

# EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez\**

La existencia del problema de la contaminación del río Bogotá ha sido desde hace varios años una preocupación para las autoridades, las cuales lo han abordado desde diferentes ópticas; tanto el Distrito, con su plan de descontaminación, como posteriormente el Estado, en términos de una ley ambiental, han emprendido acciones para encontrar una solución viable al problema. Bajo este panorama, unido al escenario de escasez de recursos y dada nuestra condición de economía en vía de desarrollo, este trabajo busca evaluar la racionalidad del plan de descontaminación hídrica en Bogotá. Por tanto se comparan la actual estrategia del Distrito, el plan de costo mínimo y las tasas retributivas con el fin de analizar si el actual esquema adelantado por el Distrito y la regulación ambiental van en el mismo sentido o si se están haciendo esfuerzos desde ópticas diferentes. Esto permitirá determinar si el actual plan de descontaminación obedece verdaderamente a una política de regulación del Estado.

Con base en el análisis, se darán recomendaciones que pueden ser tenidas en cuenta para la solución del problema por parte de las autoridades e instituciones ambientales, tanto regionales como nacionales, encargadas de la regulación económica del sector ambiental y de agua potable para la toma de decisiones futuras respecto a diferentes proyectos de saneamiento. Lo anterior en el marco de las políticas de Estado vigentes en la actualidad.

## INTRODUCCIÓN

Dada la creciente importancia que ha venido adquiriendo el medio ambiente, y el interés de las naciones por el “desarrollo sostenible”, el gobierno nacional creó la Ley 99 de 1993 del medio ambiente, y desde ese momento se han hecho esfuerzos para lograr mantener la armonía entre la actividad económica y el uso eficiente de los recursos naturales. El alto grado de contaminación hídrica es uno de los problemas fundamentales a ser resueltos dadas sus consecuencias negativas a nivel social; el caso de la contaminación del río Bogotá figura como el problema ambiental más serio que enfrenta la

---

\* Magíster en economía del medio ambiente y de los recursos naturales de la Universidad de los Andes, slilianags@hotmail.com. Monografía de grado para optar al título de Magíster, 2003.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

ciudad, por lo cual el Distrito Capital ha adelantado esfuerzos referentes a crear soluciones técnicas y económicas tendientes a resolverlo.

La actual planta de tratamiento que funciona en el río Salitre, y en general la tan cuestionada estrategia de saneamiento, han generado dudas y desconfianza entre los diversos agentes sobre su viabilidad como la mejor opción para resolver el problema. Por otro lado, la ejecución de políticas para resolver los problemas de externalidades negativas en la producción se ha debatido entre el uso de instrumentos de comando y control e instrumentos económicos. Sin embargo, en los últimos años, los altos costos de aplicación de los primeros ha llevado a que los instrumentos económicos sean aceptados como la mejor alternativa para incentivar a los agentes a reducir la contaminación ambiental, mostrando ser efectivos en la solución de problemas de contaminación y pese a algunos problemas, su aplicación ha resultado beneficiosa en varios países.

El Ministerio de Medio Ambiente, respondiendo a la necesidad de solucionar la fuente del problema de contaminación, diseñó la tasa retributiva por contaminación hídrica, a la luz del artículo 42 de la Ley 99 de 1993 y reglamentada mediante el Decreto 901 de abril de 1997. Aunque este instrumento económico ha sido implementado exitosamente en algunos países, su eficiencia ha sido cuestionada porque aunque se basa en la filosofía de “el que contamina paga”, cuya razón es incentivar a los agentes económicos a reducir sus niveles de contaminación, también es importante analizar la viabilidad en cuanto al cobro de una tarifa plana<sup>1</sup>, ya que es posible que a mediano plazo los estratos más bajos se vean fuertemente afectados<sup>2</sup> y probablemente al momento del cobro la autoridad ambiental no pueda disponer de forma efectiva de los recaudos potenciales.

Un caso pionero en el país de la aplicación de las tasas corresponde a Cornare<sup>3</sup>, con un nivel de recaudo alto y reducción en un 50% de la carga contaminante. Su éxito ha sido arrollador dada la coordinación administrativa y técnica en el sistema de manejo de las tasas: ejecutando programas como “Progresía”, convenios de producción más limpia con varios sectores<sup>4</sup> e implementación de planes en más de 26 municipios de la región, además de contar con un centro muy completo de análisis de agua e

---

<sup>1</sup> La tarifa plana se refiere a que cada individuo (sin importar el estrato) paga por igual de acuerdo a los vertimientos realizados de cada parámetro establecido por la Ley. Este cobro, como está actualmente establecido por la Ley, no es objeto de subsidio.

<sup>2</sup> Bajo el supuesto de no cumplirse la meta ambiental, el factor regional comienza a aumentar la tarifa y por lo tanto el monto a cobrar.

<sup>3</sup> Corporación Autónoma Regional de los ríos Negro y Nare, en la región del Oriente Antioqueño.

<sup>4</sup> Industrial, acuicultor y floricultor entre otros.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

infraestructura confiable. Los usuarios han respondido favorablemente al incremento de las tasas, y aunque aún existen problemas por resolver, esta región colombiana se ha llegado a comparar con otros casos precursores a nivel mundial como Filipinas, Malasia y China.

Sin embargo, en el caso de Bogotá, aunque la Empresa de Acueducto y Alcantarillado adeuda alrededor de siete mil millones de pesos a la entidad ambiental del Distrito por cobro de la tasa, aún no se ha definido de manera concreta cómo será realizado el cobro a los usuarios del servicio de la ciudad y de qué forma será transferida.

La elaboración de este trabajo surge como respuesta al notorio problema ambiental, a un proyecto de saneamiento del río Bogotá avalado por el Distrito en su momento, reconociendo la existencia de la tasa retributiva como instrumento económico para reducir la contaminación hídrica. Se incorpora al análisis la metodología de costo mínimo de expansiones de capacidad<sup>5</sup>, como un elemento no sólo técnico sino también fundamentado en criterios económicos para minimizar los costos que implicaría el sobredimensionamiento de un proyecto como el que se realiza actualmente en Bogotá. Aunque un proyecto de estas magnitudes representaría beneficios importantes para la ciudad y los municipios cercanos, es importante tener en cuenta la restricción de recursos del gobierno frente al cubrimiento de necesidades; por tanto, es esencial considerar que los instrumentos de regulación económica ambiental creados por la autoridad deben ser compatibles con otras normas previamente establecidas, para contar con señales claras que permitan tomar las decisiones que más le convengan a la ciudad en esta materia.

El objetivo principal de esta investigación es realizar una evaluación de la racionalidad del plan de descontaminación de Bogotá a partir del análisis de costo mínimo y tasa retributiva por contaminación hídrica, como instrumentos tecnológicos y económicos para el mejoramiento de la calidad del agua. Para esto, en la primera parte se revisa la teoría económica que fundamenta el uso de las tasas retributivas y la teoría del costo mínimo para realizar expansiones de capacidad del tratamiento de aguas residuales. Luego se hace una revisión del tratamiento de aguas residuales para el caso de Bogotá, tanto desde el punto de vista del instrumento económico de las tasas retributivas, como desde el punto de vista del plan adoptado por el Distrito. La comparación del plan distrital con el plan de costo mínimo, del plan distrital con la tasa retributiva, y de la tasa retributiva con el plan de costo mínimo, se hace en una tercera parte. En la cuarta parte, se presentan los

---

<sup>5</sup> Utilizada principalmente en la construcción de sistemas de acueducto y alcantarillado, y en algunos países en la construcción eficiente de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

resultados provenientes del análisis, y en la última se dan las conclusiones. El anexo metodológico describe la obtención de datos y fuentes usadas.

## MARCO TEÓRICO

### DESCRIPCIÓN ECONÓMICA DEL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN

Los bienes públicos puros tienen dos características: son no excluyentes<sup>6</sup> y no rivales en su consumo<sup>7</sup>. El problema económico de la contaminación surge porque los bienes ambientales se comportan como bienes públicos impuros: se mantiene la no exclusión pero existe rivalidad, porque su uso por parte de un individuo reduce la disponibilidad para otros.

Dado que el mecanismo de precios presente en el mercado de bienes y servicios actúa como una señal errónea en la asignación de los bienes ambientales, surgen las externalidades como expresión del problema de los bienes públicos y los recursos comunes, llevando al agotamiento de los recursos. La contaminación hídrica es una externalidad negativa en la producción, al ser una acción generada por un individuo que causa un efecto negativo a terceros sin originarse ninguna indemnización hacia los afectados<sup>8</sup>. Reconocer el supuesto económico de la racionalidad del agente individual permite comprender la raíz del problema: en economías con ausencia de regulación por parte de la autoridad, el uso del medio ambiente como sumidero o receptor de residuos es un comportamiento lógico pues la función de costos (o de utilidad) de los agentes económicos no incorpora el pago por ese uso, pese al daño social causado<sup>9</sup>.

En la gráfica 1, la curva de beneficio marginal (BMg) representa al agente contaminador quien recibe el beneficio de contaminar y pagar por ello; es decreciente ya que a medida que el individuo contamina más se aproxima al punto A y su beneficio marginal decrece pues su pago por una unidad adicional es cada vez menor. La curva de costo marginal (CMg) representa los costos causados a los receptores del daño y es creciente

---

<sup>6</sup> No es posible negar su uso a ningún individuo.

<sup>7</sup> El disfrute del bien por parte de algún individuo no reduce su disponibilidad para otros.

<sup>8</sup> Se hará alusión a la contaminación hídrica como la referente a la producción de aguas residuales, que en el caso de las industrias corresponde al desempeño de su actividad productiva, mientras que en el caso de los hogares se debe a los procesos vitales propios de la actividad humana.

<sup>9</sup> Este comportamiento racional se aprecia en la gráfica 1, enfrentando la cantidad de contaminación efectuada por los agentes vs. el precio por causarla, en ausencia de regulación.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

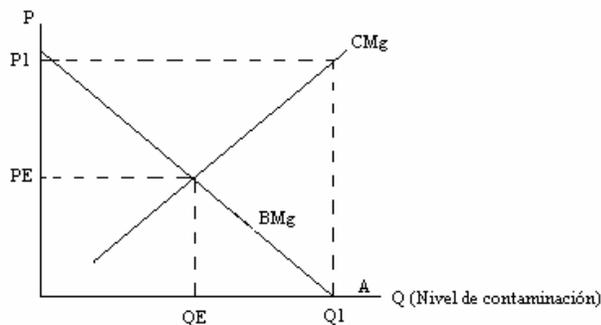
*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

porque a cada unidad adicional de contaminación el daño aumenta y, por tanto, los costos de la contaminación también.

El equilibrio se debería encontrar en el punto en el cual la cantidad óptima de contaminación es  $Q^E$  y el valor que se pagaría por ella,  $P^E$ . Sin embargo, el agente contaminante en ausencia de regulación económica<sup>10</sup> contamina hasta el punto  $Q^1$  donde el valor que paga tiende a cero. Siguiendo la línea punteada hasta cortar el CMg, se encuentra un precio  $P^1$  que representa el valor que debería pagar el agente contaminante para resarcir el daño causado.

Gráfica 1

Nivel de descontaminación en ausencia de regulación



En la gráfica 2 se muestra que la contaminación económicamente óptima que se pretende lograr bajo regulación, es un equilibrio donde se cortan dos curvas<sup>11</sup>: 1) la curva denominada antes beneficio marginal (BMg) representa los costos marginales de reducción (CMgR) en que ahora debe incurrir el agente contaminador, y tiene pendiente negativa porque el valor de descontaminar se reduce ante aumentos de unidades adicionales de contaminación a ser reducidas<sup>12</sup>; 2) los costos marginales (CMg) del agente afectado se convierten en la curva de valor del daño marginal (VDMg), reflejando el costo de los daños ocasionados a los agentes afectados. El corte

<sup>10</sup> La regulación económica se refiere al control estatal de actividades para resolver problemas de externalidades.

<sup>11</sup> Note que los nombres de las curvas cambian en el mercado cuando hay presencia o ausencia de regulación, pero se mantiene la pendiente positiva para el agente afectado y la pendiente negativa para el causante.

<sup>12</sup> Un ejemplo lo ilustra: en ausencia de plantas de tratamiento, al aumentar las unidades de contaminación se requiere tratamiento y esto implica grandes inversiones en plantas y tecnología. Cuando ya se construye la planta, una unidad adicional de contaminación que requiera tratamiento pesa muy poco en los costos de reducción (porque la planta no requerirá mayor inversión para tratar la unidad adicional de contaminación).

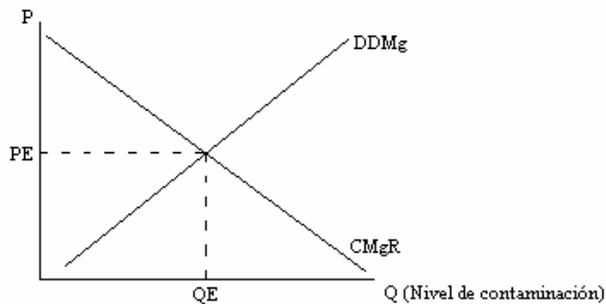
EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

de estas dos curvas es en teoría el equilibrio económico óptimo donde  $Q^E$  es el nivel de contaminación óptimo y  $P^E$  lo que se debería pagar por el daño.

Gráfica 2

Contaminación económicamente óptima bajo regulación



TEORÍA ECONÓMICA PARA LA ASIGNACIÓN DE RECURSOS NATURALES Y EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN<sup>13</sup>:

Dado que en la realidad no existe ese punto de equilibrio que representa el óptimo económico<sup>14</sup>, la solución al problema de asignación de recursos naturales es establecer reglas de juego claras mediante la intervención estatal, generando medidas que permitan cumplir objetivos de política. La teoría sugiere conseguir el óptimo simulando la existencia de mercados para estos bienes e “internalizando” los costos de la externalidad<sup>15</sup>. Para esto existen dos tipos de instrumentos: instrumentos de comando y control e instrumentos económicos<sup>16</sup>.

EXPLICACIÓN DEL ESQUEMA DE IMPUESTOS A PARTIR DE LAS TASAS RETRIBUTIVAS

Uno de los instrumentos económicos más utilizados son los impuestos, dentro de los cuales figura la tasa retributiva. Se encuentran dentro de la

<sup>13</sup> Ver, Bernstein, Janis D (1993); Vial, Joaquín (1996).

<sup>14</sup> (...) debido a la peculiaridad de bienes públicos presentada por los bienes ambientales, la inexistencia de un mercado ambiental y por ende la falta de definición de derechos de propiedad colectivos, generando los problemas de externalidades mencionados.

<sup>15</sup> Los cuáles serán asumidos a nivel individual por el agente causante del daño quien compensará a los receptores.

<sup>16</sup> En el documento “Aguas limpias para Colombia al menor costo” del Ministerio de Medio Ambiente, se explica la diferencia entre cada uno de los instrumentos. Ver [[www.minambiente.gov.co/oe/tasasret.htm](http://www.minambiente.gov.co/oe/tasasret.htm)].

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

categoría de incentivos de racionamiento vía precios, que motiva al agente causante del daño a internalizar los costos causados por el uso ambiental como receptor de residuos.

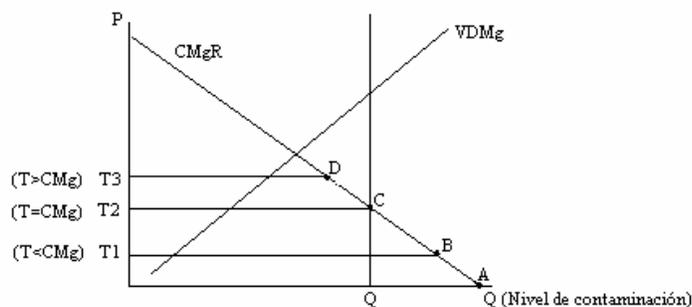
En la gráfica 2 se observó el equilibrio ( $CMgR = VDMg$ ) donde se ubica el óptimo económico que soluciona teóricamente el problema de contaminación, dados un nivel de contaminación  $Q^E$  y un valor  $V^E$  que debería pagar el agente contaminador<sup>17</sup>; este punto de equilibrio representa un “primer mejor”, y no es posible encontrarlo por los problemas de información respecto al valor real del daño marginal ( $VDMg$ ) ocasionado a la sociedad. Baumol y Oates<sup>18</sup> fueron los primeros en proponer un esquema de aproximación a la solución teórica, basados en el impuesto pigouviano que representa un “segundo mejor” en la economía.

El sistema es un incentivo que funciona de manera que el agente tiene dos opciones: pagar el impuesto ( $T_x$ ) o invertir en tecnologías de reducción de la contaminación. Inicialmente, cuando  $T_x < CMg$ , prefiere pagar el impuesto (la tasa retributiva), que es la opción más barata, y seguir contaminando. A largo plazo, dado que el valor de la tasa se va incrementando,  $T_x > CMg$ , el agente prefiere descontaminar haciendo inversión en tecnologías limpias en vez de pagar el impuesto.

El mecanismo lo representa la gráfica 3: nuevamente existe un nivel de contaminación óptima (donde  $CMgR = VDMg$ ). La imposibilidad de conocer el  $VDMg$  hace necesario que la autoridad fije un estándar  $Q$  (o meta de reducción de contaminación), a partir del cual el impuesto ambiental va creciendo a través de la curva de  $CMgR$ .

Gráfica 3

Impuesto pigouviano como aproximación a la solución real



<sup>17</sup> Este mismo precio es en teoría el valor del impuesto a ser pagado por dicho agente.

<sup>18</sup> El desarrollo del instrumento se encuentra en tres documentos: Baumol, William y Oates, Wallace (1971); Baumol, William (1972); Baumol, William y Oates, Wallace (1985).

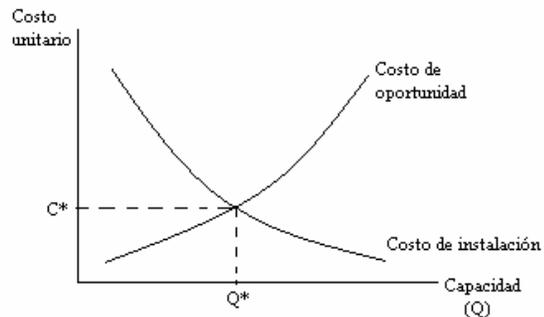
EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

METODOLOGÍA DEL COSTO MÍNIMO PARA PLANES DE CONSTRUCCIÓN Y  
EXPANSIÓN EN EL SECTOR DE AGUA Y SANEAMIENTO

Las economías de países en desarrollo deben asumir el reto de una asignación eficiente de recursos escasos, dadas unas necesidades básicas insatisfechas de coberturas de servicios prioritarios<sup>19</sup>. El análisis de costo mínimo de expansiones de capacidad busca una eficiencia económica, que implica establecer prioridades de inversión en proyectos que permitan la construcción de sistemas para la prestación de servicios y la ampliación de capacidades para el cubrimiento de la demanda, sin generar sobredimensiones que impliquen pérdida de recursos<sup>20</sup>. En este caso se hace necesario combinar los análisis técnico y económico para encontrar un óptimo entre los requerimientos y la correcta asignación de recursos, es decir, el costo de instalación requerido respecto al costo de oportunidad de acuerdo a la capacidad del sistema.

Gráfica 4  
Capacidad instalada vs. costo unitario



Este análisis se aplica en proyectos que satisfacen servicios básicos del sector de agua potable como acueducto, alcantarillado y sistemas de saneamiento. Las economías de escala se incorporan al análisis puesto que en diversas tecnologías los costos de una expansión aumentan en menor proporción que el incremento en la capacidad de algún componente del sistema (gráfica 5).

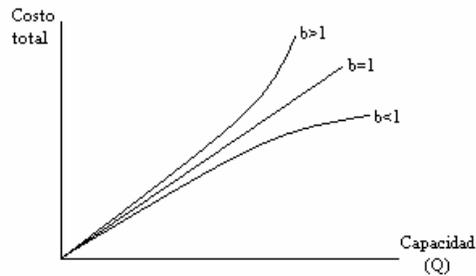
<sup>19</sup> Como son los proyectos del sector de agua potable: acueducto, alcantarillado y agua potable.

<sup>20</sup> Esta eficiencia económica implica comparar las economías de escala vs. la capacidad ociosa. Ver explicación del modelo con y sin déficit de capacidad en el anexo 1.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

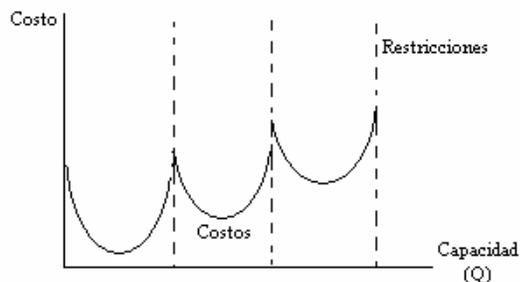
*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

Gráfica 5  
Economías de escala en los costos de tratamiento



En términos del tratamiento de aguas residuales existen diferentes niveles tecnológicos de tratamiento con curvas de costos de acuerdo a las economías de escala que cambian de acuerdo a distintos requerimientos<sup>21</sup> (gráfica 6). Ante un aumento del número de habitantes, las tecnologías tienden a ser menos eficientes, reflejándose en costos crecientes ante cada nueva restricción<sup>22</sup>. Así, para poblaciones pequeñas es posible utilizar lagunas de oxidación, hasta un punto en que usarlas se vuelve más costoso que utilizar un sistema de tratamiento más avanzado.

Gráfica 6  
Curvas de costos de acuerdo a la capacidad y restricciones de tratamiento



El cuadro 1 muestra cómo, a medida que las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales se hacen más complejas, los requerimientos de área

<sup>21</sup> La aplicación más conveniente de tecnologías responde a factores locales como el clima, el caudal y las cargas contaminantes.

<sup>22</sup> Las restricciones que hacen necesario un cambio tecnológico responden no sólo al crecimiento de la población, sino también a la disposición de terrenos y áreas; para el caso de Bogotá, resultaría mucho más costoso construir lagunas de oxidación que tratamiento de lodos activados (cuadro 1).

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

dejan de ser una restricción, con unos costos totales crecientes pero marginalmente menores.

Cuadro 1

Características de los sistemas más comunes de tratamiento

| Sistema              | Área planta<br>(m <sup>2</sup> /hab) | Costos (US\$/hab) |           |
|----------------------|--------------------------------------|-------------------|-----------|
|                      |                                      | Capital           | Operación |
| Pozo séptico         | 11                                   | 20-35             | 0,5       |
| Lagunas de oxidación | 7                                    | 40                | 2         |
| Lagunas aireadas     | 2,20                                 | 45                | 3,5       |
| Zanjas de oxidación  | 1,20                                 | 55                | 3,5       |
| Filtros biológicos   | 0,29                                 | 72                | 4,1       |
| Lodos activados      | 0,24                                 | 72                | 4,3       |

Fuente: Congreso de Empresas de Acueducto y Alcantarillado

APLICACIÓN AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN  
BOGOTÁ

ANTECEDENTES

Entre 1962 y 1992 se elaboraron cuatro planes maestros: se definieron los sistemas de alcantarillado separado, se diseñó la mayor parte de los sistemas actuales, se plantearon soluciones a las inundaciones en zonas bajas y se prediseñó el tratamiento de aguas residuales por sistemas de lagunas de oxidación. En 1984 se definió como alternativa de tratamiento una gran planta al final de la ciudad con un interceptor paralelo al río Bogotá, el cual por rigidez técnica se eliminó.

En 1988, a solicitud del alcalde, algunas firmas propusieron un plan por etapas (interceptores y plantas de tratamiento para las tres cuencas). El proceso de concesión no prosperó por el cambio de administración. En 1994, el Alcalde Jaime Castro abrió la licitación internacional 01 de 1994, fijando condiciones para contratar por concesión la primera fase del tratamiento. Doce firmas compraron los pliegos de condiciones y sólo tres se presentaron. Degremont obtuvo el mayor puntaje por su viabilidad (BOT)<sup>23</sup>; propuestas similares tenían inconvenientes de financiamiento. Es así como a finales de 1997 comienza la construcción de la fase I de la planta del Salitre.

Actualmente, el sistema de drenaje urbano está compuesto por una red de canales de aguas lluvias, tubos colectores y sistemas combinados. El sistema hidrográfico natural está compuesto por la red de los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo, por las cuencas menores Torca, La Conejera, Jaboque y

<sup>23</sup> El proyecto cuenta con una estrategia financiera BOT (Built, Operation, Transfer).

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

Tintal; el sistema creado está compuesto por la red de canales y embalses (drenaje de aguas lluvias y negras).

#### Estudios para el saneamiento del río Bogotá

Existen cuatro estudios importantes realizados como soporte de los proyectos de descontaminación del río Bogotá, bajo el respectivo marco normativo dado en su momento.

1. Evaluación económica del proyecto de saneamiento del río Bogotá: estudio realizado por la firma Black and Veatch International Hidroestudios, en 1985. El documento hace parte del plan maestro de alcantarillado para el drenaje de aguas superficiales, conducción y tratamiento de aguas residuales de la EAAB. Se consideran inicialmente 16 proyectos, descartando el tratamiento en el embalse del Muña y en Tocaima, y se toman solamente cuatro alternativas relacionadas con la sabana de Bogotá: a) construir dos plantas de tratamiento secundario en la desembocadura de los ríos Salitre y Tunjuelo, con un interceptor entre Torca y la planta del Salitre, y trasladando las aguas negras del río Fucha y del Tintal hasta la planta de Tunjuelo; b) construir un interceptor paralelo al río Bogotá llevando las aguas negras a una planta aguas abajo del Tunjuelo; c) construir tres plantas en la intersección con los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo; y d) construir dos plantas en los ríos Fucha y Tunjuelo y un interceptor que condujera las aguas de Torca y Salitre hasta la planta de Fucha. La alternativa seleccionada fue la segunda.

2. Estudio para la estrategia de saneamiento del río Bogotá, realizado por la firma Epam Ltda., en junio de 1993. El documento describe el proceso para llegar a la actual estrategia de saneamiento del río Bogotá. Tomó dos alternativas: a) conducir las aguas residuales por un interceptor a lo largo del río hacia una planta única ubicada aguas abajo de la ciudad, en Canoas o Tocaima; b) tratamiento en las cuencas de Salitre, Fucha y Tunjuelo. Esta última fue elegida tras una evaluación técnica –ubicación y facilidad de construcción y operación por etapas–, ambiental –análisis de DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y oxígeno disuelto en diversos tramos del río–, y económica –comparación de costos de las estrategias.

3. Estudio del impacto ambiental para el tratamiento de las aguas residuales de Santafé de Bogotá, realizado por la firma Essere Ltda., en 1995. El documento evalúa los beneficios y costos económicos, ambientales y sociales relacionados con la construcción y operación del proyecto de las tres plantas. La viabilidad del proyecto obedece a aspectos como: que el beneficio de descontaminar sea mayor que el costo de la contaminación

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

producido por las plantas; el beneficio económico ambiental del proyecto sea mayor al costo socioeconómico del proyecto; y el costo de manejo de la contaminación heredada sea menor que el costo socioeconómico de continuar con ella.

4. Evaluación económica del proyecto de la planta de tratamiento de aguas residuales del Salitre<sup>24</sup>, realizado por la firma Hazen and Sawyer, en febrero de 1997. El documento se centra en la estrategia de descontaminación del río Bogotá a partir de las 3 plantas de tratamiento, específicamente de la primera (Salitre) situada en la confluencia del río Bogotá y el río Salitre o Juan Amarillo, que maneja un flujo de 4 m<sup>3</sup>/seg. Se hace un análisis costo-beneficio de cada uno de los tratamientos que conforman las dos fases: fase I (tratamiento primario y tratamiento primario avanzado) y fase II (tratamiento secundario y tratamiento secundario con desinfección). Además, se basa en dos tipos de beneficios: los primeros, por incremento en la valorización de tierras (discriminando entre las tierras del lado este y oeste del río) y los segundos, por incremento del ingreso nacional gracias a la generación de empleo. En cuanto a los costos, hace énfasis en los costos de la tarifa acordada a pagar por el servicio de descontaminación.

El área de influencia es el área cercana a la planta, que se ve afectada por el mal olor, la mala calidad visual y el riesgo de contraer enfermedades por contacto directo con el agua. La zona de impacto del análisis cubre 5,2 kilómetros corrientes abajo del río, y el área de beneficio de la planta se localiza a ambos costados del río Bogotá, entre el río Salitre y el Fucha.

La estimación de beneficios se hizo con el método de valoración contingente (MVC). Éste valora los bienes y servicios que no son comerciados en mercados, a través de preguntas sobre la disponibilidad a pagar y según tres niveles de beneficios: eliminación del mal olor, mejoras en la calidad visual y eliminación del riesgo de enfermedad. Tales condiciones ambientales adversas afectan la calidad de vida de quienes viven, trabajan y transitan por el área.

#### Esquema de tratamiento

Aunque en el estudio de Epam se definió el proyecto de las tres plantas en las cuencas de Salitre, Fucha y Tunjuelo<sup>25</sup>, el cual quedó estipulado en la Licitación 01 de 1994, el actual esquema está siendo reestudiado por el

---

<sup>24</sup> *Economic evaluation of the Salitre wastewater treatment plant project.*

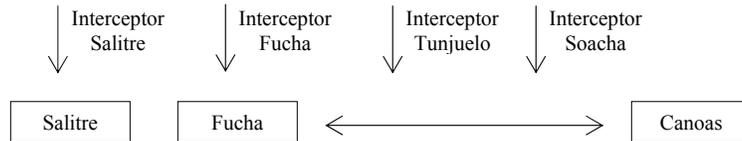
<sup>25</sup> Ver alternativa 1b.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

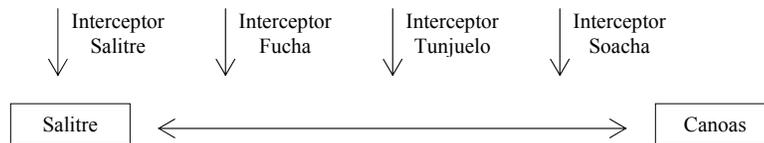
*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

Distrito<sup>26</sup> y se han conocido planteamientos iniciales en los cuales se sugiere un cambio de propuesta.

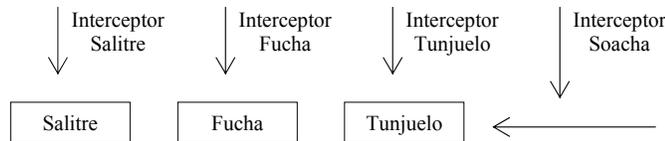
Alternativa 1a



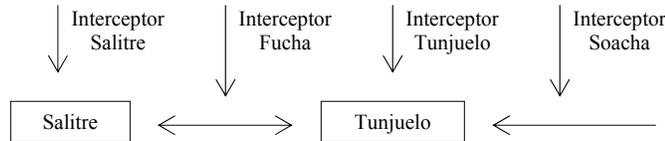
Alternativa 2a



Alternativa 1b



Alternativa 2b



Para todas las propuestas se mantiene la planta del Salitre. La alternativa 1a sugiere igualmente tres plantas, pero en vez de la tercera planta en Tunjuelo<sup>27</sup> se construiría una en Canoas para tratar el agua procedente de Soacha. La alternativa 1b representa la actual estrategia de saneamiento. Las alternativas 2a y 2b sólo contemplan la construcción de dos plantas siendo la primera la del Salitre. En el primer caso (2a) la planta adicional sería en Canoas, llevando el agua residual procedente de Fucha a través de un interceptor y conduciéndola a la planta del Salitre, mientras el interceptor Tunjuelo haría lo propio hasta la planta de Canoas. En el segundo caso (2b),

<sup>26</sup> A través la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, específicamente por la Unión Temporal para el saneamiento del río Bogotá.

<sup>27</sup> El agua procedente de esta cuenca se transportaría por un interceptor para ser tratada en Fucha.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

la otra planta estaría ubicada en Tunjuelo hasta donde llegarían las aguas procedentes de Soacha por un interceptor, mientras que el interceptor Fucha llevaría las aguas de la cuenca hasta la planta del Salitre. En todo caso, el esquema se mantiene vigente hasta que la Unión Temporal se pronuncie al respecto, y por tanto será el utilizado a lo largo de este trabajo.

#### TASAS RETRIBUTIVAS EN COLOMBIA

##### Funcionamiento del instrumento

En Colombia, la legislación que tiene que ver con este tema se encuentra en los artículos 42 y 43 de la Ley 99 de 1993 y está reglamentada por el decreto 901 de 1997. La meta se fija para un período de cinco años, y la tasa está compuesta por un factor regional que aumenta su valor cada seis meses en el caso de no cumplirse la meta. Esto implica que el aumento del factor incrementa la tasa hasta el momento en el cual se corten la meta de reducción con la curva de CMgR; más adelante se vuelve a fijar una nueva meta por otros cinco años. En la gráfica 3, se observó que el proceso inicia en el punto de contaminación A, donde el agente contaminador no paga ni un peso por la cantidad de vertimientos. Para resolver el problema, la autoridad fija un nivel Q de reducción y se comienza con una tasa baja ( $T_1$ ) en el punto B (donde al nivel Q,  $T < CMg$ , y por tanto el individuo paga la tasa y sigue contaminando). Dado que aún no se logra la meta, la tasa se incrementa hasta  $T_2$  en el punto C (donde al nivel Q,  $T = CMg$ , situación en la que el individuo es indiferente entre pagar la tasa o reducir contaminación). Más allá de este punto, en el mediano plazo, se puede dar una situación con  $T_3$  en el punto D (donde al nivel Q,  $T > CMg$  y por tanto el individuo sigue cumpliendo con la meta al dejar de pagar el impuesto y descontaminar). En este momento se vuelve a fijar una nueva meta de reducción de la contaminación y ocurre nuevamente el mismo proceso iterativo explicado anteriormente<sup>28</sup>.

##### Problemas identificados en el esquema de la tasa retributiva

La tasa retributiva debe inducir a los agentes a reducir sus vertimientos o a pagar por ello. Sin embargo, se han presentado algunos problemas para la generación de señales económicas que mejoren las condiciones ambientales.

---

<sup>28</sup> A pesar de que la autoridad no conoce el CMgR, es la misma empresa causante del daño quien da la señal económica en el momento en que deja de pagar el impuesto y reduce la contaminación.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

La aplicación de medidas de esta índole es distinta en cada país, requiriendo modificaciones tanto al interior del instrumento como en la normatividad de comando y control que la respalda; por tanto, es necesario articular la regulación existente para el alcance de los objetivos de política ambiental.

A continuación se presentan algunos puntos importantes que han originado confusión en las señales económicas y que deben ser reformulados por las autoridades para que las tasas retributivas logren su objetivo.

*Periodo de transición*

Parte de la resistencia que generó la reglamentación de las tasas entre las ESP (empresas de servicios públicos), es que no estaban preparadas para asumir este coste adicional, lo cual se observa en la ausencia de la inclusión de los costos de referencia, del plan de inversiones de un sistema de PTARES (plantas de tratamiento de aguas residuales), y de las adecuaciones pertinentes para su funcionamiento.

Dado que las ESP obtienen sus recursos de los recaudos efectuados a los usuarios por la prestación del servicio público de acueducto y alcantarillado, y así mismo generan unos costos, la inclusión de las tasas implica una revisión del régimen tarifario de alcantarillado. Esto permitirá atender las implicaciones financieras y económicas de la empresa<sup>29</sup> ante una nueva obligación en materia de costos ambientales, para analizar su incorporación en el cálculo de costos de referencia, el efecto sobre ellos, y el avance progresivo en la implementación de sistemas y tratamiento de aguas residuales para la reducción de la contaminación.

Los costos de referencia asociados a la prestación del servicio son: costos medios de administración (CMA), costos medios de operación (CMO) y costos medios de inversión (CMI). Los CMA se miden como el total de costos administrativos sobre el número de usuarios facturados; los CMO, como la suma de los costos de operación sobre los m<sup>3</sup> vertidos, y los CMI son la sumatoria del valor de reposición de activos y el plan de inversiones sobre el valor presente de la demanda<sup>30</sup>.

Con respecto a la incorporación de la tasa retributiva (costos ambientales), a estos costos y por ende a las tarifas, se plantean algunas inquietudes a resolver:

---

<sup>29</sup> El costo de oportunidad de invertir recursos en tratamiento de aguas residuales respecto al aumento de coberturas en los servicios básicos de acueducto y alcantarillado.

<sup>30</sup> Las resoluciones 8 y 9 de 1995 de la CRA explican claramente en qué consiste cada costo y cómo se incorporan a las tarifas.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

La teoría económica expone que las tasas crecen progresivamente mientras la brecha entre su valor y los costos de reducción disminuyen, hasta el punto en que ésta se revierte y el valor de las tasas supera los costos de reducción; en ese momento el agente toma la decisión de invertir en descontaminación. Sin embargo, en su aplicación existen dificultades de carácter temporal que impiden que el mecanismo actúe instantáneamente, como lo formula la teoría, al no contemplar con exactitud el desempeño del instrumento como incentivo para el logro de los objetivos ambientales, y dejando de ser una señal para el comportamiento de los agentes. El no tener en cuenta el comportamiento de la tasa durante este período de transición comprendido entre el momento en que se empieza a invertir y el logro de las metas, implica que el instrumento no repara en la existencia de ciertos costos de oportunidad inmersos en el proceso y que pueden estar generando un doble cobro: por concepto de inversiones y simultáneamente el pago de la tasa, porque resulta obvio que ésta seguirá creciendo hasta que se logren las metas de reducción y esto sólo será tiempo después de la puesta en operación de las plantas producto de dicha inversión.

La transición del sistema de tasas a un esquema de descontaminación genera un doble pago durante cierto período, lo que implica que, durante la transición, las tasas retributivas deberían estar incluidas de forma diferente dentro de los costos de referencia de las tarifas, de la siguiente forma:

Momento 1: durante la construcción de la planta se tiene: a) tasa retributiva creciente por incumplimiento de la meta y aumento del factor regional por esta causa; b) inclusión del componente ambiental dentro de los CMI, específicamente dentro del plan de inversiones (VPI).

Momento 2: durante la entrada en operación de la planta se tiene: a) nuevamente tasa retributiva creciente por incumplimiento de la meta y aumento del factor regional por esta causa; b) inclusión del componente ambiental dentro de los CMI, específicamente dentro del valor de reposición de activos (VRA). Esto genera costos de administración (CMA) y de operación (CMO).

Momento 3: algún tiempo después de la entrada en operación: a) tasa retributiva constante por cumplimiento reciente de la meta y factor regional constante por esta causa. Además, ninguna planta de tratamiento llega al 100% de la remoción de la carga; b) se continúa incorporando el componente ambiental en el valor de reposición de activos (VRA), generando costos de administración (CMA) y de operación (CMO).

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

*Inequidad en los parámetros*

Actualmente los dos parámetros de medición de contaminación según el decreto 901 son de carácter netamente biológico, dejando de lado la contaminación química industrial y agrícola. Sin embargo, existe una disyuntiva en cuanto a revisar los parámetros fijados por no agrupar todos los tipos de contaminación producidos por diversos sectores: si bien hay apreciaciones referentes a la ampliación de los parámetros para tener en cuenta vertimientos de carácter químico, como metales pesados, otras están de acuerdo con los dos parámetros estipulados argumentando que las plantas y los sistemas de tratamiento de aguas municipales solamente están diseñados para este tipo de aguas residuales, y que dados los daños que podría ocasionar al sistema algún otro tipo de vertimiento más fuerte es la ley quien debe fijar estándares más estrictos.

Adicionalmente, las resoluciones vigentes de la Comisión de Regulación de Agua (CRA) no contemplan dentro de las fórmulas de costos (específicamente de los CMO) una variable que caracterice la carga contaminante, puesto que las unidades son  $m^3$  que sólo representa el caudal mediante el volumen de agua vertido. Esto implica dar el mismo peso a todos los usuarios del sistema, independientemente de la actividad que realizan, siendo inequitativo puesto que los agentes residenciales tienen menor participación en la carga contaminante vertida.

*Sujeto pasivo*

Hace referencia al agente obligado a pagar el impuesto. El artículo 14 del Decreto 901 define sujeto pasivo como “todos los usuarios que realizan vertimientos puntuales. Cuando el usuario vierte directamente a una red de alcantarillado la autoridad ambiental cobrará la tasa únicamente a la entidad que presta dicho servicio”. Existen opiniones respecto a que el usuario es quien produce los residuos y las ESP los recolecta, entonces, el usuario es quien debería pagar por los efectos causados por la contaminación.

Por lo anterior, se analizan las ventajas y desventajas de varios agentes en el rol de sujeto pasivo, para entrar luego a juzgar si el Decreto 901 ha designado correctamente el sujeto pasivo como agente que responda a la señal de mercado que se quiere indicar.

Si el usuario fuera el sujeto pasivo se tendrían varias desventajas: de salubridad a nivel técnico, de control a nivel administrativo, y de deseconomías de escala a nivel económico, porque es imposible que cada usuario tenga su planta de tratamiento de aguas residuales. Adicionalmente,

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

para el usuario residencial no genera incentivos hacia los residuos procedentes de procesos vitales cuya producción no se puede atacar (es posible que simplemente exista un ahorro adicional muy pequeño del consumo de agua); tocaría atacar el tratamiento. Sin embargo, existen algunas ventajas como la facilidad de identificación y el cumplimiento del principio fundamental de las tasas: “el que contamina paga”.

Si por el contrario el sujeto pasivo son las ESP, existe la ventaja de implementar tratamiento con economías de escala, facilidad de identificación, (fuente puntual), ya que algunas de ellas poseen información técnica que les permite planear y ejecutar el tratamiento. Entre las desventajas están la existencia de algunas fallas de mercado, pues habría pocos agentes donde la mayoría de ellos representan monopolios naturales; los posibles traslados de las tasas a los usuarios; y el desestímulo a la cobertura de alcantarillado (retrasando metas de cubrimiento de cobertura) dado que el aumento del número de usuarios ocasiona un aumento del caudal y por tanto de la contaminación. Este último cuestionamiento consiste en que la tasa no tiene en cuenta un mecanismo dinámico que contemple la entrada al sistema de nuevos usuarios o un incremento en la producción de las empresas existentes, lo cual incrementaría también la carga contaminante<sup>31</sup>. Sin embargo, una ESP no se podría considerar una industria contaminante aunque vierta residuos sin previo tratamiento, porque es una empresa que presta servicios públicos básicos y el gobierno debe garantizar que lo continúe suministrando sin problemas.

Este punto es aún una disyuntiva, pues por un lado la Ley 142 de servicios públicos considera importante el principio de “suficiencia financiera” para garantizar el funcionamiento correcto de las ESP como prestadoras de un servicio público tan importante como el abastecimiento del agua. Al ser este un bien básico, tal como se contempla en la Constitución Política, la autoridad encargada de la regulación no puede bajo ninguna circunstancia permitir la quiebra de estas empresas que representan un monopolio natural, y por tanto nadie diferente puede prestarlo. Por otro lado, se presenta el problema del aumento en las tarifas y los problemas socioeconómicos que esto genera.

---

<sup>31</sup> La teoría económica que sustenta este punto sólo hace referencia a las industrias, y argumenta que colocar un impuesto a una firma contaminante implica un aumento de su costo medio y crea la salida de firmas del mercado reduciendo el nivel de vertimientos y por tanto de contaminación.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

Sandra Liliana Guerrero Suárez

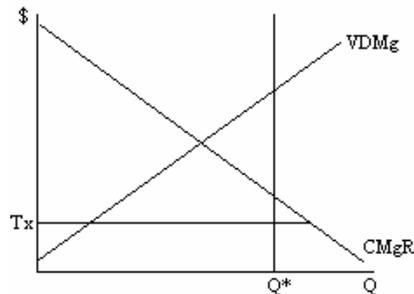
*Meta de reducción*

Dado que no existe información precisa para conocer el valor del daño marginal, es vital la selección de la meta regional para cumplir con los objetivos de política y lograr la mayor aproximación al punto óptimo.

El nivel de contaminación actual  $Q$  se representa en el eje  $x$ . La meta de reducción se representa como una línea vertical. Esta puede presentar dos casos: 1) sobreestimada: cuando se fija a la izquierda del equilibrio ( $VDMg = CMgR$ ). En este punto,  $CMgR > VDMg$ , no tiene justificación económica porque el daño causado es inferior a los costos de repararlo. 2) Subestimada: cuando se fija a la derecha del equilibrio ( $VDMg = CMgR$ ). En este punto,  $CMgR < VDMg$ , se justifica una intervención económica puesto que el daño causado es superior a los costos de repararlo. Así, el área a la derecha del equilibrio es la única donde tiene validez económica un instrumento para inducir a la descontaminación.

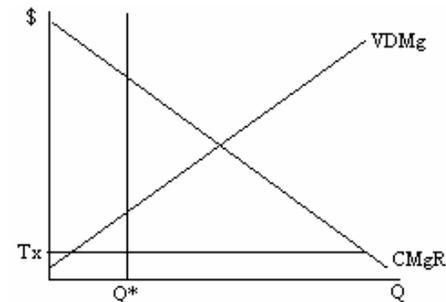
Caso 1

Meta subestimada



Caso 2

Meta sobreestimada



EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

El establecimiento de la meta debe reflejar las preferencias de la sociedad en términos de la calidad ambiental deseada, es decir, una *proxi* de la curva de valor del daño marginal. Esto se garantiza mediante la participación de los agentes del área de influencia del problema en la fijación de la meta mediante concertación<sup>32</sup>. La meta se debe fijar antes de 90 días o en caso contrario será el director de la Corporación quien lo haga en un plazo inferior a 15 días; él presentará informes de seguimiento del cumplimiento de la meta y podrá ajustar la tarifa.

Aunque es un mecanismo participativo no existe un criterio de selección de los agentes<sup>33</sup> quienes no poseen el suficiente conocimiento técnico para fijar la meta de reducción. Este punto es muy importante puesto que la meta debe ser producto de un dictamen técnico más que de una concertación que se preste para intereses particulares o políticos.

En el caso particular de Bogotá, la meta es de 2,1%, lo que ha llevado a que el factor regional se mantenga constante en 1; esto se explica por ser una meta muy baja y se cumple fácilmente durante el recorrido de los residuos hasta su destino dentro de la red de alcantarillado, donde sufren un leve proceso de depuración.

La normatividad ambiental establece en el artículo 42 de la Ley 99/93 que “la tasa debe incluir el valor de depreciación del recurso afectado” por lo que el Ministerio tendrá en cuenta los costos sociales del daño y los costos de recuperación del recurso afectado. El cálculo de la depreciación incluirá la evaluación económica de los daños sociales como base para definir el monto de las tasas.

Esto conduce a varios interrogantes respecto a la efectividad del instrumento: si se fija una meta poco ambiciosa<sup>34</sup> (implicando subestimación de la inversión requerida respecto a la real) es muy posible que se logre su cumplimiento durante los primeros semestres del período establecido y el crecimiento de la tasa retributiva se interrumpa dado el comportamiento constante del factor regional. De esta manera, el instrumento económico no está valorando adecuadamente el daño y no logra el objetivo de inducir a los agentes a reducir la contaminación, por lo que seguirán pagando la tasa

---

<sup>32</sup> Un consejo directivo de la autoridad ambiental respectiva conformado por: gobernadores departamentales pertenecientes a la zona; representantes de la Presidencia y el Ministerio del Medio Ambiente; máximo cuatro alcaldes de los municipios del área elegidos por la asamblea corporativa de la corporación; un representante de las comunidades indígenas y etnias regionales elegidos por la corporación autónoma regional; dos representantes del sector privado, y dos representantes de entidades sin ánimo de lucro de la región, elegidos también por la corporación autónoma correspondiente.

<sup>33</sup> Escogidos en su mayoría por las Corporaciones Autónomas Regionales.

<sup>34</sup> Como en el caso del 2,1% de Bogotá

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

durante el resto del período. Por tanto, si se fijan metas muy reducidas la eficacia del instrumento es mínima porque no se alcanzan los objetivos de reducción de la contaminación a corto o mediano plazo.

Si por el contrario se fija una meta demasiado ambiciosa (se sobreestima la inversión en descontaminación), en teoría, se puede sobrepasar el porcentaje de reducción del óptimo económico. Esto, porque la meta fijada se encontraría a la izquierda del corte entre la curva de valor del daño marginal (VDMg) y la del costo marginal de reducción (CMgR),  $VDMg < CMgR$ , sobrevalorando el daño.

Se debe tener en cuenta un criterio técnico de valores reales como los costos de remoción de cierta carga contaminante en una planta de tratamiento municipal. De acuerdo a esto el artículo 42 de la Ley 99/93 afirma: “a cada uno de los factores que incidan en la determinación de una tasa, se le definirán las variables cuantitativas que permitan la medición del daño. Cada factor, y sus variables, deberá tener un factor que permita ponderar su peso en el conjunto de los factores y variables considerados [...] Los coeficientes se calcularán teniendo en cuenta la diversidad de regiones, la disponibilidad de recursos, su capacidad de asimilación, los agentes contaminantes involucrados, las condiciones socioeconómicas de la población afectada y el costo de oportunidad del recurso”.

#### *Destinación de recursos*

La destinación de recursos provenientes del pago de la tasa aún no se ha definido. La sentencia C-495 de la corte constitucional expresa que son rentas de destinación específica y se deben destinar a recuperar los recursos hídricos que generan el cobro. El Ministerio de Medio Ambiente propone focalizar los recursos mediante los fondos regionales para inversión en proyectos de descontaminación.

#### *Vertimientos*

Para entender las exigencias al vertimiento de sustancias y los pagos y/o sanciones que representa su incumplimiento es importante diferenciar entre los instrumentos de comando y control y los instrumentos económicos.

Las normas de comando y control determinan los límites permisibles y exigen su cumplimiento o el pago de multas por excederlos<sup>35</sup>. Por el contrario, la utilización del medio ambiente para verter sustancias dentro de

---

<sup>35</sup> Estos límites se fijan en el Decreto 1594 de 1984, la norma nacional que reglamenta los usos del agua y determina los estándares máximos permisibles de residuos líquidos.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

los límites está sujeta al pago de tasas retributivas, según el artículo 42 de la Ley 99. Es decir, el pago se efectúa por los vertimientos que van de cero hasta el estándar máximo fijado. Esta diferencia entre los pagos por incumplimiento de las normas de comando y control y el pago de tasas por vertimiento en el medio ambiente es muy importante; al respecto, el artículo 24 del Decreto 901 establece que “el usuario que realice vertimientos de una sustancia por encima de los límites permisibles, pagará la tasa retributiva únicamente por la carga contaminante máxima contenida dentro de esos límites”, es decir, el resto de pago es una multa por exceder dichos límites. Además señala que “los límites permisibles de vertimiento de sustancias, elementos o compuestos que sirven de base para el cobro de la tasa retributiva son los establecidos en el Decreto 1594/84. En ningún caso el pago de las tasas exonera a los usuarios del cumplimiento de los límites permisibles de vertimiento”.

Los límites del Decreto 1594 son confusos y generan inequidades ya que la norma se basa en porcentajes de remoción de la carga independientemente de la concentración, induciendo sólo a cambios de procesos al final del tubo, haciendo que los CMgR de quienes tienen menores descargas sean mayores (Uribe, 2002).

Los instrumentos económicos deben generar incentivos mediante señales claras. Por tanto, tal como lo sugieren varios documentos de la CEPAL, los instrumentos económicos requieren de instrumentos de comando y control claramente definidos para lograr el cumplimiento de las metas propuestas.

Una de las estrategias prioritarias para la formulación del Plan nacional de manejo de aguas residuales radica en la modificación del Decreto 1594 para colocar límites en términos de concentración o alguna medida de acuerdo con los usos del agua para diferentes actividades<sup>36</sup>.

Dado que la racionalidad económica busca la eficiencia al interior de las políticas y la maximización de recursos escasos, sería lógico aprovechar los niveles asimilativos del medio ambiente y su capacidad de autodepuración para reducir parte de la carga contaminante. Esto haría posible no pagar por el total de carga contaminante vertida por debajo de los niveles permisibles sino solamente la que permita dejar el cuerpo de agua en el mismo estado en que se encontraba antes.

La reglamentación actual de las tasas retributivas está incurriendo en situaciones opuestas a dicha lógica al no contemplar el nivel de degradación de la carga contaminante que ofrece la naturaleza, por lo que se estaría

---

<sup>36</sup> Así lo establece el *Documento Compes* de julio de 2002, que fija las acciones y lineamientos para la formulación del PMAR.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

exigiendo dejar los cuerpos de agua en mejor estado que antes del vertimiento. Si la naturaleza tiene la posibilidad de asimilar parte de esta carga no tiene objeto invertir recursos adicionales en remover más de lo que los cuerpos de agua necesitan, lo que representaría un alto costo de oportunidad. Por eso, se sugiere que el Decreto 901 contemple que las CAR puedan evaluar la capacidad autopurificadora de los cuerpos de agua afectados, para establecer el nivel de tratamiento requerido para lograr cierto grado de reducción.

Esta posibilidad está presente en la normatividad ambiental previa al Decreto 901 de 1997. La Ley 9 de 1979 contempla en el artículo 10 que los vertimientos deben estar sujetos a las condiciones establecidas por el Ministerio de Salud y teniendo en cuenta las características del sistema de alcantarillado y la fuente receptora correspondiente. Como se comentó anteriormente, el artículo 42 de la Ley 99/93 señala que para calcular los coeficientes de la tasa se deben tener en cuenta la diversidad de regiones, la disponibilidad de recursos, su capacidad de asimilación, los agentes contaminantes involucrados, las condiciones socioeconómicas de la población afectada y el costo de oportunidad del recurso.

## COMPARACIÓN ENTRE LA TEORÍA Y LA PRÁCTICA

En esta parte se aborda el tratamiento de aguas residuales de Bogotá a partir del actual esquema de tratamiento adoptado por el Distrito (la teoría del costo mínimo y la regulación de las tasas retributivas). Un importante apoyo metodológico se encuentra en el anexo 2.

### PLAN DISTRITO

Se supone un período de 30 años (20 de los cuales transcurren en la construcción de las plantas) partiendo del cronograma del actual esquema de saneamiento del río Bogotá: se toma el proyecto vigente de las tres plantas en las cuencas de los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo; aunque se podría esperar que la Unión Temporal redefiniera la estrategia, como se planteó en la sección de los antecedentes. Cada una de las plantas contará con dos fases de tratamiento, primario y secundario<sup>37</sup>, cuya construcción tardará 3 años por cada planta. El esquema original contemplado en la licitación ordena la construcción de las etapas del proyecto en el mismo sentido en que se dirige el río, es decir Salitre fases 1 y 2, Fucha fases 1 y 2, y Tunjuelo fases 1 y 2; adicionalmente se considera un año de evaluación entre la entrada en

---

<sup>37</sup> Es decir, 6 fases en total.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

funcionamiento de cada fase y el comienzo de la construcción de la siguiente. Aunque la entrada en funcionamiento del Salitre fase 1 ocurrió en el año 2000, tal como se tenía prevista, la fase 2 debería estar finalizada en el 2004<sup>38</sup>, lo cual no sucedió realmente. Pese a este desfase de un año en lo convenido inicialmente, para efectos de mantener intacto lo estipulado en la Licitación 001 de 1994, las fechas inicialmente programadas por el proyecto permanecerán invariables. El cuadro 2 presenta el cronograma del proyecto.

El cálculo de costos de tratamiento, se realiza para un período de 30 años. Como el cronograma del Distrito, toma 20 años en la construcción de las 6 fases del tratamiento. Después del 2020 no se tienen previstas expansiones, por lo cual en el período de 10 años restante sólo se tienen costos de operación y mantenimiento. Los costos para el análisis comparativo con las tasas retributivas se realizan para un período de 30 años, tal como lo contempla el proyecto del Distrito. Ver en el anexo 2 la explicación del cálculo de costos y las ecuaciones utilizadas en el plan del Distrito.

#### PLAN DE COSTO MÍNIMO

Se considera un supuesto fuerte a lo largo de todo el análisis y es que las preferencias sociales en términos de calidad ambiental son lo suficientemente altas para que se trate el caudal de costo mínimo. Para una comparación más exacta, se desagregó el análisis de costo mínimo en tres cuencas, tal como lo contempla el plan del Distrito. Inicialmente, se comparan los caudales de aguas residuales tratados en cada uno de los esquemas de tratamiento para tener un referente de la capacidad de tratamiento de cada uno al momento de hacer la comparación de costos.

---

<sup>38</sup> El cronograma inicial suponía el comienzo de la construcción de la fase 2 en el año 2002.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

Sandra Liliana Guerrero Suárez

Cuadro 2  
Cronograma del programa de saneamiento

| Planta   | E<br>T<br>A<br>P<br>A | Fase       | Años |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|-----------------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|          |                       |            | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Salitre  | 1                     | 1          | X    | x    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|          |                       | Evaluación |      |      | x    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|          |                       | 2          |      |      |      | x    | x    | x    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Fucha    | 2                     | 1          |      |      |      |      |      |      |      | x    | x    | x    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|          |                       | Evaluación |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | x    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|          |                       | 2          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | x    | x    | x    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Tunjuelo | 3                     | 1          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | x    | x    | x    |      |      |      |      |      |      |
|          |                       | Evaluación |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | x    |      |      |      |      |      |
|          |                       | 2          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | x    | x    | x    |      |      |
|          |                       | Evaluación |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | x    |      |      |

COMPARACIÓN DEL PLAN DEL DISTRITO CON EL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO

Para el análisis comparativo entre el plan del Distrito y la metodología de costo mínimo se realiza el cálculo de los costos para ambos en un período de 72 años, según sea tratamiento primario o secundario en cada una de las cuencas. Dado que el plan del Distrito no contempla expansiones de capacidad, y por tanto no se generan costos de inversión luego del año 2020, se realiza la proyección de los costos hasta el año 2072 por concepto de operación y mantenimiento de las 6 fases existentes.

Como se observa en el cuadro 6 del anexo 2, se tienen costos por concepto de inversión inicial y operación, bien se trate de tratamiento primario o secundario. Los costos de inversión serán repartidos en montos iguales durante los tres años que dura la construcción de cada una de las fases que componen ambos esquemas de tratamiento. Para el caso del análisis de costo mínimo, los costos de expansiones también van incluidos en costos de inversión, repartidos igualmente durante los tres años anteriores a la entrada en funcionamiento de la expansión. Los demás costos competen a la operación y el mantenimiento anual.

Posteriormente, para comparar ambos esquemas en términos de costos se calcula el total acumulado de los tratamientos primarios y secundarios para cada uno.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

COMPARACIÓN DE TASAS RETRIBUTIVAS CON LOS ESQUEMAS DEL DISTRITO Y  
DE COSTO MÍNIMO

Para comparar el análisis de tasas retributivas tanto para el plan del Distrito como para el de costo mínimo se toma como base el Decreto 901. Así, para obtener el crecimiento del factor regional, semestralmente se comparan los diversos escenarios de crecimiento de la meta regional con la remoción obtenida del tratamiento en cada esquema.

Tasas retributivas y el plan del Distrito

Para hacer un análisis comparativo de la racionalidad de la regulación económica actual del Estado, como incentivo para la ejecución del plan del Distrito, es necesario comparar en términos de costos<sup>39</sup> y de los alcances en la reducción de la contaminación. En términos de costos se observa cuál es el crecimiento del valor anual a pagar por concepto de tasa ante la ausencia de tratamiento bajo las diferentes metas (25, 50 y 100%), y qué tanto éste incentiva a tomar la decisión de implementar el plan de descontaminación del Distrito al mismo tiempo que se paga una tasa más baja.

En términos de reducción de la contaminación, para comparar si la regulación ambiental y el plan del Distrito van en el mismo sentido, es necesario observar los niveles de reducción de la contaminación a los que conduce la regulación mediante la meta de reducción de contaminación y los niveles de remoción que logra la estrategia del Distrito. Es importante recordar que la meta regional revela las preferencias sociales en términos ambientales y por tanto, la comparación con la remoción del esquema permite saber si este plan responde a las expectativas de los agentes económicos. Los niveles de remoción del plan del Distrito se obtienen a partir de la propuesta técnica del proyecto incluida en la Licitación 01 de 1994<sup>40</sup>.

Tasas retributivas y el plan de costo mínimo

Para realizar un análisis comparativo de qué tanto la regulación actual del Estado podría estar conduciendo a una estrategia de costo mínimo, es

---

<sup>39</sup> Que induzcan a la toma de decisiones entre el pago de la tasa o la reducción de la contaminación.

<sup>40</sup> Para mayor explicación, ver en el anexo 2 el apartado de tecnología de PTARES para la remoción de la contaminación. En el mismo anexo se estima el valor a pagar por concepto de tasas.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

necesario hacer una comparación, tanto en términos de costos<sup>41</sup> como de alcances en remoción de la contaminación. En términos de costos se observa cuál es el crecimiento del valor anual a pagar por concepto de tasa ante la ausencia de tratamiento bajo las diferentes metas, y qué tanto éste incentiva a tomar la decisión de invertir en tecnologías de descontaminación al mismo tiempo que se paga una tasa más baja.

En términos de la remoción es necesario ver si la regulación ambiental y el análisis de costo mínimo van en el mismo sentido. Para ello se deben observar los niveles de remoción a los que conduce la regulación mediante la meta de reducción de contaminación, y los niveles de remoción que logra la estrategia de costo mínimo mediante el uso de tecnologías.

## RESULTADOS

### PLAN DISTRITO

#### Cuenca el Salitre

Dado que la primera planta del esquema del Distrito entró en funcionamiento con un caudal de 4 m<sup>3</sup>/s en el año 2000, se tiene que la capacidad de tratamiento es superior al caudal vertido de aguas residuales (3,2 m<sup>3</sup>/s). Este excedente en la capacidad de remoción de la contaminación es una situación que se mantiene sólo por un período de 8 años. La fase II entra en funcionamiento en el 2004, año en que aún el caudal total de aguas residuales para la cuenca es inferior a la capacidad de tratamiento. Sin embargo, es en el año 2008 cuando el caudal total de aguas residuales de la cuenca iguala la capacidad ofrecida por el Distrito<sup>42</sup> y sigue creciendo año tras año, volviendo a presentarse un rezago en el tratamiento. La gráfica 7 muestra el comportamiento del caudal residual total vertido y de las capacidades para el esquema del Distrito.

---

<sup>41</sup> Que induzcan a la toma de decisiones entre el pago de la tasa o la reducción de la contaminación.

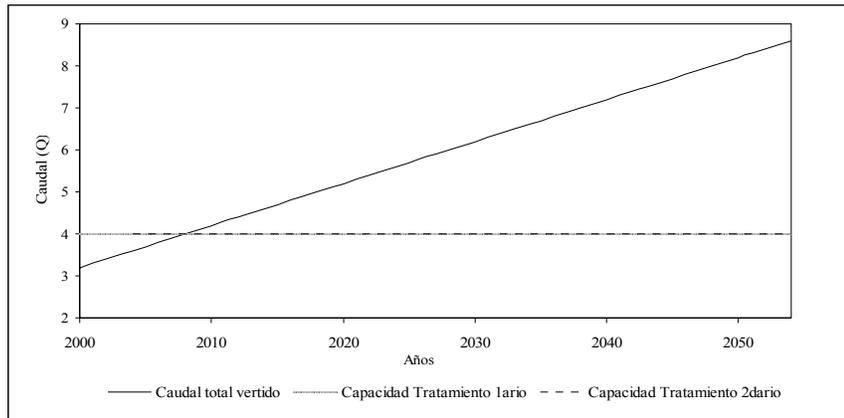
<sup>42</sup> Que se mantiene constante en 4 m<sup>3</sup>/s durante todo el período de análisis.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

Gráfica 7

Caudal tratado cuenca Salitre bajo el plan del Distrito  
(Capacidad de tratamiento frente a caudal vertido)



### Cuenca de Fucha

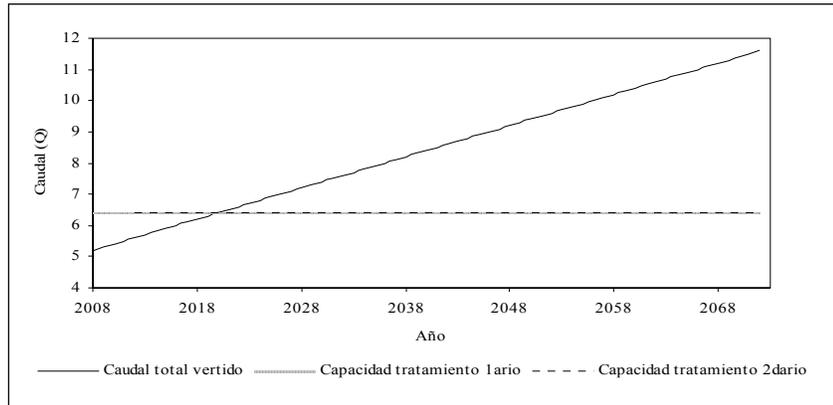
La tercera planta del esquema de tratamiento del Distrito, correspondiente a Fucha fase I, entra en funcionamiento en el año 2008 con un caudal de 6,4 m<sup>3</sup>/s, momento en el cual la carga residual de la cuenca corresponde a un nivel más bajo (5,2 m<sup>3</sup>/s); la fase II de la misma cuenca entra en funcionamiento a los cuatro años con el mismo nivel de capacidad de tratamiento. Para el año 2020 los dos caudales se igualan, pero la capacidad empieza a quedar rezagada frente al crecimiento anual de las aguas residuales, por crecimientos en la población. En la gráfica 8 se observa el comportamiento de los caudales residuales totales vertidos y de las capacidades para el esquema del Distrito.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

Gráfica 8

Caudal tratado cuenca Fucha bajo el plan Distrito  
(Capacidad de tratamiento frente a caudal vertido)



Cuenca de Tunjuelo:

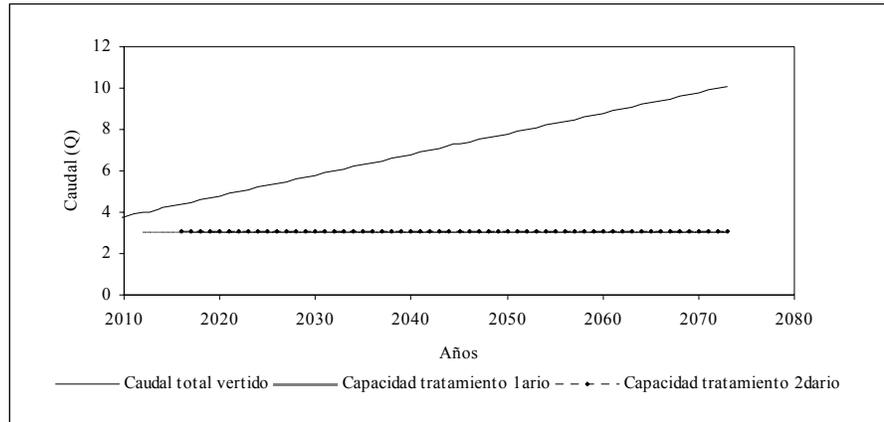
Para el caso de la cuenca del río Tunjuelo, la fase I entra en operación con una capacidad de  $3,1 \text{ m}^3/\text{s}$  en el año 2016, momento en el cual ya existe un rezago de  $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ . El tratamiento secundario entra en operación en el año 2020 con el mismo nivel de capacidad superado también por el caudal de aguas residuales de la cuenca ( $4,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ). En la gráfica 9 se observa el rezago inicial de la capacidad con que parte la fase I del esquema del Distrito en esta cuenca y cómo se va ampliando a través del tiempo.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

Gráfica 9

Caudal tratado cuenca Tunjuelo bajo el plan del Distrito  
(Capacidad de tratamiento frente a caudal vertido)



METODOLOGÍA DE COSTO MÍNIMO

Los cuadros con los resultados arrojados por el análisis de costo mínimo para cada una de las cuencas se encuentra en el anexo 5.

Cuenca el Salitre:

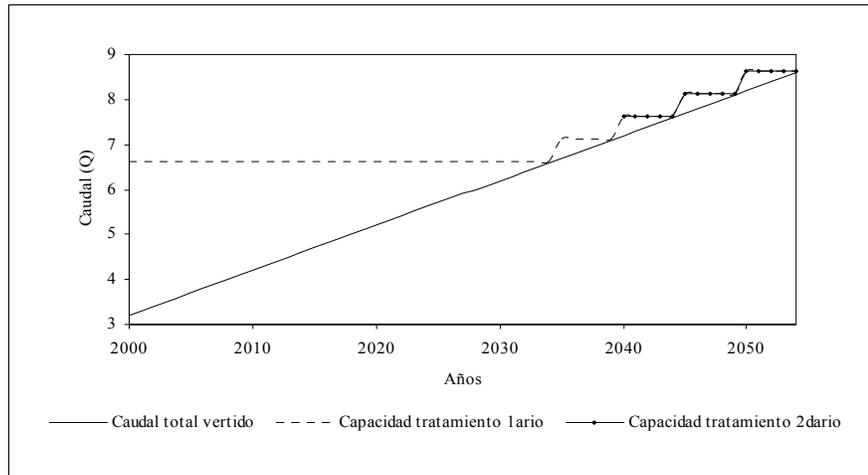
En el año 2000 entra en funcionamiento la fase I de la planta, con un caudal inicial de  $6,63 \text{ m}^3/\text{s}$  y un período inicial de 35 años, lo que lleva a una primera expansión de  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  en el año 2035. La segunda fase no entra en funcionamiento sino hasta el año 2040, momento en el cual se habrán realizado dos expansiones del tratamiento primario y se estará tratando un caudal de  $7,63$  para ambas fases. La gráfica 10 muestra el comportamiento del caudal total de aguas residuales vertido y de las capacidades para el esquema de costo mínimo en la cuenca del Salitre.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

Gráfica 10

Caudal tratado cuenca Salitre bajo el plan de costo mínimo  
(Capacidad de tratamiento frente a caudal vertido)



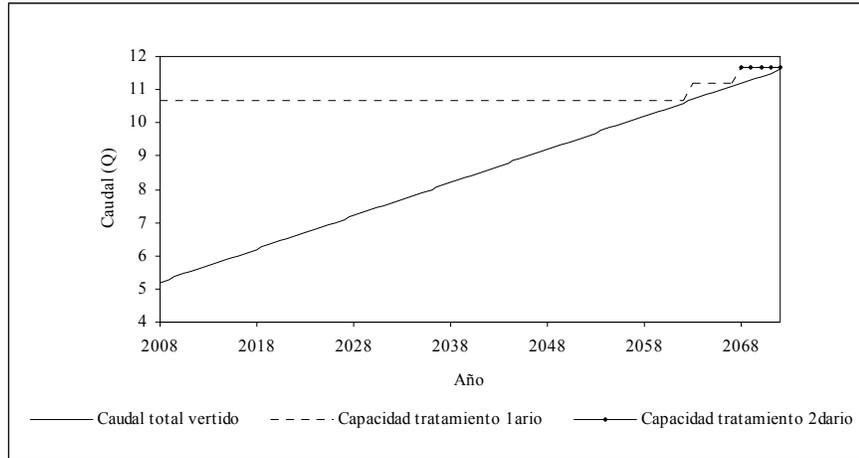
Cuenca de Fucha:

La entrada en funcionamiento de la Fase I de la planta se realiza en el año 2008 con un caudal inicial de  $10,68 \text{ m}^3/\text{s}$  y un período inicial de 54 años, lo que lleva a una primera expansión de  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  en el año 2068 y, de ahí en adelante, cada 5 años. La segunda fase no entraría en funcionamiento sino hasta el año 2073, momento en el cual se habrán realizado dos expansiones del tratamiento primario y se estará tratando un caudal de  $11,68$  para ambas fases. En la gráfica 11 se observa el comportamiento del caudal total de aguas residuales vertido y de las capacidades para el esquema de costo mínimo en esta cuenca.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

Gráfica 11  
Caudal tratado Cuenca Fucha bajo el plan de costo mínimo  
(Capacidad de tratamiento frente a caudal vertido)



Cuenca de tunjuelo:

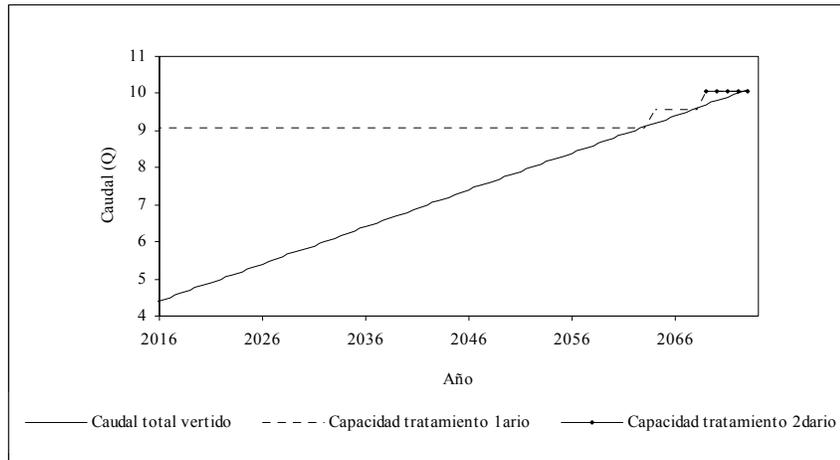
En el año 2016 entra en funcionamiento la fase I de la planta con un caudal inicial de 9,07 m<sup>3</sup>/s y un período inicial de 48 años, lo que lleva a una primera expansión de 0,5 m<sup>3</sup>/s en el año 2064 y, de ahí en adelante, cada 5 años. La segunda fase no entraría en funcionamiento sino hasta el año 2074, momento en el cual se habrán realizado dos expansiones del tratamiento primario y se estará tratando un caudal de 10,07 para ambas fases. La gráfica 12 muestra el comportamiento del caudal total de aguas residuales vertido y de las capacidades para el esquema de costo mínimo en la cuenca de Tunjuelo.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

Gráfica 12

Caudal tratado Cuenca Tunjuelo bajo el plan de costo mínimo  
(Capacidad de tratamiento frente a caudal vertido)



COMPARACIÓN DEL COSTO MÍNIMO Y EL PLAN DEL DISTRITO

La principal diferencia entre el análisis de costo mínimo y el plan del Distrito es que el primero mantiene capacidades de tratamiento mayores a la producción total de los caudales de aguas residuales sin sobredimensiones en el diseño del caudal a tratar. Por su parte, el esquema de tratamiento del Distrito parte de caudales iniciales de tratamiento inferiores a los que sugiere el análisis de costo mínimo, lo que implica que las capacidades se encuentran subdimensionadas además de no contemplar expansiones de capacidad adicionales para cubrir los déficit a corto y mediano plazo.

Esto se ve claramente en el caso de la cuenca de Tunjuelo, donde en el momento de entrar a operar ya inicia con un rezago de  $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$  para el tratamiento primario y de  $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$  para la el tratamiento secundario. Aunque las plantas de las otras dos cuencas no inician operación en situación de rezago, la situación no es la mejor puesto que en el caso de Salitre éste se origina a los 8 años de entrada en funcionamiento de la fase I y a los 4 de la fase II. Para el caso de la cuenca de Fucha, el rezago inicia en el año 2020, es decir, a los 12 años de la entrada en operación del tratamiento primario y a los 8 del tratamiento secundario. Por tanto, en el esquema de tratamiento del Distrito la capacidad llega a su tope máximo en un plazo casi inmediato, sobre todo si se tiene en cuenta que el tratamiento trata de resolver rezagos que vienen de más o menos un siglo atrás, como se indica en los

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

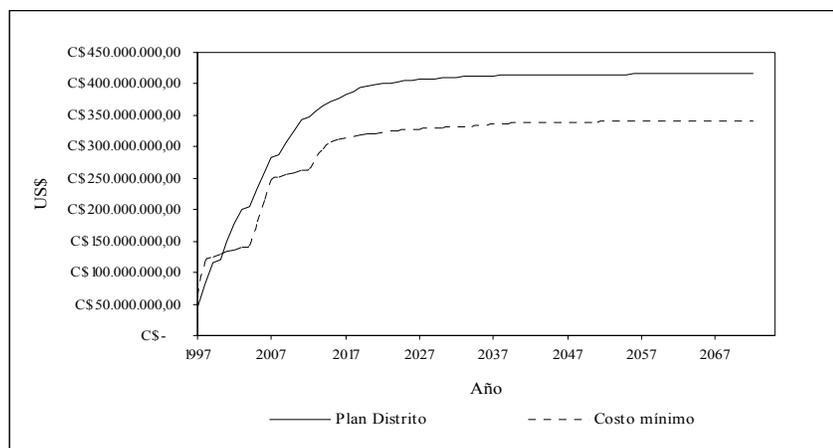
antecedentes del tratamiento de la ciudad. Adicionalmente el rezago obedece a que no hay expansiones que permitan responder al incremento poblacional, razón por la cual la brecha entre el caudal total residual y la capacidad de tratamiento tenderá a ser mayor cada vez.

Esto porque en el plan de descontaminación del Distrito los pliegos de la licitación se basaron en datos de los caudales medios de todos los ríos para el año 1991, los que resultan bastante más bajos que las proyecciones posteriores de los caudales estimados por otras firmas consultoras o por la EAAB.

En lo referente a los costos para ambos esquemas de tratamiento, los resultados se pueden apreciar en el cuadro 15 y el cuadro 16 del anexo 4. La gráfica 13 compara el valor actual de los costos totales acumulados para ambos casos; pese a que los costos de inversión previos a la entrada en funcionamiento del esquema de costo mínimo son mucho mayores (dado un caudal inicial mucho mayor que el ofrecido por el plan del Distrito), a partir del año 2010 estos comienzan a crecer con una tendencia bastante menor respecto a los costos causados por el plan del Distrito cuya tendencia es mayor. El valor actual neto de los costos para el esquema de costo mínimo, en el período de análisis, es de US\$ 1.664.702.288,88, superado ampliamente por el valor actual neto de los costos para el esquema del Distrito que arroja una cifra de US\$ 1.924.331.372,10.

Gráfica 13

Costos acumulados plan del Distrito vs. plan de costo mínimo



EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

ANÁLISIS DE TASAS RETRIBUTIVAS

Comparación del análisis de tasas retributivas con el plan del Distrito

*En términos de reducción de contaminación*

Para comparar la reducción de contaminación motivada por el esquema de tasas retributivas respecto al plan del Distrito, se toman diferentes escenarios de crecimiento de la meta regional que representan diferentes niveles de preferencias de la sociedad respecto a la calidad ambiental. El análisis se realiza para un período de 30 años.

Un escenario de crecimiento de la meta del 25% quinquenal, o valores inferiores, revela que los individuos no querrían disfrutar de un medio ambiente más sano, la carga residual total permanecería casi invariable y por tanto la reducción de la carga determinada por la tasa retributiva es casi inocua. En este caso la “reducción” producto de la tasa retributiva se acerca mucho más a la carga residual total que a la remoción propuesta por el Distrito. Para un escenario de crecimiento de la meta del 50% quinquenal la tendencia es muy parecida a la del escenario anterior, por lo cual la tasa no tendría mayor efecto sobre la decisión propuesta por el Distrito. Esto se da pese a que las preferencias de los individuos por un ambiente sano se incrementan.

Solamente bajo escenarios desproporcionados en el crecimiento de la meta regional, en los cuales la sociedad querría disfrutar de una calidad ambiental casi total, sería posible que la regulación económica trajera como resultado una estrategia de saneamiento como la actualmente vigente por parte del Distrito. Esto se da en el escenario de incremento de la meta del 100%, donde a partir del año 2011 se ve una leve tendencia de reducción en la carga, momento en el que, de todas maneras, la remoción propuesta por el Distrito es mucho más alta. Sólo en escenarios con desmedido crecimiento de la meta regional (150%, 200% y 300%) la reducción en la carga motivada por la tasa retributiva es parecida a la que se logra por el esquema del Distrito, para los primeros 14 años.

*En términos de costos*

A continuación, el cuadro 3 muestra el valor actual neto en dólares de las tasas retributivas respecto al plan del Distrito para diferentes niveles de crecimiento de la meta regional (25, 50 y 100%).

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

Cuadro 3

Valor de las tasas retributivas bajo el esquema del Distrito

| Meta | Acumulado sin<br>tratamiento | Acumulado con<br>tratamiento<br>(Fases 1 y 2) | Costos esquema +<br>valor acumulado tasas<br>con tratamiento |
|------|------------------------------|---|--|
| 100% | 505.137.842,95               | 422.047.387,56                                | 2.211.199.719,95   |
| 50%  | 505.137.842,95               | 367.304.139,06                                | 2.138.828.937,59   |
| 25%  | 505.137.842,95               | 294.116.719,70                                | 2.138.012.300,59   |

Se tiene que para cualquier cifra de crecimiento de la meta regional el valor a pagar por concepto de tasas retributivas en ausencia de tratamiento es de US\$ 505.137.842,95. Por su parte, el valor acumulado a pagar por concepto de tasas en presencia de tratamiento es menor que esta cifra y va aumentando a medida que la meta regional es más estricta: US\$ 422.047.387,56 para una meta del 100% de crecimiento quinquenal, US\$ 367.304.139,06 para una meta del 50%, y US\$ 294.116.719,70 para un crecimiento de la meta del 25%. Pese a la existencia de tratamiento, al mismo tiempo se paga un valor por concepto de tasas para los mismos niveles de crecimiento de la meta regional y por lo tanto se tiene que el agregado es el siguiente en cada caso: US\$ 2.211.199.719,95 cuando la meta es del 100%, US\$ 2.138.828.937,59 cuando es del 50%, y US\$ 2.138.012.300,59 para una meta regional del 25%.

En el anexo 6 se observa con mayor detalle la comparación entre el valor de las tasas y los costos del plan: de la gráfica 16 a la gráfica 21 se muestra el valor acumulado de las tasas retributivas versus el plan del Distrito para diferentes escenarios de meta de crecimiento del factor regional. Se observa también el valor a pagar por concepto de tasas sin tratamiento con relación al valor a pagar por tasas retributivas en presencia de tratamiento de aguas residuales aunado a los costos del plan. Para diferentes escenarios de crecimiento de la meta, de acuerdo a las preferencias de los agentes (100% para un nivel de calidad casi total, 50% para un nivel intermedio y 25% para un nivel de calidad menor), los costos del tratamiento más el valor a pagar por tasas en presencia de tratamiento supera ampliamente el pago por concepto de tasas retributivas en ausencia de tratamiento. Este resultado trae implicaciones fuertes en el sentido de que el Distrito podría elegir una nueva opción: el pago de tasas sobre el total de la carga generada en la ciudad sin ejecutar ningún plan de descontaminación (anexo 6).

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

### Comparación de las tasas retributivas con el plan de costo mínimo

Para efectuar la comparación en términos de mejoramiento de la calidad ambiental y de costos, nuevamente se realizan escenarios para la meta regional de la tasa y se trabaja con las remociones logradas por el plan de costo mínimo. El análisis se realiza para un período de 75 años.

Para los escenarios de crecimiento de la meta regional del 5 y el 10% quinquenal, la calidad ambiental motivada por la tasa retributiva es casi inocua respecto a la remoción resultante de la estrategia del costo mínimo. En ambos casos la carga residual total a la que conduce la regulación económica es casi invariable, lo cual coincide con las preferencias de la sociedad. Para un escenario de crecimiento de la meta del 20% quinquenal, en el cual las preferencias sociales respecto a la descontaminación aumentan, la tendencia de reducción es mayor a la de los escenarios anteriores.

#### *En términos de reducción de contaminación*

En el caso de una reducción del 25%, la reducción en la carga motivada por la tasa retributiva resulta aún muy leve, como el propuesto por el esquema de costo mínimo. Respecto a los escenarios anteriores presenta mayores niveles de reducción iniciando una leve tendencia de reducción de la carga contaminante.

Para un crecimiento de la meta regional del 50 y el 100%, donde la sociedad aumenta sustancialmente sus preferencias respecto a la calidad ambiental, la regulación económica traería consigo reducciones más estrictas que las presentadas por la estrategia de saneamiento de costo mínimo. Sólo en estos casos el instrumento económico logra una reducción de la carga mayor a la ofrecida por el esquema de costo mínimo.

#### *En términos de costos*

A continuación, el cuadro 4 presenta el valor actual neto en dólares de las tasas retributivas respecto al plan de costo mínimo

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

Cuadro 4

Valor de las tasas retributivas bajo el esquema de costo mínimo

| Meta | Acumulado sin<br>tratamiento | Acumulado con<br>tratamiento<br>(Fases 1 y 2) | Costos esquema + Valor<br>acumulado Tasas con<br>tratamiento |
|------|------------------------------|---|--|
| 100% | 527.746.571,71               | 72.220.537,43                                 | 1.736.860.957,53   |
| 50%  | 527.746.571,71               | 72.204.179,27                                 | 1.736.844.599,37   |
| 25%  | 527.746.571,71               | 72.204.152,85                                 | 1.736.844.572,95   |

Se tiene que para cualquier cifra de crecimiento de la meta regional el valor a pagar por concepto de tasas retributivas en ausencia de tratamiento es de US\$ 525.746.571,71. Por su parte, el valor acumulado a pagar por concepto de tasas en presencia de tratamiento es menor que esta cifra y va aumentando a medida que la meta regional es más estricta: US\$ 72.220.537,43 para una meta del 100% de crecimiento quinquenal, US\$ 72.204.179,27 para una meta del 50%, y US\$ 72.204.152,85 para un crecimiento de la meta del 25%. Pese a la existencia de tratamiento, al mismo tiempo se paga un valor por concepto de tasas para los mismos niveles de crecimiento de la meta regional, y por lo tanto se tiene el siguiente agregado en cada caso: US\$ 1.736.860.957,53 cuando la meta es del 100%, US\$ 1.736.844.599,37 cuando es del 50%, y US\$ 1.736.844.572,95 para una meta regional del 25%.

En el anexo 6 se observa con mayor detalle la comparación entre el valor de las tasas y los costos del plan: de la gráfica 22 a la gráfica 27 se muestra el valor acumulado de las tasas retributivas versus el plan de costo mínimo para diferentes escenarios de meta de crecimiento del factor regional de acuerdo a las preferencias sociales. También se observa el valor a pagar por concepto de tasas sin tratamiento con respecto al valor a pagar por tasas retributivas en presencia de tratamiento de aguas residuales más los costos del plan de costo mínimo.

Al igual que para el esquema del Distrito, se presenta el análisis para diferentes escenarios de crecimiento de la meta de acuerdo a las preferencias de los agentes (100% para un nivel de calidad casi total, 50% para un nivel intermedio y 25% para un nivel de calidad menor). Se observa que los costos del tratamiento más el valor a pagar por tasas en presencia de tratamiento supera ampliamente el pago por concepto de tasas retributivas en ausencia de tratamiento. Sin embargo, el valor de las tasas retributivas con tratamiento se aleja mucho más del valor de las tasas en ausencia de tratamiento, lo que no ocurría en el esquema del Distrito. Esto se debe a que el esquema de costo mínimo se desarrolla más a largo plazo que el esquema del Distrito, lo que lleva a concluir que las tasas son mucho más efectivas a largo plazo posiblemente porque los agentes tienen más tiempo de reaccionar al

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

instrumento. Sin embargo, los costos por asumir el esquema de costo mínimo siguen siendo más altos que tomar la decisión de no ejecutar ningún plan de descontaminación (anexo 6).

Por tanto, la regulación económica a través de tasas retributivas no genera incentivos a los agentes económicos racionales para ejecutar ninguno de los dos esquemas de tratamiento.

## CONCLUSIONES

Es evidente que el río Bogotá presenta condiciones de alta contaminación debido al gran aporte de aguas residuales domésticas e industriales a la altura de Bogotá. Esta corriente de agua reúne dos características muy comunes en los bienes ambientales evitando que los precios sean una señal correcta en la asignación de este tipo de recursos: su condición de bien público impuro, puesto que es no excluyente pero existe rivalidad en su consumo, y las externalidades negativas en la producción dado que su uso por parte de la ciudad para verter residuos genera efectos a terceros sin que se origine ninguna indemnización hacia los afectados.

El tema del tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Bogotá ha ocupado la atención del gobierno distrital desde 1994 cuando decidió emprender acciones correctivas a escala técnica a través de la estrategia de las tres plantas, y también del gobierno nacional, cuando decidió crear un instrumento económico que incentivara a los agentes a la reducción de la contaminación por medio de la implementación de la tasa retributiva. Sin embargo, ninguna de estas dos medidas ha contribuido hasta el momento a solucionar el problema, razón por la cual no existe una solución clara para reducir la contaminación.

Al comparar los dos esquemas de descontaminación, los resultados arrojados por el análisis de costo mínimo son un punto de referencia para concluir que el esquema de tratamiento que en la actualidad desarrolla el Distrito, no se ajusta a una economía como la colombiana con escasez de recursos y múltiples necesidades sociales por resolver. Esto, porque el plan de costo mínimo resulta menos costoso y permite mantener cubiertas capacidades de tratamiento mayores a la producción total de los caudales de aguas residuales sin sobredimensiones en el diseño del caudal a tratar. Adicionalmente es un esquema de descontaminación a más largo plazo que se acomoda más a nuestras condiciones económicas y financieras.

El esquema de tratamiento del Distrito parte de caudales iniciales de tratamiento inferiores a los que sugiere el análisis de costo mínimo, lo que implica que las capacidades de tratamiento se encuentran subdimensionadas

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

además de no contemplar expansiones de capacidad adicionales para cubrir los déficits a corto y mediano plazo. No tiene sentido la entrada en operación de una serie de tratamientos secundarios cuando el tratamiento primario que se está realizando no cubre el caudal total de aguas residuales de las cuencas de la ciudad, tal como se contempla en este plan. Dado que en el esquema de tratamiento del Distrito la capacidad llega a su tope máximo en un plazo casi inmediato, esto implica mantener un rezago creciente año tras año, el cual es aún más notorio en el caso de la cuenca del río Tunjuelo. Los rezagos para las cuencas de los ríos Salitre y Fucha inician a los pocos años de su entrada en operación.

Por tanto, el esquema de costo mínimo podría ser una opción importante pese a que no contempla tratamientos secundarios a corto o mediano plazo. Aunque en este esquema los costos de inversión previos a la entrada en funcionamiento son mucho mayores, por las razones ya explicadas, los costos acumulados a mediano plazo son mucho menores que los causados en el esquema del Distrito. Sin embargo, cabe aclarar que aunque el esquema de costo mínimo resulta más económico en términos de costos, no necesariamente es el mejor plan a seguir en términos de beneficios.

En cuanto a la tasa retributiva y su contribución al desarrollo del plan de descontaminación por parte del Distrito, se observan varias situaciones: en primer lugar, es importante la fijación de una meta que represente las preferencias de la sociedad, tal como lo dice la ley de medio ambiente. Esta meta debe generar los incentivos suficientes para la reducción de la contaminación por parte de los agentes económicos, de otra forma, se pueden presentar situaciones donde la meta, al ser subdimensionada, mantiene el factor regional constante y la herramienta se torna en un instrumento financiero y no económico, incumpliendo los fines para los cuales fue creada (esto ocurre con crecimientos de la meta iguales e inferiores al 50% quinquenal).

Por la anterior situación, se plantea la preocupación de que el comité que toma las decisiones de la meta regional no sea idóneo, y por tanto la decisión social debería estar más respaldada por técnicos que permitan asesorar a la comunidad.

Se tiene que solamente para escenarios desproporcionados en el crecimiento de la meta regional, sería posible que la regulación económica condujera a una decisión como la propuesta por el Distrito. Dado el corto plazo del plan de descontaminación diseñado, lo anterior traería otras implicaciones en términos de costos de las tarifas para los usuarios del servicio de acueducto y alcantarillado, lo cual sería objeto de otro estudio

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

que revisara la dimensión social del problema. La regulación ambiental, como está formulada en la actualidad, no genera mayor incentivo a que se realice el plan de tratamiento establecido por el Distrito.

Revisando la contribución de la regulación económica en torno al análisis de costo mínimo, se observa que: si bien la reducción de carga motivada por la tasa retributiva es más alta que en el esquema del Distrito, los resultados demuestran que no proporciona el incentivo suficiente para el desarrollo del esquema de costo mínimo pese a su carácter de más largo plazo; además, el valor de las tasas sin tratamiento y con tratamiento es más cercano entre sí que los costos que se enfrentarían para realizar una estrategia de costo mínimo.

Por tanto, en ambos casos, la regulación económica no genera incentivos para que se ejecute ninguno de los dos esquemas de tratamiento. Este resultado es importante en el sentido en que la ciudad podría elegir una nueva opción: el pago de tasas sobre el total de la carga generada en la ciudad sin ejecutar ningún plan de descontaminación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía Mayor de Bogotá, Departamento Administrativo de Planeación Distrital. *Plan de Ordenamiento Territorial (POT)*, documento resumen.
- Azqueta Oyarzún, Diego. 1994. *Valoración económica de la calidad ambiental*. Primera parte: fundamentos teóricos, Mc Graw Hill.
- Bogotana de Aguas y Saneamiento (BAS). 1999. Planta de tratamiento de aguas residuales el Salitre –fase I–, *Primer paso concreto en la capital*, Carpeta de prensa, Santafé de Bogotá, abril.
- Baumol, William. 1972. “On taxation and the Control of Externalities”, *American Economic Review*.
- Baumol, William y Wallace Oates. 1971. “The Use of Standards and Prices for Environmental Protection”, *The Swedish Journal of Economics*.
- Baumol, William y Oates, Wallace. 1985. “Efficiency without Optimality: the Charges and Standards Approach”, *The Theory of Environmental Policy*, cap. 11, Cambridge Press.
- Bernstein, Janis D. 1993. *Alternative Approaches to Pollution Control and Waste Management: Regulatory and Economic Instruments*, The World Bank.
- Castro Rodríguez, Raúl y Mokate, Karen Marie. 1996. *Evaluación económica y social de Proyectos*, Universidad de los Andes.
- Comisión Económica para América Latina (CEPAL) y División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos (DMAAH). *Aplicación de instrumentos económicos en la gestión ambiental en América Latina y el Caribe: desafíos y factores condicionantes*.
- Comisión Económica para América Latina (CEPAL) y División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos (DMAAH). 2000. *Instrumentos económicos para el control de la contaminación del agua: condiciones y casos de aplicación*, 28 de diciembre.
- CRA. 2000. “Tasas retributivas: un enfoque proactivo”, *Revista Regulación* 5, diciembre.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

- Departamento Administrativo de Planeación Distrital. 1998. *Estimación de funciones de consumo, ahorro e inversión en Bogotá*, Econometría S.A.
- Departamento Nacional de Planeación. 2002. “Acciones prioritarias y lineamientos para La formulación del plan nacional de manejo de aguas residuales”, *Documento Compes*, julio.
- De Jong, Roelof; Andries Nentjes y Doede Wiersma. 2000. “Inefficiencies in public environmental services” *Environmental and Resources Economics* 16, 1.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Gerencia de Planeamiento. 1998. *Solicitud de modificación tarifaria de los servicios de acueducto y alcantarillado*, agosto.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. 1998. *Ajuste a la solicitud de modificación de fórmulas tarifarias atendiendo las observaciones de la Comisión de Regulación de Agua*, diciembre.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Informe Anual 2001.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. 1999. *Actualización de la proyección de la demanda de agua*, TEA Consultores, diciembre,
- Field, Barry. 1995. *Economía ambiental: Una introducción*, sección 3: análisis ambiental. Sección 4: análisis de política ambiental, Mc Graw Hill.
- Janis D. Bernstein. 1993. *Alternative Approaches to Pollution Control and Waste Management: Regulatory and Economic Instruments*, World Bank Publications.
- Kennedy, Peter W. y Benoit Laplante. 1999. *Environmental Policy and Time Consistency: Mission Taxes and Emission Trading*, The world Bank.
- Mokate, Karen. 1996. *Evaluación financiera de proyectos de inversión*, capítulo 5: criterios para la toma de decisión, Universidad de Los Andes.
- Sarmiento, Guillermo y Jaramillo, Luis. 1990. *Problemática del tratamiento de aguas residuales*, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, primer congreso de empresas de acueducto y alcantarillado.
- Serrano, Javier. 2001. *Matemáticas financieras y Evaluación de proyectos*, Ediciones Uniandes.
- Shrestha, Ratna K. 1998. *Environmental and Resources Economics. Uncertainty and the Choice of Policy Instruments. A Note On Baumol and Oates Propositions*, vol. 12, número 4, diciembre.
- Uribe, Eduardo. 2002. *Propuestas para una Colombia Competitiva. La gestión ambiental y sus efectos para la competitividad de la industria en Colombia*, Programa Andino de Competitividad, Corporación Andina de Fomento, Cede/Uniandes
- Vial, Joaquín. 1996. “Instrumentos económicos, política ambiental y competitividad”, *Colección de estudios Cieplan 44*, diciembre.
- World Bank. 2000. *Greening Industry. New Roles for Communities, Markets and Governments*.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

ANEXO 1

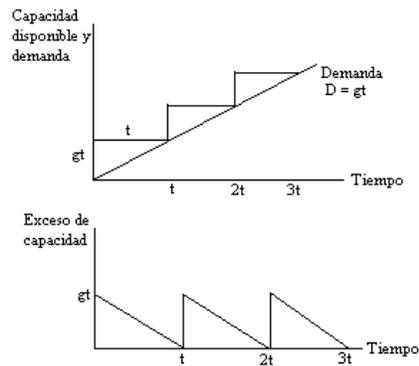
APLICACIÓN DEL MODELO PARA CONSTRUCCIÓN Y  
EXPANSIONES DE CAPACIDAD DE TRATAMIENTOS DE AGUAS  
RESIDUALES

MODELO SIN DÉFICIT INICIAL

En este caso el sistema se construye sin ningún tipo de rezago a ser cubierto, por lo cual la carga contaminante comienza a crecer desde el origen simultáneamente con la demanda por tratamiento de aguas residuales

Gráfica 14

Modelo de costo mínimo sin déficit inicial



Consiste en encontrar el período óptimo de expansión ( $\tau^*$ ) y la capacidad de expansión ( $Q^*$ ) que minimicen la función de costos por tratamiento. La función de costos es

$$C(Q) = \alpha Q^\beta$$

donde

$$\beta = (\Delta C / C) / (\Delta Q / Q) \text{ es la elasticidad de costos}$$

siendo

$$0 < \beta < 1 \text{ las economías de escala.}$$

En la gráfica se observa la curva de costos en función de capacidad y economías de escala.

Se pretende minimizar el valor presente (VP) de los costos de abastecer la demanda por tratamiento de aguas residuales, con expansiones de capacidad iguales, sujeto a las economías de escala brindadas por la tecnología y un costo de oportunidad del mercado, representado por la tasa de interés de descuento:

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

$$C(\tau) = \alpha(g\tau)^\beta + \alpha(g\tau)^\beta 1/(1+h)^\tau + \alpha(g\tau)^\beta 1/(1+h)^{2\tau} + \dots + \alpha(g\tau)^\beta 1/(1+h)^{n\tau}$$

con

$$Q = g\tau$$

donde  $Q$  = capacidad de expansión (caudal),  $\tau$  = período de expansión,  $g$  = pendiente de la curva de demanda de aguas residuales,  $h$  = tasa de descuento, y  $1/(1+h)^\tau = e^{-r\tau}$  el factor de descuento.

$$C(\tau) = \alpha(g\tau)^\beta + \alpha(g\tau)^\beta e^{-r\tau} + \alpha(g\tau)^\beta e^{-2r\tau} + \dots + \alpha(g\tau)^\beta e^{-nr\tau}$$

Dado que la serie infinita  $e^{-r\tau} + e^{-2r\tau} + e^{-3r\tau}$  converge a  $1/(1 - e^{-r\tau})$ , la función de costos de VP de abastecimiento de demanda es:

$$C(\tau) = \alpha(g\tau)^\beta / (1 - e^{-r\tau})$$

Se pretende encontrar el  $\tau^*$  que minimiza la función de costos de  $C(\tau)$ .

Condiciones de primer orden:

$$\delta C(\tau) / \delta \tau = 0$$

$$\delta[\alpha(g\tau)^\beta / (1 - e^{-r\tau})] / \delta(\tau) = 0$$

$$\alpha(g)^\beta \delta / \delta \tau [\tau^\beta / (1 - e^{-r\tau})] = 0$$

$$[\beta \tau^{\beta-1} (1 - e^{-r\tau}) - \tau^\beta (r e^{-r\tau})] / (1 - e^{-r\tau})^2 = 0$$

$$[\beta \tau^{\beta-1} (1 - e^{-r\tau})^{-1} - \tau^\beta (1 - e^{-r\tau})^{-2} (r e^{-r\tau})] = 0$$

$$[\beta \tau^{\beta-1} - \tau^\beta (r e^{-r\tau})] = 0$$

$$\beta = r\tau^* / (e^{r\tau^*} - 1), \text{ expresión implícita de } \tau^*$$

Aproximando con expansión de series de Taylor:

$$\beta \approx [1 - (r\tau^* / 6)]^3, \text{ si } r\tau < 2$$

Se despeja  $\tau^*$

$$\tau^* = 6 / r(1 - \beta)^{1/3}$$

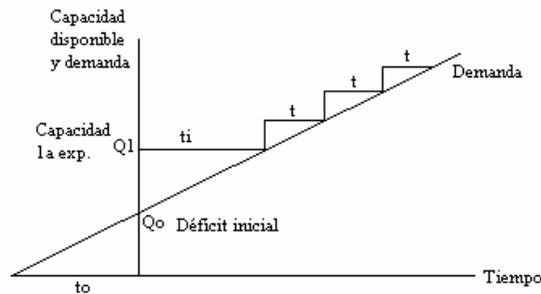
#### MODELO CON DÉFICIT INICIAL

Este modelo, más realista, implica que el sistema se construye con un nivel de rezago, dado que la carga contaminante comienza a crecer con anterioridad por inexistencia de algún sistema de tratamiento, por lo cual la demanda por tratamiento de aguas residuales se va incrementando hasta el momento que entre en funcionamiento dicho tratamiento (gráfica 15).

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

Sandra Liliana Guerrero Suárez

Gráfica 15  
Modelo de costo mínimo con déficit inicial



$$Q_i = g(\tau_0 + \tau_i)$$

La función de costos de VP de abastecimiento de demanda es:

$$C(\tau) = \alpha(Q_i)^\beta + \alpha(g\tau)^\beta 1/(1 - e^{-r\tau}) 1/(1 + r)^{t_i}$$

$$C(\tau) = \alpha[g(\tau_0 + \tau_i)]^\beta + \alpha(g\tau)^\beta 1/(1 - e^{-r\tau^*}) 1/(1 + r)^{t_i}$$

Encontrar el  $\tau^*$  que minimiza  $C(\tau)$ . Condiciones de primer orden:

$$\delta C(\tau) / \delta \tau = 0$$

$$\delta[\alpha\{g(\tau_0 + \tau_i)\}^\beta + \alpha(g\tau)^\beta 1/(1 - e^{-r\tau^*}) 1/(1 + r)^{t_i}] / \delta(\tau) = 0$$

derivando, igualando a cero y reemplazando, se tiene:

$$(\tau_0 + \tau_i)^{\beta-1} = (r/\beta)(e^{-r\tau_i})(\tau^{*\beta} / (1 - e^{-r\tau^*}))$$

$$\tau_i = \tau_0 + [(1 - \beta)/r]^{0.7} + [\tau_0^{0.9} / (\tau_0 + \tau^*)]$$

Series de Taylor:

$$\beta = r\tau^* / (e^{r\tau^*} - 1) \text{ es la expresión implícita de } \tau^*$$

Se necesitan series de Taylor para despejar  $\tau^*$

$$r\tau^* = x$$

$$\beta = x / (e^x - 1)$$

$$e^x = (x^0 / 0!) + (x^1 / 1!) + (x^2 / 2!) + (x^3 / 3!) + \dots$$

$$e^x = 1 + x + (x^2 / 2) + (x^3 / 6) + \dots$$

$$\beta = x / \{ [1 + x + (x^2 / 2) + (x^3 / 6)] - 1 \}$$

reemplazando  $e^x$  en  $\beta$

$$\beta = x / [x + (x^2 / 2) + (x^3 / 6)]$$

factorizando x

$$\beta = 1 / [1 + (x / 2) + (x^2 / 6)]$$

Ejemplo: si  $x = 1$

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

\* Real:  $\beta = x/(e^x - 1) = 0,58$

\*S.T:  $\beta = 1/[1 + (x/2) + (x^2/6)] = 0,6$

## ANEXO 2 METODOLOGÍA

Este anexo presenta la metodología que sirvió como base para la consecución de resultados, apuntando a la resolución de los objetivos planteados. Se presenta, además, la fuente de las series de datos más relevantes en el análisis, como los caudales de aguas residuales a ser removidos, las cargas objeto de cobro de las tasas y los costos generados. Se revisa la metodología para la comparación de cada una de las medidas para contrarrestar el problema actual de la contaminación, como lo son el plan actual del Distrito, el análisis de costo mínimo y las tasas retributivas.

### PLAN DEL DISTRITO

#### Caudal de aguas residuales

Para encontrar la serie de datos correspondiente al caudal total de aguas residuales vertido por cuencas en la ciudad se tomaron datos de demanda de agua de la ciudad entre los años 2000 y 2030, multiplicados por un factor de pérdidas por filtraciones del 15%.

Los datos utilizados fueron proporcionados por la Unión Temporal para el saneamiento del río Bogotá. El mismo ejercicio fue realizado por datos de un estudio de la firma económica Consultores<sup>43</sup>, donde las ecuaciones resultantes para el caso de las cuencas de Salitre y Tunjuelo fueron iguales, mientras que para la cuenca de Fucha presentaron variaciones, por lo cual se optó por trabajar con los resultados de la Unión Temporal por ser los más recientes y los utilizados en la actualidad por la EAAB para realizar estudios en la misma área.

Los datos de caudal de tratamiento para el proyecto están dados por los caudales medios de los tres ríos para el año 1991, según como figura en los pliegos de la Licitación 01 de 1994.

---

<sup>43</sup> *Elaboración de escenarios de financiación para la recuperación del río Bogotá*, informe final, 1998.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

Cuadro 5  
Caudal por cuenca

| Cuenca   | Caudal (Unidad de volumen / tiempo)                 |
|----------|---|
| Salitre  | 4 m <sup>3</sup> /s = 345.600 m <sup>3</sup> /día   |
| Fucha    | 6,4 m <sup>3</sup> /s = 552.960 m <sup>3</sup> /día |
| Tunjuelo | 3,1 m <sup>3</sup> /s = 267.840 m <sup>3</sup> /día |

Fuente: Licitación 001 de 1994

Costos

Dada la imposibilidad de hacer un cálculo econométrico de los costos por la inexistencia de datos para Colombia de plantas de tratamiento de aguas residuales de las dimensiones requeridas para Bogotá<sup>44</sup>, se tomaron ecuaciones de costos de construcción y operación y mantenimiento (para tratamiento primario y secundario) procedentes de la EPA (agencia de protección ambiental) de Estados Unidos y que también han sido utilizadas en los análisis efectuados por la Unión Temporal para el saneamiento del río Bogotá. A continuación se enuncian dichas ecuaciones, donde Q es el caudal de aguas residuales a tratar<sup>45</sup> y C los costos del tratamiento:

Cuadro 6  
Costos por tratamiento

| Tipo de costos                            | Tratamiento | Ecuación               |
|---|-------------|------------------------|
| Inversión inicial                         | Primario    | $C = 13,22 (Q)^{0,73}$ |
|   | Secundario  | $C = 5,473 (Q)^{0,73}$ |
| Administración, operación y mantenimiento | Primario    | $C = 11,02 (Q)^{1,01}$ |
|   | Secundario  | $C = 30,3 (Q)^{0,96}$  |

Q en m<sup>3</sup>/día. C para inversión inicial en miles de US\$/año.

METODOLOGÍA DE COSTO MÍNIMO

Caudal de aguas residuales

Se utilizaron los datos correspondientes al caudal de aguas residuales empleados para el análisis del Distrito, extrapolando la serie mediante linealización por el método de mínimos cuadrados y obteniendo la proyección de caudales hasta el año 2072. De estos caudales totales de aguas

<sup>44</sup> En la actualidad se cuenta solamente con la planta del Salitre, siendo información insuficiente para realizar una estimación econométrica de costos.

<sup>45</sup> El mismo caudal que aparece en el cuadro 5.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

residuales por cuencas se parte para aplicar el análisis de costo mínimo, calculando los caudales y períodos iniciales de entrada en funcionamiento de los sistemas de tratamiento, así como los parámetros para las expansiones subsiguientes.

#### Costos de tratamiento

En el caso de la metodología de costo mínimo el análisis de costos parte de las mismas ecuaciones de la EPA para un período de tiempo de 72 años y se tienen en cuenta tanto los costos de inversión de las inversiones de las expansiones de capacidad como el aumento de costos anuales de operación y mantenimiento de las mismas.

#### ESTIMATIVO DE TASAS RETRIBUTIVAS

#### Cálculo de la carga contaminante para el proyecto de saneamiento

Se realizaron las proyecciones del total de carga contaminante para cada una de las tres cuencas, de acuerdo a los criterios establecidos por el Reglamento de Saneamiento Básico (RAS), teniendo en cuenta proyecciones del crecimiento de la población<sup>46</sup> e indicaciones suministradas por la Unión Temporal del río Bogotá para el período 2000-2030.

#### Cuadro 7

#### Carga contaminante

| Unidad generadora | Vertimiento diario (Gr.) |     | Vertimiento mensual |     |      |     | Vertimiento Semestral |     |      |     |
|-------------------|--------------------------|-----|---------------------|-----|------|-----|-----------------------|-----|------|-----|
|                   | DBO                      | SST | DBO                 |     | SST  |     | DBO                   |     | SST  |     |
|                   | Gr.                      | Kg. | Gr.                 | Kg. | Gr.  | Kg. | Gr.                   | Kg. | Gr.  | Kg. |
| Individuo         | 50                       | 50  | 1500                | 1.5 | 1500 | 1.5 | 9000                  | 9   | 9000 | 9   |

Tabla E216 del Reglamento de Saneamiento Básico (RAS).

Biológicamente los vertimientos diarios por individuo son 50 gramos de ambos parámetros –DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y SST (sólidos suspendidos totales).

<sup>46</sup> Proyecciones de población y número de personas por vivienda en Bogotá (EAAB, 1999).

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

### Meta de reducción

Partiendo de la meta inicial de 2,1%<sup>47</sup>, de reducción para los dos parámetros contemplados en el decreto 901, se formulan diversos escenarios de crecimiento de la meta regional cada quinquenio. En el cuadro 8 se muestran estos escenarios hasta el año 2072, dentro de los cuales se realizarán los dos análisis: costo mínimo y plan del Distrito.

### Cuadro 8

#### Escenarios de crecimiento quinquenal de la meta

| Año  | 100%  | 50%   | 25%   | 20%  | 15%  | 10% | 5%  |
|------|-------|-------|-------|------|------|-----|-----|
| 1997 | 2,1   | 2,1   | 2,1   | 2,1  | 2,1  | 2,1 | 2,1 |
| 2002 | 4,2   | 3,2   | 2,6   | 2,5  | 2,4  | 2,3 | 2,2 |
| 2007 | 8,4   | 4,7   | 3,3   | 3,0  | 2,8  | 2,5 | 2,3 |
| 2012 | 16,8  | 7,1   | 4,1   | 3,6  | 3,2  | 2,8 | 2,4 |
| 2017 | 33,6  | 10,6  | 5,1   | 4,4  | 3,7  | 3,1 | 2,6 |
| 2022 | 67,2  | 15,9  | 6,4   | 5,2  | 4,2  | 3,4 | 2,7 |
| 2027 | 100,0 | 23,9  | 8,0   | 6,3  | 4,9  | 3,7 | 2,8 |
| 2032 | 100,0 | 35,9  | 10,0  | 7,5  | 5,6  | 4,1 | 3,0 |
| 2037 | 100,0 | 53,8  | 12,5  | 9,0  | 6,4  | 4,5 | 3,1 |
| 2042 | 100,0 | 80,7  | 15,6  | 10,8 | 7,4  | 5,0 | 3,3 |
| 2047 | 100,0 | 100,0 | 19,6  | 13,0 | 8,5  | 5,4 | 3,4 |
| 2052 | 100,0 | 100,0 | 24,4  | 15,6 | 9,8  | 6,0 | 3,6 |
| 2057 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 18,7 | 11,2 | 6,6 | 3,8 |
| 2062 | 100,0 | 100,0 | 38,2  | 22,5 | 12,9 | 7,2 | 4,0 |
| 2067 | 100,0 | 100,0 | 47,7  | 27,0 | 14,9 | 8,0 | 4,2 |
| 2072 | 100,0 | 100,0 | 59,7  | 32,4 | 17,1 | 8,8 | 4,4 |

### Tecnología PTARES para remoción de la contaminación (esquema del Distrito)

Se tomaron los diseños de eficiencia de remoción por parámetro y tipo de tratamiento señalados en la propuesta técnica del proyecto de descontaminación del río Bogotá originado en la Licitación 001 de 1994 de la Alcaldía Mayor de Bogotá y el DAMA. Estos aparecen en el cuadro 9.

<sup>47</sup> Establecida por el DAMA.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

Cuadro 9

Propuesta técnica del proyecto de descontaminación del río Bogotá,  
Licitación 01 de 1994

| Tipo de tratamiento | Eficiencia de remoción por tratamiento |         | Diseño en términos de:   |
|---------------------|--|---------|--|
|                     | DBO <sub>5</sub>                       | SST     |  |
| Primario            | 40%                                    | 60%     | % de eficiencia o capacidad de remoción de la Carga orgánica (promedio diario) |
| Secundario          | 20 mg/l                                | 30 mg/l | Calidad del efluente (promedio concentración diaria)                           |

Para homogeneizar el análisis, en términos de unificar la eficiencia para ambos tipos de tratamiento, la remoción del tratamiento secundario (en términos de calidad del efluente) se convierte a porcentaje de eficiencia de la remoción. Para esto se encuentra la concentración residencial por cuencas:

Cuadro 10

Concentración por cuencas

| Cuenca   | Concentración residencial de SST Y DBO (mg/l) |
|----------|---|
| Salitre  | 331   |
| Fucha    | 343   |
| Tunjuelo | 392   |

A partir de la información de los cuadros 9 y 10, se encontró el nivel de eficiencia de remoción de la carga contaminante por cuenca para el tratamiento secundario de acuerdo a los valores de calidad del efluente de la propuesta técnica de la Licitación 001 de 1994, como lo muestra el cuadro 11.

Cuadro 11

Equivalencia de la propuesta técnica del proyecto de descontaminación del río Bogotá, Licitación 001 de 1994 (Alcaldía Mayor de Bogotá y DAMA)

| Tipo de tratamiento | Cuencas  | Eficiencia de remoción por parámetro |     | Diseño en términos de:   |
|---------------------|----------|--------------------------------------|-----|--|
|                     |          | DBO                                  | SST |  |
| Primario            | Todas    | 40%                                  | 60% | % de eficiencia o capacidad de remoción de la carga orgánica (promedio diario) |
| Secundario          | Salitre  | 94%                                  | 91% |  |
|                     | Fucha    | 94%                                  | 91% |  |
|                     | Tunjuelo | 95%                                  | 92% |  |

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

La entrada en funcionamiento de la fase 1 (tratamiento primario) para cada una de las cuencas implica una eficiencia en la remoción del 40% en la DBO y del 60% en los SST. Por su parte, la entrada en funcionamiento de la fase 2 (tratamiento secundario) para cada cuenca implica una meta puntual según cada parámetro, dado un nivel de eficiencia en la remoción, del 94% en la DBO y del 95% en los SST (para Salitre y Fucha). En el caso de Tunjuelo, la remoción en el tratamiento secundario es del 95 y 92%, dados los datos arrojados por el cuadro 11.

En el cuadro 12 se observa la remoción por cuenca ofrecida por las PTARES dentro del plan del Distrito, según el cronograma previsto.

Cuadro 12  
Remoción por parámetro del plan Distrito

| Año  | Cuenca       | % de remoción (ptar) |
|------|--------------|----------------------|
| 2000 | Salitre FI   | 40% DBO - 60% SST    |
| 2004 | Fucha FI     | 94% DBO - 91% SST    |
| 2008 | Tunjuelo FI  | 40% DBO - 60% SST    |
| 2012 | Salitre FII  | 94% DBO - 91% SST    |
| 2016 | Fucha FII    | 40% DBO - 60% SST    |
| 2020 | Tunjuelo FII | 94% DBO - 91% SST    |

Sin embargo, esta remoción del Distrito tiene que ser corregida para efectos del análisis con la tasa retributiva, pues no contempla expansiones de capacidad para mantener cubierto el aumento en los caudales de aguas residuales debido a los incrementos en la población. Con base en el crecimiento poblacional se calcula la nueva remoción para el análisis, teniendo en cuenta adicionalmente que la meta de 2,1% asignada por el DAMA se mide para toda la ciudad y no por cuencas; por tanto, se trabaja con la remoción acumulada, la cual se muestra en el cuadro 14 del anexo 3, donde también se explica el procedimiento del cálculo.

#### Estimación del valor a pagar de la tasa (plan Distrito)

Para diferentes escenarios de meta descritos en el cuadro 8, se realiza el cálculo del valor de las tasas retributivas<sup>48</sup>. La carga contaminante objeto de cobro de la tasa, en cada uno de los escenarios de meta, se calcula de acuerdo al criterio tecnológico de porcentaje de remoción de cada tipo de

<sup>48</sup> De acuerdo a la fórmula establecida en el Decreto 901 de abril de 1997.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

tratamiento (dados los resultados del cuadro 11<sup>49</sup>), el crecimiento de la población y lo estipulado por el Decreto 1594/84 donde se fijan límites de remoción mayor al 80%<sup>50</sup>. En el caso de existir tratamiento secundario, se paga sobre el 8% de DBO y 9% de SST.

El análisis se realiza desde 1997, año de entrada en vigor del Decreto 901, por lo que la remoción para cada cuenca será de cero hasta la entrada en funcionamiento de la primera fase en 2002 donde será definida de acuerdo al porcentaje de eficiencia en la remoción que brinda cada planta. El cumplimiento de la meta se verá reflejado en el factor regional que se mantendrá constante en el caso de cumplimiento del cronograma y empezará a aumentar 0,5 cada semestre cuando no se cumpla la meta prevista para cada escenario en el cuadro 8 en comparación al cuadro 14 del anexo 3 (para la comparación de la tasa con el plan del Distrito) y el cuadro 13 (para la comparación de la tasa con el análisis del costo mínimo).

La remoción a la cual incentiva la meta de la tasa retributiva en cada uno de los escenarios de crecimiento es comparada con la remoción lograda para el plan del Distrito, permitiendo ver si el instrumento económico incentiva de alguna forma a realizar el tratamiento, o si por el contrario el esquema del Distrito resulta sobredimensionado o subdimensionado respecto al instrumento económico.

#### COMPARACIÓN DE TASAS RETRIBUTIVAS CON EL ESQUEMA DE COSTO MÍNIMO

En el caso del análisis de costo mínimo la remoción contempla expansiones de capacidad para mantener cubierto el aumento en los caudales de aguas residuales debido a los incrementos en la población. En el cuadro 13 se observa la remoción por cuenca ofrecida por las PTARES bajo el análisis de costo mínimo, dentro del cronograma arrojado por el modelo. En cuanto a la cuestión tecnológica se mantienen los porcentajes de eficiencia en la remoción de las PTARES del análisis del Distrito, observadas en el cuadro 11, pero el esquema de tratamiento cambia en el sentido que inicialmente se construyen los tratamientos primarios de cada una de las cuencas y posteriormente los tratamientos secundarios, como se observa en el cuadro 13.

---

<sup>49</sup> Si la remoción es igual o menor al 80% de la carga, sólo se paga tasa sobre el 20% restante, si es mayor al 80% se paga tasa sólo por el porcentaje que no es removido.

<sup>50</sup> En el caso de existir tratamiento primario, de todas maneras se paga sobre el 20% puesto que la remoción lograda no es mayor al 80%.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

**Cuadro 13**

Remoción anual por cuencas resultante del plan de costo mínimo

| Año  | % de Remoción (PTAR) | Cuenca   | % de Remoción por cuencas |      | Remoción Acumulada |      |
|------|----------------------|----------|---------------------------|------|--------------------|------|
|      |                      |          | DBO                       | SST  | DBO                | SST  |
| 2000 | 40% DBO - 60% SST    | Salitre  | 12,6                      | 19,0 | 12,6               | 19,0 |
| 2008 | 40% DBO - 60% SST    | Fucha    | 14,2                      | 21,3 | 26,8               | 40,3 |
| 2016 | 40% DBO - 60% SST    | Tunjuelo | 13,2                      | 19,7 | 40,0               | 60,0 |
| 2040 | 94% DBO - 91% SST    | Salitre  | 29,7                      | 28,8 | 57,1               | 69,8 |
| 2068 | 94% DBO - 91% SST    | Fucha    | 33,4                      | 32,3 | 76,2               | 80,8 |
| 2069 | 94% DBO - 91% SST    | Tunjuelo | 30,9                      | 29,9 | 94,0               | 91,0 |

La meta de tasa propuesta es comparada con la remoción lograda para el análisis de costo mínimo y, de esta forma, se obtiene el factor regional año tras año y su variación quinquenal.

**ANEXO 3**

**REMOCIÓN EN EL PLAN DEL DISTRITO**

**EFFECTO DEL CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN EN LA REMOCIÓN PARA EL CASO DEL SANEAMIENTO EN EL DISTRITO**

Como se estableció anteriormente, la Licitación 01 de 1994 estableció un parámetro de carga de aguas residuales a ser tratada en cada cuenca, lo cual implica que el Distrito no tiene en cuenta un plan de expansiones de capacidad que logre evitar un nuevo rezago de la capacidad de tratamiento respecto al vertimiento.

Por tanto, dado que el resultado de los esfuerzos ofrecidos por el Distrito se mantiene constante, es importante para el análisis comparativo del esquema del Distrito y las tasas retributivas tener en cuenta que esta brecha entre carga removida y vertida se ampliará nuevamente, luego de cierto tiempo, por los aumentos en la población. Adicionalmente, cabe anotar que trabajar con la remoción acumulada es importante puesto que la meta de 2,1% asignada por el DAMA se mide para toda la ciudad y no por cuencas.

**Cálculo de la remoción acumulada**

Inicialmente se realizó una comparación del caudal total por cuenca respecto al caudal tratado por la estrategia del Distrito. Se encontró un superávit en los primeros 8 años (hasta el 2007) para la cuenca del Salitre, en los cuales la

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

capacidad de tratamiento del Distrito, 4 m<sup>3</sup>/s, es mayor que el caudal total de aguas residuales para la cuenca. La misma situación se presenta para la cuenca de Fucha durante 12 años, desde que entra en funcionamiento la fase I hasta el año 2019, y a partir del siguiente año se revierte la tendencia. Por el contrario, se observa que la cuenca de Tunjuelo siempre presenta un déficit entre el caudal de aguas residuales total y la capacidad de tratamiento siendo la cifra más baja, 29,5%, para el año de entrada en funcionamiento de la planta (2016), y aumentando cada año.

Teniendo en cuenta lo anterior, y adicionando al análisis el porcentaje de la población representado por cada cuenca<sup>51</sup> y la remoción brindada por fases de cada uno de los parámetros para medir la contaminación (DBO y SST) se obtuvo la remoción anual acumulada total, como se muestra en el cuadro 14.

Cuadro 14  
Remoción total acumulada por parámetro para el plan del Distrito

| Año  | DBO  | SST  | Año  | DBO  | SST  |
|------|------|------|------|------|------|
| 2000 | 12,6 | 19,0 | 2037 | 58,3 | 56,5 |
| 2001 | 12,6 | 19,0 | 2038 | 57,5 | 55,7 |
| 2002 | 12,6 | 19,0 | 2039 | 56,8 | 55,0 |
| 2003 | 12,6 | 19,0 | 2040 | 56,0 | 54,2 |
| 2004 | 29,7 | 28,8 | 2041 | 55,3 | 53,5 |
| 2005 | 29,7 | 28,8 | 2042 | 54,6 | 52,8 |
| 2006 | 29,7 | 28,8 | 2043 | 53,9 | 52,2 |
| 2007 | 29,7 | 28,8 | 2044 | 53,2 | 51,5 |
| 2008 | 43,9 | 50,1 | 2045 | 52,6 | 50,9 |
| 2009 | 43,2 | 49,4 | 2046 | 51,9 | 50,3 |
| 2010 | 42,5 | 48,7 | 2047 | 51,3 | 49,7 |
| 2011 | 41,8 | 48,1 | 2048 | 50,7 | 49,1 |
| 2012 | 60,4 | 58,5 | 2049 | 50,1 | 48,5 |
| 2013 | 59,8 | 57,9 | 2050 | 49,5 | 47,9 |
| 2014 | 59,2 | 57,3 | 2051 | 48,9 | 47,4 |
| 2015 | 58,7 | 56,8 | 2052 | 48,4 | 46,8 |
| 2016 | 67,4 | 70,2 | 2053 | 47,8 | 46,3 |
| 2017 | 66,7 | 69,4 | 2054 | 47,3 | 45,8 |
| 2018 | 66,0 | 68,6 | 2055 | 46,8 | 45,3 |
| 2019 | 65,4 | 67,9 | 2056 | 46,3 | 44,8 |
| 2020 | 76,2 | 73,8 | 2057 | 45,8 | 44,3 |
| 2021 | 74,8 | 72,5 | 2058 | 45,3 | 43,8 |
| 2022 | 73,5 | 71,2 | 2059 | 44,8 | 43,4 |
| 2023 | 72,3 | 70,0 | 2060 | 44,3 | 42,9 |
| 2024 | 71,1 | 68,8 | 2061 | 43,9 | 42,5 |
| 2025 | 69,9 | 67,7 | 2062 | 43,4 | 42,1 |
| 2026 | 68,8 | 66,6 | 2063 | 43,0 | 41,6 |

<sup>51</sup> Para el año 2000, la población de la cuenca del Salitre representaba el 31,6% del total de la ciudad, la de Fucha el 35,5% y la de Tunjuelo el 32,9%.

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

Sandra Liliana Guerrero Suárez

| Año  | DBO  | SST  | Año  | DBO  | SST  |
|------|------|------|------|------|------|
| 2027 | 67,7 | 65,5 | 2064 | 42,6 | 41,2 |
| 2028 | 66,6 | 64,5 | 2065 | 42,2 | 40,8 |
| 2029 | 65,6 | 63,5 | 2066 | 41,7 | 40,4 |
| 2030 | 64,6 | 62,5 | 2067 | 41,3 | 40,0 |
| 2031 | 63,6 | 61,6 | 2068 | 40,9 | 39,6 |
| 2032 | 62,6 | 60,6 | 2069 | 40,6 | 39,3 |
| 2033 | 61,7 | 59,8 | 2070 | 40,2 | 38,9 |
| 2034 | 60,8 | 58,9 | 2071 | 39,8 | 38,5 |
| 2035 | 60,0 | 58,1 | 2072 | 39,4 | 38,2 |
| 2036 | 59,2 | 57,3 |      |      |      |

ANEXO 4  
COSTOS

Cuadro 15  
Costos plan Distrito

| TOTAL COSTOS PLAN DISTRITO (US\$) |                      |              |              |                        |              |               |                        |                    |
|-----------------------------------|----------------------|--------------|--------------|------------------------|--------------|---------------|------------------------|--------------------|
| Año                               | Tratamiento primario |              |              | Tratamiento secundario |              |               | Total<br>lario +2dario | Total<br>Acumulado |
|                                   | Inversión            | O & M        | Total        | Inversión              | O & M        | Total         |                        |                    |
| 1997                              | 48.670.860,7         | 0            | 48.670.861,0 | 0                      | 0            | 0             | 48.670.860,7           | 43.456.125,6       |
| 1998                              | 48.670.860,7         | 0            | 48.670.861,0 | 0                      | 0            | 0             | 48.670.860,7           | 82.256.237,7       |
| 1999                              | 48.670.860,7         | 0            | 48.670.861,0 | 0                      | 0            | 0             | 48.670.860,7           | 116.899.195,0      |
| 2000                              | 0                    | 4.326.543,4  | 4.326.543,4  | 0                      | 0            | 0             | 4.326.543,4            | 119.648.791,6      |
| 2001                              | 0                    | 4.326.543,4  | 4.326.543,4  | 49.199.782,2           | 0            | 49.199.782,20 | 53.526.325,6           | 150.021.066,2      |
| 2002                              | 0                    | 4.326.543,4  | 4.326.543,4  | 49.199.782,2           | 0            | 49.199.782,20 | 53.526.325,6           | 177.139.168,6      |
| 2003                              | 0                    | 4.326.543,4  | 4.326.543,4  | 49.199.782,2           | 0            | 49.199.782,20 | 53.526.325,6           | 201.351.760,0      |
| 2004                              | 0                    | 4.326.543,4  | 4.326.543,4  | 0                      | 6.287.433,6  | 6.287.433,62  | 1.0613.977,0           | 205.638.567,3      |
| 2005                              | 68.592.497,1         | 4.326.543,4  | 2.919.040,0  | 0                      | 6.287.433,6  | 6.287.433,62  | 79.206.474,1           | 234.201.215,9      |
| 2006                              | 68.592.497,1         | 4.326.543,4  | 72.919.040,0 | 0                      | 6.287.433,6  | 6.287.433,62  | 79.206.474,1           | 259.703.580,7      |
| 2007                              | 68.592.497,1         | 4.326.543,4  | 72.919.040,0 | 0                      | 6.287.433,6  | 6.287.433,62  | 79.206.474,1           | 282.473.549,3      |
| 2008                              | 0                    | 11.281.625,0 | 11.281.625,0 | 0                      | 6.287.433,6  | 6.287.433,62  | 17.569.058,9           | 286.983.089,2      |
| 2009                              | 0                    | 11.281.625,0 | 11.281.625,0 | 71.657.089,9           | 6.287.433,6  | 77.944.523,50 | 89.226.148,8           | 307.431.419,5      |
| 2010                              | 0                    | 11.281.625,0 | 11.281.625,0 | 71.657.089,9           | 6.287.433,6  | 77.944.523,50 | 89.226.148,8           | 325.688.857,4      |
| 2011                              | 0                    | 11.281.625,0 | 11.281.625,0 | 71.657.089,9           | 6.287.433,6  | 77.944.523,50 | 89.226.148,8           | 341.990.141,2      |
| 2012                              | 0                    | 11.281.625,0 | 11.281.625,0 | 0                      | 16.159.967,0 | 16.159.966,70 | 2.7441.592,0           | 346.466.459,3      |
| 2013                              | 40.407.247,6         | 11.281.625,0 | 51.688.873,0 | 0                      | 16.159.967,0 | 16.159.966,70 | 67.848.839,6           | 356.348.258,8      |
| 2014                              | 40.407.247,6         | 11.281.625,0 | 51.688.873,0 | 0                      | 16.159.967,0 | 16.159.966,70 | 67.848.839,6           | 365.171.294,1      |
| 2015                              | 40.407.247,6         | 11.281.625,0 | 51.688.873,0 | 0                      | 16.159.967,0 | 16.159.966,70 | 67.848.839,6           | 373.049.004,2      |
| 2016                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 16.159.967,0 | 16.159.966,70 | 30.786.127,3           | 376.240.502,4      |
| 2017                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 40.124.029,6           | 16.159.967,0 | 56.283.996,30 | 70.910.156,9           | 382.803.919,0      |
| 2018                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 40.124.029,6           | 16.159.967,0 | 56.283.996,30 | 70.910.156,9           | 388.664.112,4      |
| 2019                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 40.124.029,6           | 16.159.967,0 | 56.283.996,30 | 70.910.156,9           | 393.896.427,9      |
| 2020                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6           | 396.249.000,3      |
| 2021                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6           | 398.349.511,4      |
| 2022                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6           | 400.224.967,7      |
| 2023                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6           | 401.899.482,3      |
| 2024                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6           | 403.394.584,5      |
| 2025                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6           | 404.729.497,3      |
| 2026                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6           | 405.921.383,7      |
| 2027                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6           | 406.985.568,0      |
| 2028                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6           | 407.935.732,5      |
| 2029                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6           | 408.784.093,7      |
| 2030                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6           | 409.541.559,1      |
| 2031                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6           | 410.217.867,4      |
| 2032                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6           | 410.821.714,2      |
| 2033                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6           | 411.360.863,0      |
| 2034                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6           | 411.842.246,0      |

**EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA**

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

| TOTAL COSTOS PLAN DISTRITO (US\$) |                      |              |              |                        |              |               |              |               |
|-----------------------------------|----------------------|--------------|--------------|------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| Año                               | Tratamiento primario |              |              | Tratamiento secundario |              |               | Total        | Total         |
|                                   | Inversión            | o & M        | Total        | Inversión              | o & M        | Total         | ario +2dario | Acumulado     |
| 2035                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6 | 412.272.052,2 |
| 2036                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6 | 412.655.807,7 |
| 2037                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6 | 412.998.446,5 |
| 2038                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6 | 413.304.374,1 |
| 2039                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6 | 413.577.523,7 |
| 2040                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6 | 413.821.407,3 |
| 2041                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6 | 414.039.160,4 |
| 2042                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6 | 414.233.582,9 |
| 2043                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6 | 414.407.174,4 |
| 2044                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6 | 414.562.166,9 |
| 2045                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6 | 414.700.553,0 |
| 2046                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6 | 414.824.112,0 |
| 2047                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6 | 414.934.432,5 |
| 2048                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6 | 415.032.933,0 |
| 2049                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6 | 415.120.879,8 |
| 2050                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6 | 415.199.403,8 |
| 2051                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6 | 415.269.514,5 |
| 2052                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6 | 415.332.113,4 |
| 2053                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6 | 415.388.005,2 |
| 2054                              | 0                    | 14.626.161,0 | 14.626.161,0 | 0                      | 21.082.663,0 | 21.082.663,00 | 35.708.823,6 | 415.437.908,6 |
| 2055                              | 0                    | 10.299.617,0 | 10.299.617,0 | 0                      | 14.795.229,0 | 14.795.229,40 | 25.094.846,6 | 415.469.221,3 |
| 2056                              | 0                    | 10.299.617,0 | 10.299.617,0 | 0                      | 14.795.229,0 | 14.795.229,40 | 25.094.846,6 | 415.497.179,2 |
| 2057                              | 0                    | 10.299.617,0 | 10.299.617,0 | 0                      | 14.795.229,0 | 14.795.229,40 | 25.094.846,6 | 415.522.141,5 |
| 2058                              | 0                    | 10.299.617,0 | 10.299.617,0 | 0                      | 14.795.229,0 | 14.795.229,40 | 25.094.846,6 | 415.544.429,3 |
| 2059                              | 0                    | 10.299.617,0 | 10.299.617,0 | 0                      | 14.795.229,0 | 14.795.229,40 | 25.094.846,6 | 415.564.329,1 |
| 2060                              | 0                    | 10.299.617,0 | 10.299.617,0 | 0                      | 14.795.229,0 | 14.795.229,40 | 25.094.846,6 | 415.582.096,8 |
| 2061                              | 0                    | 10.299.617,0 | 10.299.617,0 | 0                      | 14.795.229,0 | 14.795.229,40 | 25.094.846,6 | 415.597.960,8 |
| 2062                              | 0                    | 10.299.617,0 | 10.299.617,0 | 0                      | 14.795.229,0 | 14.795.229,40 | 25.094.846,6 | 415.612.125,1 |
| 2063                              | 0                    | 10.299.617,0 | 10.299.617,0 | 0                      | 14.795.229,0 | 14.795.229,40 | 25.094.846,6 | 415.624.771,8 |
| 2064                              | 0                    | 10.299.617,0 | 10.299.617,0 | 0                      | 14.795.229,0 | 14.795.229,40 | 25.094.846,6 | 415.636.063,5 |
| 2065                              | 0                    | 10.299.617,0 | 10.299.617,0 | 0                      | 14.795.229,0 | 14.795.229,40 | 25.094.846,6 | 415.646.145,4 |
| 2066                              | 0                    | 10.299.617,0 | 10.299.617,0 | 0                      | 14.795.229,0 | 14.795.229,40 | 25.094.846,6 | 415.655.147,0 |
| 2067                              | 0                    | 10.299.617,0 | 10.299.617,0 | 0                      | 14.795.229,0 | 14.795.229,40 | 25.094.846,6 | 415.663.184,2 |
| 2068                              | 0                    | 10.299.617,0 | 10.299.617,0 | 0                      | 14.795.229,0 | 14.795.229,40 | 25.094.846,6 | 415.670.360,3 |
| 2069                              | 0                    | 10.299.617,0 | 10.299.617,0 | 0                      | 14.795.229,0 | 14.795.229,40 | 25.094.846,6 | 415.676.767,5 |
| 2070                              | 0                    | 10.299.617,0 | 10.299.617,0 | 0                      | 14.795.229,0 | 14.795.229,40 | 25.094.846,6 | 415.682.488,2 |
| 2071                              | 0                    | 10.299.617,0 | 10.299.617,0 | 0                      | 14.795.229,0 | 14.795.229,40 | 25.094.846,6 | 415.687.596,0 |
| 2072                              | 0                    | 10.299.617,0 | 10.299.617,0 | 0                      | 14.795.229,0 | 14.795.229,40 | 25.094.846,6 | 415.692.156,6 |

**Cuadro 16**  
**Costos análisis de costo mínimo**

| TOTAL COSTOS ANALISIS COSTO MÍNIMO (US\$) |                      |              |               |                        |       |       |                |               |
|---|----------------------|--------------|---------------|------------------------|-------|-------|----------------|---------------|
| Año                                       | Tratamiento primario |              |               | Tratamiento secundario |       |       | Total          | Total         |
|   | Inversión            | o & M        | Total         | Inversión              | o & M | Total | ario +2dario   | Acumulado     |
| 1997                                      | 70.383.378,2         | 0            | 70.383.378,0  | 0                      | 0     | 0     | 70.383.378,20  | 62.842.302,0  |
| 1998                                      | 70.383.378,2         | 0            | 70.383.378,0  | 0                      | 0     | 0     | 70.383.378,20  | 118.951.500,2 |
| 1999                                      | 0                    | 7.207.574,5  | 7.207.574,5   | 0                      | 0     | 0     | 7.207.574,47   | 124.081.709,4 |
| 2000                                      | 0                    | 7.207.574,5  | 7.207.574,5   | 0                      | 0     | 0     | 7.207.574,47   | 128.662.253,2 |
| 2001                                      | 0                    | 7.207.574,5  | 7.207.574,5   | 0                      | 0     | 0     | 7.207.574,47   | 132.752.024,6 |
| 2002                                      | 0                    | 7.207.574,5  | 7.207.574,5   | 0                      | 0     | 0     | 7.207.574,47   | 136.403.606,1 |
| 2003                                      | 0                    | 7.207.574,5  | 7.207.574,5   | 0                      | 0     | 0     | 7.207.574,47   | 139.663.946,7 |
| 2004                                      | 0                    | 7.207.574,5  | 7.207.574,5   | 0                      | 0     | 0     | 7.207.574,47   | 142.574.965,2 |
| 2005                                      | 99.683.263,3         | 7.207.574,5  | 106.890.838,0 | 0                      | 0     | 0     | 106.890.838,00 | 181.120.872,9 |
| 2006                                      | 99.683.263,3         | 7.207.574,5  | 106.890.838,0 | 0                      | 0     | 0     | 106.890.838,00 | 215.536.861,9 |
| 2007                                      | 99.683.263,3         | 7.207.574,5  | 106.890.838,0 | 0                      | 0     | 0     | 106.890.838,00 | 246.265.423,5 |
| 2008                                      | 0                    | 18.873.453,0 | 18.873.453,0  | 0                      | 0     | 0     | 18.873.452,70  | 251.109.768,7 |
| 2009                                      | 0                    | 18.873.453,0 | 18.873.453,0  | 0                      | 0     | 0     | 18.873.452,70  | 255.435.076,9 |
| 2010                                      | 0                    | 18.873.453,0 | 18.873.453,0  | 0                      | 0     | 0     | 18.873.452,70  | 259.296.959,3 |
| 2011                                      | 0                    | 18.873.453,0 | 18.873.453,0  | 0                      | 0     | 0     | 18.873.452,70  | 262.745.068,5 |

**EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA**

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

| TOTAL COSTOS ANALISIS COSTO MÍNIMO (US\$) |                      |              |               |                        |              |               |                |               |  |
|---|----------------------|--------------|---------------|------------------------|--------------|---------------|----------------|---------------|--|
| Año                                       | Tratamiento primario |              |               | Tratamiento secundario |              |               | Total          | Total         |  |
|   | Inversión            | O & M        | Total         | Inversión              | O & M        | Total         | ario +2dario   | Acumulado     |  |
| 2012                                      | 0                    | 18.873.453,0 | 18.873.453,0  | 0                      | 0            | 0             | 18.873.452,70  | 265.823.737,5 |  |
| 2013                                      | 88.474.588,6         | 18.873.453,0 | 107.348.041,0 | 0                      | 0            | 0             | 107.348.041,00 | 281.458.372,2 |  |
| 2014                                      | 88.474.588,6         | 18.873.453,0 | 107.348.041,0 | 0                      | 0            | 0             | 107.348.041,00 | 295.417.867,5 |  |
| 2015                                      | 88.474.588,6         | 18.873.453,0 | 107.348.041,0 | 0                      | 0            | 0             | 107.348.041,00 | 307.881.702,6 |  |
| 2016                                      | 0                    | 28.764.535,0 | 28.764.535,0  | 0                      | 0            | 0             | 28.764.535,40  | 310.863.629,0 |  |
| 2017                                      | 0                    | 28.764.535,0 | 28.764.535,0  | 0                      | 0            | 0             | 28.764.535,40  | 313.526.063,2 |  |
| 2018                                      | 0                    | 28.764.535,0 | 28.764.535,0  | 0                      | 0            | 0             | 28.764.535,40  | 315.903.236,6 |  |
| 2019                                      | 0                    | 28.764.535,0 | 28.764.535,0  | 0                      | 0            | 0             | 28.764.535,40  | 318.025.712,9 |  |
| 2020                                      | 0                    | 28.764.535,0 | 28.764.535,0  | 0                      | 0            | 0             | 28.764.535,40  | 319.920.781,0 |  |
| 2021                                      | 0                    | 28.764.535,0 | 28.764.535,0  | 0                      | 0            | 0             | 28.764.535,40  | 321.612.806,1 |  |
| 2022                                      | 0                    | 28.764.535,0 | 28.764.535,0  | 0                      | 0            | 0             | 28.764.535,40  | 323.123.542,8 |  |
| 2023                                      | 0                    | 28.764.535,0 | 28.764.535,0  | 0                      | 0            | 0             | 28.764.535,40  | 324.472.414,8 |  |
| 2024                                      | 0                    | 28.764.535,0 | 28.764.535,0  | 0                      | 0            | 0             | 28.764.535,40  | 325.676.764,8 |  |
| 2025                                      | 0                    | 28.764.535,0 | 28.764.535,0  | 0                      | 0            | 0             | 28.764.535,40  | 326.752.077,4 |  |
| 2026                                      | 0                    | 28.764.535,0 | 28.764.535,0  | 0                      | 0            | 0             | 28.764.535,40  | 327.712.177,8 |  |
| 2027                                      | 0                    | 28.764.535,0 | 28.764.535,0  | 0                      | 0            | 0             | 28.764.535,40  | 328.569.410,4 |  |
| 2028                                      | 0                    | 28.764.535,0 | 28.764.535,0  | 0                      | 0            | 0             | 28.764.535,40  | 329.334.796,6 |  |
| 2029                                      | 0                    | 28.764.535,0 | 28.764.535,0  | 0                      | 0            | 0             | 28.764.535,40  | 330.018.177,2 |  |
| 2030                                      | 0                    | 28.764.535,0 | 28.764.535,0  | 0                      | 0            | 0             | 28.764.535,40  | 330.628.338,4 |  |
| 2031                                      | 10.666.288,7         | 28.764.535,0 | 39.430.824,0  | 0                      | 0            | 0             | 39.430.824,20  | 331.375.139,7 |  |
| 2032                                      | 10.666.288,7         | 28.764.535,0 | 39.430.824,0  | 0                      | 0            | 0             | 39.430.824,20  | 332.041.926,5 |  |
| 2033                                      | 10.666.288,7         | 28.764.535,0 | 39.430.824,0  | 0                      | 0            | 0             | 39.430.824,20  | 332.637.272,0 |  |
| 2034                                      | 0                    | 29.313.731,0 | 29.313.731,0  | 0                      | 0            | 0             | 29.313.730,70  | 333.032.444,0 |  |
| 2035                                      | 0                    | 29.313.731,0 | 29.313.731,0  | 0                      | 0            | 0             | 29.313.730,70  | 333.385.276,2 |  |
| 2036                                      | 10.666.288,7         | 29.313.731,0 | 39.980.019,0  | 82.477.372,60          | 0            | 82.477.372,6  | 122.457.392,00 | 334.701.301,1 |  |
| 2037                                      | 10.666.288,7         | 29.313.731,0 | 39.980.019,0  | 82.477.372,60          | 0            | 82.477.372,6  | 122.457.392,00 | 335.876.323,3 |  |
| 2038                                      | 10.666.288,7         | 29.313.731,0 | 39.980.019,0  | 82.477.372,60          | 0            | 82.477.372,6  | 122.457.392,00 | 336.925.450,3 |  |
| 2039                                      | 0                    | 29.863.312,0 | 29.863.312,0  | 0                      | 11.687.440,0 | 11.687.439,6  | 41.550.751,10  | 337.243.286,9 |  |
| 2040                                      | 0                    | 29.863.312,0 | 29.863.312,0  | 0                      | 11.687.440,0 | 11.687.439,6  | 41.550.751,10  | 337.527.069,6 |  |
| 2041                                      | 10.666.288,7         | 29.863.312,0 | 40.529.600,0  | 7.167.326,49           | 11.687.440,0 | 18.854.766,0  | 59.384.366,30  | 337.889.196,7 |  |
| 2042                                      | 10.666.288,7         | 29.863.312,0 | 40.529.600,0  | 7.167.326,49           | 11.687.440,0 | 18.854.766,0  | 59.384.366,30  | 338.212.524,6 |  |
| 2043                                      | 10.666.288,7         | 29.863.312,0 | 40.529.600,0  | 7.167.326,49           | 11.687.440,0 | 18.854.766,0  | 59.384.366,30  | 338.501.210,1 |  |
| 2044                                      | 0                    | 30.413.253,0 | 30.413.253,0  | 0                      | 12.421.749,0 | 12.421.748,9  | 42.835.001,80  | 338.687.133,4 |  |
| 2045                                      | 0                    | 30.413.253,0 | 30.413.253,0  | 0                      | 12.421.749,0 | 12.421.748,9  | 42.835.001,80  | 338.853.136,3 |  |
| 2046                                      | 10.666.288,7         | 30.413.253,0 | 41.079.542,0  | 7.167.326,49           | 12.421.749,0 | 19.589.075,4  | 60.668.617,00  | 339.063.060,7 |  |
| 2047                                      | 10.666.288,7         | 30.413.253,0 | 41.079.542,0  | 7.167.326,49           | 12.421.749,0 | 19.589.075,4  | 60.668.617,00  | 339.250.493,2 |  |
| 2048                                      | 10.666.288,7         | 30.413.253,0 | 41.079.542,0  | 7.167.326,49           | 12.421.749,0 | 19.589.075,4  | 60.668.617,00  | 339.417.843,7 |  |
| 2049                                      | 0                    | 30.963.533,0 | 30.963.533,0  | 0                      | 13.154.253,0 | 13.154.252,8  | 44.117.785,70  | 339.526.500,9 |  |
| 2050                                      | 0                    | 30.963.533,0 | 30.963.533,0  | 0                      | 13.154.253,0 | 13.154.252,8  | 44.117.785,70  | 339.623.516,2 |  |
| 2051                                      | 0                    | 30.963.533,0 | 30.963.533,0  | 0                      | 13.154.253,0 | 13.154.252,8  | 44.117.785,70  | 339.710.137,1 |  |
| 2052                                      | 0                    | 30.963.533,0 | 30.963.533,0  | 0                      | 13.154.253,0 | 13.154.252,8  | 44.117.785,70  | 339.787.477,1 |  |
| 2053                                      | 0                    | 30.963.533,0 | 30.963.533,0  | 0                      | 13.154.253,0 | 13.154.252,8  | 44.117.785,70  | 339.856.530,7 |  |
| 2054                                      | 0                    | 21.556.961,0 | 21.556.961,0  | 0                      | 0            | 0             | 21.556.961,00  | 339.886.656,8 |  |
| 2055                                      | 0                    | 21.556.961,0 | 21.556.961,0  | 0                      | 0            | 0             | 21.556.961,00  | 339.913.555,1 |  |
| 2056                                      | 0                    | 21.556.961,0 | 21.556.961,0  | 0                      | 0            | 0             | 21.556.961,00  | 339.937.571,4 |  |
| 2057                                      | 0                    | 21.556.961,0 | 21.556.961,0  | 0                      | 0            | 0             | 21.556.961,00  | 339.959.014,5 |  |
| 2058                                      | 0                    | 21.556.961,0 | 21.556.961,0  | 0                      | 0            | 0             | 21.556.961,00  | 339.978.160,1 |  |
| 2059                                      | 0                    | 21.556.961,0 | 21.556.961,0  | 0                      | 0            | 0             | 21.556.961,00  | 339.995.254,5 |  |
| 2060                                      | 10.666.288,7         | 21.556.961,0 | 32.223.250,0  | 0                      | 0            | 0             | 32.223.249,70  | 340.018.069,2 |  |
| 2061                                      | 21.332.577,5         | 21.556.961,0 | 42.889.538,0  | 0                      | 0            | 0             | 42.889.538,40  | 340.045.182,4 |  |
| 2062                                      | 21.332.577,5         | 21.556.961,0 | 42.889.538,0  | 0                      | 0            | 0             | 42.889.538,40  | 340.069.390,5 |  |
| 2063                                      | 10.666.288,7         | 22.108.705,0 | 32.774.994,0  | 0                      | 0            | 0             | 32.774.993,80  | 340.085.907,7 |  |
| 2064                                      | 0                    | 22.659.570,0 | 22.659.570,0  | 0                      | 0            | 0             | 22.659.570,50  | 340.096.103,6 |  |
| 2065                                      | 10.666.288,7         | 22.659.570,0 | 33.325.859,0  | 115.949.655,00         | 0            | 115.949.655,0 | 149.275.514,00 | 340.156.075,1 |  |
| 2066                                      | 21.332.577,5         | 22.659.570,0 | 43.992.148,0  | 218.926.306,00         | 0            | 218.926.306,0 | 262.918.454,00 | 340.250.385,5 |  |
| 2067                                      | 21.332.577,5         | 22.659.570,0 | 43.992.148,0  | 218.926.306,00         | 0            | 218.926.306,0 | 262.918.454,00 | 340.334.591,2 |  |
| 2068                                      | 10.666.288,7         | 23.211.561,0 | 33.877.850,0  | 102.976.651,00         | 17.588.992,0 | 120.565.643,0 | 154.443.493,00 | 340.378.755,6 |  |
| 2069                                      | 0                    | 23.762.715,0 | 23.762.715,0  | 0                      | 32.843.707,0 | 32.843.707,5  | 56.606.422,30  | 340.393.208,3 |  |
| 2070                                      | 0                    | 23.762.715,0 | 23.762.715,0  | 7.167.326,49           | 32.843.707,0 | 40.011.034,0  | 63.773.748,80  | 340.407.746,4 |  |
| 2071                                      | 0                    | 23.762.715,0 | 23.762.715,0  | 14.334.653,00          | 32.843.707,0 | 47.178.360,5  | 70.941.075,30  | 340.422.185,7 |  |
| 2072                                      | 0                    | 23.762.715,0 | 23.762.715,0  | 14.334.653,00          | 32.843.707,0 | 47.178.360,5  | 70.941.075,30  | 340.435.077,9 |  |
| 2072                                      | 0                    | 10.993.102,0 | 10.993.102,0  | 7.167.326,49           | 15.254.716,0 | 22.422.042,0  | 33.415.143,60  | 340.440.499,9 |  |

EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

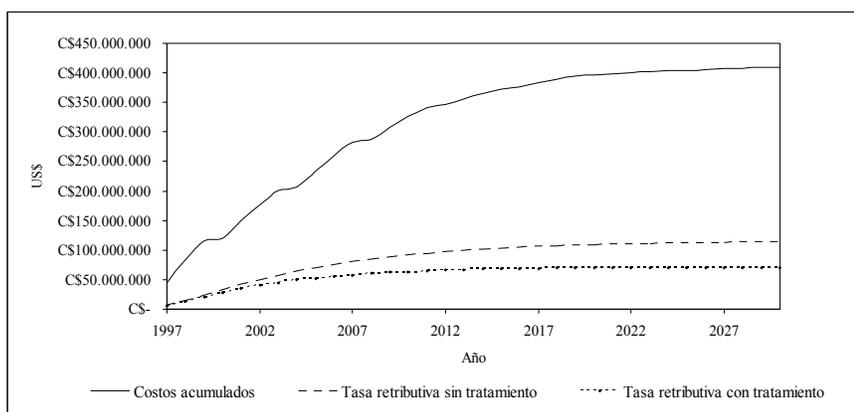
*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

ANEXO 5  
RESULTADOS DEL COSTO MÍNIMO POR CUENCA

| Cuenca                  | Variable             |                            | Fase I | Fase II |
|-------------------------|----------------------|----------------------------|--------|---------|
| Salitre                 | Datos generales      | Escala (b)                 | 0.73   | 0.80    |
|                         |                      | Pendiente (m)              | 0.1    | 0.1     |
|                         |                      | ( To)                      | 31     | 35      |
|                         |                      | Tasa Dto. (r)              | 12%    | 12%     |
|                         | Datos expansiones    | Períodos de expansión (T*) | 5      | 3.57    |
|                         |                      | Caudales de expansión (Q*) | 0.5    | 0.36    |
| Datos inversión inicial | Período Inicial (Ti) | 35.33                      | 39.17  |         |
|                         | Caudal Inicial (Qi)  | 6.63                       | 7.42   |         |
| Fucha                   | Datos generales      | Escala (b)                 | 0.73   | 0.80    |
|                         |                      | Pendiente (m)              | 0.1    | 0.1     |
|                         |                      | ( To)                      | 51     | 55      |
|                         |                      | Tasa Dto. (r)              | 12%    | 12%     |
|                         | Datos expansiones    | Períodos de expansión (T*) | 5      | 3.57    |
|                         |                      | Caudales de expansión (Q*) | 0.5    | 0.36    |
| Datos inversión inicial | Período Inicial (Ti) | 54                         | 60     |         |
|                         | Caudal Inicial (Qi)  | 10.68                      | 11.46  |         |
| Tunjuelo                | Datos generales      | Escala (b)                 | 0.73   | 0.80    |
|                         |                      | Pendiente (m)              | 0.1    | 0.1     |
|                         |                      | ( To)                      | 43     | 47      |
|                         |                      | Tasa Dto. (r)              | 12%    | 12%     |
|                         | Datos expansiones    | Períodos de expansión (T*) | 5      | 3.57    |
|                         |                      | Caudales de expansión (Q*) | 0.5    | 0.36    |
| Datos inversión inicial | Período Inicial (Ti) | 48                         | 52     |         |
|                         | Caudal Inicial (Qi)  | 9.07                       | 9.85   |         |

ANEXO 6  
GRÁFICAS COSTOS DE LA TASA RESPECTO A CADA PLAN

Gráfica 16  
Valor tasas retributivas (TR) vs. costos del plan Distrito (meta 100%)

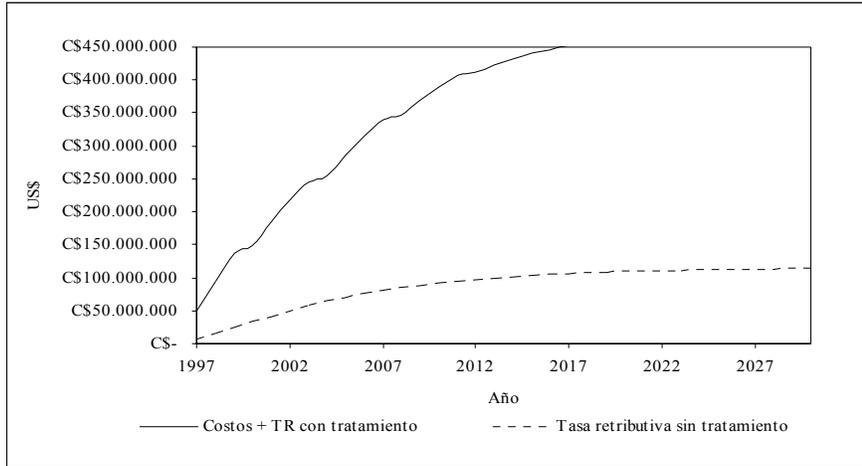


EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

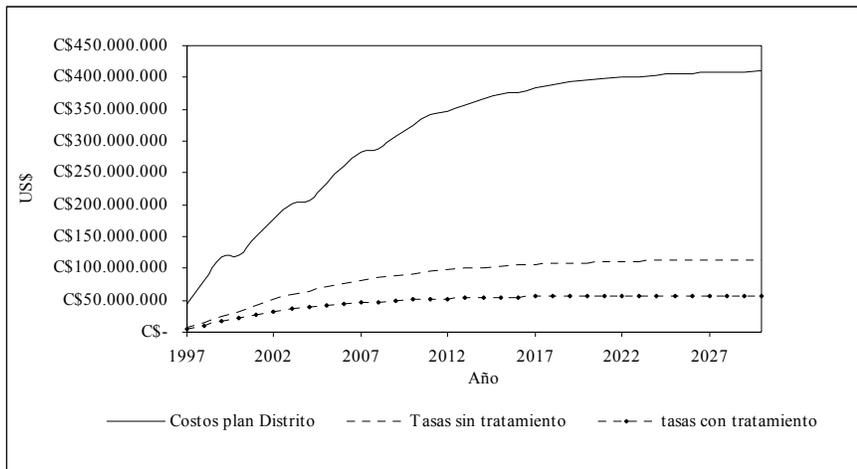
Gráfica 17

Valor acumulado tasas retributivas sin tratamiento más costos acumulados plan Distrito (meta 100%)



Gráfica 18

Valor acumulado tasas retributivas con y sin tratamiento vs. costos acumulados plan Distrito (meta 50%)

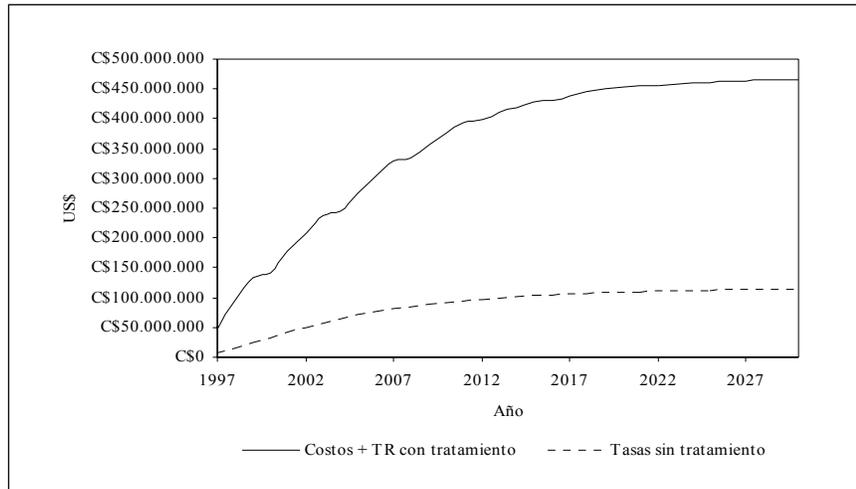


EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

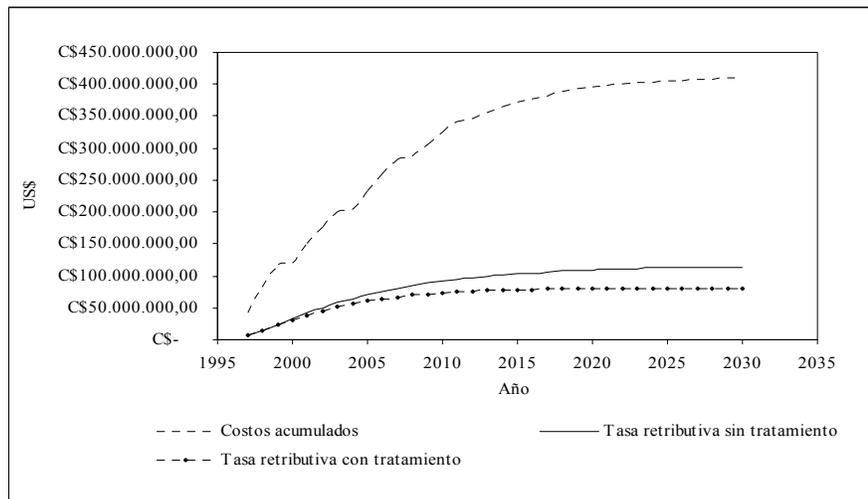
Gráfica 19

Valor acumulado tasas retributivas sin tratamiento vs. tasas con tratamiento más costos acumulados plan Distrito



Gráfica 20

Valor acumulado tasas retributivas con y sin tratamiento vs. costos acumulados plan Distrito (meta 25%)

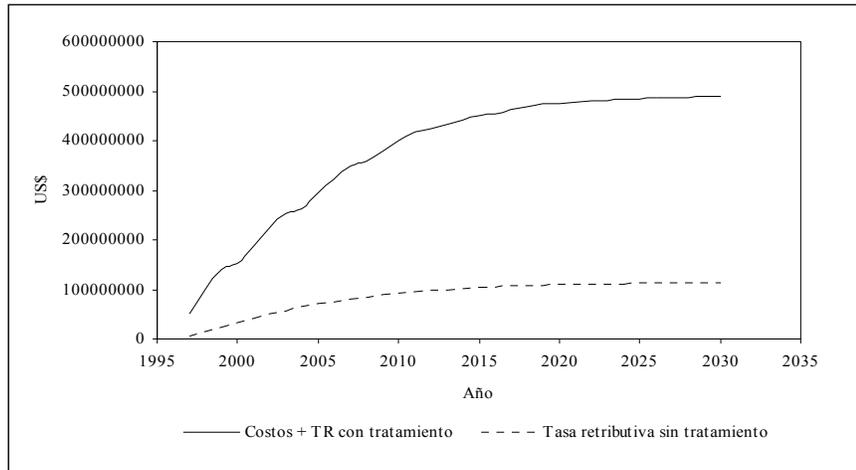


EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

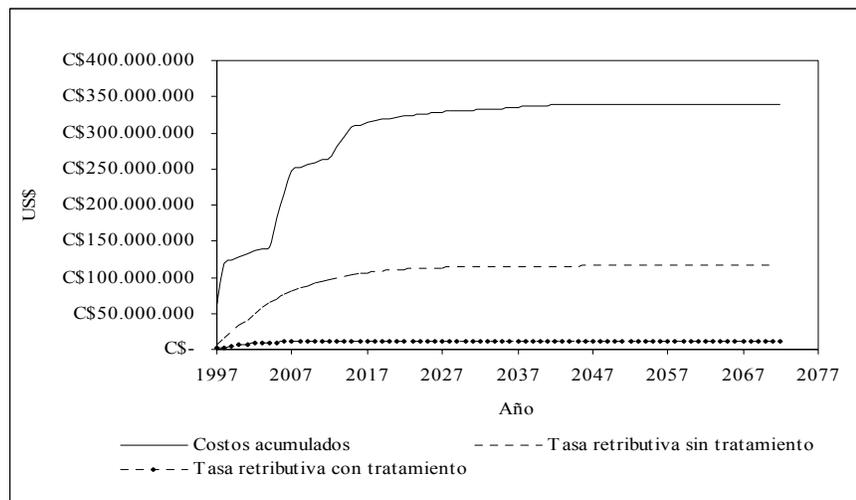
Gráfica 21

Valor acumulado tasas retributivas sin tratamiento vs. tasas con tratamiento más costos acumulados plan Distrito (meta 25%)



Gráfica 22

Valor tasas retributivas vs. costos plan costo mínimo (meta 100%)

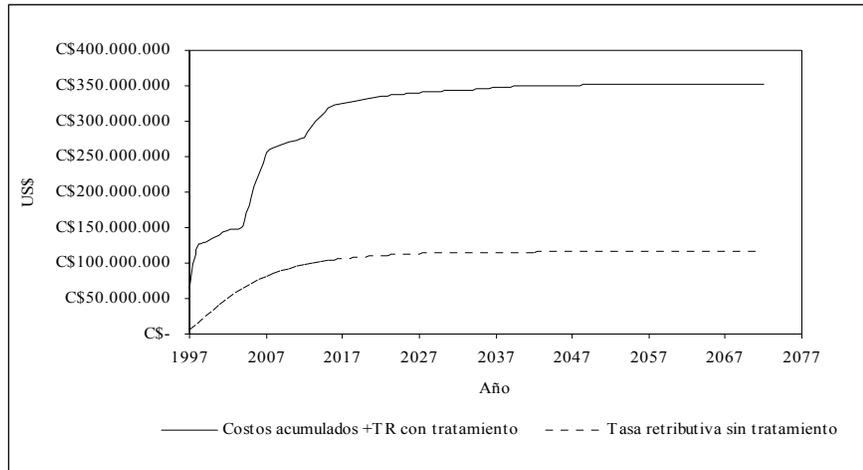


EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

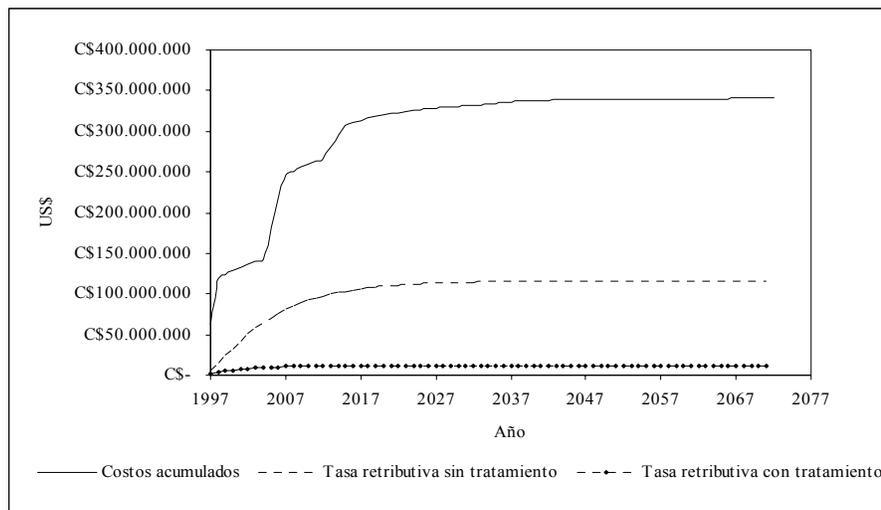
Gráfica 23

Valor acumulado tasas retributivas sin tratamiento vs. tasas con tratamiento más costos acumulados plan costo mínimo (meta 100%)



Gráfica 24

Valor tasas retributivas vs. plan costo mínimo (meta 50%)

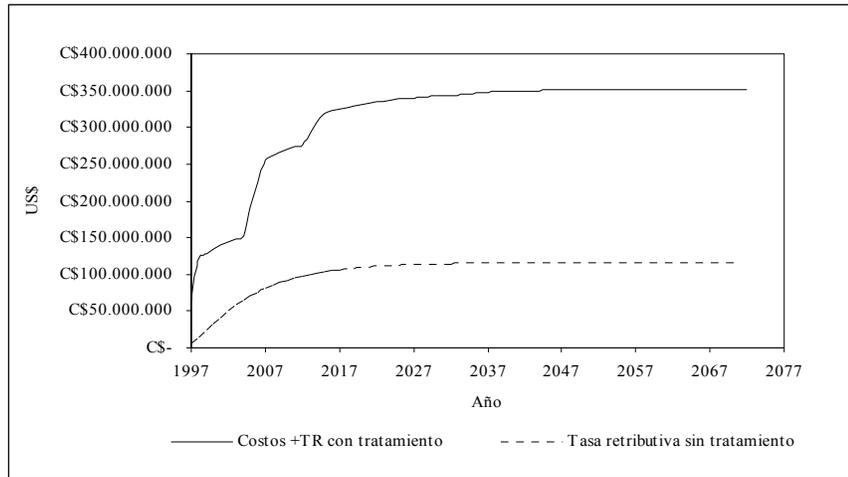


EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

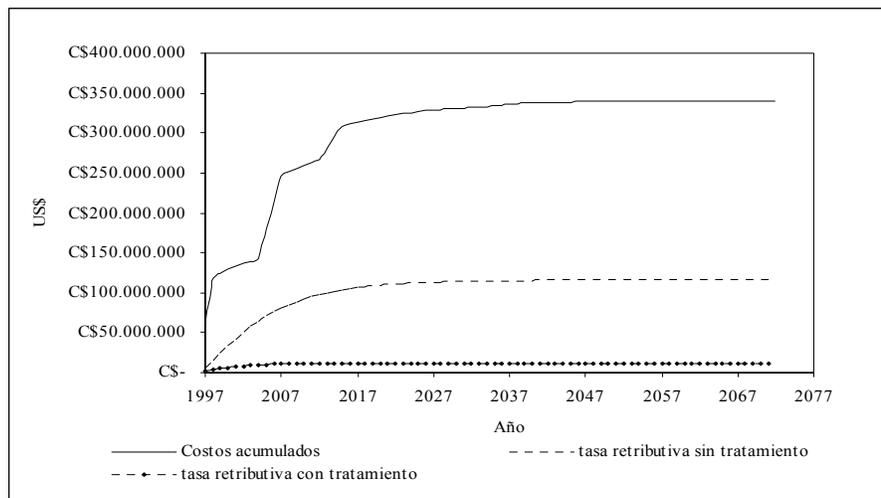
Gráfica 25

Valor acumulado tasas retributivas sin tratamiento vs. tasas con tratamiento más costos acumulados plan costo mínimo (meta 50%)



Gráfica 26

Valor tasas retributivas vs. costos plan costo mínimo (meta 25%)



EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
DEL RÍO BOGOTÁ A PARTIR DEL ANÁLISIS DE COSTO MÍNIMO Y TASA  
RETRIBUTIVA

*Sandra Liliana Guerrero Suárez*

Gráfica 27

Valor acumulado tasas retributivas sin tratamiento vs. tasas con tratamiento  
más costos acumulados plan costo mínimo (meta 25%)

