



EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ COMO
UNA HERRAMIENTA DE GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN EL ÁREA
URBANA

TESIS

Presentada por

YULIA IVANOVA

Presentado como requisito parcial para optar al título de

MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES
MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Bogotá D.C., Colombia

(Noviembre de 2013)

**EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ COMO
UNA HERRAMIENTA DE GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN EL ÁREA
URBANA**

YULIA IVANOVA

APROBADO:

Armando Sarmiento López

Tutor

Nelson Obregón Neira

Jurado

NOTA DE ADVERTENCIA

Artículo 23 de la Resolución N° 13 de Julio de 1946

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velará por que no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y por que las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud a las instituciones y personas que con su ayuda y colaboración permitieron que esta tesis pudiera realizarse:

En primer lugar, quiero agradecer a Armando Sarmiento, director de mi tesis. Sus consejos y orientaciones respecto al trabajo me posibilitaron encontrar más perspectivas y sentidos a la investigación que estaba haciendo.

Un agradecimiento especial quisiera expresar al Director de la Maestría, José María Castillo, quien con su entusiasmo y amor por el trabajo me enseñó disfrutar todos los semestres de la maestría.

Cada uno de los profesores de la Maestría, independientemente de su especialidad, me han aportado conocimientos valiosos, ampliando el abanico de mis visiones sobre el ambiente. De todo corazón, muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	3
2.	JUSTIFICACIÓN.....	5
3.	CONTEXTO NACIONAL Y LOCAL DE LA GESTIÓN DEL AGUA.....	7
3.1	SISTEMA ORGANIZACIONAL ASOCIADO A LA GESTIÓN DEL AGUA	8
3.2	SISTEMA NORMATIVO EN LA GESTIÓN DEL AGUA	12
3.2.1	Tasa por uso del agua.....	12
3.2.2	Tasa retributiva.....	15
3.2.2	Definición de límites máximos permisibles a los cuerpos superficiales de agua.....	21
3.3	SISTEMA TECNOLÓGICO ASOCIADO AL USO Y MANEJO DEL AGUA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ	25
3.3.1	Sistema de abastecimiento de la ciudad de Bogotá.....	25
3.3.2	Índice de agua no contabilizada.....	27
3.3.3	Sistema del alcantarillado de la ciudad de Bogotá.....	28
3.3.4	Sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad.....	31
3.4	CAMBIOS EN EL SISTEMA CULTURAL HACIA EL RECURSO HÍDRICO.....	32
4	OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	35
5	MARCO CONCEPTUAL.....	36
5.1	INTRODUCCIÓN AL CONCEPTO DE HUELLA HÍDRICA	36
5.2	CONCEPTOS FUNDAMENTALES APLICADOS AL CASO DE ESTUDIO	38
6	MARCO METODOLÓGICO.....	41
6.1	AJUSTES METODOLÓGICOS Y DEFINIFICIÓN DE LAS LIMITACIONES	41

6.2	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE LA HUELLA HÍDRICA AL CASO DE ESTUDIO	45
6.2.1	Fuentes de la información	46
6.2.2	Metodología de la huella hídrica azul para la ciudad de Bogotá	47
6.2.3	Huella hídrica gris para la ciudad de Bogotá	48
6.2.4	Huella hídrica total.....	54
7	RESULTADOS.....	55
8	CONCLUSIONES.....	66
9	RECOMENDACIONES Y PERSPECTIVAS DEL TRABAJO.....	69
10	BIBLIOGRAFÍA.....	70

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Calidad de agua de los vertimientos.....	49
Tabla 2. Puntos de seguimiento de la calidad del recurso hídrico antes de los vertimientos realizados por las cuencas Salitre, Fucha y Tunjuelito	51
Tabla 3. Evolución histórica de los consumos del agua en la ciudad de Bogotá	55
Tabla 4. Insumos y resultados para el cálculo de la huella hídrica gris de la ciudad de Bogotá	60

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Evolución de la legislación en el tema de las tasas retributivas	17
Figura 2. Esquema de cobro de la tasa retributiva.	20
Figura 3. Sistema de abastecimiento de la ciudad de Bogotá	26
Figura 4. Sistema de abastecimiento de agua versus cinco zonas de Bogotá	27
Figura 5. Sistema de saneamiento del río Bogotá	32
Figura 6. Tipología de las aguas bajo el concepto de la huella hídrica.....	39
Figura 7. Ubicación de los puntos de monitoreo de la calidad del agua en la cuenca media del río Bogotá.....	50
Figura 8. Evolución de los consumos del agua en la ciudad de Bogotá (consumo bruto)	56
Figura 9. Gráfica comparativa de los consumos registrados del agua con cambio y sin cambio de tendencia.	57
Figura 10. Evolución del consumo per cápita neto en la ciudad de Bogotá (litros /persona/día).....	58
Figura 11. Aporte porcentual de las sub cuencas hidrográficas de la ciudad a su huella hídrica gris	61
Figura 12. Composición de la huella hídrica para la ciudad de Bogotá.....	64

RESUMEN

En los años 90 del siglo anterior Colombia implementó reformas hacia un nuevo modelo de la gestión del recurso hídrico que involucró los cambios organizacionales, normativos y culturales que influyeron tanto en los consumos de agua en la Capital como en los niveles de contaminación de la cuenca media del río Bogotá. Para evaluar estos factores, se estimó la huella hídrica de Bogotá, que hasta la fecha no había sido implementada para ciudades grandes. Como resultado, se encontró que Bogotá disminuyó sus consumos brutos del agua en un 17.6 % en el período comprendido de 1993 hasta 2008. Esto se debe a la disminución del consumo per cápita de 165.5 a 108.0 l/persona/día y al comportamiento del índice del agua no contabilizada que bajó del 39 al 36%. Si no se hubieran implementado los cambios organizacionales, tarifarios y normativos, entre otros, la ciudad actualmente tendría consumos un 40% superiores a los actuales. No obstante, el tema de la contaminación del río Bogotá por los vertimientos sigue siendo un problema ambiental que se expresa en la huella hídrica gris de, aproximadamente, 562,2 millones de metros cúbicos anuales. Este valor compone el 55.8 % de la huella hídrica total de la ciudad. Este resultado muestra que la gestión sobre la calidad del recurso hídrico no tuvo los efectos esperados en la recuperación de la cuenca media del río Bogotá.

ABSTRACT

In the 90s of the previous century Colombia implemented reforms towards a new model of water resource management involving organizational, cultural and policy changes that influenced both water consumption and pollution levels in the middle part of Bogota river basin. The influence of these factors was established using the water footprint of Bogotá city. The water footprint had not been used before as a proxy of changes in water management for large cities. As a result, it was found a reduction of Bogotá gross consumption of water by 17.6 % in the period of 1993-2008. This pattern is due to the decrease of per capita water use from 165.5 to 108.0 l / person / day accompanied by a decline of the unaccounted water index from 39 to 36 % . Without the mentioned organizational and policy changes, the city water consumption rates could be 40% higher than the nowadays figures. However, the Bogota river's pollution by water waste remains an environmental problem that leads to a gray water footprint of about 562, 242

million cubic meters per year. This value shares the 55.8% of the total water footprint of the city. This result shows that the management of water quality did not have the expected effects for the middle part the Bogotá River basin.

Palabras clave: Bogotá, huella hídrica, demanda del agua, contaminación del agua

Key words: Bogota, water footprint, water demand, Water pollution.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la mayoría de las ciudades en el mundo están creciendo a unos ritmos acelerados. Como consecuencia de las dinámicas de urbanización, aproximadamente la mitad de la población en el planeta vive en las ciudades y en las naciones más ricas aproximadamente el 90 % reside en las ciudades (Lovelock, 2011). La urbanización crea unos núcleos de presión sobre los ecosistemas de las regiones donde se ubican las ciudades y en sus alrededores. Las distintas formas de la planeación urbana, la gobernanza, la globalización, entre otros factores, afectan la relación entre las ciudades y el ambiente. Independientemente de sus características particulares, las ciudades generan unos impactos sobre la calidad medioambiental, afectando, principalmente, el clima local, el hábitat y la biodiversidad, funcionalidad de los ecosistemas, demandas en energía, agua y alimentos (Seto, Sánchez Rodríguez, & Fragkias, 2010). El equilibrio entre la urbanización y la sostenibilidad conduce en gran medida a donde y como crecen las zonas urbanas y como estas dan el uso a los recursos naturales.

Existen estudios que confirman que las ciudades bien planeadas requieren menor desgaste energético que las poblaciones de los pueblos y granjas aisladas y/o las comunidades rurales dispersas que rodean las ciudades desarrolladas (Lovelock, 2011). Como grandes sistemas construidos, las ciudades auto regulan sus consumos en función de la disponibilidad y/o accesibilidad de las fuentes de suministro de las materias primas e insumos requeridos.

Considerando que el agua es el eje vertebral de la mayoría de los procesos socio - económicos, el recurso hídrico en mayor parte del mundo está fuertemente intervenido por las crecientes presiones en los centros urbanos (Shiklomanov, 2000). Estas presiones, en su parte, generan la degradación de los ecosistemas en las regiones que aportan a los consumos del agua por las ciudades (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Siendo esta lógica, se hace importante identificar la relación entre la ciudad y el recurso hídrico como consecuencia de tales fuerzas motrices como la gobernanza, las características culturales de la sociedad en relación con el agua, la regulación de los precios del recurso hídrico, entre otros.

Entorno a la ciudad de Bogotá y su relación con el agua se puede resaltar que los cambios organizacionales, tecnológicos y normativos surgidos en los últimos 20 años, han afectado el vínculo entre la ciudad y el recurso hídrico tanto en el tema de los consumos del agua, como en la contaminación del río Bogotá, como principal receptor de los vertimientos de la Capital colombiana. En su parte, estos cambios han sido dinámicos, demostrando sus inercias a largo plazo como respuesta a los cambios culturales.

Las características de estas relaciones se pueden identificar a través de las diferentes metodologías existentes (balance hidrológico, cálculo del índice de escasez). En el caso de estudio, se aplicó la metodología de la huella hídrica con el fin de evaluar no solamente los consumos directos del agua, sino los efectos de la contaminación de los vertimientos de la Capital al río Bogotá.

2. JUSTIFICACIÓN

Actualmente no existen indicadores de presión que sean claros para la identificación de como las ciudades afectan los recursos hídricos de los perímetros urbanos y de las regiones cercanas. Considerando el hecho de que las ciudades siguen creciendo es necesario comprender su huella hídrica para gestionarla y generar alternativas para que las relaciones recurso hídrico y la sociedad tiendan a tener mayores equilibrios.

A partir de los años 90 del siglo anterior la mayoría de los países en la América Latina han cambiado sus esquemas de la gestión del recurso hídrico, pasando de la gestión estatal a la privada con los elementos de control estatal y participación ciudadana, considerando el autofinanciamiento de las empresas gestoras del recurso hídrico. La necesidad de tener las empresas económicamente eficientes y financieramente suficientes conjunto con la ampliación de las coberturas de la red de acueducto y mejoramiento en la calidad del agua suministrada a los usuarios, han tenido sus implicaciones sobre el sistema tarifario del recurso hídrico. Con los cambios institucionales surgieron unos cambios en la legislación en el uso, manejo y la disposición de las aguas. Todas estas dinámicas afectaron los consumos del agua y el manejo de los vertimientos. La ciudad de Bogotá no está ajena a estas dinámicas.

Dada la importancia del agua para la vida y el desarrollo de las actividades productivas en la ciudad, surge la necesidad de incluir el tema del agua como uno de los elementos estratégicos en el modelo de desarrollo de Bogotá. La evaluación de la huella hídrica contribuye a la comprensión de la magnitud de los efectos de las ciudades sobre el agua que podría servir como uno de los elementos de la gestión del agua en las zonas urbanas. El tema toma relevancia bajo los pronósticos demográficos que predicen que para el año 2016 la población citadina alcanza unos 8 700 000 de habitantes y seguirá creciendo (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2012) conjunto con el crecimiento económico de la ciudad, esperando generar mayores impactos sobre las cuencas hidrográficas.

La metodología de la huella hídrica, conjunto con la consideración de los cambios culturales ocurridos en la última década, pueden evidenciar tanto la evolución de los consumos

del agua en la Capital colombiana como los efectos de la contaminación del río Bogotá, efecto de los vertimientos de la ciudad.

3. CONTEXTO NACIONAL Y LOCAL DE LA GESTIÓN DEL AGUA

Las relaciones entre la sociedad y el ambiente son complejas y se manifiestan a través de los diferentes componentes del sistema cultural. De esa forma, los sistemas culturales se pueden considerar como estrategias adaptativas a las características del entorno bio – físico. Según Francisco González (González, 1990), el sistema cultural está construido por cinco componentes (tecnológico, organizacional, simbólico, conocimiento y biofísico), entendimiento de los cuales sitúa la perspectiva del reconocimiento de las particularidades de nuestras relaciones con el entorno natural.

El reconocimiento de estas particularidades sirve como punto de partida para la comprensión, en el caso del estudio, de la evolución de relación entre la sociedad capitalina y el recurso hídrico. Las características del sistema biofísico se manifiestan a través de la oferta hídrica en la región, los subsistemas tecnológico y de conocimiento se expresan a través de las redes del acueducto y alcantarillado, los sistemas de tratamiento de aguas residuales, entre otros, el subsistema organizacional tiene relación con los marcos institucional y legislativo, y el componente cultural se relaciona con la compensación del valor del agua para la población capitalina. Todos estos subsistemas se relacionan entre sí y han evolucionado en el tiempo, cambiando nuestras relaciones con el agua en la Capital colombiana. Estas dinámicas deben ser tenidas en cuenta con el fin de revisar su incidencia sobre la evolución de la huella hídrica en la ciudad de Bogotá.

Al tener en cuenta que la ciudad de Bogotá en su relación actual con el agua responde tanto a las dinámicas que han surgido en la América Latina y en Colombia en los años 90, como a sus dinámicas propias, a continuación se presentan los aspectos que merecen mayor atención en el tema de la construcción del sistema cultural alrededor del agua en la Capital colombiana que ha hecho evolucionar su huella hídrica en las dos últimas décadas.

3.1 SISTEMA ORGANIZACIONAL ASOCIADO A LA GESTIÓN DEL AGUA

El tema de la gestión del agua en Colombia ha sido influenciado por las dinámicas que han ocurrido en la América Latina. En el año 1961 por los gobiernos de la América Latina se firmó la Carta de Punta del Este en la cual se comprometió a una mejora sustancial en la expansión de los servicios de agua potable y saneamiento.

Gracias a este documento, que en su parte coincidió con el decenio Internacional del Agua Potable y del Saneamiento Ambiental en los años ochenta proclamado por la Asamblea General de las Naciones Unidas, se han hecho unos esfuerzos enormes en adelantar las obras de infraestructura de acueducto y alcantarillado. Por la incorporación de estas iniciativas y políticas, actualmente en la América Latina aproximadamente el 85 % de la población cuenta con los servicios de agua potable y cerca del 49 % de la población dispone del sistema de alcantarillado (OPS, 2001).

La gestión del agua en estas décadas ha tenido unas características específicas, entre cuales se pueden apreciar un rol preponderante del Estado, un aumento significativo de la cobertura, presencia de los subsidios y por tanto bajas tarifas por uso del agua. Al considerar que el último fin del sistema de acueducto y alcantarillado era lograr unas mejores coberturas para la población, la sustentabilidad financiera no fue un elemento relevante a considerar y a mediano plazo ha tenido unas consecuencias importantes en el tema de la gestión del agua.

Así, los bajos costos y los subsidios otorgados por el Estado no tuvieron en cuenta la necesidad de la autofinanciación del sistema, limitando fuertemente las inversiones para la ampliación de la red de alcantarillado, imposibilitando el tratamiento de aguas servidas y la operación y el mantenimiento de las redes existentes (lo que tuvo efecto, en su parte, a las altas tasas de fugas del agua).

Los bajos costos del agua no incentivaban el uso y el ahorro eficiente del recurso hídrico. Frente a la incapacidad económica del Estado en el tratamiento de aguas servidas, las corrientes hídricas aledañas a los centros poblados se usaban como un medio de la evacuación de las aguas residuales, produciendo unos impactos considerables sobre las condiciones naturales de

los ríos. La situación se dramatizó cuando en los últimos años de la década de los ochenta disminuyeron los salarios de las entidades públicas de algunos países, por la crisis de los años 80, provocando fuga de funcionarios de las instituciones públicas (CEPAL, 2004).

Ante este hecho, el sector del agua se quedó sin profesionales idóneos en el área. Bajo las condiciones de la crisis, se disminuyeron las inversiones en los temas de abastecimiento y saneamiento del agua. Estas llegaron a ser insuficientes para cubrir los costos de operación y mantenimiento de las redes instaladas. El síndrome del decaimiento de la calidad de los servicios ha sido tan evidente que en la región se produjo un consenso sobre la necesidad de la reestructuración pronta del sector, relacionada con el cambio *institucional* y *el marco legislativo* por el cual se debe regir el tema de abastecimiento y saneamiento del agua.

El nuevo sistema de la gestión del agua se diseñó para ser descentralizado, para mejorar su eficiencia e incentivar la participación del sector privado en el tema de la administración del recurso hídrico. Estos cambios fueron reconocidos en el marco legislativo, sustentando la necesidad del autofinanciamiento del sector.

Respondiendo a la necesidad de la reestructuración del sector de abastecimiento y saneamiento en Colombia, en el año 1994 se promulgó la Ley 142 por la cual se establece el régimen de los servicios públicos y se dictan otras disposiciones (Congreso de Colombia, 1994). Según esta Ley en materia del agua se han producido reformas en la institucionalidad y en el sistema tarifario que hasta la fecha han tenido en unas regiones del país unos inconvenientes relacionados con el control y la operatividad.

Según el nuevo marco legislativo se pretendió descentralizar la gestión del agua y abordarla desde la cooperación entre las empresas privadas prestadoras de servicio y el Estado. El Estado tiene la capacidad de intervención en los servicios públicos por las razones, mencionados en el Artículo 2 de la Ley 142 de 1994. Entre las principales razones de las intervenciones se pueden mencionar tales como:

- “Garantizar la calidad del servicio

- Ampliación permanente de la cobertura mediante sistemas que compensen la insuficiencia de la capacidad de la capacidad de pago de los usuarios
- Atención prioritaria de las necesidades básicas insatisfechas en materia de agua potable y saneamiento básico
- Prestación continua e interrumpida
- Prestación eficiente
- Mecanismos que garanticen a los usuarios el acceso a los servicios y su participación en la gestión y fiscalización de su prestación
- Establecer un régimen tarifario proporcional para los sectores de bajos ingresos de acuerdo con los preceptos de equidad y solidaridad”

Bajo la Ley 142 de 1994 se abrió la posibilidad de la participación de las empresas privadas en la prestación de los servicios públicos con unos entes de control internos y externos para garantizar un buen desempeño de estas. La gestión interna de las organizaciones supone el diseño del sistema de los indicadores que permiten evaluar todos aquellos procesos que garanticen un buen servicio a la población. Entre los entes de control externos se pueden mencionar las organizaciones que se enumeren a la continuación:

- Ministerio de Medio Ambiente
- Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (Artículo 69 de la Ley 142 de 1994)
- Superintendencia de los Servicios Públicos (Artículo 76 de la Ley 142 de 1994)
- Comité de Desarrollo y Control Social

El Ministerio de Medio Ambiente se reconoce como la organización que dispone de las siguientes funciones relacionadas con la gestión del agua:

- Definición de los requisitos técnicos
- Formulación de los planes de expansión de los servicios
- Identificación de las fuentes de financiamiento

- Divulgación sobre los avances tecnológicos en el tema del agua
- Desarrollo del sistema de información sectorial de los servicios públicos

Como ente de control de regulación de servicio del agua y de fijación de las tarifas se creó la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (Artículo 69, Ley 142 de 1994).

Con el fin de vigilar e inspeccionar los servicios públicos bajo la Ley 142 de 1992 se consolida la Superintendencia de los Servicios Públicos Domiciliarios que se adscribe al Ministerio de Desarrollo Económico (Artículo 76). Se define su autonomía administrativa y patrimonial con el fin garantizar la independencia de sus decisiones. Entre sus funciones (Artículo 79) se pueden resaltar tales como:

- Vigilar el cumplimiento de las leyes
- Vigilar el cumplimiento de los contratos
- Establecer los sistemas uniformes de información y contabilidad
- Mantener los registros actualizados de las entidades prestadoras de servicio, entre otros

Al estar en concordancia con uno de los principios fundamentales de la Constitución Nacional de 1991 (Artículo 2, Constitución Nacional de 1991), que es la participación de la sociedad en las decisiones del Estado que “afectan la vida política, económica, administrativa y cultural de la Nación”, se creó el Comité de Desarrollo y Control Social (Artículo 62 de la Ley 142 de 1994). Uno de los objetivos principales de esta organización es realizar el control social a los servicios públicos domiciliarios relacionado tanto con la continuidad y la calidad del servicio, como en sus programas de administración, ampliación, entre otros. Igualmente, las empresas prestadoras del servicio público domiciliario están obligadas a realizar unos controles internos con base de los indicadores de seguimiento, evaluando la calidad y eficiencia de sus servicios.

Según lo mencionado, en los años 90 el sistema organizacional de la gestión del agua se reformó. Los principales cambios se expresaron en la apertura hacia la participación del sector privado en la administración del recurso hídrico considerando la autofinanciación de las

empresas prestadoras del servicio. Dichas reformas organizacionales influenciaron a la reestructuración del marco normativo en el tema del recurso hídrico. La descripción de los principales cambios se presenta en el siguiente numeral.

3.2 . SISTEMA NORMATIVO EN LA GESTIÓN DEL AGUA

En este numeral se explican los principales cambios del marco normativo relacionado, básicamente, con el sistema de cobro por el uso del agua, las tasas retributivas y las propuestas en la definición de los límites máximos permisibles de los vertimientos a los cuerpos de agua. El entendimiento de cada uno de estos elementos ayudó a contextualizar la evolución de la huella hídrica de la ciudad de Bogotá.

3.2.1 Tasa por uso del agua

Con el fin de garantizar un sistema de pago por los servicios domiciliarios económicamente sostenible conjuntamente con la facilidad de acceso a estos servicios, se han formulado unos criterios con base de los cuales se definen las tarifas (Artículo 87 de la Ley 142 de 1994). Entre estos criterios se pueden mencionar tales como: eficiencia económica, neutralidad, solidaridad, redistribución, suficiencia financiera, simplicidad y transparencia.

Al considerar el criterio de la solidaridad, se introduce el concepto de la estratificación económica que requirió realizar la clasificación de los inmuebles en el ámbito nacional. Así, se han definido seis estratos socioeconómicos que se caracterizan como: estrato 1 bajo –bajo, estrato 2 - bajo, estrato 3 – bajo – medio, estrato 4 – medio, estrato 5 – alto, estrato 6- muy alto. Según esta división, los estratos económicos 5 y 6 contribuyen al pago de las tarifas de los estratos 1, 2 y 3, mientras que el estrato 4 paga la tarifa del agua, correspondiente a su costo real. De esa forma, según las fuentes de información (CEPAL, 2004), el estrato uno paga tan solo el 50 % del costo real de la tarifa.

Según el Decreto N 394 de febrero de 1987, expedido por el Departamento Nacional de Planeación, se definió el único sistema de tarifas para todo el territorio nacional para agilizar la administración y establecer un sistema único de cobros por el servicio de acueducto y

alcantarillado. De esta forma, se han establecido dentro de la tarifa cuatro componentes cuya descripción se presenta enseguida:

El primero se relaciona con el *cobro fijo* que es independiente del consumo del agua y su valor depende del estrato socio - económico. Para el primer estrato socio económico se redujeron las tarifas y se eliminó el costo de conexión a las redes.

Otro elemento se relaciona con el *consumo básico* requerido para satisfacer las necesidades esenciales de las familias. Su nivel se define por localidades en función del tamaño de las familias, hábitos de consumo y las condiciones climáticas. Así, para la ciudad de Bogotá estos consumos están alrededor de 30 a 40 metros cúbicos por mes.

El *consumo complementario* es otro elemento en el cobro de la tarifa del agua que se relaciona con los consumos domésticos del agua que superan el volumen del consumo básico. En este caso, el cobro por este servicio puede llegar a ser doble de la tarifa del consumo básico del agua.

El *consumo suntuario* se aplica para los estratos socio económicos 1, 2, 3 y 4. Se aplican en casos cuando el consumo se hace más allá del doble del consumo básico. Por los metros correspondientes a este consumo, el suscriptor pagará el costo pleno de la prestación del servicio. Esta medida se tomó con el fin de erradicar y/o controlar los consumos irracionales del agua.

El nuevo sistema tarifario permitió cumplir con dos objetivos importantes: la *suficiencia financiera* y *eficiencia económica*. Por la *eficiencia económica* se entiende la fijación de tarifas que reflejen el costo real del servicio actual y futuro. Y la *suficiencia financiera* garantizará la fijación de tarifas que permitan las inversiones en la expansión y la renovación de la infraestructura. Además, el sistema involucró el concepto de la solidaridad cuando los estratos sociales altos subsidian los estratos socio - económicos bajos.

Cabe resaltar que, a lo largo de los años la estructura del sistema tarifario de la EAAB ha cambiado y ha sufrido unas controversias. En el año 1998 la EAAB ante la CRA presentó la prueba de los ajustes tarifarios para los años 2000 a 2004. La nueva estructura quedó consignada

en la Resolución 076 de 1999. Esta tuvo en cuenta el desmontaje del sistema de los subsidios a los estratos 3, 4,5 y 6 y reducir de los estratos 1 y 2. El aumento de las tarifas fue aplicado desde el año 2000 un 1,5 % mensual, garantizando la sostenibilidad financiera de la empresa de EAAB. Bajo el nuevo esquema, aproximadamente el 70 % de las tarifas se recauda a las obras de inversión en la infraestructura relacionada con las obras de acueducto y alcantarillado.

Hablando particularmente de la ciudad, la estratificación en esta fue adoptada mediante Decreto 289 del 8 de julio de 2003. Aplicando esta al tema tarifario en la ciudad de Bogotá se han establecido las siguientes distribuciones de los precios según los criterios de la Dirección Nacional de Planeación (Metro_cuadrado, 2010):

Estratos de Bogotá	Ingreso per cápita	Porcentaje del área del estrato en la ciudad
1 (Bajo- bajo)	Menos de un SML	9.3
2 (Bajo)	Entre 1 y 3 SML	42.7
3 (Medio – bajo)	Entre 3 y 5 SML	30.2
4 (Medio)	Entre 5 y 8 SML	9.1
5 (Medio – alto)	Entre 8 y 16 SML	3.7
6 (Alto)	Más de 16 SML	1.7

SML – salario mínimo legal mensual
 Vivienda y el uso del suelo discriminado por estratos del año 1998

Fuente: (Metro_cuadrado, 2010).

Como se puede concluir de la tabla presentada anteriormente, el 82.2 % del área de la ciudad pertenece a los estratos de 1 a 3, mientras que a los estratos socio - económicos 5 y 6, que financian los estratos socio – económicos bajos, pertenece tan solo 5.4 % del área de la ciudad Bogotá.

Actualmente, el sistema tarifario en la ciudad se compone de los diferentes cobros que son la tarifa fija, por consumo y súper ordinaria. La primera incluye los cobros que invierte la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá para garantizar el suministro del agua a la población capitalina. El 49 % de esta tarifa representa el sostenimiento de la infraestructura. El mantenimiento del sistema compone otros 29% de la tarifa fija. El 22 % de esta tarifa incluye los costos de los salarios de los trabajadores y la facturación del servicio, y pago por el índice del agua no contabilizada alcanza un 9% (Gómez, El Tiempo, 2013). La segunda tarifa se relaciona directamente con el cobro por el uso del agua. En promedio la población citadina gasta unos 11.2 metros cúbicos al mes por suscriptor. A los usuarios del servicio cuyo consumo superará los 40

metros cúbicos se cobra una tarifa súper ordinaria que consiste en el pago doble del servicio del agua dependiendo del estrato socio – económico. En su parte, esta tarifa representa el tercer componente del sistema tarifario del servicio de acueducto.

En el Artículo 102 de la Ley 142 de 1994 se estipuló que las tarifas al agua incluyen los costos asociados tanto a la red de servicios como al servicio. Dentro de los costos de la red se incluyen los de operación y reposición. Los costos de los servicios incluyen la administración, la operación y el mantenimiento del sistema. Adicionalmente se estipuló un costo especial (Artículo 163 de la Ley 142 de 1994) que se relaciona con la recuperación de las cuencas hidrográficas que se usan para el abastecimiento y/o como el receptor de los vertimientos, y con la recolección, transporte y tratamiento de los residuos líquidos.

3.2.2 Tasa retributiva

La tasa retributiva fue introducida con el fin de controlar los vertimientos y generar incentivos económicos para disminuir las cargas de los vertimientos. La contextualización de este elemento en el estudio permitió analizar las dificultades que enfrenta la ciudad en el tema de los vertimientos y su incidencia en los valores de la huella hídrica gris.

Según la tasa retributiva se pretende disminuir los niveles de contaminación, llegando a que estos sean socialmente aceptables, internalizando las externalidades negativas de los agentes económicos. En términos económicos esta situación se denomina eficiencia sin optimibilidad, cuando no se pretende eliminar la contaminación, sino disminuirla hasta un nivel que sea socialmente adecuado.

La tasa retributiva aplicada en Colombia contiene dos componentes del control de la contaminación. El primero es de comando y control expresado por la definición de las cargas máximas permitidas y los planes de cumplimiento. La ejecución y el seguimiento de dichos aspectos requieren de un sistema sofisticado en la toma de decisiones para determinar cómo debe ser el comportamiento de cada uno de los agentes económicos. Los mecanismos de comando y control han demostrado su ineficiencia en el tiempo para disminuir los niveles de contaminación a menor costo para la empresa. Por consiguiente, se ha acudido a los instrumentos económicos

como el segundo componente en la tasa retributiva que busca incentivar a los agentes económicos en disminuir los niveles de la contaminación, internalizando las externalidades negativas conjunto con la minimización de los costos de tratamiento para las empresas.

Este sistema de cobro, teóricamente, debe generar incentivos a los agentes económicos que contaminan cuando se cumple la condición de que la tasa por unidad del contaminante vertida es mayor que el costo marginal de descontaminación. Además, se pueden presentar otras reducciones adicionales de descontaminación más allá de las metas porque implicarían unos niveles de tasa todavía menores.

En el contexto nacional la definición y la precisión de la tasa retributiva tuvieron una evolución histórica, cuya breve descripción se indica a continuación.

El cobro de las tasas retributivas se conceptualizó a partir del año 74 con la consolidación del Decreto Ley 2811 y su Artículo 18 (Consejo, 1974). En este artículo se estipuló que los vertimientos realizados a los cuerpos hídricos deben estar sujetos a las tasas retributivas y compensatorias. Cabe resaltar que este artículo posteriormente fue derogado por el Artículo 118 de la Ley 99 de 93 (Congreso_de_Colombia, Ley 99/93, 1993). Antes de su derogación, el artículo se reglamentó por el Decreto 1541 de 1978 que estableció que las aguas servidas requieren de previo tratamiento para poder ser vertidas a las corrientes hídricas.

La recirculación del agua para los usos industriales se recomendó siempre cuando es posible técnica y económicamente (Artículo 226, Decreto 1541 de 1978). El pago por contaminación en esta norma se establecía en función del tipo del usuario. Para los usuarios que usan las corrientes hídricas para descargar los vertimientos en estas, están sujetos a las tasas retributivas que se definen en función de la calidad de aguas de la corriente y del tipo de vertimiento realizado al río (Artículo 233, Decreto 1541 de 1978). Posteriormente, este decreto fue modificado por el Decreto 2857 de 1981.

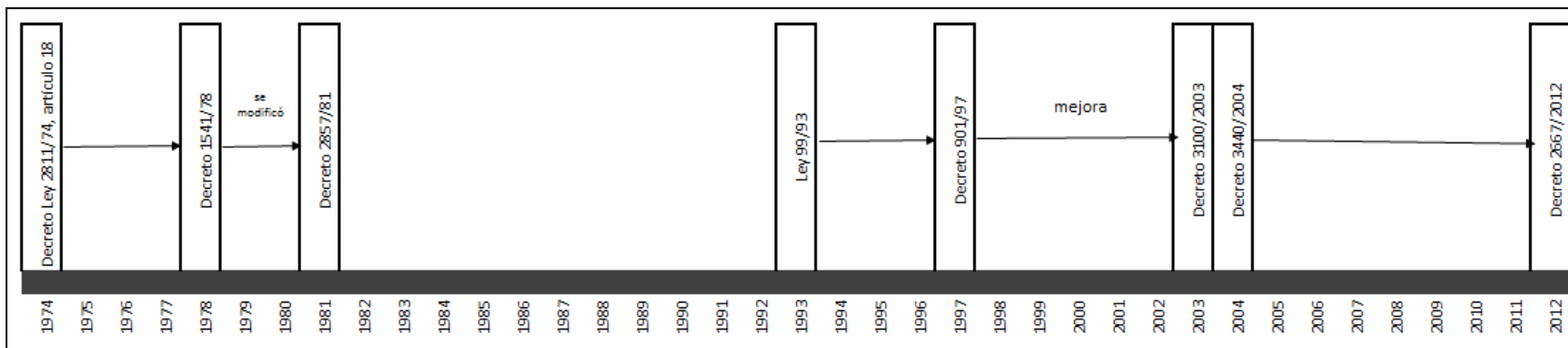


Figura 1. Evolución de la legislación en el tema de las tasas retributivas

Fuente: elaboración propia.

Las principales modificaciones en el Decreto 2857 de 1981 fueron relacionados con la introducción del principio de la ordenación de las cuencas hidrográficas que se debió gestionar a través del Ministerio de Agricultura. Las entidades competentes debieron establecer los criterios de la conservación y de la protección de las cuencas hidrográficas, y, como consecuencia, restringir o modificar las prácticas de aprovechamiento del recurso hídrico (Artículo 6, Decreto 2857/1981).

Igualmente, en dicho documento se especifican claramente los elementos a evaluar en el diagnóstico de las cuencas hidrográficas, los planes y proyectos desarrollados en estas. Respecto específicamente a las tasas retributivas, en el Artículo 31 del documento se relaciona que las autoridades ambientales fijaron

las tasas retributivas en función del volumen del recurso natural renovable usado y las características físicas, químicas y biológicas del ambiente. En el mismo Decreto se estipula que en el caso de no cumplir con las exigencias de la norma, se sancionarán los usuarios del recurso con unos costos de desmantelamiento de la infraestructura instalada y el cobro de multa.

El siguiente avance en el tema de las tasas retributivas se dio por la Ley 99 de 93. En el Artículo 42 de dicho documento se estipula que “*la utilización directo o indirecta del agua... se sujetará al pago de las tasas retributivas por las consecuencias nocivas...*”. Según este artículo, se reglamentaron las tasas retributivas en el año 2003 (MAVDT, Decreto 3100 de 2003, 2003). En este Decreto se define el concepto de la tasa retributiva que se define en función de dos factores. El primer factor se relaciona con la masa de sustancia contaminante vertida al río y el segundo con el factor regional del ajuste que depende de las características específicas del río en una u otra zona geográfica. Estos componentes se reglamentan a través del Decreto 901 de 1997 (MAVDT, Decreto 901 de 1997, 1997), por el cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa o indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se establecen las tarifas de estas. En el documento mencionado anteriormente fueron establecidos unos componentes importantes en el tema de las tasas por uso que se relacionan adelante:

- El Ministerio de Medio Ambiente establece anualmente la tasa retributiva para cada uno de los contaminantes con base en el concepto de la remoción de uno u otro contaminante que forman parte de los costos de la recuperación del recurso afectado (Artículo 4, Decreto 901 de 1997).
- Se establecen por las autoridades ambientales las metas de reducción de los contaminantes, objeto de la tasa retributiva (Artículo 5, Decreto 901 de 1997).
- La tarifa regional comienza a aplicarse a partir primer año con el valor de uno y se incrementará cada 0.5 cada semestre. Cuando las empresas alcanzan su meta de la reducción de los contaminantes, por la autoridad ambiental competente se deja de cobrar la tarifa regional y se definirá otra meta de la reducción por cinco años. Con este mecanismo se pretendió incentivar para disminuir la emisión de las sustancias que son el objeto de la tasa retributiva.

Posteriormente al Decreto 901 de 1997 se estipuló el Decreto 3100 de 2003 que introdujo unas mejoras del documento anterior (MAVDT, Decreto 3100 de 2003, 2003). Más que todo estas fueron relacionadas con el establecimiento de las metas individuales de la reducción de los vertimientos por las entidades cuyas cargas superan los 20 % de la carga total que recibe el cuerpo hídrico. En el documento se relacionan explícitamente tales operaciones como el procedimiento para la meta global de reducción, el cálculo del factor regional y el cálculo del monto de la tasa retributiva que depende de la tarifa mínima de pago, la carga contaminante vertida y el número de los parámetros a cobrar, entre otros.

En su parte, el Decreto 3100 de 2003 fue modificado por el Decreto 3440 de 2004 (MAVDT, Decreto 3440 de 2004). En este se adicionaron unos requerimientos respecto a la información previa al cobro de la tasa, el cobro de las tasas retributivas a los usuarios. Se adopta un nuevo período transitorio para la aplicación de la norma que es de dos años comparando con el plazo de un año, recomendado por el Decreto anterior a este.

En la actualidad la definición de la tasa retributiva se rige por el Decreto 2667 de 2012 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MAVDT, Decreto 2667 de 2012).

Independientemente de todos los cambios introducidos, la tasa retributiva busca un cambio en el comportamiento de los agentes económicos para que estos internalicen las externalidades negativas de la contaminación de las corrientes hídricas y el daño ocasionado a las poblaciones aledañas por el proceso de la contaminación. El sujeto de la tarifa son Sólidos Totales en Suspensión y la Demanda Bioquímica del Oxígeno.

Unos de los objetivos de la tasa retributiva son: internalizar los costos de la contaminación por parte de las fuentes que realizan los vertimientos, minimizar los costos de alcanzar la meta de descontaminación, generar recursos económicos a las Autoridades Ambientales Regionales, ya que el 10 % de la tasa se destine a los programas de la descontaminación de las cuencas hidrográficas. Una de las características de la norma de la tasa retributiva es la promoción de la descentralización de la implementación, ya que las entidades responsables de la gestión son las 33 Autoridades Autónomas Regionales y 4 Autoridades de los

Grandes Centros Urbanos. El procedimiento grueso de la gestión de los vertimientos se presenta en la siguiente Figura:

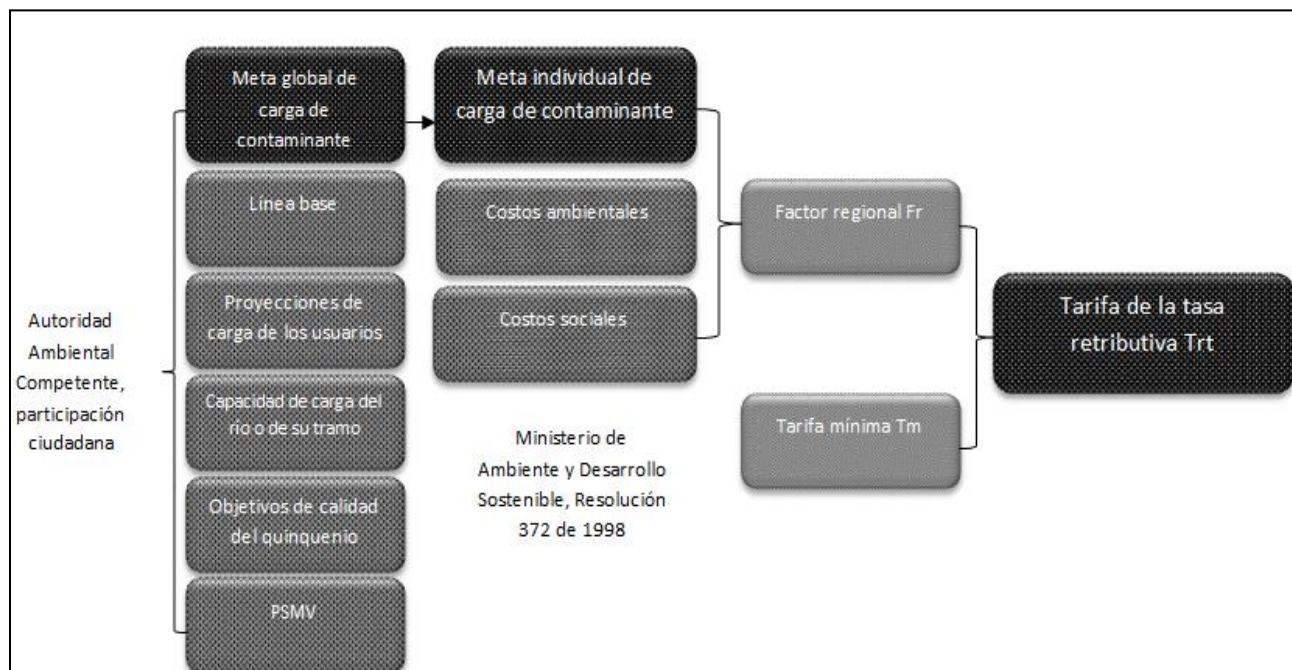


Figura 2. Esquema de cobro de la tasa retributiva.

Fuente: elaboración propia.

El procedimiento de la definición de la tasa retributiva se estipula a través de los diferentes pasos. Inicialmente por la Autoridad Ambiental competente conjunto con la comunidad se define la meta global de carga de contaminante que en su parte depende de tales elementos como la línea base del río o del tramo del río, las proyecciones de carga de vertimientos, la capacidad de carga del río de su tramo, los objetivos de calidad establecidos para el próximo quinquenio y los planes de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV).

Posteriormente, se define la meta individual de carga del contaminante para cada una de las fuentes de los vertimientos. En función de este parámetro, más los costos ambientales y sociales, se define el factor regional. En su parte, la tarifa mínima se estipula por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible según su Resolución 372 de 1998. La tarifa de la tasa retributiva se calcula multiplicando la tarifa mínima por el factor regional. Al alcanzar la meta de vertimientos, el incremento de la tasa de vertimientos se detiene y el usuario solo paga la tarifa mínima definida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Se puede concluir que el método del cobro de las tasas retributivas tiene diferentes características, entre cuales se pueden mencionar las siguientes:

- inclusión de los costos sociales y ambientales
- minimización de los costos para obtener una meta
- gradualidad en la estipulación de los pagos
- inclusión de la participación ciudadana en la toma de las decisiones
- claridad en la destinación de las ganancias económicas por el pago (la destinación del 10 % a la recuperación de las corrientes de agua.

No obstante, existen ciertas dificultades en la implementación efectiva del cobro de la tasa retributiva ya que el modo de cobro no es el único factor que afecta el volumen y la calidad de los vertimientos. En el capítulo de las conclusiones se presenta la descripción de algunas dificultades que obstaculizaron mejoras en el tema de la disminución de los vertimientos en la cuenca media del río Bogotá, y, como consecuencia, los altos valores en la huella hídrica gris de la Capital.

3.2.2 Definición de límites máximos permisibles a los cuerpos superficiales de agua

Para la definición de la huella hídrica gris se requiere disponer del valor máximo permisible de los sólidos totales en suspensión. Con este fin, se analizó la evolución de la norma de límites máximos permisibles. Se resalta que, en los últimos años se tuvieron unos avances importantes promovidos por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible que a futuro pueden generar resultados positivos en la contaminación de las corrientes hídricas en Colombia. A continuación se presenta la breve descripción en el tema.

Una de las primeras normas en materia de los vertimientos fue Decreto 1541 de 1978 por el cual se definió la reglamentación de los usos del agua y los vertimientos. Posteriormente, con el Decreto 1594 de 1984 se reglamentaron los usos del agua y residuos líquidos. A tener en cuenta la permisibilidad de la norma, la definición de los límites de vertimientos en función de la remoción de algunos parámetros de calidad de aguas y no por su valor límite permisible que ha

generado algunas contradicciones en materia ambiental, algunos artículos de este decreto fueron derogados por la Sentencia del 14 de agosto de 1994.

Contemporáneamente con esta derogación, se expidió la Ley 99 del año 1993, por el cual se creó el Ministerio de Medio Ambiente como organismo gestor del ambiente que a través de su gestión debe garantizar el desarrollo sostenible en el país.

En el numeral 10 y en el artículo 31 del dicho documento se estipula que le compete a las Corporaciones Autónomas Regionales fijar los límites permisibles de los vertimientos y que dentro de los grandes centros urbanos esta responsabilidad compete a las autoridades ambientales de los grandes centros urbanos (Artículo 66 de la Ley 99/93). Estos artículos tuvieron importantes consecuencias para la gestión del recurso hídrico tanto dentro del perímetro urbano de la ciudad de Bogotá, como para la cuenca del río Bogotá en general, incentivando la instalación y operación de los puntos de monitoreo de calidad de aguas por parte de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) sobre los ríos El Salitre, Fucha, Tunjuelito y Bogotá.

Con la derogación del Decreto 1594 de 1984 surgió la necesidad de considerar los aspectos fundamentales para el control de vertimientos como permisos, planes de cumplimiento, saneamiento y manejo de vertimientos y reconversión industrial que fueron reglamentados a través del Decreto 3930 de 2010.

A continuación se presentan unos artículos de dicho documento que se consideran de especial importancia en el tema de gestión de los vertimientos para la cuenca del río Bogotá.

Inicialmente, en el numeral 10 del Artículo 24 se relaciona que no se pueden realizar los vertimientos a los cuerpos hídricos cuando estos ocasionan altos riesgos para la salud o para los recursos hidrobiológicos. Este elemento toma importancia bajo su aplicación a la cuenca del río Bogotá, ya que descargas de los contaminantes realizados por la ciudad de Bogotá vulneran tanto la conservación de la biodiversidad en la cuenca como la salud de las poblaciones aledañas que usan sus aguas para su sostenimiento y el desarrollo de diferentes actividades productivas.

Recalcando el rol del Ministerio de Medio Ambiente como ente gestor de las políticas nacionales en los temas ambientales, en el Artículo 28 se estipula que a esta entidad pertenece el rol de fijar los parámetros límites permisibles de los vertimientos a aguas superficiales, marinas y a los sistemas de alcantarillado público y al suelo. Considerando la urgencia de la estipulación de las normas de vertimiento, en dicho documento fue definido el plazo de dos meses a partir de la fecha de la publicación de la norma, para la presentación de la norma de los vertimientos puntuales a aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público por parte del Ministerio de Medio Ambiente.

Para hacer el vínculo entre las normatividad en el tema de los vertimientos y la parte técnica, relacionada con la recolección y la interpretación de los datos de la calidad de agua, en el Artículo 34 del mismo documento se acordó que dentro de los seis meses siguientes, contados a partir de la publicación del presente Decreto, el Ministerio de Medio Ambiente deberá entregar el Protocolo de Monitoreo de los Vertimientos de Aguas superficiales y subterráneas.

Artículo 38. Obligación de los suscriptores y/o usuarios del prestador del servicio público domiciliario de alcantarillado. Los suscriptores y/o usuarios en cuyos predios inmuebles se requería de la prestación del servicio comercial, industrial, oficial y especial están obligados a cumplir con la norma del vertimiento vigente. Adicionalmente, estos deben regir informes sobre la calidad de aguas vertidas según el protocolo de monitoreo de los vertimientos en aguas superficiales, subterráneas expedidas por el MAVDT (Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial). Teniendo en cuenta que el tema de la gestión de la red de acueducto y alcantarillado en la Capital pertenece en mayor parte a la EAAB de Bogotá, esta se encarga del control de los vertimientos producidos por la ciudad.

En el *Artículo 39* de dicho documento se define sobre la responsabilidad del prestador del servicio público domiciliario de alcantarillado. El prestador del servicio de alcantarillado como usuario del recurso hídrico, deberá dar cumplimiento a la norma vigente y contar con su respectivo permiso de vertimiento o con el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos

(PSMV) reglamentado por la Resolución 1433 de 2004 del MAVDT. Igualmente, este tema en el contexto de la ciudad de Bogotá pertenece a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado.

En el año 2010 por parte del MAVDT, bajo el cumplimiento del Artículo 28 del Decreto 3930 de 2010, fue presentado el proyecto de Resolución “por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a sistemas de alcantarillado público, y se dictan otras disposiciones” (MAVDT, 2010).

Esta propuesta de la norma hasta la actualidad se encuentra en el proceso de revisión para su aprobación por el Sistema Nacional Ambiental. Su principal diferencia con la norma anterior de los vertimientos consiste en definir los límites permisibles fijos para diferentes parámetros de calidad del agua, define las prohibiciones de los vertimientos de unas ciertas sustancias a los cuerpos del agua y los parámetros de calidad de aguas que se deben monitorear en diferentes tipos de vertimientos.

Relacionando la diferencia respecto a la responsabilidad de las entidades de prestadores de servicio de alcantarillado de la propuesta, en esta se definen los parámetros de calidad de aguas de obligatorio monitoreo y cumplimiento, donde se definen los valores máximos permisibles para descargas a los cuerpos de aguas superficiales y no porcentaje de remoción como fue estipulado según el Decreto 1594 de 1984. En materia de la gestión de los vertimientos esta propuesta puede ser considerada como un avance importante, ya que no solamente define los valores máximos permitidos de los parámetros de calidad de aguas sino estos son más exigentes respecto a la mayoría de los parámetros y se definen en función de tipo de los vertimientos a los cuerpos hídricos.

En conjunto con los cambios organizacionales y normativos, el sistema tecnológico asociado a la gestión del agua condiciona la huella hídrica en la ciudad. La descripción de cada uno de sus elementos y de su importancia dentro de los componentes de la huella hídrica se presenta adelante.

3.3 SISTEMA TECNOLÓGICO ASOCIADO AL USO Y MANEJO DEL AGUA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ

La ciudad de Bogotá posee una compleja red de acueducto y alcantarillado. El sistema del acueducto toma el 70 % de su suministro de la cuenca del río Guatiquía, transfiriendo presión antrópica sobre la vertiente oriental colombiana, lo que añade complejidad a la relación entre la población bogotana y el recurso hídrico. Por otro lado, el sistema de alcantarillado es mixto, a través de este se realizan tres vertimientos de aguas residuales a la cuenca media del río Bogotá. La ausencia de sistemas de tratamiento adecuados en este tramo, finalmente influyen sobre los valores de la huella hídrica gris de la Capital. Para evaluar la huella hídrica gris, se debe tener en cuenta el contexto tanto del sistema de suministro del agua como del alcantarillado y del tratamiento de las aguas residuales de la ciudad. A continuación, se presenta la descripción de los componentes tecnológicos mencionados.

3.3.1 Sistema de abastecimiento de la ciudad de Bogotá

La ciudad de Bogotá se abastece del sistema de acueducto, operado por la EAAB y se está conformado por los siguientes componentes:

- El sistema de los ríos San Cristóbal y Tunjuelo cuyas aguas se distribuyen a través de los embalses de Chisacá y La Regadera con una capacidad de abastecimiento de 1.12 m³/s y una capacidad de almacenamiento de 10 Mm³.
- El sistema del río Bogotá compuesto de la siguiente forma: el sistema de Tibitóc con el caudal promedio de unos 4 m³/s y con capacidad de almacenamiento de 894 Mm³. Este sistema está conformado por los embalses de Sisga (102 Mm³), Neusa (102 Mm³) y Tominé (690 Mm³) cuyas aguas se usan para distintos propósitos como generación de energía eléctrica, usos agropecuarios y domésticos. El volumen del sistema Tibitóc se limita realmente a 351 Mm³, considerando el volumen muerto del embalse y el caudal regulable que no supera los 170 Mm³.
- El sistema de Chingaza que aporta la mayor parte del agua al sistema de abastecimiento de la ciudad de Bogotá. Actualmente aporta para Bogotá 13.3 m³/s. Este sistema está compuesto por los siguientes componentes: El primer embalse se encuentra en el páramo de Chingaza con una capacidad de 223 Mm³, alimentado por el río Guatiquía mediante el

trasvase de los caudales mediante un túnel de 3.2 kilómetros de longitud y por aguas del río Chuza. Estas aguas se conducen a través de los túneles de más de 40 kilómetros a la planta de tratamiento Francisco Wiesner. El segundo embalse, San Rafael, posee la capacidad máxima de 75 Mm³ y se alimenta por las aguas del embalse Chuza. La planta de potabilización de agua cruda se encarga de la potabilización de aguas para su posterior uso. Después de planta de potabilización las aguas se conducen a través del túnel de Usaquéen a la red de distribución de la ciudad de Bogotá.

En el siguiente esquema se muestra el sistema de abastecimiento de la ciudad de Bogotá con los cuerpos hídricos descritos anteriormente:

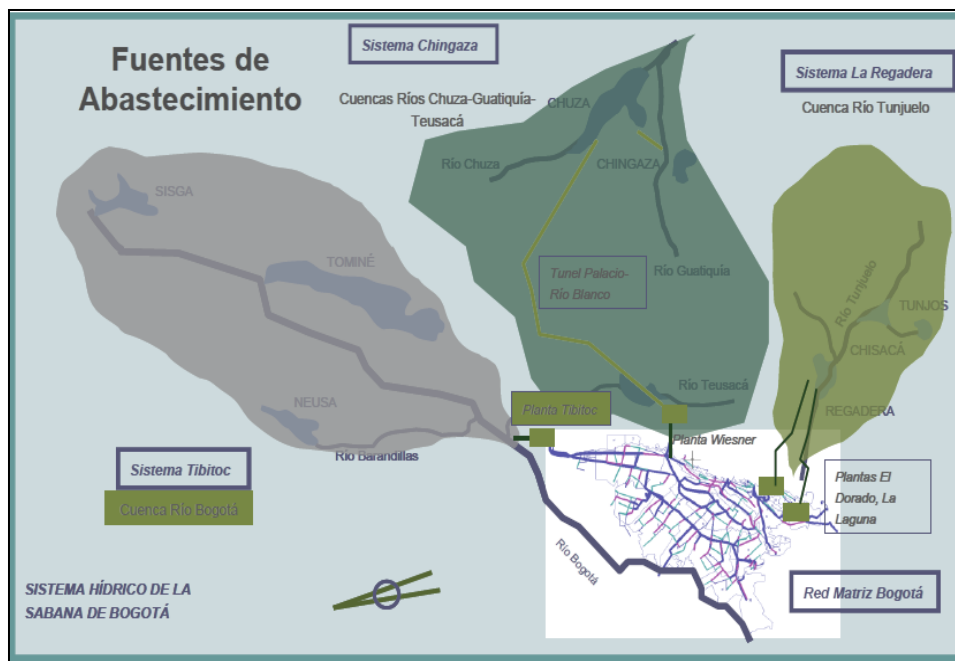


Figura 3. Sistema de abastecimiento de la ciudad de Bogotá
Fuente: (Alcaldía_Bogotá, Fuentes de abastecimiento de Bogotá D.C., 2004)

La ciudad de Bogotá está distribuida en cinco zonas que facilita la prestación de los servicios. El esquema de estas zonas se presenta en la siguiente figura:



Figura 4. Sistema de abastecimiento de agua versus cinco zonas de Bogotá
 Fuente: (EAAB, Manual de calidad, 2010)

3.3.2 Índice de agua no contabilizada

Este índice se usa para identificar los volúmenes del agua potabilizada, pero no facturada, que en su parte representa las pérdidas del agua en el sistema de acueducto por conexiones fraudulentas, filtraciones o errores de medición (Cruz, 2007). Adicionalmente, este índice tiene en cuenta los volúmenes usados para diferentes fines sociales como funcionamiento de las fuentes del agua en la ciudad, suministro del agua en los incendios y a las entidades públicas, entre otros. Aunque los últimos componentes mencionados de este índice no se pueden reducir, los que se relacionan con las pérdidas y las conexiones piratas fueron tenidos en cuenta por la EAAB con el fin de disminuir sus volúmenes y controlar mejor el suministro del agua a la Capital.

Para reducir las pérdidas en el sistema de acueducto a partir del año 1997 se implementó el Plan de Control General de Pérdidas a través del cual el nivel de estas logró disminuir (Gómez, El Tiempo, 2013). A futuro, se pretende disminuir aun más este valor por unas mejoras en el control de fugas y a través de la identificación de las conexiones fraudulentas.

Este índice, aunque no se relaciona con los consumos directos del agua por parte de los usuarios del servicio de acueducto, se consideró en el estudio como uno de los elementos de la huella hídrica azul ya se debe a las intervenciones humanas a las cuencas hidrográficas que

alimentan el sistema de abastecimiento de la ciudad y afectan el régimen hidrológico de las cuencas abastecedoras de la ciudad.

3.3.3 Sistema del alcantarillado de la ciudad de Bogotá

Como se mencionó anteriormente, las particularidades de la red de alcantarillado de la ciudad sumado a las características del sistema de tratamiento de aguas residuales influyen a la magnitud de la huella hídrica gris de la ciudad y, por consiguiente, este indicador debe ser tenido en cuenta en el estudio.

El sistema de alcantarillado de la ciudad de Bogotá es operado por la EAAB. Actualmente esta empresa es la más grande en el área de los servicios públicos domiciliarios tanto por la cobertura, como por el número de los suscriptores en el contexto nacional. Adicionalmente, la infraestructura de las redes es capaz de suplir las necesidades de la población en agua y su evacuación considerando la tasa de crecimiento demográfico de la población citadina (Cruz, 2007).

3.3.3.1 Composición del sistema del alcantarillado de Bogotá D.C.

El alcantarillado de la ciudad de Bogotá se compone de dos partes: la antigua es un sistema combinado y se localiza en la zona central de la cuenca Salitre, entre las corrientes hídricas de Arzobispo y Ríonegro, y la zona oriental de la cuenca Fucha, entre las subcuencas San Francisco y Río Seco.

El componente nuevo del sistema de alcantarillado se llevó a cabo bajo el Plan Maestro de 1965. Este sistema de alcantarillado es separado y sirve a una población de, aproximadamente, a los 5 065 000 habitantes. Se encuentra ubicada en las cuencas de los ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo. Al sur de Bogotá en la zona del río Tunjuelo se encuentra el área en la jurisdicción del municipio de Soacha que igualmente se va manejando por la EAAB (Cruz, 2007).

La cuenca media del río Bogotá, que recibe los vertimientos de la Capital colombiana, recorre los municipios de Funza, Mosquera, el Distrito Capital y parte del municipio de Soacha. En este recorrido recibe los aportes de los ríos Torca, Salitre o Juan Amarillo, San Francisco, Fucha, Tunjuelito y Balsillas. El sistema del alcantarillado pluvial y sanitario de la ciudad se desarrolló entorno a cuatro cuencas principales que son Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo, las cuales funcionan de manera separada y/o combinada. A continuación se presenta una breve descripción de cada cuenca.

3.3.3.2 Descripción del sistema de alcantarillado de la ciudad

Según las especificaciones de la red de alcantarillado de la ciudad, los vertimientos de esta se realizan a través de tres puntos. El primer vertimiento se hace a través del canal Salitre que posee tratamiento primario del afluente. Los otros dos vertimientos se hacen a través de los ríos Fucha y Tunjuelo sin ningún tratamiento previo. Lo mencionado anteriormente, influye tanto a los componentes de la huella hídrica gris como a los valores de cada una de estos. En seguida se presenta la breve descripción de las especificaciones de la red de alcantarillado.

Cuenca Torca: Está conformada por tres sub cuencas principales: El Cedro, San Cristóbal y Serrezuela, que se inician en los cerros orientales de la ciudad y cuyos canales se encuentran revestidos. El canal El Cedro se inicia en la calle 153 con carrera 7 realizando un recorrido de oriente a occidente hasta la altura de la Avenida Jorge Uribe Botero, donde cambia de dirección a sur norte hasta la calle 170, continuando hacia el norte por el cauce natural del Torca. De la calle 170 hacia el norte, la red está conformada por colectores independientes que entregan las aguas negras al cauce principal. Parte de las aguas negras de la cuenca El Cedro son recolectadas por el interceptor del mismo nombre y llevadas hacia el intercolector de Córdoba.

Las obras desarrolladas en esta cuenca han sido proyectadas como sistema separado, teniendo como ejes de la zona nororiental, el drenaje de lluvias hacia los Humedales Torca y Guaymaral, el cual a su vez drena al río Bogotá. En la zona occidental el sistema pluvial drena por medio del canal Torca al río Bogotá; y el sistema sanitario está basado en el interceptor del río Bogotá Torca Salitre, más más conocido como IRB (Interceptor río Bogotá), al cual llegan

todas las aguas residuales que son conducidas hasta la Planta de Tratamiento de Aguas residuales (PTAR) El Salitre.

Cuenca Salitre: Conformada por dos tipos de sistema de alcantarillado (combinado y separado). El sistema de alcantarillado combinado comprende 624 km de redes de alcantarillado, contando con 48 km de interceptores, 163 m de colectores y 412 km de redes de alcantarillado, entre ellos 142 de interceptores, 379 km de colectores y 580 km de redes menores. El sistema de alcantarillado sanitario, cuenta con 2 849 km de redes de alcantarillado, con 159 km de interceptores, 652 km de colectores y 1069 km de redes menores.

Cuenca Fucha: Las redes sanitarias drenan por la cuenta para desembocar en el río Bogotá; cuenta con tres sistemas de alcantarillado (combinado, pluvial y sanitario) de una longitud existente de 1 787 km de redes. El sistema de alcantarillado combinado de esta cuenca, tiene 735 km de redes de alcantarillado. El sistema de alcantarillado pluvial cuenta con 358 km de redes de alcantarillado y el sistema de alcantarillado sanitario tiene 694 km de redes.

Una de las características más importantes de esta cuenca es la ambigüedad en la definición de sus límites, donde los límites de la red pluvial son unos y los de la red sanitaria son otros. Esto se debe a que, en la periferia del área de estudio, existe área cuyos caudales sanitarios son atendidos por la infraestructura propia de la cuenca mientras sus caudales pluviales se entregan a las cuencas vecinas.

Cuenca Tunjuelo: La cuenca urbana de drenaje del río Tunjuelo es la más pobre en infraestructura sanitaria troncal y secundaria, por lo cual su cauce recibe las aguas residuales de la totalidad de los barrios ubicados en su vertiente sur, entre Usme y Bosa, y de la mayor parte de los barrios de las localidades de San Cristóbal, Usme y Ciudad Bolívar, ya sea por vertimiento directo o a través de las quebradas o zanjas que drenan tales barrios como: Yomasa, Santa Librada, Chingaza, Quiba y Limas, entre otras. Además, recibe los lixiviados del relleno sanitario de Doña Juana. La red cuenta con tres sistemas de alcantarillado con una longitud total de 1371 km. El sistema de alcantarillado combinado tiene 135 km y el pluvial cuanta con 302 km de alcantarillado. El sistema de alcantarillado sanitario tiene 934 km.

3.3.4 Sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad

Desde el punto de vista técnico, el sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Bogotá posee unas deficiencias entre las cuales se pueden mencionar tanto las relacionados con los de la cobertura como del propio tratamiento. Por su parte, estas influyen en los valores de la huella hídrica gris para las tres sub cuencas a través de las cuales se realizan los vertimientos.

La ciudad de Bogotá cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales PTAR (Planta de Tratamiento de aguas Residuales) Salitre que se encuentra ubicada en la periferia noroccidental de la ciudad de Bogotá.

Esta planta tiene una capacidad media de tratamiento de 4.0 m³/s (EAAB, Plegable técnico de la PTAR Salitre, 2004). La planta alcanza a descontaminar parcialmente las aguas residuales de, aproximadamente, dos millones doscientos de los habitantes del norte de la ciudad.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales realiza el tratamiento primario químicamente asistido. Su ampliación a futuro ayudará a la descontaminación de unos 8 m³/s de aguas residuales y la aplicación del tratamiento secundario se dejará de usar químicos. Actualmente posee una eficiencia de remoción del 40 % de DBO (Demanda Bioquímica del Oxígeno) y el 60 % de los SST (sólidos totales suspendidos) (EAAB, Plegable técnico de la PTAR Salitre, 2004). La PTAR Salitre recoge las aguas residuales en las cuencas del río Salitre y Juan Amarillo, de los humedales Torca y la Conejera.

Las aguas residuales de las otras sub cuencas del río Bogotá se vierten directamente sin ningún tratamiento previo. Para eliminar esta deficiencia en el sistema de tratamiento de aguas residuales, se está realizando la construcción de la PTAR Canoas que tratará las aguas de las cuencas de los ríos Fucha y Tunjuelo, mejorando las condiciones de la cuenca del río Bogotá. Para contextualizar mejor el sistema de saneamiento del río Bogotá, se explica mejor con el siguiente gráfico.

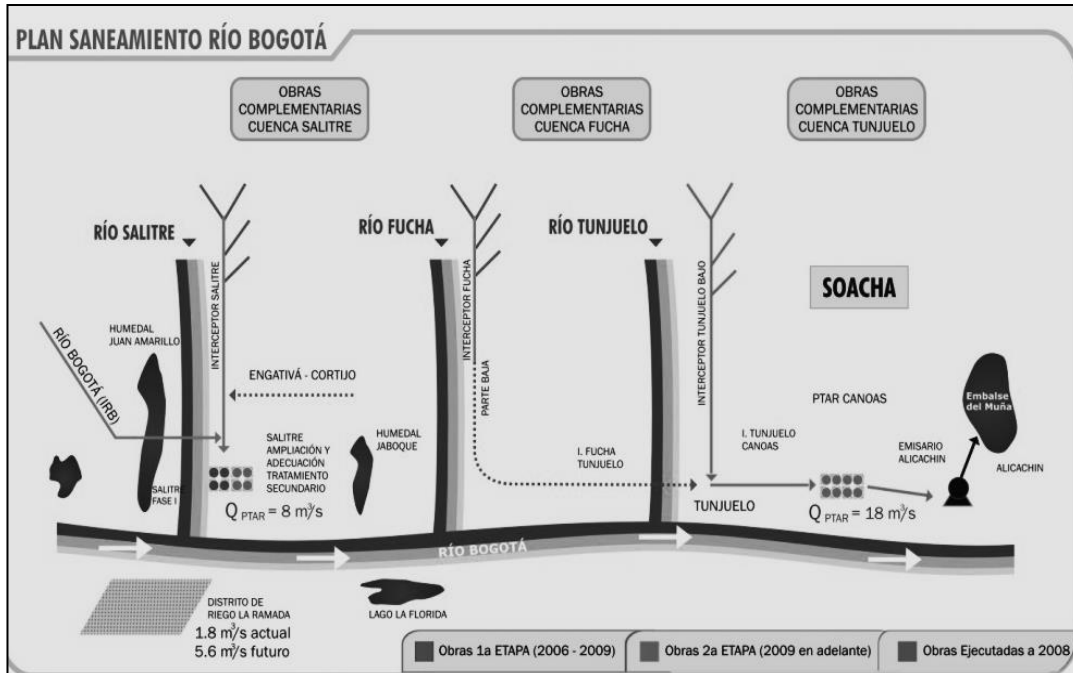


Figura 5. Sistema de saneamiento del río Bogotá
 Fuente: (EAAB, Plegable técnico de la PTAR Salitre, 2004)

El conocimiento sobre la concentración de los sólidos totales en suspensión en cada uno de los vertimientos permitió calcular la huella hídrica gris de las sub cuencas Salitre, Fucha y Tunjuelo.

Sumando los cambios organizacionales, normativos, las especificaciones técnicas de las redes de acueducto y alcantarillado de la ciudad, se pueden identificar algunos eventos en los años 80 y 90 que impulsaron a la población citadina al uso racional del agua en los hogares.

3.4 CAMBIOS EN EL SISTEMA CULTURAL HACIA EL RECURSO HÍDRICO

La relación entre la sociedad y el recurso hídrico en la Capital no fue influenciada solamente por la consolidación de los sistemas tecnológico, institucional y normativo, sino por los racionamientos del agua provocados en los años 80, causa de las sequías provocadas por el fenómeno de El Niño y por la obstrucción de los túneles en el sistema de abastecimiento de la ciudad de Bogotá en los años 90. Estos racionamientos se presentaron tanto en la época de la escasez del agua como en los años posteriores.

... cuando fue necesaria la reparación o el mantenimiento del alguno de los túneles que componen el sistema Chingaza, la ciudadanía tuvo que padecer prolongados racionamientos de agua, capaces de paralizar las actividades normales de más de 2 millones de habitantes de Bogotá, de cerca de 600 barrios, que debían hacer largas filas para proveerse del agua que distribuyeron los carrotanques de la empresa (EAAB, El agua en la historia de Bogotá, tomo III, 2003)

Estos racionamientos del agua no han afectado solamente el sector doméstico, sino perturbó el funcionamiento de los hospitales, centros de salud, colegios, bibliotecas, entre otros. Otro de los hechos de racionamiento del recurso hídrico fue presentado en agosto del año 1992, cuando se ocurrió un alud de tierra en el canal de Simaya.

Cerca de 2 000 metros cúbicos de tierra destruyeron 20 metros del túnel El Faro, lo cual obligó a sacar de operación el sistema Chingaza. Los bogotanos tuvieron que enfrentar 8 días de racionamiento, y el Alcalde Mayor, Jaime Castro, debió decretar el cierre de las instituciones educativas (EAAB, El agua en la historia de Bogotá, 1986 - 2003, 2003).

Para enfrentar la emergencia, la empresa EAAB incrementó la capacidad de abastecimiento del sistema Tibitóc y San Rafael en los años 90, para lograr un caudal de distribución de 12 metros cúbicos por segundo, de los 18 que cubrieron en estos años las necesidades de la población bogotana.

Estos cambios provocaron una disminución significativa de los consumos per cápita del agua, manifestando la posibilidad de subsistencia de la ciudad con menores volúmenes disponibles del recurso hídrico. Unos de los hábitos que fueron desarrollados en esta época fueron los siguientes: revisión y mantenimientos de los tanques de almacenamiento del agua, disminución de la cantidad del agua usada en el sector doméstico a través del cambio en las prácticas de lavado de las viviendas y de los carros, arreglo de las fugas del agua, entre otros.

Otro de los hechos en la modernidad que ha influido al racionamiento de los consumos del agua se relaciona con la obstrucción del túnel Ventana – Simaya del sistema de abastecimiento Chingaza en el año 1997. Este hecho sacó de la operación todo el sistema de Chingaza por varios meses, obligando a la población citadina usar lo necesario para sus actividades cotidianas.

Como conclusión final del numeral se resalta que en los años 90 el sector de agua sufrió reformas importantes que sirvieron como fuerzas motrices para la evolución de la huella hídrica de la ciudad de Bogotá. Este análisis en contraste con los valores de la huella hídrica permite identificar los efectos de las reformas sobre los consumos del agua en la Capital y la contaminación de la cuencia media del río Bogotá.

4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Objetivo general:

- Explicar los cambios en la gestión del agua en grandes ciudades a través del indicador de huella hídrica.

Objetivos específicos:

- Evaluar los volúmenes del agua que sustentan la vida y el desarrollo de las actividades productivas en la ciudad de Bogotá a través de la metodología de la huella hídrica
- Analizar el efecto de los cambios institucionales y legislativos sobre la relación sociedad – agua en los años 90 en la ciudad de Bogotá
- Identificar los aspectos a mejorar en la relación entre la población citadina versus el agua

5 MARCO CONCEPTUAL

En el presente numeral se describen los elementos que explican el concepto de la *huella hídrica* y su aplicación en el contexto de la ciudad de Bogotá.

5.1 INTRODUCCIÓN AL CONCEPTO DE HUELLA HÍDRICA

En los últimos años el tema del agua ha sido debatido desde los diferentes actores y desde las diferentes perspectivas (tecnológicas, sociales, culturales, económicas, etc.) teniendo en cuenta los problemas de escasez del recurso hídrico generados por la relación disponibilidad del agua versus demandas, los patrones de consumo y la restricción del uso del agua por la contaminación. Con la modernización los dos últimos elementos han tomado mayor relevancia en los balances hidrológicos de los territorios por mayores demandas de los bienes y servicios, cuya producción emplea los usos del recurso hídrico y mayores contaminaciones vertidas a las cuencas hidrográficas.

Para describir estas relaciones entre el agua consumida de formas directa e indirecta, los procesos de contaminación hídrica a través de los vertimientos, en los años noventa del siglo anterior por Arjen Hoekstra de UNESCO-IHE fue introducido el término de huella hídrica que fue empleado para evaluar las dinámicas del agua como indicador de presión sobre el recurso hídrico “*de uso de agua que tiene en cuenta tanto el uso directo como indirecto por parte de un consumidor o productor*” (Hoekstra, 2004).

El concepto de huella hídrica se formuló como respuesta a los lineamientos establecidos en la conferencia Río de Janeiro del año 1992 (Naciones Unidas, 1992), cuando en el Artículo 8 de dicho documento se relaciona que “... *los Estados deben disminuir las modalidades de producción y consumo insustentables...*”. La metodología de la huella hídrica permite trabajar diferentes escalas espacio – temporales, permitiendo establecer las dinámicas del agua a través

de las exportaciones e importaciones de los bienes y servicios, cuya producción emplea el uso del agua, consumos directos del agua y los procesos de la contaminación (Huella hídrica, 2011).

El concepto de la huella hídrica fue aplicado por primera vez en España por Arjen Y. Hoekstra, actual director científico de La Red de la Huella Hídrica. Este fue ampliamente usado en España para evaluar la huella hídrica tanto de todo el país (Garrido, Llamas, Varela-Ortega, Novo, Rodríguez-Casado, & Aldaya, 2010), como de los diferentes sectores, entre cuales se puede destacar el énfasis en la evaluación de la huella hídrica del sector agricultor (Rodríguez Casado, Garrido, Llamas, & Varela - Ortega, 2008), porque este sigue siendo uno de los mayores consumidores del agua en el mundo (Shiklomanov, 2000).

Teniendo en cuenta que los problemas de escasez del recurso hídrico a menudo son la consecuencia de la inadecuada gestión del agua, el concepto de la huella hídrica fue aplicado en España para evaluar los flujos del agua de unas cuencas hidrográficas particulares que son importantes desde el punto de desarrollo del país y donde los usos del agua generan problemáticas de la vulnerabilidad de las cuencas hidrográficas tanto por los procesos de contaminación como por la disponibilidad del recurso (Salmoral, Dumont, Aldaya, Rodríguez - Casado, Garrido, & Llamas, 2010). Como una de las herramientas de la gestión del recurso hídrico regional y del país, se habían hecho los planteamientos de como el concepto de la huella hídrica se puede aplicar para controlar los flujos virtuales del agua y prevenir el agotamiento de las corrientes hídricas por la exportación de los bienes y servicios desde las cuencas donde estos fueron producidos (Aldaya, Niemeyer, & Zarate, 2011), (Hoekstra & Chapagain, Globalización del agua: Compartir los recursos de agua dulce del planeta, 2010).

Los estudios de la huella hídrica han tenido acogida en varios países en el mundo, entre los cuales se pueden apreciar Alemania, China (Zeng, Koeneman, Zarate, & Hoekstra, 2012), Indonesia, entre otros. En estos trabajos la huella hídrica se evaluó desde las diferentes perspectivas espaciales como para las regiones geográficas (Ercin, Mekonnen, & Hoekstra, 2012), para las cuencas hidrográficas (Zeng, Koeneman, Zarate, & Hoekstra, 2012) o para unos u otros sectores productivos (Hoekstra, Booij, Hunink, & Meijer, 2012). A pesar de la diversidad

de los estudios mencionados anteriormente, la metodología de la huella hídrica hasta el momento no fue aplicada para el contexto de las grandes ciudades.

En los últimos años en Colombia fueron realizados varios estudios relacionados con la definición de la huella hídrica. En los recientes análisis se evaluó la huella hídrica del sector agrícola de Colombia (WWF, Arévalo Uribe, & Sabogal, Una mirada a la agricultura de Colombia desde su huella hídrica, 2012), apoyado por los investigadores de la WWF en Colombia (Worldwide Fund for Nature).

Considerando la novedad del tema en el ámbito nacional, no se habían realizado más estudios en el tema de la huella hídrica, ni se había aplicado la metodología de la huella hídrica para las zonas urbanas del país. La aplicación de la metodología para la ciudad de Bogotá representa un interés especial considerando la complejidad de su relación con el recurso hídrico tanto en el tema de abastecimiento como en la contaminación de la cuenca media del río Bogotá.

5.2 CONCEPTOS FUNDAMENTALES APLICADOS AL CASO DE ESTUDIO

Bajo los lineamientos establecidos por Arjen Y. Hoekstra (Hoekstra, A.Y, 2012) la *huella hídrica* se relaciona con el volumen del agua por unidad de tiempo que fue usado para satisfacer las demandas de la población en los consumos directos del agua y/o indirectos que se relacionan con el volumen del agua empleada en la producción de unos bienes y/o servicios.

En su parte, la huella hídrica se divide en tres tipos en función del origen de las aguas usadas para satisfacer las demandas del recurso hídrico para uno u otro fin. Así, *la huella hídrica azul* se relaciona con el uso de las aguas superficiales y subterráneas, *la huella hídrica verde* se refiere al uso de las aguas provenientes de las lluvias y *la huella hídrica gris* hace referencia al volumen del agua requerido para neutralizar la concentración de los contaminantes introducidos a uno u otro cuerpo hídrico. Según el autor del concepto de la huella hídrica, la huella hídrica gris se puede calcular a través de la siguiente ecuación:

$$HH_{gris} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}}$$

Ecuación 1

Dónde:

- L - Carga del contaminante, (masa/tiempo)
- C_{nat} - Concentración natural del parámetro de la calidad del agua (masa/volumen)
- $C_{máx}$ - Concentración máxima permitida para el parámetro de la calidad del agua según la la norma de los vertimientos (masa/volumen)

De todo lo mencionado anteriormente, la huella hídrica total se compone de los tres componentes mencionados anteriormente:

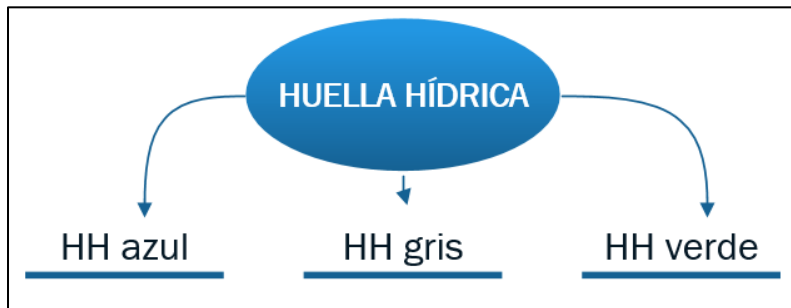


Figura 6. Tipología de las aguas bajo el concepto de la huella hídrica
Fuente: elaboración propia.

Lo presentado en la Figura 6, se puede expresar a través de la siguiente ecuación:

$$HH = HH_{azul} + HH_{verde} + HH_{gris}$$

Ecuación 2

Teniendo en cuenta que en el estudio se definió la huella hídrica para la ciudad de Bogotá, fue usado el concepto de la huella hídrica para las áreas geográficas. *La huella hídrica dentro de las zonas geográficas* se puede calcular como un conjunto de los consumos y la contaminación del agua dulce dentro de los límites de dicha área que se pueden relacionar a través de la siguiente ecuación:

$$HH_{area} = \sum_q HH_{proc}[q]$$

Ecuación 3

Dónde:

HH_{area} Huella hídrica del área de estudio

$HH_{proc}[q]$ Huella hídrica de un proceso dentro del espacio geográficamente definido

La Ecuación 3 incluye tanto las aguas usadas en el proceso, como las aguas contaminadas para producir uno u otro producto.

Para realizar los estudios de los balances hídricos para las zonas geográficas se necesitan tener en cuenta las exportaciones y las importaciones de las aguas a través de los bienes o servicios ambientales cuya producción incluye el uso del agua. Las aguas usadas por la zona geográfica y proveniente de otra cuenca hidrográfica deben cuantificarse como huella hídrica de la zona de donde fue extraída. Según el autor de la metodología (Hoekstra, A.Y, 2012), como uno de los indicadores de la sostenibilidad del recurso hídrico en el área geográfica, se pueden establecer *los balances hídricos virtuales* que se refieren a la relación entre el volumen del agua requerido para elaborar productos de exportación y que volumen del agua se importa al área estudiada por las importaciones de los bienes. Según lo relacionado anteriormente, este balance se puede expresar a través de la siguiente ecuación:

$$V_{i.net} = V_i - V_e \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

$V_{i.net}$ - Balance hídrico virtual de la zona geográfica

V_i - Volumen del agua importado del área de estudio

V_e - Volumen del agua exportado al área geográfica para los consumos directos e indirectos del recurso hídrico

Como se puede deducir de la ecuación, el balance es positivo cuando los volúmenes del agua importados al área geográfica superan los volúmenes del agua exportados fuera de esta a través de los consumos directos e indirectos del agua.

6 MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se describirá el marco metodológico relacionado con la aplicación de la metodología de la huella hídrica para la ciudad de Bogotá. A tener en cuenta la disponibilidad y confiabilidad de la información secundaria, unos conceptos que no se comparten con el autor de la metodología, en el trabajo fueron planteados algunos ajustes y limitaciones cuya descripción sigue a continuación.

6.1 AJUSTES METODOLÓGICOS Y DEFINIFICIÓN DE LAS LIMITACIONES

El primer componente cuya noción fue revisada se relaciona con el concepto de la *huella hídrica indirecta* que refleja el volumen del agua que fue usado para producir unos bienes o servicios. Se considera que realmente unos u otros bienes y servicios, como producto final, no poseen la misma cantidad del agua que se empleó para producirlos.

La primera parte de esta agua podría ser evaporada, la segunda - infiltrada y la tercera - devuelta como componente de la escorrentía superficial, si se analiza, por ejemplo, el uso de las aguas en el sector agrícola.

Si se tiene en cuenta el agua en el sector industrial, la misma cantidad del agua podría ser usada para producir diferentes unidades del producto debido al proceso de la recirculación del agua. Bajo esta perspectiva, la producción de bienes y servicios sustentados en el agua influye a la modificación del régimen hidrológico de la cuenca de donde fue sustraída el agua y, posiblemente, a la contaminación del recurso hídrico como producto de los vertimientos, pero no se relaciona directamente con los volúmenes del agua empleada para obtener el producto final.

Igualmente, en la producción del mismo producto podrían ser usados diferentes volúmenes del agua en función de tales factores como el nivel tecnológico, condiciones climáticas de la zona, entre otros. Por consiguiente, la estimación de los flujos de bienes y servicios cuya producción depende del agua, podría generar unos niveles de incertidumbre muy altos.

Al tener en cuenta las observaciones presentadas anteriormente, en el estudio no se tuvo en cuenta el cálculo de la huella hídrica indirecta por la conceptualización que no comparte la autora del trabajo.

El segundo componente que fue revisado conceptualmente se relaciona con los elementos del balance hídrico virtual. Este representa el balance entre las aguas exportadas e importadas. Las primeras representan los volúmenes del agua de las cuencas hidrográficas de la zona, usadas para distintas necesidades de la zona de estudio y que se exportan a través de los bienes y servicios a otras zonas geográficas.

Las segundas son las aguas usadas de otras cuencas hidrográficas para satisfacer las necesidades de la zona de interés. Según la teoría de la huella hídrica, del volumen del agua importada se resta el volumen del agua exportada para identificar cuál es la proporción entre los dos componentes.

Como mencionan los autores de la metodología, los valores positivos de la huella hídrica implican unas entradas netas de agua virtual desde otros territorios. En su parte, un balance negativo indica una pérdida de agua virtual. En este sentido, “*el concepto de la huella hídrica virtual se supone interesante debido a que importar agua virtual ahorra agua en el área considerada*” (Garrido, Llamas, Varela-Ortega, Novo, Rodríguez-Casado, & Aldaya, 2010).

En el trabajo actual se considera que esta confirmación genera la percepción de que independientemente del contexto, la gestión del agua dentro de las áreas geográficas debe tender a ser positiva. Este concepto implícitamente habla sobre la necesidad de la depredación de las cuencas hidrográficas de otras regiones para garantizar el sostenimiento y el desarrollo de la zona geográfica considerada.

En realidad, este hecho puede llegar a ser contradictorio con las realidades cuando la zona geográfica donde se estudia la huella hídrica posee mayores disponibilidades del recurso hídrico comparando con las zonas de donde se importa el agua. Así, la huella hídrica virtual no tendría en cuenta la sostenibilidad ambiental de las cuencas “importadoras” de agua. En este contexto, el concepto de la huella hídrica virtual contradice a unos de los criterios ambientales que son de la realidad y de la solidaridad (Mesa Cuadros, 2010).

El principio de la realidad se parte de que las problemáticas ambientales pueden ser vistas de distintos ángulos, pero la forma de cómo se ven unas u otras problemáticas influyen si estas serán vistas desde la visión global y sistémica o de forma parcial y sectorial. Considerando el concepto de la huella virtual, la gestión del agua se ve de forma desarticulada del escenario regional y/o global, ya que ignora los impactos a las cuencas hidrográficas de donde fueron importadas las aguas, tratando de que el balance virtual sea positivo.

El segundo principio ambiental mencionado anteriormente que es de *la solidaridad* debe ser visto como de la solidaridad ambiental a través de la cual se podrán hacer contribuciones importantes para la solución de las problemáticas ambientales y humanas. En este contexto, la solidaridad contiene tres componentes que son de la solidaridad subjetiva (de los individuos), en el tiempo (respecto a las generaciones futuras) y en el espacio. *“La última se refiere a la extensión de los derechos en el sentido de la globalidad, ya que los derechos deben predicarse y ampliarse a todo el espacio y no solo al espacio de aquellos Estados, países, naciones o territorios”* (Mesa Cuadros, 2010).

Contrastando el concepto de la huella hídrica virtual con el principio de la solidaridad ambiental en el espacio, se concluye que estos no tienen un punto de confluencia, ya que la responsabilidad sobre los consumos del agua debe ser vista independientemente del origen de las aguas. Los consumos del agua afectan directa e indirectamente las cuencas hidrográficas “importadoras” del servicio ambiental de agua.

Las áreas geográficas que se benefician de este servicio deben responsabilizarse de los impactos sobre estas. No necesariamente los balances hídricos virtuales positivos expresarán una buena gestión del agua a nivel territorial, porque no serán capaces de articular los consumos de agua versus presiones sobre otros territorios por la disponibilidad del agua y su posible contaminación.

A pesar de los cuestionamientos presentados anteriormente al concepto del balance virtual, la definición de este para la ciudad de Bogotá representa una dificultad considerable, teniendo en cuenta que no se dispone de un sistema único de información para identificar las entradas y las salidas de todos los bienes y servicios en el metabolismo de la ciudad. El uso de las estadísticas aproximadas puede llevar a generar unas inexactitudes grandes en el cálculo del balance.

Teniendo en cuenta los cuestionamientos mencionados anteriormente más la disponibilidad y la confiabilidad de la información secundaria que sirvió como base del estudio, se han formulado unas limitaciones que se describen a continuación.

Limitaciones en el estudio realizado:

1. *La huella hídrica total* para la ciudad de Bogotá se estimará en el corte anual, teniendo en cuenta la disponibilidad de la información reportada en el Sistema Único de Información de Servicios Públicos.
2. Para la estimación de *la huella hídrica gris* se tendrán en cuenta las estadísticas secundarias de los volúmenes de descarga de los vertimientos y de su composición a la cuenca del río Bogotá a través de los tres principales afluentes tributarios que son los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo.
3. *La huella hídrica gris* se calculará con base de los valores de los sólidos totales en suspensión, teniendo en cuenta la confiabilidad y la disponibilidad de la información secundaria de este parámetro tanto para la cuenca del río Bogotá, como de los vertimientos introducidos a la corriente.
4. En el cálculo de *la huella hídrica gris* como referente del valor máximo permitido de los vertimientos se tuvo en cuenta el valor de los sólidos totales en suspensión (SST)

relacionado en el proyecto de la Resolución de los vertimientos del (MAVDT, Proyecto de la Resolución por la cual se establecen las normas y los valores límites máximos permisibles de parámetros en vertimientos puntuales a sistemas de alcantarillado público y a cuerpos de aguas continentales superficiales, 2010) al considerar que algunos artículos del Decreto 1594 de 1984 fueron derogados. Adicionalmente, este Decreto no definió los límites fijos de los parámetros de los vertimientos, sino tuvo en cuenta el porcentaje de su remoción que dificultaría su aplicación para la definición de la huella hídrica gris.

5. No se tendrá en cuenta el uso de las aguas lluvias (huella hídrica verde), considerando que estas no se emplean explícitamente por los sectores consumidores del agua. Teniendo en cuenta que el sistema de alcantarillado de la ciudad es mixto, la función de las aguas – lluvias se limita a la dilución de los contaminantes en la red de alcantarillado, componiendo una parte de la huella hídrica gris de la Capital.
6. No se tendrán en cuenta los consumos indirectos del agua, relacionados con la cantidad de aguas que son necesarios para producir unos bienes y servicios importados a la ciudad de otras regiones. Para el autor de trabajo no se comparte el concepto de la huella hídrica indirecta, cuya explicación se presentó anteriormente.
7. No se construirá el balance hídrico virtual, teniendo en cuenta que su concepto contradice a unos de los principios ambientales que fueron descritos y explicados en el numeral anterior. Igualmente, la falta de las estadísticas en el tema dificultan la definición del balance hídrico virtual para la ciudad de Bogotá.

6.2 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE LA HUELLA HÍDRICA AL CASO DE ESTUDIO

A tener en cuenta las particularidades de la ciudad de Bogotá en su relación con el agua mencionadas en el numeral 4, los ajustes metodológicos realizados, la disponibilidad de la información secundaria y las limitaciones formuladas anteriormente, la aplicación de la metodología de la huella hídrica requirió una adaptación al caso particular de la ciudad. La explicación del marco metodológico se presenta en el siguiente numeral.

6.2.1 Fuentes de la información

En el estudio se usaron diferentes fuentes de información relacionadas con los consumos históricos del agua, correspondientes al período de 1993 hasta el año 2008, los volúmenes y las características de los vertimientos realizados por la ciudad, entre otros. Las fuentes de la información usadas en el estudio se detallan así:

Fuente de información relacionada con los consumos del agua y los volúmenes y la composición de los vertimientos: La primera fuente de información es el Sistema Único de Información de Servicios Públicos que se encuentra en la página electrónica www.sui.gov.co. En esta se relaciona la información anual de los consumos del agua en la ciudad de Bogotá. Igualmente, se referencia la información de los vertimientos a la cuenca del río Bogotá donde se relacionan los volúmenes de los caudales y sus parámetros físico – químicos tanto después de la PTAR Salitre como de los vertidos directamente al río Bogotá.

Fuente de información sobre los aspectos de las redes de acueducto y alcantarillado: La segunda fuente de la información fueron los informes técnicos de la EAAB. Gracias a esta se identificaron las particularidades del sistema de abastecimiento de la ciudad como los caudales promedios captados de las distintas cuencas hidrográficas, el índice del agua no contabilizada. Igualmente, se recopiló la información del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la PTAR Salitre como el caudal promedio tratado en la planta y el porcentaje de remoción de los Sólidos Totales Suspendidos (SST), información, que fue usada en la definición de la huella hídrica gris de la ciudad.

Fuente de información sobre la calidad del agua del río Bogotá: la evaluación de la huella hídrica gris de la ciudad requiere el conocimiento sobre la concentración de los sólidos totales en suspensión en diferentes tramos del río Bogotá. Con este fin se consultaron las publicaciones de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca respecto a la calidad del recurso hídrico según las mediciones sistemáticas que se realizan a través de las estaciones de calidad del agua instaladas a lo largo de la corriente hídrica.

La recolección de los datos permitirá la aplicación de la metodología de la huella hídrica que se relaciona seguidamente.

6.2.2 Metodología de la huella hídrica azul para la ciudad de Bogotá

El estudio de la huella hídrica a niveles territoriales, como lo mencionan varios autores (Hoekstra & Chapagain, Globalización del agua: Compartir los recursos de agua dulce del planeta, 2010), permite conocer cuánta agua, y en qué condiciones, se utiliza para la satisfacción de las necesidades de los distintos sectores y cuánta agua sería necesaria para contrarrestar las corrientes contaminadas.

La primera etapa en la aplicación de la metodología de la huella hídrica consistió en establecer la huella hídrica azul que se relaciona con los volúmenes del agua superficial usada para satisfacer las necesidades básicas humanas y/o para la producción de los bienes y servicios en el área del estudio. Para identificar la evolución de la huella hídrica azul fueron consultados los registros históricos del consumo del agua, correspondientes al período entre los años 1993 y 2008.

Aplicando el concepto de la huella hídrica azul para el caso de la ciudad de Bogotá, esta se representa a través de dos elementos. El primero son los consumos facturados del agua en el período considerado que se llamaron los consumos directos. El segundo se relaciona con los volúmenes anuales del agua, calculados a partir del índice del agua no contabilizada (IANC) que refleja el agua suministrada a la red del acueducto, pero que no fue consumida por los usuarios por causas como fugas, conexiones piratas, suministro del agua para las demandas en el sector social, etc. Este índice no se relaciona directamente con los consumos del agua, pero sí se debe tener en cuenta a la hora de calcular la huella hídrica azul, ya que estos volúmenes del agua corresponden a las especificaciones técnicas de la red del acueducto y representan la afectación de las corrientes hídricas por la extracción del recurso hídrico para la satisfacción de las demandas del agua.

Todo lo mencionado anteriormente se puede expresar a través de la siguiente ecuación:

$$HH_{azul} = HH_{consumos} + HH_{IANC}$$

Ecuación 5

Dónde:

HH_{azul} Huella hídrica azul de la ciudad, (m^3)

$HH_{consumos}$ - Huella hídrica de los consumos directos del agua (doméstico, industrial, comercial y otros, comprendidos en el período de 1995 a 2008, (m^3))

HH_{IANC} - Volúmenes anuales del agua, correspondientes al índice del agua no contabilizada, (m^3)

Al tener en cuenta que el 70 % de la oferta del agua proviene del sistema de abastecimiento de la cuenca del río Orinoco, se calculó la huella hídrica azul para esta cuenca hidrográfica, y el porcentaje restante correspondió a la huella hídrica azul del sistema de abastecimiento de la cuenca del río Bogotá (sistemas de Tibitóc y San Cristobal). De esa forma, se pueden diferenciar los aportes de cada una de las cuencas hidrográficas en el desarrollo de la ciudad de Bogotá.

$$HH_{r.Orinoco} = 0.7 \times HH_{azul} \quad \text{Ecuación 6}$$

Dónde:

$HH_{r.Orinoco}$ - Huella hídrica azul correspondiente a la extracción anual del agua del río Guatiquía, (m^3).

$$HH_{r.Bogota} = 0.3 \times HH_{azul} \quad \text{Ecuación 7}$$

Dónde:

$HH_{r.Bogota}$ - Huella hídrica azul correspondiente a la extracción anual del agua por la red de abastecimiento de la cuenca del río Bogotá, (m^3).

6.2.3 Huella hídrica gris para la ciudad de Bogotá

La segunda etapa en la aplicación de la metodología consiste en la estimación de la huella hídrica gris que son los volúmenes de agua dulce requeridos para asimilar la carga contaminante por la corriente hídrica a donde están vertidos estos contaminantes.

Teniendo en cuenta que la descarga de los vertimientos de la ciudad al río Bogotá se realiza a través en los tres puntos, la huella hídrica gris se compone de los tres elementos correspondientes a la huella gris después de la PTAR El Salitre y a las huellas hídricas grises por las descargas de los ríos Fucha y Tunjuelo. Al tener en cuenta que la cuenca del río Torca aporta al río Bogotá solamente las aguas pluviales y las aguas negras provenientes de esta cuenca hidrográfica se llevan a la PTAR El Salitre, esta sub cuenca no se tendrá en cuenta para la definición de la huella hídrica gris.

Teniendo en cuenta las dificultades relacionadas con la disponibilidad de la información histórica de los vertimientos al río Bogotá como los volúmenes de las descargas y su concentración de los SST, concentración de los SST a lo largo del cauce del río Bogotá, la huella hídrica gris se calculó para el año 2008 para el cual fue disponible toda la información requerida.

Se muestran en la siguiente tabla los volúmenes de los vertimientos y su caracterización por los SST para cada uno de los puntos de los vertimientos al cauce del río Bogotá. Estos datos fueron usados para la estimación de la huella hídrica gris de la ciudad de Bogotá.

Tabla 1. Calidad de agua de los vertimientos.

Cuenca	$Q, (l/s)$	$SST, (\frac{mg}{l})$
Salitre	819.3	55.0
Fucha	1991.4	70.0
Tunjuelito	9803.0	232.0

Fuente: (EAAB, Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, 2008)

La metodología de la huella hídrica incorpora las concentraciones naturales de los sólidos totales en suspensión antes de los vertimientos. Su propósito es contrastar como las descargas de los vertimientos se diferencian de los valores naturales de los parámetros de calidad en el río.

Con este fin, se acudió a la información de las estaciones de la calidad de aguas localizadas a lo largo del cauce del río Bogotá y monitoreadas por la CAR. Con el fin de hacer el reconocimiento del grado de contaminación de las aguas de la cuenca del río Bogotá, la SDA

(Secretaría Distrital de Ambiente), la EAAB y la CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca) han hecho diferentes estudios y proyectos de seguimiento de la calidad del recurso hídrico en la cuenca del río Bogotá. Con este fin, se han instalado 37 puntos de monitoreo sobre el canal Torca, los ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo y la cuenca media del río Bogotá. Teniendo en cuenta que en el estudio se pretende evaluar el componente de la huella hídrica gris relacionado con la afectación de la cuenca media del río Bogotá, fueron consultadas las estaciones ubicadas en esta zona. En el mapa se muestra los puntos de monitoreo de la calidad del agua sobre la cuenca media del río Bogotá.

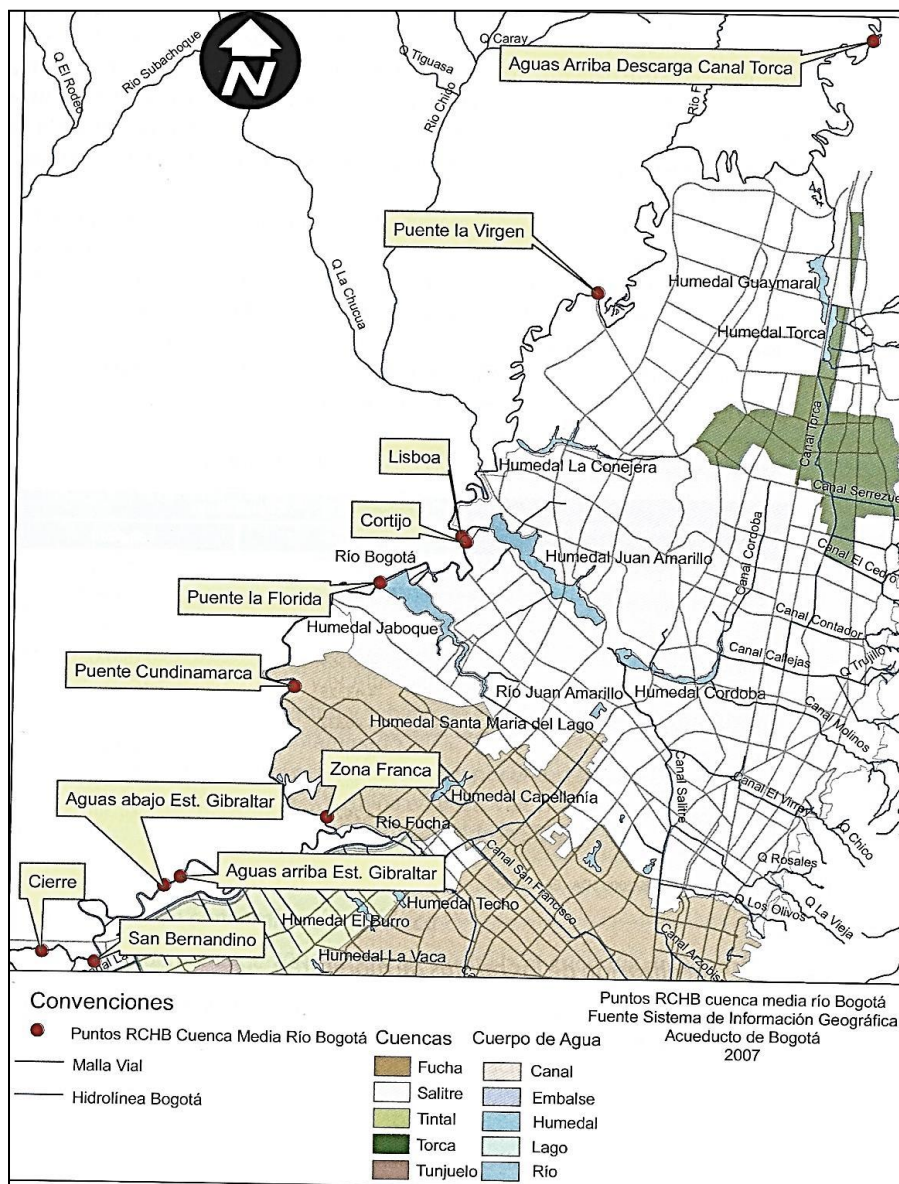


Figura 7. Ubicación de los puntos de monitoreo de la calidad del agua en la cuenca media del río Bogotá

Fuente: (SDA & EAAB, 2008)

Como se puede apreciar, los puntos de monitoreo de calidad de aguas, correspondientes a los puntos ubicados aguas arriba de los vertimientos de la ciudad de Bogotá son los puntos relacionados con los nombres Lisboa, Aguas Arriba de la Estación Gibraltar y San Bernardino. La estación Lisboa corresponde al punto antes de los vertimientos realizados por la PTAR El Salitre. La estación Aguas Arriba de la Estación Gibraltar es punto de monitoreo de la calidad de aguas 100 metros antes del vertimiento de la cuenca del río Fucha y el punto de monitoreo denominado San Bernardino corresponde a la ubicación antes de los vertimientos del río Tunjuelo. La ubicación de estos puntos como los parámetros de los vertimientos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2.

Puntos de seguimiento de la calidad del recurso hídrico antes de los vertimientos realizados por las cuencas Salitre, Fucha y Tunjuelito

Nombre del punto de monitoreo	Abscisado	Coordenadas		Concentraciones medias de los SST (mg/l) en la cuenca media del río Bogotá
		x	y	
Lisboa	K45+875	4.44224	74.07505	23
100 metros aguas arriba de la descarga de la estación Gibraltar	K70+024	4.38566	74.10555	85
San Bernardino	K76+587	4.37438	74.13067	61

Fuente: (SDA & EAAB, 2008)

A continuación se presentan las ecuaciones para la definición de las huellas hídricas grises para cada una de las cuencas hidrográficas.

6.2.3.1 Huella hídrica gris de la cuenca del río Salitre

Para el caso de las aguas residuales que trata la PTAR Salitre los componentes de la huella hídrica gris son los siguientes: La concentración natural C_{nat} se refiere a la concentración de los SST aguas arriba de la PTAR Salitre. Desde el sector de Villapinzón hasta la ciudad de Bogotá el río ya se encuentra contaminado por los vertimientos, efecto de las distintas actividades socio - económicas desarrolladas en la cuenca hidrográfica.

Pese a lo mencionado anteriormente, la ciudad de Bogotá no comparte la responsabilidad ambiental aguas arriba de su primer vertimiento. Por consiguiente, por la concentración natural se entenderá la concentración de los SST antes del primer vertimiento realizado por la Capital. Según la red de las estaciones de la calidad del agua en el río Bogotá, como el punto de referencia de la concentración natural de los SST sirve la estación denominada Lisboa, cuya ubicación geográfica se puede evidenciar en la Figura 7 del documento. Para los valores de la concentración máxima permisible C_{max} de los SST se tomará como referente el valor límite recomendado en la propuesta de la nueva norma de los vertimientos lanzada por el MAVDT en el año 2010.

En la Tabla 6 de la norma de los vertimientos propuesta, el valor máximo permisible del vertimiento puntual de aguas residuales domésticas y no domésticas a cuerpos de aguas continentales de los SST es de 200 mg/L para las instalaciones existentes del sistema del alcantarillado.

La decisión de tener en cuenta como referente la propuesta de la norma fue dictada por la derogación del Decreto 1594/84. Adicionalmente, en este documento no fue relacionado el valor límite permitido del vertimiento de los SST, sino el porcentaje de su remoción cuya conveniencia se puede cuestionar desde los diferentes puntos de vista. En primer lugar, el porcentaje de remoción apreciable para unos vertimientos que tengan grandes concentraciones iniciales de contaminantes no necesariamente indica que las concentraciones fueron removidas suficientemente para ser asimilados por la corriente hídrica. En segundo lugar, en el Decreto 1594/84 no especifican los límites permisibles de los parámetros de la calidad de aguas en función de la fuente contaminante, hecho, que se tiene en cuenta en la propuesta de la nueva norma de los vertimientos. Por consiguiente, la propuesta de la norma se considera como “el deber ser” de una norma ambiental cuyo tema principal es el control de la contaminación.

Aplicando todo lo mencionado anteriormente al concepto de la huella hídrica gris, se puede formular la ecuación para el cálculo de la huella hídrica gris correspondiente a la cuenca del río Salitre:

$$HH_{gris\ Salitre} = \frac{L_{Salitre}}{C_{m\acute{a}x} - C_{Lisboa}}$$

Ecuación 8

Dónde:

$L_{Salitre}$ - Descarga del contaminante a través de la PTAR Salitre, (kg/s)

$C_{m\acute{a}x}$ - Concentración máxima permisible de los SST, (kg/m³).

C_{Lisboa} - Concentración de los SST medida por la estación de calidad de aguas Lisboa, (kg/m³).

La descarga del contaminante se obtiene como el resultado de la multiplicación del caudal de la descarga por la concentración del contaminante en dicho vertimiento.

6.2.3.2 Huella hídrica gris de la cuenca del río Fucha.

Para el cálculo de la huella hídrica gris de los vertimientos generados por el Fucha se tendrán en cuenta los siguientes componentes:

L - Descarga de los SST vertidos directamente al río Bogotá a través del río Fucha (masa/tiempo); $C_{100\ m\ antes\ de\ Gibraltar}$ - concentración de los SST antes de los vertimientos generados a través del río Fucha. El punto de monitoreo de calidad de aguas se encuentra en cercanía del vertimiento del río Fucha y se denomina “100 metros aguas arriba de la descarga de la estación Gibraltar”.

$$HH_{gris.Fucha} = \frac{L_{Fucha}}{C_{max} - C_{100\ m\ antes\ de\ Gibraltar}}$$

Ecuación 9

6.2.3.3 Huella hídrica gris de la cuenca del río Tunjuelo.

Para el cálculo de la huella hídrica gris de los vertimientos generados por el Fucha se tendrán en cuenta los siguientes componentes: L - Concentración del contaminante vertido directamente al río Bogotá a través del río Tunjuelo (masa/tiempo); $C_{San\ Bernardino}$ - concentración de los SST antes de los vertimientos generados por el río Tunjuelo. El punto de monitoreo se encuentra en cercanía del vertimiento y se denomina “San Bernardino”. Con base en lo mencionado anteriormente, la huella hídrica para la cuenca del río Tunjuelo se calculará a través de la siguiente ecuación:

$$HH_{gris.Tunjuelito} = \frac{L_{Tunjuelo}}{C_{max} - C_{nat.San\ Bernandino}} \quad \text{Ecuación 10}$$

Los parámetros relacionados con el cálculo de la huella hídrica gris se relacionan en segundos. Teniendo en cuenta que la huella hídrica para la ciudad de Bogotá se estimó en el corte anual, los datos obtenidos en el numeral de la huella hídrica gris se convirtieron a los anuales para su posterior inclusión a la ecuación general de la huella hídrica de Bogotá.

La huella hídrica total gris para la ciudad de Bogotá se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$HH_{gris} = HH_{gris\ Salitre} + HH_{gris\ Fucha} + HH_{gris\ Tunjuelo} \quad \text{Ecuación 11}$$

6.2.4 Huella hídrica total

La huella hídrica total de la ciudad de Bogotá se calculó como la sumatoria de las huellas hídricas gris y azul, correspondientes al año 2008 teniendo en cuenta la disponibilidad de la información relacionada tanto con los consumos del agua como los parámetros de los vertimientos requeridos para la estimación de la huella hídrica gris.

$$HH_{total} = HH_{azul} + HH_{gris} \quad \text{Ecuación 12}$$

Dónde:

HH_{total} Huella hídrica total, ($m^3/año$)

HH_{azul} Huella hídrica azul, ($m^3/año$)

HH_{gris} Huella hídrica gris, ($m^3/año$)

7 RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos con base en la metodología de la huella hídrica descrita en el numeral 6.

Huella hídrica azul: Como se había mencionado anteriormente, el concepto de la huella hídrica azul se relaciona con la identificación de los volúmenes del agua superficial que se requieren tanto para satisfacción de nuestras necesidades básicas en agua, como para desarrollo de las actividades productivas. A continuación se presenta la evolución histórica de los consumos del agua en la ciudad en el período de 1993 a 2008.

Tabla 3.
Evolución histórica de los consumos del agua en la ciudad de Bogotá

Característica	Años															
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
IANC	0.39	0.40	0.36	0.32	0.31	0.35	0.34	0.35	0.37	0.36	0.38	0.38	0.36	0.37	0.35	0.36
Volumen correspondiente al Índice del agua no contabilizada $\left(\frac{MMC}{año}\right)$	212.05	218.26	199.09	172.29	142.62	164.71	148.11	154.40	161.56	155.11	163.59	162.05	152.09	157.58	152.58	161.82
Volumen del agua facturada ciudad de Bogotá $\left(\frac{MMC}{año}\right)$	327.1	328.2	346.5	358.2	322.9	303.2	292.9	286.7	273.5	275.5	267.4	265.9	271.0	271.1	283.3	282.8
Volumen del agua suministrada ciudad de Bogotá $\left(\frac{MMC}{año}\right)$	539.2	546.5	545.6	530.5	465.5	467.9	441.0	441.1	435.1	430.6	431.0	427.9	423.1	428.7	435.9	444.6
Usuarios ciudad Bogotá	5 413 484	5 559 851	5 699 655	5 828 528	5 952 563	6 072 489	6 189 030	6 302 881	6 412 400	6 520 473	6 627 568	6 734 041	6 840 116	6 945 216	7 050 228	7 155 052

Característica	Años															
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Consumo per cápita (millones litros/año)	0.0996	0.098293	0.09572	0.091011	0.078206	0.077054	0.071252	0.069978	0.06785	0.066034	0.065036	0.063544	0.061851	0.061722	0.061824	0.062134
Consumo per cápita bruto $\left(\frac{l}{\text{día}}\right)$	272.9	269.3	262.2	248.7	214.3	211.1	195.2	191.2	185.9	180.9	178.2	173.6	169.5	169.1	169.4	169.8
Consumo per cápita neto $\left(\frac{l}{\text{día}}\right)$	165.6	161.7	166.5	167.9	148.6	136.8	129.6	124.3	116.9	115.7	110.6	107.9	108.5	106.9	110.1	108.0

Las siguientes Figuras que en forma gráfica explican la evolución de los consumos del agua en la ciudad de Bogotá.

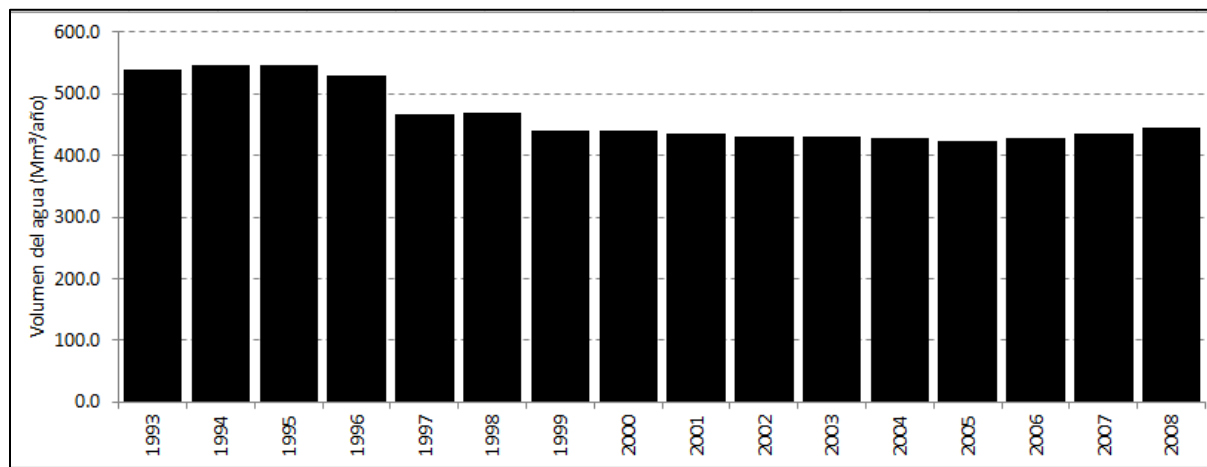


Figura 8. Evolución de los consumos del agua en la ciudad de Bogotá (consumo bruto)

Fuente: elaboración propia.

Como se puede evidenciar de la Figura 8, en los últimos 15 años los consumos del agua en la Capital han disminuido considerablemente, pasando de 539.3 a 444.6 millones de metros cúbicos al año. En la gráfica claramente se diferencia la disminución de los consumos del agua en el año 1997 cuando la población citadina tuvo que racionalizar sus gastos del agua por causa de la destrucción del túnel de Chingaza. En general, el consumo bruto ha disminuido en un 17.6 % considerando el progresivo crecimiento poblacional de la ciudad.

Si las dinámicas de la disminución de los consumos no hubieron afectado en las últimas décadas por todos los cambios institucionales, tarifarios y simbólicos, considerando el número de la población al año 2008, los consumos anuales del agua serían cercanos a los 712.6 millones de metros cúbicos.

A continuación se presenta la gráfica comparativa de la evolución de los consumos del agua con los consumos que hubiera tenido la ciudad sin haber implementado los cambios en la gestión del recurso hídrico.

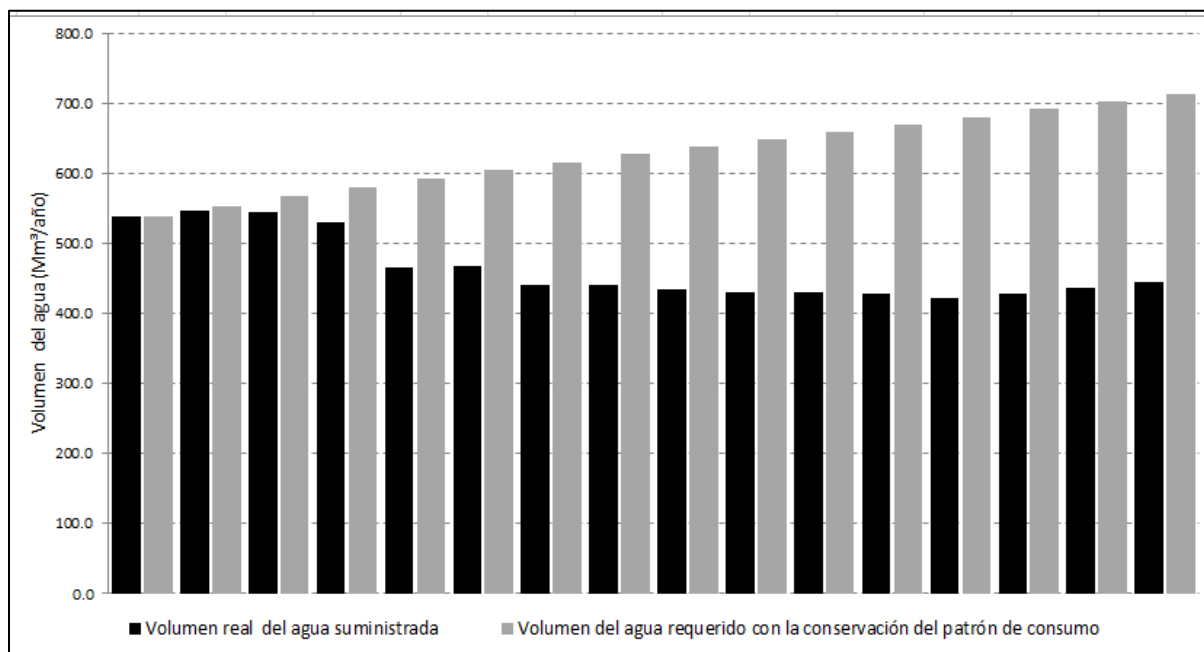


Figura 9. Gráfica comparativa de los consumos registrados del agua con cambio y sin cambio de tendencia.
Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la gráfica comparativa presentada anteriormente, se concluye, que la ciudad de Bogotá sin haber implementado los cambios culturales hubiera teniendo para el año 2008 los consumos del agua unos 40 % mayores que los registrados en la actualidad. Este hecho demuestra como los cambios simbólicos, legislativos, tecnológicos y tarifarios conjuntamente han influenciado positivamente sobre las tasas del uso del agua en la Capital.

Al tener en cuenta que los consumos del agua se dividen en los facturados y suministrados, para cada uno de estos se pueden analizar sus dinámicas y factores que han afectado su evolución.

Los volúmenes del agua facturada se relacionan con los volúmenes del agua directamente consumidos por los usuarios. La disminución de dichos consumos está directamente relacionada con los cambios realizados en la institucionalidad que se encarga de la gestión del agua y, como consecuencia, con los cambios significativos en el sistema de cobro por la prestación del servicio de acueducto por los estratos socio – económicos.

Otra de las razones que influyó al cambio en el patrón de consumos del agua de la población capitalina fue el derrumbe en uno de los túneles del sistema de abastecimiento de Chingaza en el año 1997, hecho, que generó unos razonamientos del agua más significativos en la historia en la ciudad. Aunque no se puede comprobar numéricamente por la disponibilidad de las series de consumo del agua, la cultura del ahorro del recurso hídrico en los hogares bogotanos tiene sus raíces en los años 80, cuando las fuertes sequías provocadas por el fenómeno de El Niño han incentivado a las poblaciones de racionalizar sus consumos del recurso hídrico.

Como consecuencia de todas estas causas, el consumo per cápita neto en la Capital ha bajado de 165.5 litros/día en el año 1993 hasta 108.0 litros/día para el año 2008.

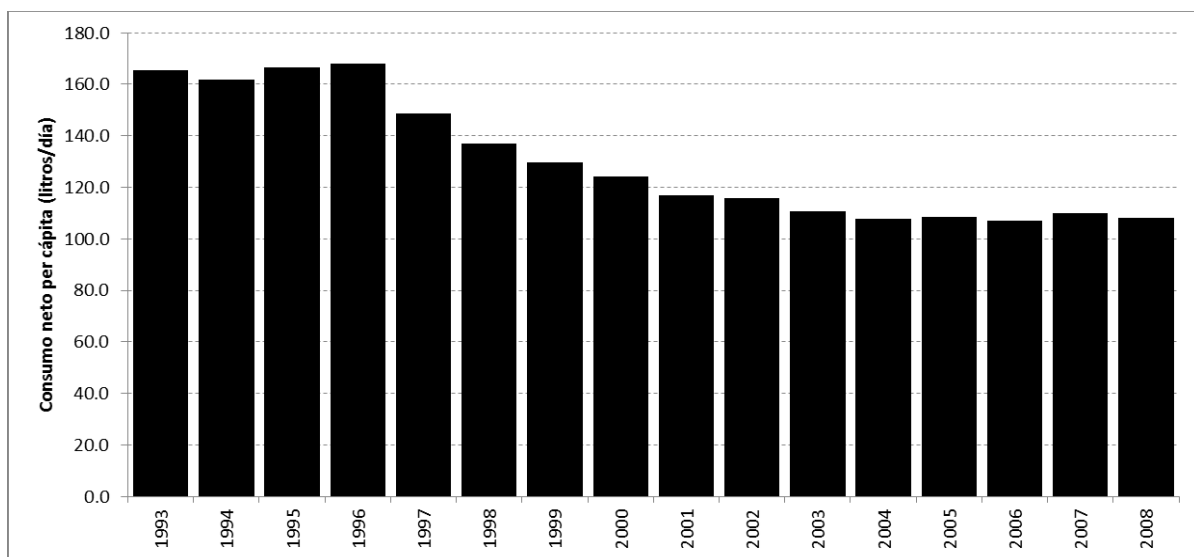


Figura 10. Evolución del consumo per cápita neto en la ciudad de Bogotá (litros /persona/día)

Fuente: elaboración propia.

La diferencia entre los consumos suministrados y facturados caracteriza el índice del agua no contabilizada que se relaciona con los volúmenes del agua que fueron suministrados a la ciudad, pero los que no fueron contabilizados por distintas razones relacionados tanto con los elementos técnicos del sistema (fugas), el componente de ilegalidad (conexiones piratas), como los fines sociales (suministro del agua para las entidades públicas, funcionamiento y mantenimiento de las fuentes del agua, etc).

A diferencia del último componente, los primeros dos se pueden regular a través de los sistemas de control, cuyos desarrollos han tenido lugar en los años 90. Como se puede concluir de la Tabla 3, entre los años 1993 y 2008 los volúmenes del agua no contabilizada han disminuido, del 39 hasta el 36 %. Esta disminución de los volúmenes equivale a los 56.4 millones de metros cúbicos del agua al año. Principalmente, este hecho se debe a dos factores. El primer factor se relaciona con el programa de micro medición puesto en marcha por la EAAB y el segundo factor se relaciona con el Programa de Control de Pérdidas implementado a partir del año 1997.

Huella hídrica gris: Al tener en cuenta los datos relacionados en el numeral anterior, se calculó la huella hídrica gris para cada una de las sub cuencas hidrográficas de la ciudad de Bogotá. Como se mencionó en el numeral anterior, en el trabajo realizado se evaluó la huella hídrica gris correspondiente al año 2008. Este hecho se explica por las limitaciones relacionadas con la disponibilidad de la información histórica de los parámetros de los vertimientos.

Adicionalmente, existe una incertidumbre respecto a la evolución de los parámetros de la calidad de aguas en la cuenca del río Bogotá como consecuencia de la implementación de la tasa retributiva en los últimos años cuya efectividad había generado unas controversias. La aplicación de las tasas retributivas, a pesar de sus raíces históricas en los años 70, en el contexto del río Bogotá es bastante reciente.

En el año 1997 la CAR comenzó el proceso para la definición de la línea base, caracterización y clasificación de los agentes económicos que generaban los vertimientos, pero

tan solo en el año 2002 se inició el proceso de facturación. Como consecuencia de dicho proceso, según las estadísticas de la CAR, ha mejorado la calidad de aguas del río Bogotá porque unas empresas dejan de funcionar a razón de unos mejores controles por la institución.

No obstante, la principal preocupación se centra en los vertimientos generados por la ciudad, ya que sus descargas afectan significativamente la calidad del agua del río Bogotá. Así, según unas estadísticas recientes (Ballesteros, 2007), las descargas de la ciudad aportan el 92 % de la DBO y el 91 % de los SST a la corriente hídrica. Aunque la CAR sustenta una disminución de las cargas contaminantes vertidas al río Bogotá en 22 % en DBO y 24 % en SST, el DAMA reporta unas cifras contradictorias, confirmando que en el período 2003 – 2005 los niveles de DBO han aumentado en un 14 % y los de los SST en 24%, justificando dicho aumento en las concentraciones por el aumento en el número de los usuarios, aumento de la cobertura de la red de alcantarillado, entre otros. Considerando todo lo mencionado anteriormente, fue evaluado el valor de la huella hídrica para un año en particular como una orientación de los volúmenes anuales del agua requeridas para descontaminar las aguas del río Bogotá como efecto de la contaminación por la Capital. A continuación se presentan los resultados correspondientes a la huella hídrica gris para la ciudad de Bogotá.

Tabla 4.

Insumos y resultados para el cálculo de la huella hídrica gris de la ciudad de Bogotá

Cuenca	C nat, (mg/l)	C máx, (mg/l)	Q vert., (l/s)	C vert., (mg/l)	L, (mg/s)	HH gris (m ³ /año)
Salitre	23.0	200.0	819.3	55.0	45061.5	8 028 584.54
Fucha	85.0	200.0	1991.4	70.0	139398.0	38 226 568.1
Tunjuelo	61.0	200.0	9803.0	232.0	2274296.0	515 987 041
Huella hídrica gris total:						562 242 193

Nota: elaboración propia.

Según lo mencionado en la Tabla 4, la huella hídrica gris anual de la ciudad de Bogotá se aproxima a los 562 242 193 m³/año para remover las concentraciones de los sólidos totales disueltos, producto de los vertimientos de la ciudad. El mayor porcentaje de la huella hídrica gris corresponde a la cuenca del río Tunjuelo, cuyos volúmenes del agua requeridos para la descontaminación de los vertimientos equivalen al 91.8 % de la huella hídrica gris de la ciudad. Los resultados obtenidos en forma porcentual se relacionan en la siguiente gráfica.

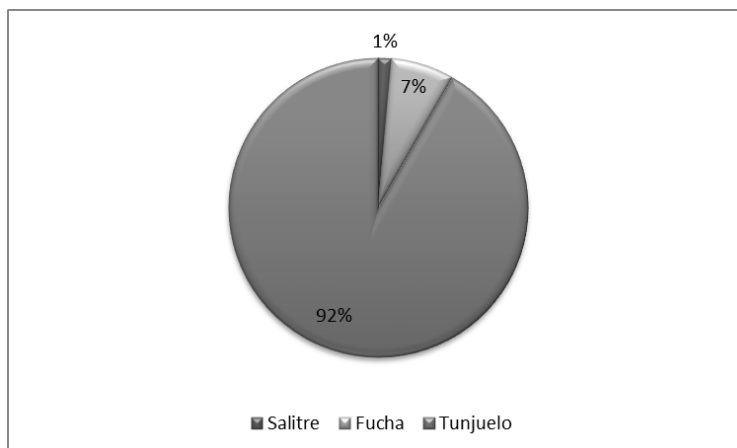


Figura 11. Aporte porcentual de las sub cuencas hidrográficas de la ciudad a su huella hídrica gris

Fuente: elaboración propia.

El hecho de que el mayor aporte a la huella hídrica gris de la ciudad de Bogotá pertenece al río Tunjuelo se justifica por las actividades socio – económicas desarrolladas en esta cuenca hidrográfica y la pobre infraestructura sanitaria troncal y secundaria por lo cual su cauce recibe casi totalidad de los vertimientos de los barrios en su vertiente sur. Según unas estimaciones realizadas, a la contaminación del río Tunjuelo aportan en relación porcentual el 78.05 % el sector de las curtiembres, el 8.78 % el sector de los alimentos y el 5.37 % la industria textil. El porcentaje restante pertenece a los sectores químico, metalmecánico, estaciones de servicio, entre otros. Adicionalmente, aproximadamente el 34.6 % de la población citadina reside en esta cuenca hidrográfica, realizando los vertimientos de sus aguas residuales directamente al río Tunjuelo.

Los vertimientos del río Fucha son los segundos por su importancia respecto a la carga contaminante vertida a la cuenca media del río Bogotá. Estos se dan, principalmente, por el sector de alimentos, talleres metalmecánicos, el sector de textiles y la industria química, entre otros.

A pesar de que la descontaminación de las aguas residuales provenientes de los canales Torca y El Salitre no es completa, la remoción de los SST disminuye el aporte de estas sub cuencas hidrográficas a la carga contaminante resultante al río Bogotá. Los sectores que mayores aportes tienen en la concentración de los sólidos suspendidos totales son las estaciones de servicios, el sector de alimentos y los hospitales.

Teniendo en cuenta el volumen obtenido de la huella hídrica gris, las controversias relacionadas con la aplicabilidad de la tasa retributiva en la cuenca media del río Bogotá, se hizo necesario analizar las dificultades que afronta la Capital en el tema del manejo de sus vertimientos. Entre estas fueron encontradas las siguientes:

- El cobro de la tasa retributiva ha afectado más que todo el sector industrial, mientras que en el sector doméstico no ha avanzado mucho en el tema, teniendo en cuenta que todavía no ha entrado en función el Plan Maestro de Saneamiento en la ciudad de Bogotá. De esa forma, no basta solo con la existencia de la norma, sino deben existir las capacidades tecnológicas para abordar el tema.
- Los usuarios en el sector doméstico no pueden controlar el nivel de disposición de materia orgánica en los términos de DBO y SST. Por lo tanto, el incentivo económico de la tasa retributiva no promueve la disminución de las cargas de los vertimientos en este sector. Por consiguiente, la posibilidad de la disminución de carga contaminante por el sector doméstico se hará posible a través de los sistemas centralizados de tratamiento de aguas, que en su parte genera unas inversiones importantes para las empresas prestadoras del servicio del alcantarillado.
- El principal actor de interés para la regulación del nivel de la contaminación hídrica son las empresas prestadoras del servicio de alcantarillado. Al apropiarse los costos ambientales y sociales, se afectarán significativamente las tarifas del servicio, vulnerando el estrato socio – económico bajo.
- Unos agentes económicos en otros sectores, diferentes del doméstico, quedan insensibles frente a los incentivos económicos de la tasa retributiva. La tasa retributiva en el sector industrial incentiva a disminuir los volúmenes y la composición de los vertimientos siempre cuando el costo marginal de la reducción de la concentración del contaminante es menor o igual a la tasa retributiva. Cuando el costo marginal supera la tasa retributiva, a los agentes conviene pagar la tasa retributiva que invertir en las tecnologías más limpias y los sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- El factor regional propuesto en la metodología busca compensar el daño social por la contaminación ambiental. Este daño se relaciona con los componentes tangibles e

intangibles que afectan de distintas formas la sociedad. Los segundos son difícilmente evaluables por los métodos tradicionales de la valoración económica.

- Existe una dificultad en la definición del precio de la tasa retributiva, porque por ser bien público, los precios del mercado no proporcionan ninguna información respecto al valor real de la contaminación frente a la sociedad y al ambiente.
- Por consiguiente, el precio de la tasa se define a ensayo y error a fin de dar un buen incentivo a las empresas para disminuir el nivel de contaminación. A veces el precio de la tasa se puede definir de tal forma que no generará ningún incentivo a los agentes económicos.
- La norma de la tasa retributiva fue cambiada constantemente lo que ha provocado presiones por parte de los sectores regulados. Por su parte, el Estado no ha podido defender la norma como un instrumento económico (Ballesteros, 2007).
- El Decreto 1594 de 1984 en su Artículo 72 estipula algunos parámetros con los cuales debe cumplir cada vertimiento a los cuerpos de aguas superficiales relacionándolos como el porcentaje de remoción cuando la tasa retributiva se fija unos valores específicos de vertimientos.
- Adicionalmente, existen ciertas deficiencias de carácter técnico y operativo que obstaculizan el cobro de la tasa, entre cuales se pueden mencionar tales como: falta de los recursos humanos y de los laboratorios, la gestión del agua se lleva a cabo por diferentes organizaciones como la CAR, el DAMA (Departamento Administrativo de Medio Ambiente) y la EAAB cuyas visiones y propósitos son distintos, el cobro no se ejecuta en su totalidad y los recursos recaudados todavía no son suficientes para los programas de la recuperación de la cuenca hidrográfica, en los primeros años de facturación la EAAB se negó a pagar por no haber tenido la claridad jurídica por los sujetos pasivos de la tasa.
- No existen orientaciones claras sobre la producción más limpia con el fin de disminuir los niveles de contaminación en la cuenca del río Bogotá. Como consecuencia de este hecho, la tasa retributiva se ha convertido en un instrumento más financiero que de incentivo.

De todo lo mencionado anteriormente se puede concluir que diferentes factores relacionados con los temas institucional, normativo, tecnológico, entre otros, han impedido que el problema de la contaminación de la cuenca media del río Bogotá haya avanzado positivamente. Es más, no existe una información coherente respecto a la evolución de los niveles de contaminación producto de los consumos del agua, implementación de los mecanismos de producción más limpia (PML) versus presión de la normatividad ambiental correspondiente.

Huella hídrica total: Con base en los resultados parciales de las huellas hídricas azul y gris se calculó la huella hídrica total de la ciudad de Bogotá correspondiente al año 2008 que el valor de 1 006 millones de metros cúbicos al año. El aporte porcentual de cada uno de los elementos a la huella hídrica al valor final se presenta en forma gráfica. Frigura 12.

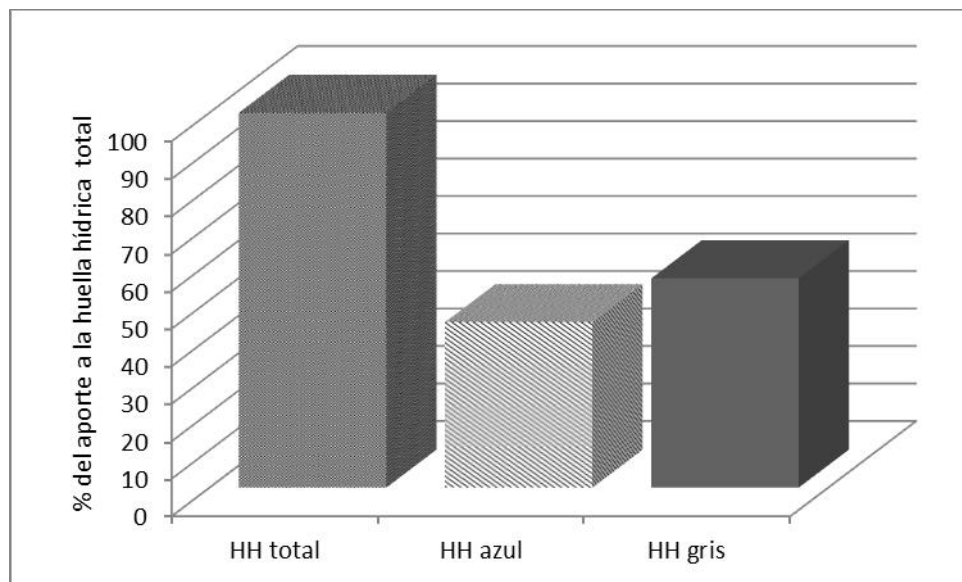


Figura 12. Composición de la huella hídrica para la ciudad de Bogotá
Fuente: elaboración propia.

Como se evidencia de la Figura anterior, el 55.8 % de la huella hídrica compone la huella hídrica gris. Este valor puede orientar frente a los volúmenes anuales del agua requeridos para disminuir la concentración de los sólidos totales disueltos. El porcentaje restante pertenece a la huella hídrica azul que relaciona los volúmenes directos del agua usados para satisfacer las necesidades socio – económicas de la ciudad.

Considerando con mayor profundidad los resultados obtenidos a través de la huella hídrica gris se puede concluir que estos están sensibles frente a los diferentes factores.

En primer lugar, su valor depende del límite máximo permisible: a mayor permisibilidad de la norma, menores serán los valores de la huella hídrica gris. De esa manera, existe una cierta vulnerabilidad para la estimación de los volúmenes del agua requeridos para diluir la carga contaminante cuando la norma de calidad no estima parámetros límites de forma adecuada.

En segundo lugar, la huella hídrica gris se estimó con base en las concentraciones de SST. Cabe resaltar, que la caracterización de los vertimientos se puede llevar a cabo a través de la definición de los distintos parámetros de calidad, tanto conservativos como no conservativos. Por consiguiente, el modelo para estimar la huella hídrica gris debería incluir todo el abanico de los parámetros que caracterizan unos u otros vertimientos, lo que en su parte podría aumentar significativamente los volúmenes del agua gris para la cuenca media del río Bogotá.

8 CONCLUSIONES

La ciudad de Bogotá ha tenido unos avances significativos en el tema de la regulación de los consumos del agua, logrando disminuirlos en un 17.6 % en el período comprendido entre los años 1993 y 2008. Estos cambios se dieron gracias a un abanico de los elementos, relacionados con los cambios legislativos, institucionales, tecnológicos y simbólicos frente al uso, manejo y valor del agua como una de las fuentes importantes de la vida y el desarrollo de la Capital colombiana.

Este hecho demuestra que una necesidad en el tema ambiental no se puede abordar teniendo en cuenta uno de los elementos del sistema cultural, sino que cada uno de los elementos (simbólico, tecnológico, organizacional, de conocimiento) de este sistema debe incentivar hacia unos cambios deseados en la relación sociedad – naturaleza.

Respecto a los efectos de la contaminación del río Bogotá por la ciudad, se concluye, que no existen los registros históricos confiables de los parámetros de la calidad de aguas para poder evaluar su evolución a través de los años como respuesta a los cambios organizacionales, tecnológicos y legislativos, introducidos en los años 90. Otro hecho que dificulta este tipo de análisis consiste en la incertidumbre de los datos disponibles, ya que diferentes fuentes de información presentan disperejos valores para los parámetros de la calidad de aguas.

No obstante, la huella hídrica gris para la ciudad de Bogotá, estimada con base en los parámetros del año 2008, identifica el valor de 562, 242 ($M m^3/año$) necesarios para remover la concentración de los SST hasta su concentración natural. Estos volúmenes del agua identifican un inadecuado manejo de los vertimientos e ineficiencia de los incentivos económicos existentes con fines de disminuir las cargas contaminantes al río Bogotá. Igualmente, la ineficiencia de la PTAR Salitre y ausencia de las PTAR's sobre los ríos Fucha y Tunjuelo, que son mayores aportadores de los contaminantes, identifican una falta en la aplicación de los sistemas de tratamiento adecuados para las cargas contaminantes vertidas al río.

Diferentes dificultades en la implementación de la tasa retributiva convierten esta norma en el mecanismo financiero y no incentiva la disminución de las cargas contaminantes vertidas al río Bogotá.

En lo relacionado con la metodología del cálculo de la huella hídrica gris se puede concluir que este es sensible frente al valor límite permisible para los SST. A mayores límites permisibles de los vertimientos, menores serán los volúmenes del agua requeridos para descontaminar las corrientes hídricas. Este hecho es contradictorio desde el punto de vista ambiental, ya que los valores de la huella hídrica gris deben tener en cuenta las características dinámicas del flujo que influyen significativamente al proceso de difusión de los contaminantes en las corrientes hídricas y no estar basados en una norma cuyo límite permisible de los vertimientos no necesariamente será asimilado por la corriente hídrica.

A través del estudio realizado se pudo demostrar que la metodología de la huella hídrica puede ser considerada como un indicador de la gestión del recurso hídrico en el área urbana. Con base en los resultados obtenidos para el caso de la ciudad de Bogotá se pueden formular unos elementos de la gestión del agua en la Capital, cuya breve descripción se presenta adelante.

- En relación con el tema de los consumos del agua, las organizaciones competentes deben mantener sus estrategias del uso racional del recurso, regulandolo tanto a través de los incentivos económicos como a través de la conscientización de la sociedad frente a la importancia del consumo adecuado del agua.
- Teniendo en cuenta que el estudio realizado se abordó el período comprendido entre los años 1993 y 2008, se debe estudiar a mayor profundidad el efecto de la política del mínimo vital gratuito para los estratos socio económicos bajos en la ciudad sobre los consumos del agua en la Capital, introducido en los últimos años.
- Considerando los aportes a la huella hídrica gris de cada una de las sub cuencas aportadoras de los vertimientos, se debe prestar mayor atención sobre el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la cuenca del río Tunjuelo

tanto por la cantidad y el tipo de las industrias ubicadas sobre la corriente, como por la población ubicada sobre esta.

- Resolver las contradicciones existentes entre la norma de los límites máximos permisibles a los cuerpos de agua y la tasa retributiva con el fin de disminuir las incertidumbres en la toma de las decisiones respecto al manejo de los vertimientos.
- Incentivar y/o orientar las industrias frente a los mecanismos de la producción más limpia adecuados a su contexto económico, social y ambiental.
- Teniendo en cuenta que la mayor parte de la carga contaminante a la cuenca media del río Bogotá proviene de los vertimientos domésticos, se requiere disponer de un sistema de tratamiento de aguas residuales para mejorar la calidad medioambiental de la corriente.
- Se debe establecer una sola red de información sobre la calidad de agua del río Bogotá y sus principales afluentes con el fin de disponer de una sola fuente de información que sirva como un referente confiable respecto al estado del recurso hídrico en la cuenca.
- Reajustar el instrumento del cobro por la contaminación (tasa retributiva) para que este sirva de incentivo real para la disminución de la carga contaminante vertida a la cuenca del río Bogotá. Considerando que el agua proporciona tanto los servicios tangibles como intangibles al ambiente, el instrumento debe tener en cuenta todo el abanico de los servicios ambientales afectados por la disminución de la calidad medioambiental de la corriente hídrica.

9 RECOMENDACIONES Y PERSPECTIVAS DEL TRABAJO

Entre las principales recomendaciones y perspectivas del trabajo se pueden considerar los siguientes elementos:

- Cuando se quiere evaluar la huella hídrica en el corte histórico, su evolución debe ser considerada conjunto con los cambios asociados al sistema cultural con fines de concluir sobre las dinámicas presentadas.
- El concepto de la huella hídrica virtual debe ser desarrollado conceptualmente de tal forma para que no contradiga a los principios ambientales. Teniendo en cuenta las dinámicas complejas del recurso hídrico en la modernidad, este término presenta un interés especial, pero puede generar conclusiones inadecuadas respecto a los valores positivos o negativos del balance.
- El método de la estimación de la huella hídrica gris depende del límite máximo permisible definido en el marco legislativo en el tema de los vertimientos. Como se había mencionado anteriormente, a mayor permisibilidad de la norma el valor de la huella hídrica gris será menor.
- Se considera que la metodología de la huella hídrica gris debe estar basada en las características hidráulicas del flujo ya que estas son los principales actores en la autodepuración de la corriente hídrica. Por consiguiente, sería importante desarrollar la metodología de la huella hídrica, basada en los parámetros dinámicos del flujo. Esta propuesta tiene otro componente a favor, ya que en este caso la metodología no se basará en los valores permisibles definidos por el marco legislativo que varía de país a país y dificulta la comparación de la huella hídrica gris a nivel espacial, sino en los parámetros hidráulicos del flujo que directamente participan en la dilución de los contaminantes. Este último proceso se podría describir a través de la modelación matemática cuya estructura permitirá su aplicación a las distintas cuencas hidrográficas, indistintamente de su ubicación espacial.

10 BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía_Bogotá. (2004). Fuentes de abastecimiento de Bogotá D.C. Plan de desarrollo Distrital, 2004 - 2007.
- Alcaldía_Bogotá. (7 de Marzo de 2012). *Bogotá Humana*. Recuperado el 4 de Septiembre de 2012, de Bogotá Humana:
http://www.bogota.gov.co/portel/libreria/php/x_frame_detalle.php?id=49296
- AlcaldíaBogotá. (2008). *Portal Bogotá*. Recuperado el 19 de Agosto de 2012, de Portal Bogotá:
<http://www.bogota.gov.co/portel/libreria/php/01.02010401.html>
- AlcaldíaMayordeBogotá. (2012). *Bogotá - Empresario*. Recuperado el 19 de Agosto de 2012, de Bogotá - Empresario: http://empresario.com.co/recursos/ccb_2012/tlc_evento_ccb/
- AlcaldíaMayordeBogotá. (2012). *Portal Bogotá*. Recuperado el 20 de Agosto de 2012, de Portal Bogotá: <http://www.bogota.gov.co/galeria/cifrasproyeccionpoblacionsexo1985a2016.pdf>
- Aldaya, M., Niemeyer, I., & Zarate, E. (2011). *Agua y globalización: Retos y oportunidades para una mejor gestión de los recursos hídricos*. Recuperado el 13 de Octubre de 2012, de Agua y globalización: Retos y oportunidades para una mejor gestión de los recursos hídricos: <http://www.huellahidrica.org/Reports/Aldaya-Niemeyer-Zarate-2011.pdf>
- Ballesteros, P. (2007). *Evaluación de tasas retributivas por vertimientos hídricos en la cuenca media del río Bogotá*. Bogotá D.C.: ESAP, Escuela Superior de Administración Pública.

- CEPAL. (2004). *Los servicios del agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI*. Santiago de Chile: Naciones Unidas, Santiago de Chile.
- Congreso_de_Colombia. (22 de Diciembre de 1993). *Ley 99/93*. Recuperado el 24 de Abril de 2013, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>
- Congreso_de_Colombia. (11 de Julio de 1994). *Ley 142 de 1994. Régimen de los servicios públicos domiciliarios y otras disposiciones*. Bogotá D.C., Colombia.
- Consejo. (1974). *Código de los recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente*. Bogotá D.C., Colombia.
- Correa, F., Ossa, A., & Vallejo, Z. (2007). Regulación ambiental en Colombia: el caso de la tasa retributiva para el control de la contaminación hídrica. *Semestre económico, Universidad de Medellín*, 27 - 46.
- Cruz, D. (19 de Enero de 2007). *EAAB - Quinta Revisión Anual*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2012, de EAAB - Quinta Revisión Anua: <http://www.bnamericas.com/cgi-bin/getresearch?report=12148.pdf&documento=74200&idioma=E&login=>
- DANE. (25 de Mayo de 2012). *Cuentas Departamentales - Resultados PIB Departamental, 2009 y 2010*. Recuperado el 4 de Septiembre de 2012, de Cuentas Departamentales - Resultados PIB Departamental, 2009 y 2010: http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/departamentales/B_2005/Resultados_2010.pdf
- DANE. (25 de Mayo de 2012). *Cuentas Departamentales, Resultados PIB Departamental 2006 y 2010*. Recuperado el 19 de Agosto de 2012, de Cuentas Departamentales, Resultados

PIB Departamental 2006 y 2010:

http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/departamentales/B_2005/Resultados_2010.pdf

EAAB. (2003). *El agua en la historia de Bogotá, 1986 - 2003*. Bogotá D.C.: Villegas Editores.

EAAB. (2003). *El agua en la historia de Bogotá, tomo III*. Bogotá D.C.: Villegas editores.

EAAB. (2004). *Plegable técnico de la PTAR Salitre*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2012, de Plegable técnico de la PTAR Salitre:

http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/PTAR/Plegable_tecnico.pdf

EAAB. (2004). *Plegable técnico de la PTAR Salitre*. Recuperado el 30 de Septiembre de 2012, de

http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/PTAR/Plegable_tecnico.pdf

EAAB. (2008). *Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos*. Bogotá: EAAB.

EAAB. (2010). *Manual de calidad*. Recuperado el 4 de Septiembre de 2012, de Manual de calidad:

http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CDgQFjAC&url=http%3A%2F%2Fweb.acueducto.com.co%2FRedMatriz%2FRedMatriz%2Farchivos%2FManual_de_Calidad.ppt&ei=_rIGUPjSMIro9ATd9IGQAg&usg=AFQjCNFrVpCLGfCozqBILLu3juwPPt3T5A

Ercin, A., Mekonnen, M., & Hoekstra, A. (Marzo de 2012). *THE WATER FOOTPRINT OF FRANCE*. Recuperado el 13 de Octubre de 2012, de THE WATER FOOTPRINT OF FRANCE: <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report56-WaterFootprintFrance.pdf>

- Garrido, A., Llamas, M., Varela-Ortega, C., Novo, P., Rodríguez-Casado, R., & Aldaya, M. (2010). *Water Footprint and Virtual Water Trade in Spain*. Madrid: Springer.
- Gobierno_en_linea. (2010). *Sistema Único de Información de los Servicios Públicos*. Recuperado el 22 de Agosto de 2012, de Sistema Único de Información de los Servicios Públicos: http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=acu_tec_041
- Gómez, L. (4 de Septiembre de 2012). *Periódico El Tiempo*. Recuperado el 4 de Septiembre de 2012, de Periódico El Tiempo: <http://m.eltiempo.com/colombia/bogota/uso-del-agua-en-bogot/9109335>
- Gómez, L. (2013). *El Tiempo*. Recuperado el 14 de Marzo de 2012, de El Tiempo: <http://m.eltiempo.com/colombia/en-bogota-el-metro-cubico-de-agua-potable-es-el-mas-caro-del-pais/7740549/1/home>
- Congreso_de_la_República. (1994). Ley 142 de 1994. *Artículo 87*. Bogotá D.C.
- González, F. (1990). *Ensayos Ambiente y Desarrollo: reflexiones acerca de la relación entre los conceptos: ecosistema, cultura y desarrollo*. Bogotá D.C. : Javergraf.
- Hoekstra, A. (2004). *Huella Hídrica*. Recuperado el 20 de Agosto de 2012, de Huella Hídrica: <http://www.waterfootprint.org/index.php?page=files/home>
- Hoekstra, A., & Chapagain, A. (2010). *Globalización del agua: Compartir los recursos de agua dulce del planeta*. Barcelona: Marcial Pons.
- Hoekstra, A., Booij, M., Hunink, J., & Meijer, K. (Junio de 2012). *Blue water footprint of agriculture, industry, house holds and water management in the Netherlands*. Recuperado el 13 de Octubre de 2012, de Blue water footprint of agriculture, industry,

house holds and water management in the Netherlands:

<http://www.waterfootprint.org/Reports/Report58-BlueWF-NL.pdf>

Hoekstra, A.Y. (2012). *waterfootprint*. Recuperado el 20 de Agosto de 2012, de waterfootprint:

<http://www.waterfootprint.org/index.php?page=files/Publications>

Huella hídrica, d. y. (Diciembre de 2011). *Fundación_MAPFRE*. Recuperado el 22 de Agosto de

2012, de Fundación_MAPFRE: <http://www.huellahidrica.org/Reports/FundacionMapfre-2011-huella-hidrica-y-desarrollo-sostenible.pdf>

MADS. (Octubre de 2010). Recuperado el 17 de Abril de 2013, de

http://www.cornare.gov.co/Memorias/MemoriasDecreto3930/proyecto_de_resolucion_limites_permisibles.pdf

MADS. (2010). *Resolución: Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a sistemas de alcantarillado público, y se dictan otras disposiciones*. Recuperado el 29 de Marzo de 2013, de www.minambiente.gov.co/...norma/.../300412_proy_norma_vertimi

MAVDT. (26 de Junio de 1984). *Decreto 1594 de 1984*. Recuperado el 1 de Abril de 2013, de

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18617>

MAVDT. (1 de Abril de 1997). *Decreto 901 de 1997*. Recuperado el 9 de Mayo de 2013, de

http://www.minambiente.gov.co/documentos/dec_0901_010497.pdf

MAVDT. (30 de Octubre de 2003). *Decreto 3100 de 2003*. Recuperado el 2 de Marzo de 2013,

de Por el cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua

como receptor de los vertimientos puntuales:

http://www.minambiente.gov.co/documentos/dec_3100_301003.pdf

MAVDT. (30 de Octubre de 2003). *Decreto 3100 de 2003*. Recuperado el 9 de Mayo de 2013, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=15073>

MAVDT. (2010). Recuperado el 22 de Julio de 2013, de Proyecto de la Resolución por la cual se establecen las normas y los valores límites máximos permisibles de parámetros en vertimientos puntuales a sistemas de alcantarillado público y a cuerpos de aguas continentales superficiales: <http://www.grupaac.com/proyecto-de-resolucion-de-l-mavdt-vertimientos>

MAVDT. (s.f.). *Decreto 2667 de 2012*. Recuperado el 9 de Mayo de 2012, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=51042#0>

MAVDT. (s.f.). *Decreto 3440 de 2004*. Recuperado el 9 de Mayo de 2013, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=15072>

Mesa Cuadros, G. (2010). *Derechos ambientales en perspectiva de integralidad*. Bogoá: Universidad Nacional de Colombia.

Metro_cuadrado. (2010). *Ciudades y precios de finca raíz*. Recuperado el 14 de Marzo de 2013, de Ciudades y precios de finca raíz: http://contenido.metrocuadrado.com/contenidom2/ciudyprec_m2/inforbog_m2/informaciongeneralbogot/ARTICULO-WEB-PL_DET_NOT_REDI_M2-2026901.html

MillenniumEcosystemAssessment. (2005). *Evaluación de los ecosistemas del Milenio*.

Recuperado el 19 de Agosto de 2012, de Evaluación de los ecosistemas del Milenio:

<http://www.maweb.org/documents/document.439.aspx.pdf>

Naciones_Unidas. (14 de Junio de 1992). *Declaración del Río sobre el medio ambiente y*

desarrollo. Recuperado el 23 de Agosto de 2012, de Declaración del Río sobre el medio ambiente y desarrollo:

http://www.bioculturaldiversity.net/Downloads/Papers/Rio_declaration_Spanish.pdf

OPS. (2001). *Informe regional sobre la evaluación del sector de agua potable y saneamiento, estado actual y perspectivas*. Recuperado el 2 de Marzo de 2013, de

<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsaas/e/fulltext/infregio/infregio.pdf>

Rodríguez Casado, R., Garrido, A., Llamas, R., & Varela - Ortega, C. (2008). *La huella*

hidrológica de la agricultura española. Recuperado el 13 de Octubre de 2010, de La huella hidrológica de la agricultura española:

http://www.huellahidrica.org/Reports/Rodriguez_et%20al_2008.pdf

Salmoral, G., Dumont, A., Aldaya, M., Rodríguez - Casado, R., Garrido, A., & Llamas, R.

(2010). *Análisis de la huella hídrica extendida de la cuenca de Guadalquivir*.

Recuperado el 13 de Octubre de 2012, de Análisis de la huella hídrica extendida de la

cuenca de Guadalquivir: <http://www.huellahidrica.org/Reports/SHAN%20GUA-web.pdf>

SDA, & EAAB. (2008). Calidad del sistema hídrico de Bogotá. Bogotá D.C., Colombia:

Pontificia Universidad Javeriana.

- Seto, K. C., Sánchez Rodríguez, R., & Fragkias, M. (2010). The new geography of contemporary urbanization and the environment. *The annual of environment and resources*, 167 - 194.
- Shiklomanov, I. (2000). Appraisal and Assessment of World Water Resources. *Water International*, 11-35.
- WWF. (8 de Junio de 2012). *Una mirada a la agricultura de Colombia*. Recuperado el 19 de Agosto de 2012, de Una mirada a la agricultura de Colombia:
<http://www.wwf.org.co/?205138/Huella-Hidrica-Colombia>
- WWF, Arévalo Uribe, D., & Sabogal, J. (2012). *Una mirada a la agricultura de Colombia desde su huella hídrica*. Recuperado el 13 de Octubre de 2012, de
<http://www.huellahidrica.org/Reports/Arevalo-2012-HuellaHidricaColombia.pdf>
- Zeng, Z., Koeneman, P., Zarate, E., & Hoekstra, A. (16 de Agosto de 2012). Assessing water footprint at river basin level: a case study for the Heihe River Basin in northwest China. *Hydrology and Earth System Science* , págs. 2271 - 2781.