

FUNDACION UPC  
MASTER MEDIO AMBIENTE URBANO Y SOSTENIBILIDAD

Resumen - Tesina

APROVECHAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL  
El caso de la ciudad de Lima

ALUMNA: Silvia Yi Wu Acuy

ASESOR: Albert Cuchi

SEPTIEMBRE 2009

## **RESUMEN**

La presente tesina comenzó como un estudio acerca del aprovechamiento del agua residual, pero en el camino nos dimos cuenta que el problema no era cerrar el ciclo del agua, sino cerrar el ciclo de la materia orgánica que contiene el agua residual.

Para poder explicar y estudiar el aprovechamiento del agua residual, se analizará el ciclo natural del agua, luego el ciclo del agua urbano. Como el ciclo natural de la materia orgánica ha sido modificado por el hombre. Como se ha aprovechado o no el agua y la materia residual, en los asentamientos rurales, en ciudades como Londres, París, Barcelona y finalmente analizaremos el caso de Lima.

### **Objetivo**

El objetivo de la presente tesina es presentar como necesario para la sostenibilidad, cerrar el ciclo de los nutrientes del agua residual doméstica en la ciudad, y mostrar como ello es posible aplicándolo sobre un caso de estudio, la ciudad de Lima.

### **Ciclo circular y ciclo lineal**

Para poder cerrar el ciclo de los nutrientes del agua debemos saber la diferencia entre un metabolismo lineal y un metabolismo circular.

El metabolismo lineal es aquel que tiene un comienzo y un final. Una ciudad con metabolismo lineal extrae, consume los nutrientes de la tierra y luego, los arroja en forma de desecho.

En cambio el metabolismo circular es aquel que no tiene fin. Tiene la capacidad de que aunque termine vuelve a comenzar. Una ciudad con metabolismo circular toma lo que necesita y lo devuelve de forma continua, es decir tiene un sistema que reutiliza los elementos.

## **El ciclo del agua urbano**

En las ciudades el ciclo del agua se modifica por dos razones fundamentales:

La primera razón es cuando evitamos que el agua de lluvia, que cae sobre la ciudad se filtre en el pavimento, causando erosión, inundaciones y perjudicando la calidad de agua porque van directamente a las alcantarillas.

La segunda razón es cuando tomamos el agua de los ríos o lagos en grandes cantidades; la ensuciamos y después la arrojamos a los mares y a los ríos. A diferencia del ciclo natural del agua, las alcantarillas no permiten que el agua se filtre en el terreno y le devuelvan la materia orgánica que tomó de los alimentos. Al llegar a los ríos o mares, la materia orgánica causa eutrofización y disminuye la vida acuática. Es decir, la materia orgánica necesita mucho oxígeno para descomponerse, por lo que la reducción de oxígeno provocará, que no haya el suficiente oxígeno para la supervivencia de las especies que vivían en ese medio ambiente.

El ciclo del agua se modifica cuando el hombre interviene en el medio ambiente y evita que el ciclo se cierre. El ciclo se vuelve lineal y se queda incompleto. Cuando el ciclo no se cierra, se destruye el medio ambiente por la eutrofización (en donde hay un exceso de nutrientes) y desertificación (donde deja de llegar los nutrientes).

## **Uso y eliminación del agua en las ciudades**

Las ciudades siempre han necesitado agua para subsistir y también han necesitado eliminar el agua después de utilizarla. Desde este momento podemos resaltar que el agua urbana no solo se utiliza para beber, regar o cocinar, sino para transportar los residuos sólidos de la ciudad a un lugar alejado donde no se vea, ni traiga enfermedades.

En las ciudades medievales y del renacimiento fue evidente la falta de elementos sanitarios. Las calles también servían como basurero. A pesar de estas costumbres, el pequeño tamaño que tenía la ciudad medieval permitía el acceso al aire limpio y al campo abierto, y la importancia del baño mantuvieron una salud mejor de la que se hubiera esperado. Naturalmente esta situación no se pudo conservar a medida de que las ciudades crecieron.

Las primeras alcantarillas introducidas en muchas ciudades en el siglo XVIII se construyeron para evacuar solo el agua de lluvia. Hasta este momento los desperdicios humanos, recogidos

de las casas, restaurantes y mercados, se vendían en granjas vecinas para que los usaran para abonar las tierras.

El uso del baño privado y el inodoro para cada familia no se generalizó hasta que se construyeron las alcantarillas sanitarias en el siglo XIX.

Con el incremento de la población por la revolución industrial y el baño privado; los pozos negros se vieron incapaces de guardar los desechos humanos a medida de que la densidad poblacional de las ciudades crecía. Además, las amenazas de epidemias, provocó la construcción del sistema de alcantarillado. Cuando las alcantarillas se conectaron a cada vivienda, se llevaron los desechos puros directamente a los ríos y lagos. El consumo de agua con la introducción de la alcantarilla sanitaria, también aumento de 13.5 litros de agua suministrada al día se elevó a 180 y 270 litros. De este modo la salud pública en las ciudades mejoró. Pero el problema no fue eliminado sino llevado fuera de las ciudades.

El problema del uso del agua en las ciudades presenta diversas facetas. La primera es el continuo crecimiento y el consumo descontrolado del agua. Actualmente el consumo de agua para uso doméstico se estima en unos 250 litros por persona al día.

Otro problema es que se toma el agua de los sistemas naturales sin tener en cuenta el uso al que se le va a dar al agua, aumentando así la presión en los sistemas naturales debido al suministro continuo. La misma calidad de agua se aplica a la lucha contra el fuego, el lavado de coches, la irrigación de las zonas verdes, el uso doméstico e industrial.

Por el uso indiscriminado del agua surgen los problemas físicos y biológicos asociados con el regreso del agua usada a los sistemas naturales. Las plantas de tratamiento de las aguas residuales han proporcionado una solución parcial al problema inmediato del agua urbana contaminada. Las cantidades cada vez mayores de agua pura sacadas de los sistemas naturales y que vuelven contaminadas se han percibido como un problema que requieren ingeniería más que soluciones biológicas. El hecho de alejar el problema de la evacuación lejos de la ciudad, aunque indudablemente ha mejorado la salud pública y ha erradicado epidemias en las ciudades occidentales, también ha aplazado las soluciones para el definitivo y gran problema del desaprovechamiento de los recursos.

## **Ejemplos**

### **Londres**

Londres en la época medieval, al igual que todas las ciudades preindustriales, dependía de los suministros de su periferia. Pero conforme fue creciendo comenzó a traer productos de cada más lejos para cubrir sus necesidades. Para 1800 era la ciudad más grande de Europa.

Hasta fines del siglo XVI el suministro de agua potable en Londres provenía de pozos, del río Támesis, sus afluentes y alrededor de una docena de manantiales naturales, incluyendo el de Tyburn. En esta época el uso del agua no estaba autorizado para usos industriales o comerciales, a menos que se pagara por el servicio. No fue hasta 1582 que se construyeron elementos para bombear agua del Támesis. A partir de este momento comienza a aumentar el consumo del agua en la ciudad.

Antes de 1850 los viejos afluentes del Támesis solo se empleaban para el drenaje superficial, ya que solo había alcantarillas pluviales. Los desperdicios humanos eran vaciados, y vendidos en granjas vecinas para abonar las tierras. De esta forma se le devolvía la fertilidad a la tierra. Hasta 1815 estaba prohibido verter basura en las alcantarillas. Los pozos negros eran los únicos receptores para el saneamiento. Las alcantarillas solo servían para evacuar el agua de lluvia y superficial. Pero la introducción del baño privado, el rápido crecimiento de la población, la revolución industrial, las enfermedades y el mal olor, hicieron necesario la aparición de la alcantarilla sanitaria, la liberación de los pozos negros y el rápido alejamiento de materias no gratas. Con esta solución los ríos se convirtieron en alcantarillas.

Para evitar la contaminación del río y desperdiciar el agua residual crearon plantas de tratamiento, para purificar las aguas sucias de las alcantarillas. Parte del agua residual fue utilizada para regar y parte de la materia sólida se vendía a los campesinos como abono.

Los 40 Km. de río que atraviesa Londres han pasado por varios periodos de gran contaminación. Londres fue ejemplo de ciudad industrial. Funcionaba como una ciudad lineal. Tomaba recursos de la tierra y no los devolvía. Causó eutrofización en el río y empobreció sus campos de cultivo. Al no regresar la materia orgánica a la tierra tenían un exceso de desechos orgánicos, además de los residuos industriales. Para solucionar el problema decidieron mezclar ambos desechos y tirarlos al río, para alejarlos de la ciudad lo más rápido posible. Así comenzó la contaminación del río. Al ver el río contaminado decidieron crear plantas de tratamiento y reutilizar parte del agua y la materia orgánica. En este momento se adoptó un metabolismo actual.

## Paris

En París se tomaba el agua del Sena o de pozos y la eliminación de desechos humanos se hacía en pozos negros o en las huertas de las casas. Era una ciudad limpia hasta la edad media. La baja densidad de habitantes hizo que las condiciones higiénicas fuesen buenas. Pero el aumento de la población bajó la calidad de la higiene de la ciudad, a pesar de la utilización de bombas para la distribución de agua.

En el siglo XVIII solo las aguas pluviales iban a la alcantarilla y terminaban en el Sena. Los excrementos humanos echaban a los pozos negros y una vez llenos se vaciaban.

En 1800 la población rural se dirige a las ciudades y fue necesario ampliar el caudal de agua para la población. De esta forma aumenta la cantidad de agua utilizada por la ciudad.

Durante el periodo de Napoleón III, se decidió la extensión y la modernización de los desagües. Sin embargo el cólera hizo de las suyas en la última zona de llegada del agua. Para evitar este problema se creó un depósito que llevaba las aguas residuales a más de 7Km.

En 1849 Paris se convierte en la primera ciudad europea con una red de alcantarillado totalmente enterrada.

En 1856 Haussman encarga al ingeniero Belgrano unir los conductos de aguas pluviales y domésticas. Las galerías subterráneas acogen las cañerías de agua limpia y se amplían hasta debajo de las casas para evacuar subterráneamente las aguas domésticas y pluviales, que finalmente llegaban al Sena. Para 1878 las alcantarillas tenían 540 Km. de largo, cinco veces mas que décadas pasadas.

Belgrand en parte del proyecto perfecciono la limpieza de las cloacas. Construyo pequeños vagones: vagón-compuerta para anchos pequeños y barcos compuerta para las zonas más grandes. Esto permitiría el trabajo automático y la disminución de mano de obra.

En 1875 fue necesario ampliar y modernizar los antiguos colectores y era necesario remediar la infección del Sena. Se comenzó a limpiar el río tratando el agua antes de arrojarla al río. Parte del agua también se utilizaba para regar y la materia orgánica para mejorar los campos de cultivo.

## **Barcelona**

La modernización del sistema de evacuación residual de Barcelona tuvo varias etapas. La etapa que enfatizaremos será la del proyecto de Pedro García Faria.

En Barcelona el servicio de extracción de letrinas se realizaba a través de la Sociedad Mutua de Propietarios, que debía extraer un mínimo de setenta cajas diarias. Pero el aumento del uso del agua, y de los abonos artificiales, darán como resultado la desaparición del servicio.

En el proyecto de ensanche de Barcelona, Cerdá no vio la necesidad de acabar con los pozos ciegos y por tanto de canalizar los residuos orgánicos producidos por la población. Aunque a mediados del siglo XIX se empezó a sustituir el pozo ciego por la alcantarilla.

Pedro García Faria realiza el proyecto de saneamiento del subsuelo de Barcelona, para realizarlo recoge métodos de diversos lugares del mundo. Desgraciadamente, las intrigas políticas apartaron a García Faria de la materialización del proyecto.

La longitud de alcantarillado prevista para el proyecto de alcantarillado era de 212 kilómetros, de los cuales se adaptaban 31 kilómetros de los ya existentes. Faria considera necesario construir de forma subterránea todas las redes técnicas y aquellos servicios clasificados como incómodos, insalubres o peligrosos. Esta debería liberar la vía pública de las aguas pluviales, transporte de letrinas, basuras y residuos sólidos. Las materias extraídas de los pozos negros, la basura doméstica y pública, serían conducidas de forma que no pudieran hacer daño a la salud de la población. Las galerías subterráneas, además, albergarían aquellas instalaciones necesarias a las redes de gas, agua, electricidad y telefonía responsables de las constantes remociones de tierra cada vez que se necesite la renovación o arreglo.

García Faria también propone aprovechar las materias fecales, en vez de conducir dichos residuos al mar. Tenía la intención de hacer un negocio con la conducción de las aguas de alcantarillas al llano del Llobregat, intentaría hacer pagar a los propietarios agrícolas por las aguas. Ésta solución reduciría el presupuesto del mantenimiento del sistema.

La solución que finalmente se adopta en Barcelona fue la conducción de las aguas residuales hacia el puerto y playa de la ciudad.

## Lima

Lima, sufrió un rápido crecimiento debido a la inmigración masiva de pobladores del interior del país. Este rápido aumento de población, causó el crecimiento desordenado de la ciudad y deficientes condiciones sanitarias, por la falta de servicios como: redes de agua y alcantarillado, que fueron la causa de que se propaguen enfermedades como el cólera y originó problemas como la contaminación de los ríos y el mar de la ciudad. Por las razones mencionadas Lima necesitaba mejorar el sistema de saneamiento, para recolectar el agua servida de uso domestico y darle un tratamiento adecuado.

El plan consiste en construir una planta de tratamiento al sur, una al norte y una serie de plantas de tratamiento dispersas por la ciudad.

En la planta de tratamiento del sur de Lima, llamada Proyecto de Mejoramiento del Sistema de Alcantarillado de la Zona Sur de Lima Metropolitana (MESIAS), el agua rica en materia orgánica y sales minerales será capaz de abonar y transformar las tierras infértiles en tierras aptas para la agricultura sin causar problemas de salud. Y el agua tratada servirá para regarán grandes extensiones de tierras que hoy están desiertas.

En la planta de tratamiento del norte, llamado Proyecto Taboada, otra parte del agua también será tratada. El agua no será utilizada, sino solo se arrojará al mar por un emisor submarino. Aunque los lodos servirán para producir biogás.

Resumiendo los datos de Lima:

	Mesias	Taboada	Otras plantas	Total Tratada	Vertida
m3/s	3.2	14.90	1.8	19.87	19.84
m3/d	276480	1287000	153000	1716480	1714285

Viendo los datos de la tabla podemos decir que el plan de mejoramiento del alcantarillado de Lima va a tratar la misma cantidad de agua vertida en la ciudad de Lima.

## **Ciclos**

Luego de analizar el ciclo del agua de estas cuatro ciudades hemos encontrado cuatro ciclos diferentes del agua y la materia orgánica en las ciudades. Al primero lo llamaremos ciclo rural, al segundo ciclo industrial, al tercero ciclo actual y al tercero el ciclo futuro inmediato.

**El ciclo rural** se puede encontrar en los asentamientos rurales pequeños. Se caracteriza por tener un metabolismo circular, sucede en ciudades que toman sus alimentos de la tierra y luego le devuelven los nutrientes de la materia orgánica en forma de fertilizante. El tratamiento del agua no les resulta un problema porque toman el agua con moderación y el agua residual la utilizan para regar sus campos. De esta forma no necesitan importar alimentos porque cuidan sus campos y los mantienen fértiles. Tampoco causan contaminación en sus ríos porque no vierten residuos en ellos.

Este ciclo funcionó muy bien en la edad media porque las ciudades eran pequeñas, cuando la ciudad comenzó a crecer el ciclo se perdió y se convirtió en el ciclo industrial.

París también trato de seguir este ciclo la mayor cantidad de tiempo que pudo, hasta que la ciudad creció. La ciudad de París se dio cuenta de la importancia de devolver a sus campos la materia orgánica para mantener sus campos fértiles.

**El ciclo industrial** lo podemos ver en ciudades como Roma Antigua o Londres Victoriano.

Se caracteriza por tener un ciclo lineal. Toma el agua y todos los recursos que necesita sin devolver nada a la naturaleza, solo residuos. Su sistema de alcantarillado vierte al río o mar agua residual con residuos domésticos e industriales. Así los contamina con sustancias tóxicas y con nutrientes. Causa eutrofización en sus aguas por un exceso de nutrientes, que necesitan mucho oxígeno para descomponerse, robando de esta manera el oxígeno que utilizan los seres acuáticos para vivir.

Al verter los nutrientes al mar, no son devueltos a la tierra entonces los campos se vuelven cada vez más pobres y finalmente se desertifican. Los campos ya no son necesarios, porque comienzan a importar alimento. Así vuelven sus problemas cada vez más grandes porque tienen más residuos para tratar y desechar. Pero finalmente las ciudades después de seguir este metabolismo necesitan buscar soluciones para limpiar el agua antes de verterla y utilizar la materia orgánica que el agua residual tenía.

En el ejemplo de Londres vimos que después de arrojar el agua residual al río y ver como se contaminaba, se vio en la necesidad de buscar formas de limpiar el agua antes de verterla al río o utilizarla para regar zonas verdes o campos de cultivo. Y de utilizar la materia orgánica del agua residual. De esta manera el ciclo industrial cambia y se convierte en el ciclo actual.

**El ciclo actual,** se caracteriza por cerrar el ciclo del agua pero no el ciclo de los residuos. Se da en la mayoría ciudades de la Unión Europea.

Las ciudades toman los recursos que necesitan los utilizan y luego los vierten, pero el agua antes de ser arrojada al mar o ríos es tratada en plantas de tratamiento. De esta manera el agua cierra el ciclo regresando al mar, pero los residuos no terminan su ciclo, solo una parte de ellos es utilizada.

En este metabolismo el problema de contaminación en las superficies acuáticas teóricamente desaparece, porque el agua arrojada al río o mar debe alcanzar los estándares exigidos. Pero aun es necesario utilizar fertilizantes, para reponer la materia orgánica que se llevaron los alimentos. Porque todavía no se logra cerrar el ciclo de la materia orgánica.

**Ciclo futuro,** se caracteriza por cerrar el ciclo del agua y la materia orgánica. La ciudad toma los recursos que necesita de forma controlada. Las alcantarillas reciben agua de las zonas urbanas y agua de las zonas industriales tratadas, así el agua residual no contiene residuos tóxicos, solo agua y residuos sólidos útiles. Además las alcantarillas se dividen en pluviales y residuales, así se disminuye el trabajo a realizar en la planta de tratamiento. Las aguas residuales llegan a las plantas de tratamiento de donde sale agua que no contamina ríos ni mares y los residuos sólidos son tratados para volver a utilizarse, así pueden volver a comenzar el ciclo. De esta forma se cierra el ciclo del agua y la materia orgánica.

## Conclusiones

El hombre no solo utiliza el agua para consumir sino también como medio de transporte de la materia orgánica. Aquí es donde comienzan los problemas con el agua: problemas de escasez en el abastecimiento y el problema del manejo del agua residual. Porque la cantidad de agua demandada y a evacuar aumenta y el manejo se complica.

El problema del uso del agua en la ciudad presenta diversas facetas. La primera es el continuo crecimiento y el consumo descontrolado del agua. Actualmente el consumo de agua para uso doméstico se estima en unos 250 litros por persona al día.

Otro problema es que se toma el agua de los sistemas naturales sin tener en cuenta el uso al que se le va a dar al agua, aumentando así la presión en los sistemas naturales debido al suministro continuo. No debería utilizarse la misma calidad de agua para el lavado de coches, la irrigación de las zonas verdes, el uso doméstico e industrial.

En las tres primeras ciudades analizadas, Londres, París y Barcelona; luego de haber intentado por distintos caminos deshacerse del agua residual, finalmente llegaron a la misma solución. Que fue limpiar el agua residual antes de verterla a los ríos o al mar. Estas ciudades separaron la materia orgánica del agua y buscaron la manera de reutilizar la materia orgánica, aunque en la mayoría de casos solo reutilizan una parte.

Londres ejemplo de ciudad industrial trato por todos los métodos alejar lo mas rápido posible el agua residual. Primero la arrojó en el río, después la arrojó río abajo, pero siempre lograba el mismo resultado porque lo único que hacia era alejar el problema y no solucionarlo.

París y el Proyecto de García Faria trataron de alcanzar un metabolismo futuro, pero no lo lograron. En París el crecimiento de la ciudad dificultó el manejo del agua residual y tuvieron luego que seguir el metabolismo industrial porque lograba resultados a corto tiempo, pero con grandes costos a futuro, que no vieron hasta que el río se contamina.

En la ciudad de Lima se observa que antes del plan de mejoramiento del sistema de alcantarillados tenía un metabolismo industrial. En el que se extrae agua del río Rímac y la vierte luego en los ríos y en el Océano Pacífico sin ningún tipo de tratamiento, causando los problemas ya vistos, por la contaminación de las superficies acuáticas.

El Plan de mejoramiento del sistema de alcantarillados de Lima propone alcanzar un metabolismo futuro. En el cual se cerraría el ciclo del agua y el ciclo de la materia orgánica. Aunque hasta llegar a la capacidad deseada funcionaría con un metabolismo mixto; el industrial y el futuro. Porque no toda el agua sería tratada.

Se puede mencionar que la capacidad de agua a tratar en Lima cubre la demanda actual. Si la ciudad creciera, lo que significaría un aumento de agua residual, se tendría que ampliar la capacidad de las plantas.

La zona MESIAS propone reutilizar la mayor cantidad de agua y la materia orgánica, en cambio Taboada solo propone reutilizar la materia orgánica y el agua la arrojaría al mar. Siendo Taboada la planta de tratamiento con más capacidad, debería buscar formas de reutilizar el agua, para reemplazar usos de agua potable que no la necesita, como por ejemplo el riego de parques y jardines. Ya que Lima sufre de escasez de agua y aun una parte de ella no posee suministro.

El plan de mejoramiento de Lima soluciona los problemas de contaminación de los ríos y del mar de Lima. Alcanza cerrar el ciclo del agua y la materia orgánica, pero también podría solucionar disminuir el consumo de agua potable en Lima, reemplazando usos con agua tratada y así poder ampliar la capacidad de abastecimiento.

Luego de haber realizado esta tesina, se puede decir que es necesario para la sostenibilidad cerrar el ciclo de los nutrientes del agua residual doméstica en la ciudad. Y que realizando el análisis del ciclo del agua y la materia orgánica de una ciudad, se puede determinar la calidad de los sistemas de saneamiento de una ciudad.