

# ¿COMBINAR O SEPARAR? UNA DISCUSIÓN CON UN SIGLO DE ANTIGÜEDAD Y DE GRAN ACTUALIDAD PARA LOS BOGOTANOS

Eugenio Giraldo Gómez, Ph.D.\*

## INTRODUCCIÓN.

Hace algo más de un siglo los ingenieros en el mundo entero se enfrascaban en acaloradas discusiones técnicas sobre que dirección debería tomar el manejo del drenaje urbano de las ciudades europeas y del nuevo mundo. En el centro de la discusión se tenía el relativamente nuevo sistema de alcantarillado para la evacuación de las aguas ofensivas que se generaban en los domicilios y la industria, y si dichas aguas debiesen manejarse con dos sistemas de tuberías y canales independientes- un sistema que llevara las aguas lluvias que escurren por la ciudad y otro que llevara las aguas residuales domésticas e industriales, el alcantarillado separado -, o si se debían manejar esos dos tipos de aguas en un solo sistema de tuberías en donde los dos tipos de aguas van mezclados, el alcantarillado combinado. Los dos sistemas tenían fervientes defensores que argüían sus virtudes y problemas que vale la pena recordar en el momento actual en la ciudad de Bogotá.

Recientemente la ciudad ha recibido los resultados de un estudio que evalúa el estado del alcantarillado en Bogotá<sup>1</sup>. Se ha examinado las condiciones estructurales, hidráulicas y de calidad ambiental de los sistemas de drenaje urbano de la ciudad dando como resultado una primera cuantificación real de los problemas que ya se intuían por parte de los ciudadanos y las autoridades de la ciudad. Se han hecho propuestas sobre el futuro de los sistemas de drenaje urbano que tendrán profundas y amplias implicaciones sobre el saneamiento de las quebradas, ríos y humedales internos de la ciudad de Bogotá, y el saneamiento final del Río Bogotá.

Paralelamente a estos desarrollos locales en los países desarrollados se ha desatado una importante actitud de re-pensar, de, re-crear, el sistema de drenaje urbano de las ciudades en donde nuevamente las discusiones que se dieron hace algo más de un siglo se reviven pero con elementos de juicio, y conocimientos de causa mucho mejores que los que tenían nuestros ancestros.

El objetivo de este artículo es contribuir a la discusión sobre el futuro del drenaje urbano en la ciudad de Bogotá enfatizando en la necesidad de mirar el problema de una manera integrada entre los diferentes actores que involucran el problema - sistema de drenaje, sistema de tratamiento y cuerpo de agua receptor- y no solamente desde la perspectiva de uno de ellos. Se enfatizará mostrando como históricamente esta actitud ha llevado a los errores que ahora se reconocen se han realizado con el drenaje urbano de las ciudades. Igualmente se hará énfasis en mirar nuestras particularidades locales como parte de la discusión y la necesidad de dar un debate más amplio a temas tan importantes como éste para el futuro de la ciudad y sus finanzas, y de nuestro atribulado Río Bogotá.

## DESARROLLO HISTÓRICO DE LOS SISTEMAS DE DRENAJE URBANO

Existen evidencias históricas sobre la presencia de alcantarillados en las ciudades antiguas de las culturas persas, griegas y romanas, aunque su uso era más para

\* Director del Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

<sup>1</sup> Estudio de la Rehabilitación del Alcantarillado de la Ciudad de Bogotá, 1999, Grucon

la evacuación de aguas de escorrentía y las usadas de aseo personal que para el transporte de excrementos humanos<sup>2</sup>.

## DESARROLLO HISTÓRICO DE LOS SISTEMAS DE DRENAJE URBANO

La disposición de los excrementos humanos en diversas culturas era tradicionalmente realizada utilizando letrinas que descargaban en un hueco en el suelo que eventualmente se llenaba y era necesario vaciarlo<sup>3</sup> y cuyos contenidos eran muchas veces retornados a los suelos agrícolas. Dicha práctica no estaba ausente de problemas sanitarios, especialmente cuando el suelo que recibía las descargas de la letrina era un suelo permeable, que infiltraba con facilidad, y que podía contaminar aguas subterráneas con los gérmenes patógenos que transmiten las enfermedades.

En la primera mitad del siglo diecinueve la situación en la mayoría de los países europeos y del nuevo mundo era de esa forma. El agua se suministraba a la población a través de pilas públicas de donde se transportaba de manera manual a las casas. Los consumos per cápita de agua eran muy bajos, del orden de 12 a 15 litros<sup>4</sup>, y generaban igualmente bajos volúmenes de aguas que disponer que en muchos casos se drenaban directamente a las calles o cuando existía el drenaje subterráneo de aguas lluvias, a éste. Durante la revolución industrial se generaron demandas crecientes por agua en las ciudades debido a la necesidad de las industrias, la creciente afluencia económica de sus pobladores y los nuevos hábitos de higiene que se impusieron a raíz de las epidemias que azotaron a Europa. En respuesta a estas demandas las ciudades más desarrolladas instalaron suministros de agua directamente a las casas e industrias. Junto con ella vino igualmente un incremento notable de los consumos diarios per cápita que se multiplicaron hasta llegar a cifras muy similares a las que conocemos hoy como 100-200 lt<sup>5</sup>.

Con el aumento en consumo de agua vino paralelamente el problema de la disposición de las aguas usa-

das. En un principio se pensó que éste se podía manejar de la misma manera que se venía haciendo tradicionalmente, es decir, descartándola directamente a la calle, o a la letrina, o al alcantarillado pluvial en caso de que existiera. El problema se magnificó debido a la popularización de una tecnología que por mucho tiempo había estado únicamente accesible a las clases más pudientes en Europa, es decir, el inodoro con lavado de sólidos, o Water Closet, WC. Este último había sido inventado por Sir John Harrington en 1596<sup>6</sup> y pasó relativamente desapercibido por varios siglos antes de mostrar su verdadero potencial. El WC además de su irrefutable conveniencia e higiene para el usuario venía con muy buenas recomendaciones pues solamente las clases más pudientes habían hasta el momento disfrutado de sus ventajas. Su uso se volvió una cuestión de estatus.

La implementación del WC y el aumento de los consumos de agua en la casa desbordaron la capacidad de manejo de las aguas por infiltración en las letrinas e hicieron necesaria su evacuación masiva fuera de los predios. Con las altas densidades poblacionales urbanas se hizo necesario descartar las aguas en los alcantarillados en las ciudades en donde éstos existían o de construirlos en aquellas en donde no existieran. Los ingleses y sus ex colonias fueron los pioneros en la adopción de las tecnologías, WC más alcantarillado, no sin darse arduas discusiones al respecto, mientras que en otros países como Francia se generaron mayores resistencias sobre la adopción de la nueva tecnología de lavar las ciudades<sup>7</sup>.

Con la popularización del WC los problemas de transmisión de gérmenes se magnificaron, pues los excrementos infecciosos que antes eran mal que bien contenidos en el suelo con la tecnología de las letrinas, se disponían ahora abiertamente en las ciudades aumentando el potencial de exposición de sus habitantes y de los habitantes de poblaciones aguas abajo de los drenajes de éstas. Para el final del siglo diecinueve la mayoría de los médicos sostenían que la práctica de disponer de los excrementos diluidos en agua en las alcantarillas era perjudicial pues se infectaban áreas inmensas y se generaban peligros no vistos antes para las poblaciones. El clima estaba dado para la discusión

3 Clean and Decent. The Facinating History of Bathroom and the Water Closet, L.Wright, 1960, Routledge and Kegan Paul, London

4 Water and Wastes: A Retrospective Assesment of Wastewater Technology in the United States, 1800-1932. J.Tarr et al., 1984, Technology and Culture, University of Chicago Press.

5 Ibid

6 Ibid 3. Sir John Harrington era un ahijado de la reina Isabel I de Inglaterra, que en su libro La Metamorfosis de Ajax, describe una válvula que permite el lavado de los excrementos en un inodoro con chorro de agua. Posteriormente fue perfeccionado y patentado por un fundidor de apellido Crapper en el siglo diecinueve.

7 H2O and the waters of forgetfulness, Ivan Ilich, 1985, Heyday Books, Berkeley.

que se presentaría posteriormente sobre el alcantarillado.

De esta manera se ve claramente como la adopción de una tecnología como la del WC ha dado lugar a la necesidad de la implementación del alcantarillado cerrado como tecnología de evacuación de las aguas servidas en las ciudades. Aunque hubo voces de alerta y se previó en realidad muchos de los estragos que la nueva tecnología traería posteriormente, su pragmatismo y la falta de capacidad probatoria real por parte de los detractores del WC de sus efectos, hizo que su uso se difundiera ampliamente por todo el mundo. Debe destacarse como esta decisión, por no mirar el sistema de manera global, es decir, no solamente la necesidad inmediata de él que usa la tecnología, en este caso la evacuación de materias fecales, sino las implicaciones para el resto de los actores incluyendo los que reciben el problema, desencadenó una serie de problemas al resto de éstos. En aras de la justicia debe decirse que sí hubo algunos pensadores que advirtieron sobre los potenciales efectos sobre la salud que generarían las aguas infectadas al descartarse en cursos de agua, más sin embargo el desconocimiento en la época sobre el origen de las enfermedades y la creencia de que el agua que corre se limpia sola junto con las ventajas higiénicas del WC inclinaron la balanza a su favor.

## LA DISCUSIÓN SOBRE LOS ALCANTARILLADOS

Una vez la necesidad del alcantarillado se creó como medio de evacuar no solamente las aguas de escorrentía de la ciudad sino también las materias fecales diluidas que se generaron con el WC, surgió una nueva decisión para tomar. ¿Las aguas sanitarias deberían transportarse junto con las aguas de escorrentía del resto de la ciudad o deberían transportarse aparte?. Los ingleses que fueron los pioneros en la implementación de la tecnología fueron igualmente los primeros en plantearse la pregunta. En 1815 era prohibido descartar materias fecales en los drenajes de las ciudades de Inglaterra, que como ya se mencionó anteriormente buscaban evacuar las aguas lluvias hasta el cauce natural más cercano<sup>8</sup>. En 1847 y como resultado de los problemas mencionados en los párrafos anteriores se hacía obligatorio el disponer las materias fecales en los alcantarillados de las ciudades. Igualmente se mencionan

comparaciones sobre las tasas de mortalidad de Londres con las de París y Bruselas y se concluye que la práctica adoptada proveía mejores resultados que las prácticas del continente<sup>9</sup>.

Latham en su obra *Sanitary Engineering* en 1878 ya recomienda por una parte el uso del agua como medio de transporte y evacuación de materias fecales de las ciudades, y, por otra parte, del alcantarillado combinado como la mejor alternativa. A continuación se va a citar textualmente del mencionado libro los argumentos que se tenían para dicha práctica: *"Han existido muchas diferencias de opinión con respecto a aconsejar o no el admitir aguas lluvias en los alcantarillados. Algunas personas proponen que en cada distrito la lluvia debe separarse enteramente de las aguas negras; pero desafortunadamente las personas que hacen esta proposición han tenido, como regla, una experiencia muy limitada sobre los efectos de las aguas lluvias en los alcantarillados. Al proponer la separación de las aguas negras de las lluvias, se busca el logro de tres objetivos: primero incrementar el valor del agua negra como fertilizante; Segundo, obviar la inconveniencia de la purificación de grandes e inciertos volúmenes de aguas contaminadas en tiempos de lluvias; Y tercero, dar a las corrientes del campo el volumen natural de agua debido a la lluvia dentro del área que se drene; o en las palabras de Mr. F.O.Ward, "llevar la lluvia a los ríos y las aguas negras a los campos". En algunos distritos puede ser importante el mantener la lluvia tan lejos como sea posible de los alcantarillados; pero hay otros distritos en los cuales no se tiene ninguna ventaja material al excluir las aguas lluvias de los alcantarillados; pero, por otra parte, daños reales se le pueden infligir a las corrientes de agua fresca por las aguas contaminadas que llegan en momentos de una tormenta. Por ejemplo, en los distritos urbanos, que se encuentran apretadamente habitados, o en los cuales hay un gran tráfico, la experiencia claramente muestra que las aguas lluvias en esos distritos se torna tan impura como la más impura de las aguas residuales que se encuentran en los alcantarillados. (Se muestran unas tablas con análisis de calidad de las aguas realizados por el profesor May en donde se demuestra la aseveración anterior). ...si un sistema de alcantarillado busca interceptar de las corrientes de agua fresca todas las impurezas, será absolutamente necesario admitir una proporción grande de las aguas lluvias a los alcantarillados. En los distritos en donde la lluvia es de pequeña cantidad, es*

8 Ibíd 2, pg 35

9 Ibíd, pg 32

*generalmente cargada de impurezas; mientras que con una lluvia fuerte la última parte de la lluvia de la tormenta es de relativamente pura. Tomando esto en consideración, es fácil, en muchos distritos, diseñar un sistema de alcantarillado que combine pequeñas cantidades de lluvia en los alcantarillados interceptores del pueblo, mientras que en los momentos de lluvia fuerte el agua comparativamente pura fluye a su salida natural"*

Como se puede observar del párrafo anterior el sistema de alcantarillado combinado era abiertamente recomendado para las ciudades densamente pobladas y con gran tráfico. Esta última observación vale la pena mirarla con mayor atención dentro del contexto histórico en el que se desarrolla el anterior análisis. El tráfico al que hace mención el ingeniero Latham es el tráfico de animales que depositaban en las calles sus excrementos y que igualmente el agua de escorrentía se contaminaba al entrar en contacto con ellos. Llama también la atención el hecho de que ya en esta época existía una conciencia clara del incremento de las aguas residuales a tratar cuando se mezclan los alcantarillados, y de la posibilidad del reuso en la agricultura de los nutrientes de las materias fecales humanas.

## LOS PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS

En 1875 en Inglaterra los problemas de contaminación asociados a las descargas de los alcantarillados habían tomado grandes proporciones, un informe de la época reporta, entre otras cosas: " Que la mayoría de los ríos y corrientes están contaminadas por la descarga en ellas de aguas negras crudas, cuya práctica es altamente objetable. Que el uso de la irrigación en los campos no se puede practicar en todos los casos; y, por lo tanto, otros métodos de manejar las aguas negras se deben permitir." A partir de este momento hubo un gran interés por el desarrollo de tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales tales como los tanques sépticos, filtros percoladores, y camas de contacto<sup>10</sup>.

El problema de la evacuación de las materias fecales había sido trasladado de lugar produciendo ventajas locales pero problemas regionales de mayor magnitud. Una vez más, una decisión, evacuación de excrementos en el alcantarillado, ha llevado a la otra, tratamiento de

aguas residuales, por la ausencia de una visión global conjunta del problema.

El problema de la contaminación de las aguas superficiales tuvo varias implicaciones para las ciudades, la primera la necesidad de buscar el agua de fuentes impolutas y traerla de largas distancias hasta la ciudad, la segunda la necesidad de tratar el agua de consumo, y la tercera la necesidad de tratar las aguas residuales antes de verterlas como había ocurrido en Inglaterra.

## UNA VISIÓN UN POCO MÁS COMPLETA DEL PROBLEMA

Cuando se hizo necesario el tratamiento de las aguas residuales transportadas por los alcantarillados de las ciudades antes de ser vertidas, y se incorporaron los costos reales de este tratamiento dentro de los costos totales del saneamiento de una ciudad, se encontró que los alcantarillados separados más su sistema de tratamiento respectivo eran más económicos y tenían más ventajas ambientales que los alcantarillados combinados y sus tratamientos respectivos. En 1928 Metcalf y Eddy dicen en su libro *American Sewerage Practice*: "*La separación de las aguas de escorrentía de las aguas negras domésticas frecuentemente es recomendable desde el punto de vista financiero, pues permite que las primeras se descarguen por líneas cortas y directas al lago, río o bahía cercana, y también para mantener bajo el costo de los largos colectores hasta las plantas de tratamiento, y en muchos casos el costo del tratamiento también*"<sup>11</sup>.

Más recientemente en 1958, Fair Geyer y Okun, profesores de las más prestigiosas universidades de los Estados Unidos sobre estos temas en la época dicen: "*Sin tener en cuenta cuestiones de economía, el sistema de alcantarillado combinado es en el mejor de los casos una conciliación entre dos objetivos totalmente diferentes, transporte con agua de desechos y evacuación de escorrentía que inunda. En la vida de las comunidades que crecen, las economías iniciales se superan en el largo plazo (1) por contaminación indeseable de los cursos de agua natural a través de los reboses y permanentes molestias, o, al menos deterioro estético y pérdida de valor recreacional de los cuerpos de agua receptores. (2) Por los costos incrementales del tratamiento y bombeo de las aguas interceptadas; (3)*

<sup>10</sup> *Ibíd*, 11, pg 28

<sup>11</sup> *Ibíd*, 11, pg 36.

*y por las situaciones más molestas cuando las calles y sótanos se inundan con aguas negras en lugar de aguas lluvias. En el pasado, pequeñas corrientes, alrededor de las cuales se pudo haber desarrollado parques y zonas recreativas, se han visto forzadas a ser convertidas en sistemas combinados por la presión generada por la degradación asociada a los reboses de alcantarillados convirtiéndolos en alcantarillas abiertas. En contraste, un alcantarillado separado puede explotar los cursos de agua natural hidráulicamente al descargar las aguas de escorrentía luego de ser conducidas por tramos cortos mientras se preservan los valores naturales y estéticos. En los Estados Unidos se están empleando grandes sumas de dinero en la separación de los alcantarillados y en construcciones relacionadas para proteger los cursos de agua de los reboses de los alcantarillados combinados"<sup>12</sup>*

Como se observa en estas dos citas de renombrados expertos sobre el tema, los valores económicos y ambientales de los alcantarillados separados se empezaron a reconocer desde el principio de este siglo cuando las necesidades de tratamiento de las aguas residuales vertidas por los alcantarillados se hizo necesaria y cuando se dio un valor a lo estético, ecológico y recreativo de los cuerpos de aguas naturales en las ciudades. Aparece ya en la última cita claramente mencionado el problema de los reboses de los alcantarillados combinados que se generan cuando se sobrepasa la capacidad de diseño de éstos para conducir un volumen dado de agua.

En la selección del tipo de tecnología de alcantarillado se observa que las consideraciones sobre el tratamiento futuro de los vertimientos no jugaron un papel importante. Las consideraciones se centraron en los costos del sistema de alcantarillado por sí solo, más no en el alcantarillado con su respectivo tratamiento. Debe resaltarse sin embargo que en el momento de la toma de la decisión no se esperaba que se tuviera que tratar pues se pensó que "el agua que corre se purifica sola"<sup>13</sup>, por la misma razón no se conocían las tecnologías, y por consiguiente los costos, para este fin.

## LAS FALLAS DE LOS SISTEMAS DE DRENAJE Y TRATAMIENTO

Los sistemas de saneamiento urbano que se desarrollaron estuvieron basados, como ya se ha visto, en los principios de la evacuación y transporte de las materias fecales humanas fuera de las ciudades y del control de inundaciones y molestias para los ciudadanos asociadas éstas últimas a las aguas de escorrentía que fluían rápida y abundantemente en las ciudades por sus características impermeables. Poco se había hablado hasta el momento sobre consideraciones ecológicas, es decir, sobre la salud de los animales y plantas que habitan en los cuerpos de agua que reciben los drenajes de la ciudad.

Cuando se pensó en el tratamiento de las aguas residuales municipales se pensó en tratar las aguas antes del vertimiento final del alcantarillado al cuerpo de agua receptor. Esta aproximación permite que durante las épocas de verano la gran mayoría de las aguas residuales generadas por la ciudad fueran efectivamente tratadas. Sin embargo, durante las épocas de invierno los alcantarillados combinados rebosan una vez el nivel de las aguas dentro de ellos alcanza un valor determinado (por ejemplo 1:5 (caudal seco:caudal lluvia) en Dinamarca, 1:3 en Francia, 1:6 en Inglaterra)<sup>14</sup>. El agua rebosada va a parar a un cuerpo receptor que puede ser el mismo que recibe el agua tratada o un tributario de su sistema. La calidad del agua que se rebosa varía tanto dentro de un mismo evento de tormenta, pues la primera agua dentro de la tormenta es más sucia que la del final de la tormenta, como también entre tormentas, pues depende igualmente de la magnitud y duración de la tormenta como de que tanto había permanecido sin llover antes de dicha tormenta. Lo que sí es cierto es que el agua de los reboses es típicamente muy contaminante. Esta contaminación tiene dos orígenes, uno el lavado de las superficies de la ciudad- techos, calles, canales etc.- al caer el agua lluvia sobre ella y escurrir, y otra la resuspensión de los depósitos que se acumulan en el alcantarillado debido a las bajas velocidades que se tienen cuando no hay flujo de aguas lluvias en ellos. Usualmente al principio de la tormenta estos dos fenómenos son mayores que el efecto de dilución que se da por el aumento de caudal de agua en el conducto.

12 Elements of Water Supply and Wastewater disposal, G.Fair, J.Geyer, D.Okun, 1958

13 Esta observación es válida pues el fenómeno de autopurificación de las corrientes es real; sin embargo existen unos límites razonables por encima de los cuales los problemas que se generan son muy grandes. La práctica moderna de la modelación de la calidad del agua permite evaluar estos efectos con precisión.

En la tabla que se presenta a continuación se puede ver los resultados de numerosas caracterizaciones de reboses de alcantarillados combinados en diversos países del mundo, al igual que las caracterizaciones de las aguas de escorrentía del alcantarillado pluvial cuando existen redes de alcantarillados separados. Vale la pena resaltar las grandes variaciones que se tienen en los parámetros de calidad del agua. Con respecto a parámetros como la materia orgánica (DBO), o el nitrógeno amoniacal, que son sustancias que presentan toxicidad aguda<sup>15</sup> a los animales superiores que habitan en los cuerpos de agua, los reboses de alcantarillados combinados presentan concentraciones casi de un orden de magnitud mayores a las concentraciones que se observan en las aguas de escorrentía de los alcantarillados pluviales. Igualmente se nota que las concentraciones medias en una tormenta, siendo aún altas en términos de materia orgánica, 90 mg/l de DBO, son menores que las concentraciones típicas de un alcantarillado sanitario puro, del orden de 200 mg/l. Esto implica que cuando llueve existen grandes vertimientos, cortos, pero intensos, de sustancias que afectan a los seres vivos y que se manifiestan por lo tanto en mortandad de peces, deterioros estéticos, riesgos higiénicos y molestias permanentes para la comunidad. Otro problema con una dinámica rápida como la del oxígeno o el amoníaco, pero que tiene manifestaciones sobre la salud pública son los patógenos, que se evidencian en la tabla mostrada en el parámetro de coliformes. Los altos vertimientos asociados a las coliformes generan limitaciones en los usos recreativos, deportivos y de consumo de las aguas de los cuerpos receptores.

Por otra parte otros parámetros que no presentan toxicidad aguda, como el fósforo o los metales<sup>16</sup>, y que por lo tanto no es el pico de concentración el que interesa sino su aporte promedio en el tiempo ya que su efecto es igualmente nocivo pero por su acumulación progresiva en el sistema acuático, presentan cargas anuales parecidas independientemente del tipo de sistema de alcantarillado que se use. Esto implica que si el problema fuera de fósforo o metales cualquiera de los dos sistemas de alcantarillado tendrían efectos similares.

Vale la pena hacer una consideración adicional con respecto a los alcantarillados combinados y su efecto en las plantas de tratamiento, y es aquel asociado al funcionamiento de las unidades internas a las plantas. Los sedimentadores, y especialmente los sedimentadores secundarios de las plantas de tratamiento como las de lodos activados, tienen una relativa baja tolerancia a los aumentos sostenidos de caudal en la planta. Esto se manifiesta en el deterioro del tratamiento por el arrastre de sólidos suspendidos con el efluente de la planta, lo que aumenta aún más la carga contaminante sobre el cuerpo receptor<sup>17</sup>.

La mayoría de las ciudades grandes del mundo desarrollado que construyeron sus sistemas de alcantarillado en el siglo pasado y principios de éste han tenido y tienen graves problemas con los reboses de los alcantarillados combinados, Chicago, Boston<sup>18</sup>, Nashville<sup>19</sup>, París<sup>20</sup>, Londres, Hamburgo<sup>21</sup>, Bruselas<sup>22</sup>, Rotterdam<sup>23</sup>, Copenhague<sup>24</sup> son algunas de las ciudades que en estos momentos tienen extensos programas de control de

14 Urban Drainage Systems: Design and Operation, Marsalek et al., 1993, Wat. Sci. Tech., 27, 31

15 La toxicidad aguda se manifiesta de manera rápida, como por ejemplo en la asfixia y muerte de peces por bajo oxígeno disuelto cuando ocurren eventos como los reboses de alcantarillados

16 Los metales pueden presentar toxicidades agudas para los seres acuáticos pero usualmente en concentraciones mayores a las que se observan en los reboses de los alcantarillados combinados o en las aguas de escorrentía. Su problema entonces es la toxicidad crónica y sus efectos que se manifiestan en el mediano y largo plazo en un cuerpo de agua. Algo similar se puede decir del fósforo. Su acumulación en el largo plazo en el sistema genera problemas de eutroficación de los cuerpos de agua.

17 Wastewater Treatment Plants under Transient Loading, Performance, Modelling and Control, P. Harremoes, et al., 1993, Wat.Sci.Tech. 12, pp 71-115.

18 The Urban Wastewater Infrastructure, B. Berger, 1986, presentado en The evolution of Infrastructure.

19 Separating on Good Terms, Whitson and Mosley, 1999, Water Environment Technology, pp42-46.

20 Origins and Characteristics of Urban Wet Weather Pollution in Combined Sewer Systems: The Experimental Urban Catchment "Le Marais" in Paris, M. Gromaire et al., 1998, Wat.Sci.Tech, 37, pp35-43

21 Optimization of the Rehabilitation of the Emscher Drainage System using Continuous Rainfall-Runoff Modelling, E. Pfeiffer and M. Simon, 1997, Wat.Sci.Tech., 36, pp33-37

22 An Evaluation of the Efficiency of the Combined Sewer-Wastewater Treatment System under Transient Conditions., W. Bauwens, P. Vanrolleghem, and M. Smeets, 1996, 33, pp 199-208

23 Evaluation of the Water Quality Effects of Combined Sewer Overflow Control Measures, J.W. van Sluis, 1993, Wat.Sci.Tech., 27, pp 177-184

24 Acute Pollution of Recipients in Urban Areas, W. Rauch y P. Harremoes, 1997, Wat.Sci.Tech., 36, pp 179-184

25 El Agua en la Historia de una Ciudad, Juan Camilo Rodríguez, editorial EAAB, 1997.

los reboses de los alcantarillados combinados. Grandes cantidades de dinero se invierten en la separación de los alcantarillados en todo el mundo, en la instalación de estructuras de almacenamiento y tratamiento, y en el control automático de los sistemas de alcantarillado combinado.

Nuevamente el patrón se repite, la implementación de las plantas de tratamiento de las aguas residuales municipales no ha logrado en el mundo occidental desarrollado los efectos globales esperados pues faltó mirar de una manera más integral el problema, no era solamente los vertimientos finales del alcantarillado sino también los de los reboses de éstos. No sólo los alcantarillados combinados son más costosos cuando se incluyen los costos del tratamiento del agua que no se rebose, sino que los reboses impiden lograr los objetivos de calidad del agua deseados, teniendo posteriormente que almacenar y tratar estos reboses. Los vertimientos de los alcantarillados combinados resultaron ser tan contaminantes o más que los vertimientos ya controlados a través del tratamiento, como en el caso de los nutrientes y los metales, y los efectos tóxicos de la DBO y el amoníaco en las tormentas impiden el objetivo central del problema de la materia orgánica en un cuerpo de agua y es el conservar el ecosistema saludable para que exista vida superior en él.

## UNAS CONCLUSIONES PRELIMINARES

Después de hacer este recorrido acelerado por el desarrollo de los sistemas de drenaje urbano en las ciudades queda la impresión de que en realidad ha habido una prevalencia en la toma de decisiones de la solución del problema inmediato de la población sin detenerse a pensar un poco más en las implicaciones globales de no atacar dicho problema de una forma integral. La aceptación del WC implicó la necesidad de alcantarillados y grandes obras de ingeniería para traer el agua para lavar las ciudades y transportar las materias fecales fuera de ellas. Los alcantarillados, a su vez, la necesidad de tratamiento de los vertimientos finales; siendo estos tratamientos cada vez más sofisticados y costosos pues la implementación de los alcantarillados combinados ha probado ser más contaminante que lo que inicialmente se pensó.

Debe reconocerse igualmente que muchas de las condiciones hidrológicas, sociales, económicas y de desarrollo del conocimiento humano en el momento en que se tomaron las decisiones no eran las que tenemos en estos momentos. Por ejemplo cuando se decidió adoptar el WC no se sabía claramente la etiología de las en-

fermedades. Cuando se decidió hacer alcantarillados combinados el transporte en las ciudades era impulsado por semovientes que ensuciaban las calles con sus excrementos tornando el agua de escorrentía más contaminante en términos de materia orgánica que la misma agua de las casas de habitación. Tampoco se conocía de los problemas que causaban los metales pesados en el medio ambiente y la salud humana, o de la fertilización de las aguas o sea el fenómeno de la eutroficación; ni el tema de un desarrollo económico sostenible tenía la importancia central que tiene en estos momentos en el mundo entero. Igualmente las condiciones hidrológicas en donde ocurrieron estos desarrollos son muy diferentes a las condiciones hidrológicas de los países tropicales como Colombia en donde los aguaceros son mucho, muchísimo más intensos y de corta duración que los de países como Inglaterra y Estados Unidos.

De la misma manera actualmente los ingenieros contamos con un acervo de experiencia acumulada sobre el comportamiento de los sistemas de alcantarillado, de sus efectos sobre los cuerpos de agua receptores, del comportamiento de los sistemas de tratamiento en condiciones dinámicas. También contamos con modelos matemáticos que permiten predecir con adecuada precisión los efectos de las decisiones sobre todos y cada uno de los actores en el sistema de drenaje urbano, el drenaje, el tratamiento y el cuerpo receptor. Sabemos también de los problemas que se generan al tener que traer agua a las ciudades desde sitios cada vez más lejanos, a costos cada vez más altos, y con consecuencias cada vez mayores tanto para las cuencas productoras del agua como las receptoras de ésta.

¿No será el momento de repensar los sistemas de drenaje urbano?, ¿Del manejo de toda el agua urbana?, ¿De incorporar toda la experiencia acumulada por nuestra sociedad y otras sociedades sobre el paradigma actual de manejo del agua urbana?. Yo tengo la seguridad que si en este momento nos asignaran como trabajo a los ingenieros de hoy el diseño de un sistema de control de inundaciones y manejo de residuos fecales humanos, no produciríamos como resultado el sistema actual del WC, alcantarillado y planta de tratamiento que se ha vuelto el fugaz ideal que perseguimos.

## EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ

De acuerdo a Rodríguez,<sup>25</sup> en los años 50 el tema del alcantarillado de la ciudad estaba manejado no por la empresa de acueducto municipal sino directamente por

una dependencia de la alcaldía de la ciudad; solamente una tercera parte de la ciudad contaba con alcantarillado y un cuarenta por ciento del centro de la ciudad tenía el alcantarillado en condiciones casi inservibles. Las aguas negras corrían por zanjones inmundos dentro del mismo perímetro urbano convirtiéndose en foco de enfermedades para la población<sup>26</sup>. No existía un plan maestro de alcantarillado de la ciudad y por lo tanto había un gran desorden sobre la solución de los problemas de evacuación de aguas servidas en los nuevos desarrollos urbanísticos. Los alcantarillados existentes eran de tipo combinado.

En 1955 se incorporó el manejo del alcantarillado al del acueducto y se fundó para tal objeto la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. En 1960 se contrató a la firma Camp, Dresser y McKee junto con la firma Compañía de Ingeniería Sanitaria de Bogotá para la elaboración del Plan Maestro de Alcantarillado de la ciudad<sup>27</sup>. Como decisión de importancia se debe mencionar que el plan maestro cambió de los alcantarillados combinados existentes a alcantarillados separados donde se condujeran por conductos diferentes las aguas negras y las aguas pluviales. Desde ese momento los desarrollos nuevos en materia de alcantarillados en la ciudad han sido de tipo separado. Igualmente a partir de ahí, y aproximadamente cada década, ha habido un estudio importante que revisa y actualiza el plan maestro de alcantarillado de la ciudad.

Como ya se ha mencionado anteriormente los alcantarillados separados son más costosos de implementar inicialmente en una ciudad, pero sus beneficios se ven en el momento en el que se deban realizar las obras de tratamiento de las aguas negras<sup>28</sup>; adicionalmente a permitir un mejor desarrollo urbanístico de la ciudad ya que con ellos se puede, en esencia, proteger de la mejor manera los cuerpos de agua internos a una ciudad al evitar que las descargas de aguas negras puras y de reboses de alcantarillados combinados caigan a ellos.

En 1995 la ciudad tomó una decisión sobre el tipo de plan de tratamiento de aguas residuales que se iba a implementar para completar el saneamiento del Río Bo-

gotá. Se escogió tener tres plantas de tratamiento a la desembocadura de las principales vertientes del alcantarillado de la ciudad al río, es decir, la vertiente del Río Juan Amarillo o Salitre, el Río San Cristóbal o Fucha, y el Río Tunjuelo<sup>29</sup>. En el momento actual se está construyendo la primera planta de tratamiento, que es la planta del Río Salitre. Este proyecto ha sido muy cuestionado, entre otras cosas por el tamaño de las plantas que fueron contratadas que son de 4,7 y 4 m<sup>3</sup>/s para cada una de las cuencas sanitarias de los ríos mencionados respectivamente. Los estudios financieros sobre la capacidad de pago de la ciudad para el tratamiento de las aguas con este tamaño de plantas indican que es difícil poder obtener los dineros necesarios para cumplir con las obligaciones que se adquieren con el concesionario en caso de construir y operar las plantas.

Más recientemente la ciudad ha recibido un estudio sobre la Rehabilitación del Sistema del Alcantarillado que ha evaluado el sistema de alcantarillado de la ciudad desde un punto de vista hidráulico, estructural y ambiental<sup>30</sup>. En él se evaluaron, entre otras cosas, las magnitudes de las contaminaciones cruzadas que tiene el sistema de alcantarillado de la ciudad de Bogotá en sus diferentes cuencas; es decir, se evaluó cuanto de las aguas negras de la ciudad van a parar al alcantarillado de aguas pluviales y cuanto de las aguas pluviales van a parar al alcantarillado de negras. Los resultados de dicha evaluación se pueden ver de manera resumida en la siguiente tabla:

CONEXIONES ERRADAS ENTRE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ EN 1998. FUENTE: GRUCON-IHE-SOPRIN, 1999

CUENCA	CONEXIÓN SANITARIO A PLUVIAL	CONEXIÓN PLUVIAL A SANITARIO
Torca	24%	42%
Salitre o Juan Amarillo	13% <sup>31</sup>	23%
San Cristobal o Fucha	22%	33%
Tunjuelo	20%	90%

26 Jorge Forero Vélez, 1952, Citado por J.Rodríguez

27 Ibid, pg 93, vol II

28 Vale la pena mencionar que este tipo de aseveración amerita un análisis más juicioso. Si bien es cierto que de manera global, alcantarillado mas planta de tratamiento, es más costoso el sistema combinado; desde el punto de vista del alcantarillado únicamente, es más costoso el sistema de alcantarillado separado. Cálculos realizados en al Universidad de los Andes muestran que el separado es 1.5 veces más costoso que el combinado en el caso de Bogotá. Esto implica que se tiene un lucro cesante de la inversión, en el caso del alcantarillado separado, que solamente deja de existir en el momento de hacer la planta de tratamiento. En otras palabras, a menos que se haga la planta de tratamiento, no se ven los beneficios que se reclaman para los alcantarillados separados. Sin embargo, si la inversión en el tratamiento se demora en realizarse diez años el valor del lucro cesante es similar al costo incremental en plantas de tratamiento para el caso del alcantarillado combinado. Es decir, en ese

La primera columna, expresa el porcentaje de aguas negras que corresponde del total de aguas que transportan en época seca los alcantarillados de aguas lluvias de las diferentes cuencas de la ciudad, la segunda columna muestra que porcentaje de las áreas de drenaje de la ciudad, que deberían estar conectadas a los alcantarillados de aguas pluviales, se encuentran en realidad aportando a los alcantarillados de aguas negras. Las implicaciones de estos hallazgos, que en realidad ya se podían intuir al mirar el estado de las corrientes superficiales abiertas de Bogotá como el canal de Córdoba, el Canal Torca, el canal Entre Ríos etc., son variadas y de gran impacto para la ciudad, sus habitantes, y los planes de saneamiento.

En primer lugar el hecho de que los canales superficiales abiertos de la ciudad estén recibiendo un 20% de las aguas negras crudas de la ciudad, genera grandes riesgos sanitarios a los habitantes de Bogotá al tener aguas negras circulando abiertamente por el medio de la ciudad, como hace un siglo, como hace cincuenta años, como en la época de la colonia<sup>32</sup>. Los beneficios urbanísticos, de recreación y ecológicos que se podrían tener al contar con canales limpios que atraviesen la ciudad se ven amenazados por los riesgos de contagios, sin mencionar los malos olores y desagradable aspecto que toman estos canales al recibir las aguas negras. La recuperación del Río Bogotá se dificulta pues las aguas negras que van a parar a los canales no pasan por las plantas de tratamiento propuestas, pues éstas se construyen para tratar las aguas del alcantarillado sanitario y no las del pluvial, y van a parar directamente al Río Bogotá. El mantenimiento de los canales abiertos de la ciudad se hace más costoso y dispendioso por que dichos canales no han sido diseñados para transportar aguas negras y por lo tanto se forma depósitos de sedimentos que huelen mal, atraen zancudos y otros vectores, y que deben ser removidos con frecuencia. La disposición de estos sedimentos depositados y que deben ser removidos es cada vez más costosa por los controles ambientales que se necesitan dada su caracte-

terística ofensiva, en últimas son las mismas heces humanas!! Adicionalmente con las reglamentaciones recientes sobre las tasas retributivas por contaminación, se va a empezar a cobrar a la ciudad por estos vertimientos a los cuerpos de agua internos de la ciudad. Estos cobros los hará el DAMA a la EAAB y esta última los trasladará a los usuarios. Cabe preguntarse sin embargo, ¿Si ya los usuarios están pagando por un sistema de alcantarillado, es justo pagar por que este no funcione como debiese, ya que si lo hiciese no habría vertimientos a los cuerpos internos?.

Por otra parte, el ingreso de aguas lluvias al sistema de alcantarillado sanitario igualmente genera graves complicaciones para todo el funcionamiento del saneamiento de la ciudad. Los alcantarillados sanitarios son conductos de menor tamaño que los alcantarillados pluviales pues la cantidad máxima de agua que deben transportar es mucho menor. En realidad en Bogotá, en términos medios anuales, la cantidad de agua de escorrentía de la ciudad es menor que la cantidad de agua que se usa y se descarta como agua negra. Sin embargo dada las características hidrológicas de la ciudad en donde los aguaceros son cortos e intensos, los volúmenes máximos a conducir por las tuberías son mucho mayores, en algunos casos cientos de veces mayores que los caudales máximos sanitarios. Cuando las aguas lluvias llegan entonces a los alcantarillados de aguas negras estos rápidamente se saturan y rebosan aguas contaminadas por el camino más fácil. De hecho en algunas zonas el problema es tan grave que se han hecho reboses directamente del alcantarillado "sanitario" a los canales superficiales. Ahí se tiene entonces un vertimiento directo mayor a los canales de aguas que corren por la ciudad, agua que no va a ser tratada y que llegará directamente al Río Bogotá y con los mismos problemas que se mencionaron en el párrafo anterior. Por otra parte el agua que continúa por el alcantarillado sanitario es un agua diluida, como promedio en un evento de lluvia,<sup>33</sup> y que tiene comportamientos especiales en el momento de ser tratada en una planta de tratamiento convencional antes de ser vertida al río.

---

momento los dos sistemas tendrían un valor similar en valor presente. Por otra parte de todas formas siempre quedan los efectos de los reboses de alcantarillados combinados como un problema a tratar.

29 Camilo Nassar, 1995, Informe de Gerencia de Proyecto, Presentado a la Alcaldía Mayor de Bogotá.

30 Ibid, 1.

31 Este número no incluye la parte del alcantarillado de la cuenca del Salitre que es alcantarillado combinado, luego en realidad el valor puede ser mayor.

32 Véase a J.C.Rodríguez, El Agua en la Historia de una Ciudad.

33 Sobre este punto es necesario hacer claridad para no llevarse a malas interpretaciones. Al principio de un aguacero existe primero un lavado de superficies y segundo una resuspensión de sedimentos depositados en las tuberías que hace este primer jugado (first flush) muy contaminante; sin embargo de ahí en adelante el agua es mucho más diluida, y si se promedia el hidrograma del alcantarillado junto con el polutograma, el resultado del promedio del evento es un agua más diluida que un agua residual doméstica clásica pero aún con alto poder contaminante.

De una manera resumida podríamos decir que Bogotá tiene un sistema de alcantarillado separado, que es más costoso de instalar que el combinado, que funciona como un sistema de alcantarillado combinado a cielo abierto!!. Vale la pena decir que en realidad cuando se diseñan alcantarillados combinados estos van cubiertos y enterrados por los problemas sanitarios obvios que acarrea el tener aguas negras corriendo abiertamente por la ciudad. Hemos hecho las inversiones más costosas en el saneamiento para capitalizar la inversión cuando se construyeran las plantas de tratamiento y no lo vamos a poder lograr. Igualmente los cauces naturales de la ciudad están muy afectados y el saneamiento del Río Bogotá se ve seriamente comprometido por no poder recoger el agua para tratarla. Es decir que si hacemos las inversiones en las plantas, como están planteadas en el plan de saneamiento de 1995, igual no vamos a ver los beneficios de un río limpio. Y para completar además nos van a cobrar por descargar aguas negras a los cuerpos superficiales, y por tratar las que si podemos recoger antes de verterlas al río.

¿Nos equivocamos en 1960 al pensar que podíamos tener un alcantarillado separado en la ciudad? ¿Se debe aceptar que bajo las condiciones institucionales, sociales y económicas de la ciudad es imposible mantener un alcantarillado separado?, ¿Debemos aceptar que los alcantarillados separados son para países con culturas y disciplinas sociales más estrictas que las nuestras?.

## DISCUSIÓN FINAL

Actualmente hay propuestas para aceptar el hecho de que los alcantarillados de la ciudad son alcantarillados combinados y que se deben por lo tanto tratar como tal y que los desarrollos futuros de la ciudad en materia de alcantarillado en amplias zonas de la ciudad deberían descartar el esquema de alcantarillados separados. La decisión que se tome debe mirar no solamente un componente del sistema de drenaje urbano de la ciudad, el sistema de alcantarillado, sino también los efectos de esta decisión sobre los cuerpos de agua internos y sus usos recreativos, ecológicos y urbanísticos, sobre el plan de saneamiento del Río Bogotá, sobre los costos y magnitudes de la reconversión del sistema de alcantarillado actual a un sistema combinado, sobre el tamaño de las plantas de tratamiento para el saneamiento del Río Bogotá, sobre el comportamiento de la calidad del agua que llegará a las plantas y su interacción con la

tecnología de tratamiento escogida, sobre las magnitudes de los reboses de los alcantarillados combinados, sobre la necesidad de almacenamiento y control de éstos, sobre los costos de tratamiento de estos reboses, sobre los costos de las tasas retributivas a los usuarios de la red de alcantarillado, y sobre las finanzas del Distrito y los contribuyentes de la ciudad. La historia nos muestra que ha sido precisamente la visión estrecha y reduccionista, la de mirar únicamente un aspecto del problema la que ha generado el sistema actual de manejo insostenible del agua urbana. Aprovechemos las experiencias ganadas y no cometamos los errores del pasado. Aprovechemos las mayores capacidades de análisis que tenemos. Una ventaja clara de ser un país en desarrollo es que podemos aprender de los errores del desarrollo de los demás.

Las grandes ciudades del mundo en contextos económicos más desarrollados se encuentran luchando con el problema de los alcantarillados combinados, trabajando sobre una situación de facto y con condiciones hidrológicas, económicas, institucionales y sociales diferentes. Se encuentran en un re-pensar, re-crear del manejo del agua urbana. Los conceptos de sostenibilidad han llegado hasta el desarrollo de la infraestructura urbana<sup>34</sup>. No se deben descartar estas herramientas en el presente y hacia el futuro. Sistemas de reducción de consumos de agua, sistemas alternativos de saneamiento en las casas, tecnologías industriales limpias, infiltración almacenamiento y uso local del agua lluvia, pavimentos porosos, reciclaje de nutrientes a la agricultura, humedales artificiales para el manejo de escorrentía, higiene urbana, planeamiento del uso del suelo incorporando conceptos ecológicos e hidrológicos. Todas estas son herramientas modernas para una reducción del abuso de los recursos naturales y una solución fundamental al problema del saneamiento ambiental en las ciudades y el manejo del agua urbana. En numerosas oportunidades se ha comprobado que el prevenir la generación del problema es mucho más fácil, económico, y factible que solucionar los efectos del mismo una vez se han causado.

Bogotá está enfrentada a grandes decisiones en el futuro cercano sobre el manejo de su agua urbana y es imperativo que las decisiones se tomen de una manera estudiada, calculada, y seria, e incorporando la integridad del problema, cuencas hidrológicas, sistemas de alcantarillado, plantas de tratamiento y cuerpo de agua receptor, como concepto fundamental subyacente.

34 Sustainable Urban Water Systems, R.M..Ashley, 1999, Curso Seminario Internacional sobre Sistemas de Alcantarillado, Universidad de los Andes, Bogota.