la tarifa mínima como a la máxima (6 y 66 de las 339 firmas, respectivamente)

Tabla 3. Bogotá: Impacto Potencial de las Tasas sobre los Vertimientos (339 firmas)					
Tipo de Firmas	# Firmas	Vertimientos de CC ⁽¹⁾ (Tn/año)			
		Sin Tasa	Con Tasa	Variación	
				Tn/año	%
<i>Con Tarifa Mínima (\$249/kg)</i>					
Disminuyen Vertimientos	6	15,930	5,158	-10,772	-68%
No Disminuyen Vertimientos	333	15,410	26,593	11,182	73%
Total Firmas	339	31,340	31,750	410	1%
<i>Con Tarifa Máxima (\$1,369/kg)</i>					
Disminuyen Vertimientos	66	27,125	9,136	-17,989	-66%
No Disminuyen Vertimientos	273	4,216	6,947	2,731	65%
Total Firmas	339	31,340	16,083	-15,258	-49%
⁽¹⁾ $CC = SST + 0.5 * (DBO + 0.46 * DQO)$					
Fuente: Estimaciones de este trabajo, a partir de datos de Monitoreo del DAMA (1997-1999)					

No obstante, en términos de la magnitud del impacto esperado sobre los vertimientos totales el resultado combinado de estos dos tipos de firmas presenta un

⁷ Las tarifas mínimas fijadas por la legislación colombiana (e indexadas automáticamente por el IPC) equivalen para el año 2000 a 25.4 pesos colombianos por kilogramo de SST y a 59.3 pesos colombianos por kilogramo de DBO (Resoluciones 273 de 1997 y 372 de 1998 del Ministerio del Medio Ambiente) Estas tarifas mínimas se pueden incrementar hasta 5.5 veces, dependiendo de si se cumplen o no las metas de reducción de vertimientos fijadas por la autoridad ambiental. En términos de la carga combinada (CC) calculada en este trabajo para las firmas 339 con información disponible, estas tarifas mínimas equivaldrían a una tarifa media de 248.9 pesos colombianos por kilogramo (US\$119.3/ton) de CC con una variación entre 139.8 y 322.6, y una desviación estándar de 44.1.

comportamiento muy interesante. Si se cobran una tarifa mínima, las pocas firmas que reducirían vertimientos lo harían en una magnitud relativamente importante: 10.7 miles de toneladas por año. Sin embargo esta reducción de vertimientos sería ligeramente más que compensada por los incrementos de los mismos a que, para minimizar sus costos, se verían obligadas a hacer aquellas firmas que tienen planta de tratamiento y que dejarían de operarla (o la operarían con una intensidad menor) El resultado neto sería entonces de un ligero incremento de la contaminación vertida por todas las firmas de la muestra.

En contraste el impacto neto sobre la contaminación sería sustancialmente notorio si se llegara hasta el nivel de tarifa máxima permitida por la norma. Aunque a este nivel de tarifa una gran mayoría de las firmas (273 de las 339) no reducirían sus vertimientos, es notorio cómo los eventuales incrementos en los niveles de contaminación de estas firmas serían sustancialmente menores que las reducciones por parte de aquellas que encontrarían una alternativa de minimización de costos mediante la reducción de sus vertimientos. Como resultado, para el conjunto de estas firmas se obtendrían reducciones en los vertimientos --netas del impacto de aquellas firmas con costos marginales de tratamiento mayores que las tarifas máximas-- muy cercanas al 50% de los vertimientos totales actuales.

7. A manera de conclusión

Una primera conclusión general se relaciona con la estructura de los costos de reducción de la contaminación a los cuerpos de agua por parte del sector productivo, en una ciudad como Bogotá. Si las firmas tienen funciones de costos de tratamiento de sus aguas residuales equivalentes a las de la muestra para la cual se estimó la función de costos en este estudio, se podría concluir que una estrategia como la actualmente contemplada en el

régimen de tasas retributivas podría generar impactos sustanciales sobre la reducción de la contaminación del sector productivo sobre el río Bogotá. Esto en virtud a que los incentivos a reducir los vertimientos por parte de las firmas con costos marginales del tratamiento de las aguas residuales menores que las tarifas de las tasas, podría superar con creces el incentivo relativamente perverso al incremento de estos vertimientos por parte de las firmas con costos marginales superiores a estas tarifas.

En segundo lugar, y en términos más particulares de la implementación de las tasas retributivas por contaminación actualmente vigente en Colombia, se llama la atención sobre la alta conveniencia de asociar estas normas con aquellas que rigen el sistema de control de tarifas de los servicios públicos. Simplemente cambiando la modalidad de cobro de las tarifas del servicio de alcantarillado, de la forma actual de cobro por volumen de agua vertido al cobro por cantidad de contaminación arrojada, se podría tener una significativa disminución de la presión de la contaminación industrial sobre el cuerpo de agua.

Por último, y teniendo en cuenta las conclusiones anteriores, es conveniente llamar la atención sobre la necesidad de continuar avanzando en la comprensión de las estructuras de costos de control de la contaminación por parte del sector productivo en los países en vías de desarrollo y en particular en sus grandes metrópolis. Este es un requisito básico para avanzar en el conocimiento de las potencialidades y limitaciones de las señales económicas como instrumento de una política de control de la contaminación del sector productivo, al menor costo posible.

8. Referencias bibliográficas

- Baumol, W.J. and W.E. Oates (1971). “The use of standards and prices for protection of the environment” *Swedish Journal of Economics*, **73**
- Dasgupta, S., M. Huq, D. Wheeler and C. Zhang (1996) “Water pollution abatement by Chinese industry: cost estimates and policy implications”. World Bank, Environment, Infrastructure and Agriculture Division of Policy Research Department, May.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE (1995-2001) “Encuesta Anual Manufacturera – Módulo Especial de Gasto en Protección Ambiental”
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE, y Universidad Javeriana (2004), “Proyecto Indicadores de Seguimiento de la Financiación de la Política Ambiental en Colombia, Informe Final” Bogotá (manuscrito)
- Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente del Distrito Capital y Consorcio ILAM Ltda. – Guillermo Sarmiento S, DAMA-ILAM (1998) “Tercer Programa de Seguimiento y Monitoreo de Efluentes del Sector Industrial de Santafé de Bogotá”, Contrato 052-97, Informe Final.
- Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente del Distrito Capital, DAMA (1997-1999) “Monitoreos de Efluentes del Sector Industrial en Santafé de Bogotá, Bases de Datos 1997-1999”
- Metcalf & Eddy, Inc (1998) *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*, McGraw-Hill, Madrid, 3ª ed.