

Sistemas urbanos alternativos para el biotratamiento y reciclaje de aguas residuales en colonias de bajos ingresos

Jan Bazant

Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco

Resumen

En México, los gobiernos locales no cuentan con suficientes recursos financieros ni reservas hídricas para extender las redes de infraestructura hacia asentamientos de población de bajos ingresos que atomizada y desordenadamente van ocupando las periferias de las ciudades. Se plantea en este artículo un “sistema urbano alternativo” que proporcione soluciones técnicamente viables al problema del abastecimiento de agua en las periferias. La canalización y tratamiento de aguas residuales por medio del uso de eco-tecnologías permitirá la reutilización de aquéllas en otros usos domésticos (WC, lavado, regadera). De esta forma se podrá mantener una constante dotación domiciliaria de agua en estos asentamientos, ya que el agua puede ser tratada y reciclada un sinnúmero de veces, reduciendo de manera considerable la contaminación ambiental.

Abstract

An alternative urban support system of the biotreatment and recycling of wastewater in low income settlements:
Local governments in Mexico do not count with sufficient financial resources or the sufficient water resources to extend the water supply infrastructure to low income settlements. These settlements are growing in a disorganized manner in the suburbs of the cities. This article describes an alternative «urban support system» that could provide low income urban settlers with a daily low volume supply of water by the bio-treatment (with eco-technologies) of their own wastewater. Because this water can be treated indefinitely, this will greatly improve the living conditions of these families, as well as will reduce the high level of pollution due to used wastewater spills in streets and ravines.

Marco de referencia del sistema urbano alternativo

Características del proceso de expansión urbana incontrolada

El sistema urbano alternativo (SUA) se inserta dentro de asentamientos irregulares de las periferias urbanas, por lo que resulta importante contar inicialmente con la noción de cómo se expande incontroladamente la ciudad. Este proceso es muy dinámico y consiste básicamente en la continua ocupación del territorio cuyas características más sobresalientes son (Bazant, 2001):

1. La expansión urbana de bajos ingresos en las periferias es un proceso de asentamiento de familias de bajos ingresos a muy bajas densidades, o sea, de muy alta dispersión, por lo cual ocupa todo el territorio sin importar

las cualidades de suelos, que en algunos casos pueden ser muy inadecuados para las construcciones (salinos, arcillas expansivas, inundables, con altos mantos freáticos), en algunos más pueden estar en zonas de reserva ecológica (bosques, tierras de cultivo o de recarga de acuíferos) y en otros tener problemas de elevadas pendientes, suelos volcánicos o estar sobre minas de arena o suelos inestables. Apparentemente no hay restricciones naturales a la expansión urbana incontrolada.

2. Después del asentamiento inicial atomizado prosigue un gradual pero constante proceso de consolidación o densificación, hasta que llega a 50 viviendas por hectárea. Al densificarse se van acabando y encareciendo los lotes disponibles, por lo que los nuevos pobladores que llegan deben de asentarse en una periferia aún más extrema, en donde continuamente se abre una amplia disponibilidad de lotes de bajo costo. Este proceso de ocupación atomizada inicial —gradual consolidación—, más expansión atomizada, continúa sucesivamente, mientras sigan llegando nuevos pobladores y haya disponibilidad de terrenos.
3. Este proceso es lineal e irreversible. Una vez que la tierra ha sido ocupada por asentamientos dispersos, prosigue irremediablemente su densificación y consolidación.
4. Este proceso es más o menos paralelo. No concluye la densificación de un asentamiento antes de empezar con la ocupación de otro. Más bien, conforme se van asentando las familias y se va densificando el asentamiento, paralelamente llegan otras familias a zonas más alejadas para formar otra población.
5. El proceso es muy explosivo y dinámico. Una vez que una zona ha sido ocupada por asentamientos, puede tardar de dos a tres décadas en llegar a la densidad media de 50 viviendas por hectárea. Esta es la densidad máxima de asentamientos de bajos ingresos, la cual es alcanzada cuando las familias cubren hasta 70 por ciento de su lote por construcción de su vivienda, y en etapa final de consolidación las casas llegan a contar con dos y hasta tres niveles.
6. Los asentamientos irregulares no respetan las normas urbanas oficiales en parte porque éstas son estáticas, es decir, porque establecen parámetros de uso y ocupación del suelo como si se realizaran las viviendas en una etapa. Las normas no reconocen la dinámica del proceso de construcción progresiva de la vivienda (Bazant, 2003a), cuyas condiciones van cambiando conforme las viviendas se construyen y los nuevos lotes van

siendo ocupados. Por ejemplo, cualquier vivienda de bajos ingresos puede iniciar su construcción para satisfacer las necesidades de una familia nuclear, pero puede cambiar a plurifamiliar cuando hay varias familias habitando el mismo lote. O bien, cuando las familias abren el frente para poner un negocio que puede brindarles un apoyo económico o cuando se va algún hijo y deciden adaptar el cuarto disponible para renta.

Para tener una idea de la magnitud de la expansión urbana incontrolada en las periferias, tomemos el caso de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. En 1950 tenía 3.1 millones de habitantes y creció a 18.7 millones en 2000. En ese periodo la mancha urbana se expandió de 24 059 hectáreas a 154 500 hectáreas estimadas; esto es, 130 441 nuevas hectáreas en 50 años, de las cuales los asentamientos de bajos ingresos ocupan aproximadamente de 68 por ciento, considerando su alto nivel de dispersión en el territorio. Esto significa un promedio de 2 600 nuevas hectáreas cada año y de acuerdo con su propia mancha urbana significa un incremento de entre seis y siete por ciento anual, una tasa mayor que la que tienen muchas ciudades medias del país. Es decir, en cada década la zona metropolitana vuelve a reproducir la superficie urbana que tenía hace 50 años.

Infraestructura de servicios

La política oficial seguida ha sido que el gobierno federal es el encargado de proporcionar a la sociedad gratuitamente, o al más bajo costo posible, los servicios básicos de educación, salud, abasto y redes de infraestructura, entre otros. Para ello los gobiernos populistas del pasado han tenido que subsidiar fuertemente estos servicios. Pero las crisis económicas recientes han mostrado las limitaciones de esta política, pues cada vez hay menos recursos financieros para afrontar la creciente demanda, particularmente de grupos de bajos ingresos que se asientan en las periferias urbanas. Las características más notables son:

1. El incremento demográfico en las ciudades significa un aumento en la demanda de agua, drenaje y otros servicios. No obstante, la norma oficial que establece una dotación de agua de 200 a 250 litros por persona por día (SAHOP, 1979a) no ha cambiado en 50 años, en tanto que los recursos hídricos del país prácticamente se han venido abatiendo a la mitad en este periodo, así como se ha incrementado casi 10 veces el costo de explotación,

canalización y distribución del agua. Por ejemplo, en el caso de la Ciudad de México, al gobierno le cuesta traer agua de acuíferos distantes de 1 113 a 1 831 dólares/m³ por segundo y únicamente cobra al consumidor de 0.23 a 0.28 dólares por m³ (Castañeda, 1997). Esto significa un subsidio cinco o seis veces superior al costo real del agua, lo cual tiende a agravar más el déficit público y, en el largo plazo, a hacer cada vez menos costeable mantener esta política de subsidios, pues los organismos de agua tenderán a quedarse sin recursos financieros para seguir invirtiendo en nuevas explotaciones y redes de distribución que permitan atender la nueva demanda. Por otro lado, esta política de subsidios, con su elevado costo de explotación y distribución y bajo nivel de tarifas, ha formado entre los usuarios la idea errónea de que el agua no cuesta, lo que promueve una actitud de dispendio frente a este recurso.

2. De acuerdo con la norma oficial, 80 por ciento del agua (SAHOP, 1979b) que tanto cuesta explotar y distribuir domiciliariamente es simplemente vertida al drenaje después de ser utilizada una sola vez, lo cual permite cuestionar nuevamente la irracionalidad del manejo del agua que sigue la política actual. Una vez entubadas en el drenaje, las aguas residuales son conducidas fuera de la ciudad y en el mejor de los casos a enormes plantas de tratamiento.
3. Esto es, el agua tratada es distribuida gratuitamente por los gobiernos locales en carros cisternas o pipas a las colonias populares de la periferia urbana que carecen del servicio entubado. El costo es una propina al chofer para que no se le olvide traer agua en el próximo reparto. El agua es entregada semanalmente y almacenada por las familias en varios tambores de 200 litros y utilizada a razón de 20 a 30 litros por persona por día (lpd), según nuestros datos de campo (Castañeda, 1997). Esto equivale a una cubeta o cubeta y media de consumo al día por persona que sólo alcanza para cubrir sus necesidades más elementales. Y las familias de bajos ingresos que habitan las extensas periferias deben de vivir con esta dotación aproximadamente durante dos décadas, en lo que los gobiernos locales van ampliando sus redes de distribución para irlos atendiendo (Bazant, 2003b). Así, después de décadas, de bajo consumo de agua, las familias de bajos ingresos llegan a valorar más el agua por su escasez que por lo que les cuesta.
4. No hay recursos financieros para extender las redes de infraestructura con la rapidez que se expande la periferia urbana ni tampoco hay recursos

hídricos para llenar las tuberías y satisfacer esta incesante demanda. En nuestro trabajo de campo hemos constatado que las redes de infraestructura se construyen dos o tres décadas después de establecidos los asentamientos irregulares, lo cual, como se comentó, condiciona a grandes sectores de población de bajos ingresos a tener dotaciones de agua a nivel de subsistencia. Pero aun si se contara con recursos, en un sentido práctico no es conveniente dotar de agua en las etapas iniciales de los asentamientos, pues ello sin duda propiciaría mayor expansión urbana incontrolada hacia periferias aun más distantes. Y por otro lado, tampoco se puede dar una mayor dotación de agua por medio de pipas si las colonias carecen de drenaje, pues ello incrementaría sustancialmente la contaminación por los vertidos a cielo abierto. Estos rangos de dotación de agua y tiempos de consolidación de los asentamientos fueron considerados como parámetros en el diseño del SUA.

Impacto ambiental de asentamientos de las periferias

La explosiva ocupación territorial tiene un devastador impacto sobre el medio ambiente, básicamente en dos formas:

1. El agua tratada que es surtida a través de pipas a las familias de bajos ingresos cuyos asentamientos carecen de redes de infraestructura, de acuerdo con nuestra información de campo, es aprovechada hasta en 70 por ciento en los quehaceres domésticos y aproximadamente 30 por ciento es desechada a cielo abierto, esto es, de seis a nueve litros por persona por día (Bazant, 2003b). Para beber y cocinar, las familias utilizan frecuentemente el agua en botellones de plástico de 20 litros, vendida comercialmente, y acompañan sus comidas con refresco embotellado. Cuando el asentamiento es de alta dispersión y baja densidad, el agua vertida no representa problemas, pues se filtra o evapora. Pero conforme se van consolidando los asentamientos y aumentan su densidad entre 100 y 200 habitantes por hectárea, el agua vertida en calles y barrancas empieza a concentrar entre 600 y 1 800 litros por hectárea por día. Aparentemente no es un volumen importante, pero si consideramos la masividad y extensión de los asentamientos irregulares de las periferias, podemos visualizar la enorme dispersión cotidiana de aguas residuales a cielo abierto que van generando severos focos de

contaminación, especialmente en asentamientos ubicados en planicies donde las aguas residuales tienden a encharcarse. En época de temporal, las aguas residuales se mezclan con las de lluvia y propician condiciones para enfermedades gastrointestinales; mientras que en época de estiaje se evaporan y contribuyen a agravar la contaminación atmosférica.

2. Cuando las familias de bajos ingresos se asientan dispersamente sobre un territorio, sus viviendas simplemente tienen que adaptarse a la topografía y condicionantes del terreno. Pero conforme se van ocupando los lotes baldíos y las familias van ampliando su vivienda sobre su propio lote, empieza a aumentar la densidad y también el terreno empieza a experimentar transformaciones importantes. Si hay una pendiente, las familias terracean el lote; si hay un árbol en la cercanía, lo podan para permitir el asoleamiento; pero si el árbol les estorba porque está en el lugar donde piensan construir su vivienda, pues entonces simplemente lo talan; si hay una barranca en la colindancia sobre su derecho de vía, construyen un muro de contención para ganarle unos metros más a su terreno; si tienen un patio en la entrada o parte posterior del lote, entonces le ponen un firme de concreto. Si este proceso individual de construcción de vivienda se traduce a escala urbana de una extensa periferia en donde existen miles o millones de procesos de asentamiento familiar que se llevan a cabo paralelamente (aunque cada uno con ritmo independiente), después de dos décadas el territorio sufre una transformación radical. De acuerdo con nuestro análisis sobre aerofotos en periferias urbanas (Bazant, 2001), 85 por ciento de las masas arbóreas desaparecen en este periodo y sólo queda 15 por ciento de tierra de antiguo uso agrícola que se conserva baldía, pero se torna especulativa. Eso, sin contar que la totalidad de las barrancas y cauces sufren severas alteraciones en su derecho de vía a lo largo de toda su longitud.

Características del sistema urbano alternativo

Con base en las consideraciones anteriores sobre la dinámica e impacto territorial que tiene la expansión urbana incontrolada de bajos ingresos, se plantearon los siguientes criterios para el diseño del sistema urbano alternativo, que a su vez se convirtieron en sus características.

Adaptarse a la dinámica de expansión y consolidación urbana

Los sistemas de infraestructura urbana tradicionales se conceptualizan como sistemas cerrados, es decir, se diseñan con base en una demanda de servicio fija, dentro de un territorio definido y siguiendo el patrón urbano según el cual se proponen las redes y sus componentes. En principio, el diámetro de las tuberías, las estaciones de bombeo y los tanques de almacenamiento, entre otros componentes, están calculados para dar servicio a una población definida, y en la medida que se agregan nuevos asentamientos en su entorno, el criterio oficial ha sido el de simplemente ir prolongando las redes para atender nuevas demandas, en detrimento de pérdida de eficiencia del sistema y, por supuesto, del abatimiento de su nivel de servicio. Como se ha mencionado anteriormente, una de las principales características de los asentamientos irregulares es la gran dinámica de cambio que tienen en el tiempo. De aquí que el primer criterio adoptado para el SUA es que su diseño sea un sistema abierto, que permita flexibilidad para absorber nueva demanda sin afectar ni su capacidad ni su nivel de servicio. Inclusive es necesario que tenga la capacidad de adaptarse a los diferentes patrones de parcelación urbana que suelen presentarse en los asentamientos irregulares.

Adaptarse a los cambios de densidad

Los sistemas cerrados de infraestructura están diseñados para atender la demanda de una población definida, e inclusive se puede prever que pueden atender una futura demanda de carácter fijo (digamos hasta 50 por ciento más de la demanda al momento del diseño). Pero es antieconómico e ineficiente anticipar una demanda que aún no existe, puesto que ello implica tender tuberías de mayor diámetro y construir estaciones de bombeo con tanques de almacenamiento del doble de capacidad que la requerida. Esto significa “enterrar” inversión por un periodo incierto, hasta que se densifique y la inversión logre el beneficio social esperado. Pero ningún gobierno local “entierra” inversión para cosechar resultados a largo plazo, pues restringiría su poder de realización y solución de problemas presentes. También hay que recordar que los asentamientos irregulares inicialmente tienen un alto grado de dispersión, que hace incosteable la recuperación económica y socialmente poco redituable la construcción de redes de infraestructura. Así es que a bajas

densidades poblacionales las soluciones tienen que ser individuales (por vivienda) y conforme incrementa la densidad, digamos a partir de 20 viviendas por hectárea, que es cuando las viviendas empiezan a tener una proximidad física, ya es viable empezar a proponer soluciones colectivas.

Escala urbana

Los asentamientos irregulares tienen una variedad de densidades poblacionales entre colonias y aun dentro de la misma colonia puede haber diferencias importantes de densidad, dependiendo de su ubicación y proximidad a las vías de acceso, lo cual provoca que algunas manzanas puedan consolidarse con mayor rapidez que otras. En un sistema cerrado, las redes se diseñan para cubrir necesariamente una extensión urbana determinada (una o varias colonias), ya que para funcionar como sistema éste debe de tener todos sus componentes: tuberías, estaciones de bombeo, tanques de almacenamiento, entre otros, sin que importen estas diferencias o variaciones de densidades. El sistema cerrado implica una elevada inversión, pues, en principio, el sistema no funciona sin una de sus componentes.

Participación comunitaria

La población de bajos ingresos, al asentarse en una colonia de la periferia, con frecuencia no conoce a sus vecinos. Conforme pasan los años y las familias viven experiencias similares, empiezan gradualmente a establecer contacto entre sí. No disponen de mucho tiempo ni de dinero para socializar, pero se conocen de vista y participan en actividades comunes, como cuando sus hijos juegan en la calle, los jóvenes hacen sus pandillas o equipos, las madres se apoyan entre sí para cuidarse la casa, los padres colaboran en las tareas de autoconstrucción o esporádicamente se prestan materiales, y después de algunos años las familias conocen quién es quién dentro de su cuadra. En ocasiones pueden organizarse para alguna faena común, como sería pavimentar o bachear la calle, o dar mantenimiento a las escuelas. Esta pequeña red social tejida en el espacio de una cuadra, que cuenta con 20 o 40 familias, fue considerado en el diseño del SUA como otro importante elemento.

Tiempo de instrumentación

La primera década del asentamiento irregular es de alta dispersión o baja densidad, por lo que en esta etapa únicamente son viables las soluciones individuales. En consecuencia, el sistema de biotratamiento debe de instrumentarse al inicio de la segunda década, cuando los asentamientos tienen densidades que fluctúan ente 20 y 40 viviendas por hectárea, y antes de la tercera década, que es cuando llegan hasta las 50 viviendas por hectárea. Esto es así porque una vez consolidadas las cuadras y calles resultará más laborioso negociar la ubicación de la torre metálica del biotratamiento (sobre cuál banqueta y pegado a qué linderos o viviendas), que cuando aquéllas están parcialmente baldías.

Sistema modular

El SUA basado en biotratamiento de aguas residuales está diseñado por módulos. Con objeto de evitar el dispendio de realizar un sistema que tenga capacidad sobrada para atender la demanda de los habitantes de una cuadra, se ha diseñado el sistema para que se pueda ir ampliando su capacidad agregando módulos de biotratamiento conforme se incrementan las necesidades de la comunidad. Esto también ofrecerá la flexibilidad para ajustar la capacidad del sistema por cuadras, según sea la densidad de población o la demanda de los residentes. De este modo se deja abierta la alternativa para que en el futuro, cuando el gobierno local decida ampliar la red de infraestructura, estos sistemas urbanos alternativos pudieran conectarse a la red municipal sin menoscabo de su eficiencia hidráulica.

Bajo costo y sencillez tecnológica

Las familias de bajos ingresos carecen en general de preparación o capacitación técnica. Por tal motivo, la última condicionante de diseño fue la de que el sistema urbano alternativo debería estar integrado por materiales de bajo costo que pudieran ser adquiridos en cualquier ferretería de la zona urbana, para permitir su fácil montaje y construcción *in situ*. En principio, el gobierno local debe de proporcionar los materiales y la supervisión técnica, y la comunidad, la mano de obra, tal como se ha realizado y realiza en diversos programas del

Estado, como la construcción de escuelas, de banquetas o la pavimentación de sus calles. Finalmente, el sistema de biotratamiento es, técnicamente, muy sencillo y fácil de montar y operar.

Sistema urbano alternativo (SUA)

Con base en las condicionantes de diseño mencionadas anteriormente, el SUA representa una opción técnica y económicamente viable para dotar de agua mediante el tratamiento de aguas residuales a extensos asentamientos irregulares de las periferias urbanas que tienen más de una década (y menos de dos) de establecidos. Es una opción que resuelve de manera práctica, eficiente e higiénica, las graves insuficiencias de abastecimiento de agua y parte de la contaminación ambiental que tienen las miles de colonias populares de las periferias. Sólo basta analizar las enormes limitaciones financieras, técnicas y de disponibilidad hídrica que tienen los sistemas tradicionales cerrados como para reconocer la necesidad de explorar nuevas alternativas en el manejo del agua, sobre todo a sabiendas de que las condiciones actuales tienden a agravarse y harán cada vez más difícil la dotación domiciliaria de agua y descarga individual a la red de drenaje municipal. Siendo un sistema abierto, SUA consiste básicamente en lo siguiente:

Componentes del sistema

El diseño básico se adapta a las condicionantes que tiene cada cuadra urbana. Si hay organización comunitaria puede instrumentarse en una cuadra, pero no afecta la operación del sistema si en la siguiente cuadra no hay organización comunitaria y no se instala en ella el SUA. Así es que este sistema tiene la flexibilidad de instrumentarse en una cuadra o en un grupo de ellas, dependiendo de que las condiciones topográficas e hidrográficas favorezcan el escurrimiento natural de las aguas residuales hacia puntos bajos. El SUA consiste básicamente en tres componentes (figuras 1 y 2):

FIGURA 1
PLANTA ESQUEMÁTICA DEL SUA EN UNA CUADRA

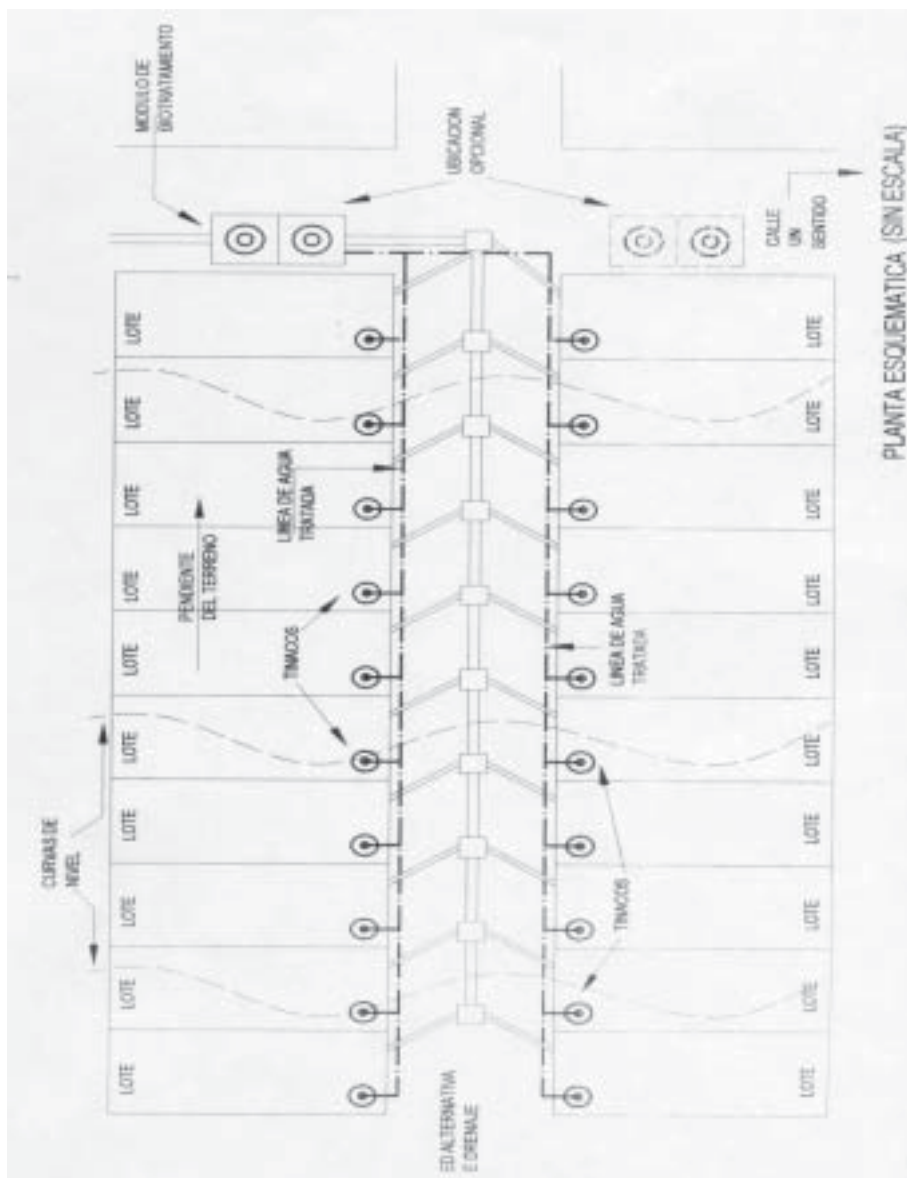
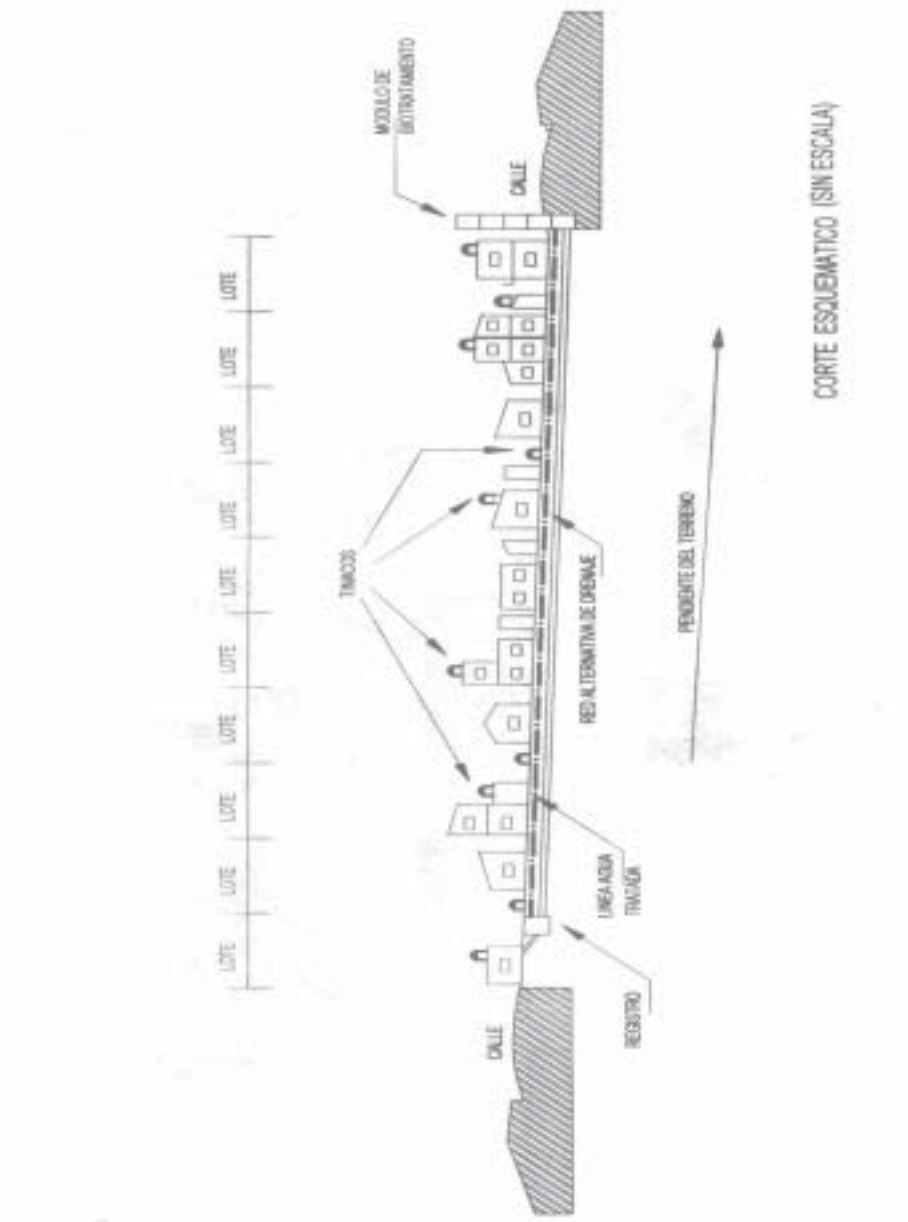


FIGURA 2
CORTE ESQUEMÁTICO DEL SUA EN UNA CUADRA (SIN ESCALA)



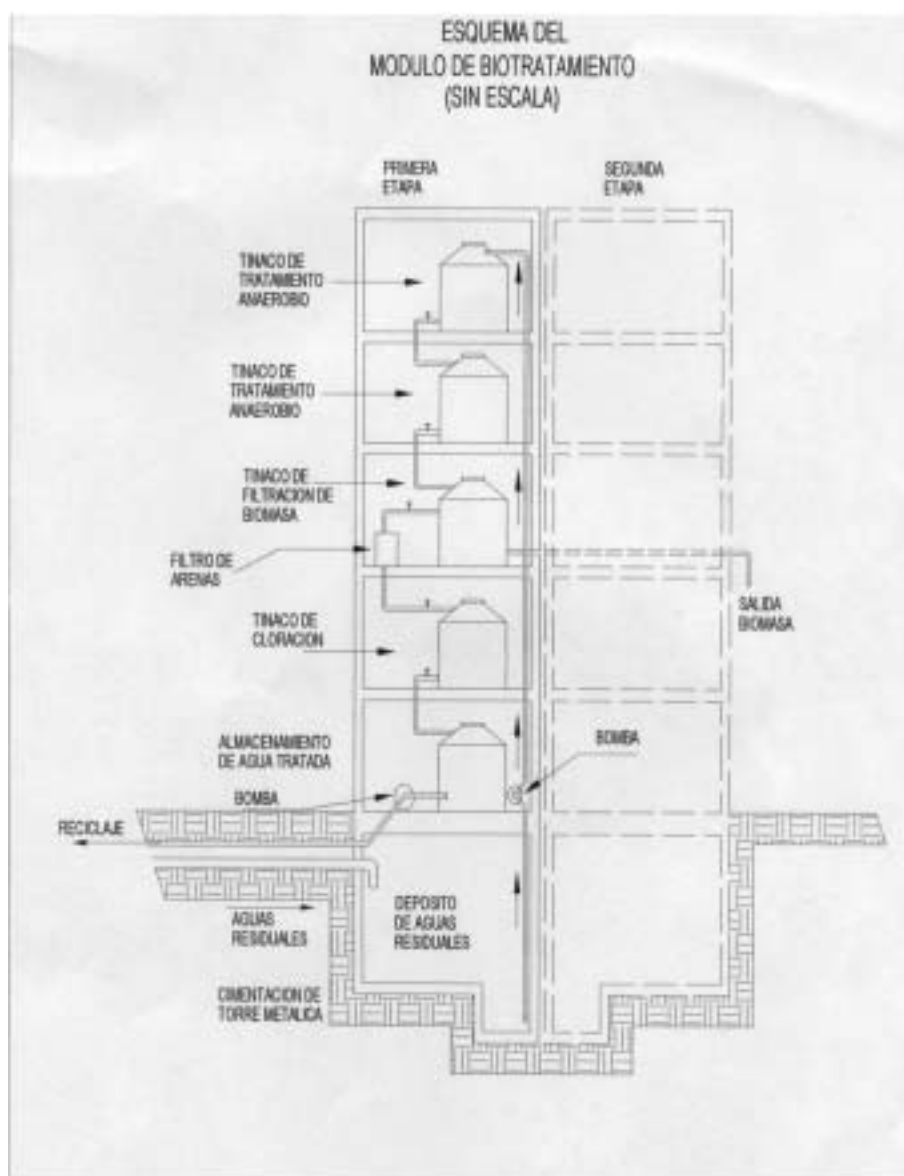
Línea de recolección de aguas residuales

Es una línea de PVC sanitario de 20 centímetros en tramos cortos (hasta 300 metros en los largos). La línea se tiende sobre la calle de terracería con una pendiente mínima de dos por ciento (el normativo oficial es dos al millar) pero la mayor pendiente asegurará un escurrimiento eficiente y que la tubería no se azolve. Para ello se recomienda que las colonias estén sobre lomeríos de pendientes suaves, pues si están, sobre terrenos planos la pendiente se debe lograr dándole profundidad a la tubería. Aproximadamente cada 20 metros sobre la línea colectora va un registro de 60 por 100, por entre 60 y 80 centímetros de profundidad, según sea el caso. Las viviendas se conectan únicamente a estos registros. Es importante tomar en cuenta que por ningún motivo esta línea deberá captar aguas pluviales, pues ello puede alterar sustancialmente los procesos anaeróbicos y aeróbicos en el biotratamiento, así como los volúmenes del biotratamiento que pueden sobrepasar por mucho la capacidad de los tinacos que se dispondrán para ese proceso.

Módulo de biotratamiento

El módulo consiste en una torre metálica vertical de cinco niveles, construida con ángulos de tres pulgadas en estructura, incluyendo contraventeos y dos pulgadas para soporte de los pisos de cada nivel. La torre tiene una dimensión de dos por cuatro metros, por una altura de 7.5 metros. En cada nivel se ubica un tinaco tipo Rotoplas de 1 100 litros, el cual tiene una función dentro del proceso de biotratamiento del agua residual. El módulo se ubica sobre la banquetta, en la cota baja, a manera de que pueda interferir en lo mínimo con el futuro tránsito vehicular. La torre tiene el espacio para alojar otra batería de cinco tinacos verticales cuando la demanda incrementa, es decir, está diseñado para duplicar su capacidad manteniendo su eficiencia en el biotratamiento, ya que los procesos entre las dos baterías de tinacos verticales son paralelos pero independientes entre sí (figura 3).

FIGURA 3
ESQUEMA DEL MÓDULO DE BIOTRATAMIENTO (SIN ESCALA)



Línea de reciclaje de agua tratada

Esta línea es de PVC hidráulico de dos pulgadas, tendida sobre la banqueta a entre 30 y 40 centímetros de profundidad. El último tanque tipo Rotoplas almacena el agua tratada y a su costado se ubica una bomba de dos caballos de fuerza (HP) de dos pulgadas, que bombea el agua pendiente arriba hacia las viviendas. Dado que el flujo de descarga residual, el biotratamiento y el reciclaje de agua tratada es constante, se ha recomendado que cada familia tenga su propio tinaco tipo Rotoplas al interior de su vivienda, en cual regulará la entrada de agua tratada con un electronivel. Esto significa que el primer beneficio directo a obtener es que las familias de bajos ingresos podrán contar con agua para un *water closet* (WC), fregadero y lavadero, instalaciones que recibirán el agua tratada y a su vez la desecharán como agua residual que será canalizada para realizar nuevamente su biotratamiento. Y así sucesivamente.

Capacidad del sistema

A muy bajas densidades, los excrementos humanos vertidos en la letrina al fondo del lote y los líquidos residuales vertidos sobre la calle son absorbidos o reciclados por el medio natural. Pero conforme incrementa la densidad de población paralelamente aumenta el volumen de materia fecal que se deposita en las fosas sépticas y el volumen de aguas residuales que se vierten a cielo abierto, los cuales con el tiempo empiezan a dejar de ser procesados por el medio ambiente hasta que lo van saturando y contaminando. Al ubicarse asentamientos humanos en las periferias, alejados de las redes de infraestructura, a medianas densidades ya se vuelve necesario empezar a instrumentar soluciones colectivas que resuelvan el problema tanto de dotación de agua comunitaria como de eliminación de la contaminación provocada por desechos humanos y aguas residuales. Según nuestros datos de campo, un adulto de bajos ingresos que habita en la periferia produce un estimado de uno a 1.3 kilos de materia fecal al día y de 1.5 a 1.8 litros de orina en el mismo lapso, aunque no realizamos muestreo de campo de excretas de infantes, hemos estimado que sus excrementos no sobrepasan 50 por ciento de lo que producen los miembros mayores de 18 años en una comunidad de este tipo. Así es que si lo traducimos en términos de familia extendida compuesta en general por cinco a seis miembros, de los cuales entre dos y tres son adultos, y entre cuatro y dos menores, tendremos unos

parámetros de 3.5 a 4.5 kilogramos de material fecal y de 4.5 a 6.75 litros de orina al día por familia. Si consideramos que en una cuadra urbana de una longitud promedio de 100 metros habitan aproximadamente 20 familias en un inicio, esto representa un volumen de 70 a 90 kg de excretas y 90 a 135 litros de orina al día, en cada cuadra del asentamiento. Adicionalmente, hay que considerar las aguas residuales de seis a nueve litros por persona por día, es decir, de 30 a 54 litros de aguas jabonosas diarios por familia, que se traducen en 600 a 1 080 litros diarios en la cuadra. A esto habrá que agregar seis litros de agua cada vez que se descarga el WC, lo cual genera un volumen adicional de 120 a 216 litros al día, considerando una media de 4 idas al baño por miembro, lo que se traduce en 2 400 a 4 300 litros al día en la cuadra de 20 familias. Finalmente, se estima que el uso de la regadera y fregaderos dentro de una vivienda representa un volumen similar al del WC (Bazant, 2003b). En resumen, tenemos un volumen medio que fluctúa entre 5 500 y 10 000 litros de aguas residuales al día entre los que están disueltas las excretas. Pero conforme incrementa la densidad demográfica hasta 40 viviendas por hectárea en el lapso de una década (que es el tiempo de instrumentación del SUA), se duplicará también el volumen de excretas, orina y aguas jabonosas a diario, hasta llegar a 20 m³/día de capacidad.

Proceso de biotratamiento

El sistema de biotratamiento está diseñado para funcionar en una secuencia de fases distintas pero interdependientes entre sí, de tal manera que permitan el monitoreo, su evaluación (APHA *et al.*, 1992) y en un momento dado, tomar medidas correctivas puntuales sobre cada fase. Por economía, gran parte del sistema funciona por gravedad, es decir, durante el biotratamiento, las aguas pasan de una fase a la siguiente sin ayuda mecánica. Las fases de las que consta el biotratamiento de aguas residuales son, en términos breves, las siguientes:

1. La fosa de recolección concentra las aguas negras y grises residuales provenientes de la línea de alcantarillado sanitario de la cuadra urbana. Esta fosa forma parte de la cimentación de la torre metálica (figura 3). Tiene dos por cuatro metros, por dos a tres metros de profundidad, pues debe de tener una sobrada capacidad de almacenamiento para que permita regular el bombeo. Parte de la fosa tiene un sencillo sistema mecánico de aspas, cuyo propósito es fragmentar los sólidos en suspensión

para que puedan ser bombeados. Sobre la tapa superior de la fosa tiene una caseta con dos bombas eléctricas de dos HP con salidas de dos pulgadas para una pichancha y una salida de 1.5 pulgadas para bombear las aguas al tinaco superior, las cuales funcionan alternadamente por mantenimiento.

2. Una vez bombeada el agua residual al tinaco superior de la torre, inicia el proceso de biotratamiento, cuya primera fase es anaerobia. Dentro del primer tinaco se colocan soportes de polietileno cuyo propósito es generar biopelículas que activan el proceso de degradación de materia orgánica, y de la parte inferior del tinaco sale el tubo que alimenta el tinaco inferior. Siempre en el tramo entre dos tinacos se ubica una llave de globo para cerrar el flujo y una llave de paso para obtener muestras, vaciar el tinaco por mantenimiento o para derivar el flujo hacia otro recipiente.
3. El segundo tinaco sigue un proceso aerobio. En su interior se inserta un tubo de polietileno de 30 cm de diámetro que permite que el agua que se vierte al centro pueda escurrir hacia sus costados para activar el proceso de oxidación de la materia. La exposición e inyección de aire a las aguas residuales mantiene vivos a los microorganismos que degradan la materia orgánica. El agua de los costados fluye por gravedad hacia el tinaco inferior.
4. El tercer recipiente sirve para decantar el agua tratada y para remover la biomasa residual a través de un conducto que la saca fuera del proceso y periódicamente es recolectada por un camión municipal.
5. El agua tratada remanente fluye por gravedad hacia dos filtros laterales que son utilizados alternadamente por mantenimiento. Al pasar por el filtro de gravas finas y arenas el agua tratada se clarifica. Una vez saturadas de partículas residuales remanentes, las gravas y arenas del filtro deben ser cambiadas por otras iguales; pero para no suspender el proceso de clarificación se desvía el flujo hacia el filtro alterno.
6. Una vez clarificada el agua tratada, fluye al cuarto tinaco, donde es desinfectada por cloración y por gravedad desciende a la batería de tinacos que están a nivel del terreno. Estos tinacos de almacenamiento de agua están interconectados en su parte inferior para que el agua almacenada siempre mantenga un nivel. Finalmente, adosada a esta batería de tinacos está otra caseta con dos bombas de 2HP de 1 pulgada de entrada y salida, las que alternadamente se utilizan para bombear y reciclar el agua a las viviendas.

Costo

El bajo costo del sistema urbano alternativo se debe a que el concepto favorece canalizar, dar biotratamiento y reciclar volúmenes de agua ubicados en un mismo sitio, por lo que se eliminan longitudes de tuberías, costosos equipos de bombeo y de tratamiento, así como los enormes tanques de almacenamiento. Además, se utilizan materiales comunes y baratos, al tiempo que se aprovecha la disponibilidad de la mano de obra de la comunidad. El costo de construcción del SUA, considerando básicamente los materiales, es del orden de 400 000 pesos e incluye la línea sanitaria de conducción de aguas residuales con registros, el módulo de biotratamiento (la torre metálica, tinacos y bombas) y la línea hidráulica de reciclaje de agua tratada con válvulas. La mano de obra es aportación de la comunidad y la autoridad local supervisa y respalda la operación. De acuerdo con la normatividad oficial hidráulica y sanitaria, debe de estimarse una duración de entre 15 y 30 años respectivamente en las obras. Así es que si consideramos a una población inicial de 20 familias y final de 40 familias (alrededor de 120 a 240 habitantes) en la cuadra, tendremos un costo que varía entre los 1 660 y los 3 330 pesos por miembro de la comunidad. Pero si prorratamos este costo entre 15 años nos da una cantidad de entre 110 y 222 pesos por miembro por año, aunque si consideramos 30 años o más (como suele suceder) en la duración de la obra, este costo se reduce a la mitad. Por otro lado, si deseamos obtener el costo por litro reciclado dividimos el costo total entre los 10 000 litros que puede tratar el SUA inicialmente y nos arroja un costo de 20 pesos por litro, sin subsidios. Este costo lo pagará el usuario una sola vez, ya que la misma agua se podrá reutilizar un número indeterminado de veces, mientras se le dé el mantenimiento establecido al sistema. Así es que después de 15 años de uso de la misma agua, el litro les vendrá costando una fracción decimal de peso.

Reflexión final

El SUA tiene una capacidad inicial de biotratamiento de 10 m³ para atender a 20 familias establecidas en una cuadra con 100 a 120 habitantes, a los cuales ofrece una disponibilidad de 80 a 100 litros por persona al día. Al duplicarse la población en una década, también se podrá duplicar la capacidad del módulo de biotratamiento, lo que permitirá mantener similares niveles de consumo. Esto

es el triple del volumen de agua de lo que consumen actualmente las familias de bajos ingresos. Con esto podrán disponer permanentemente de agua tratada entubada, lo que mejorará sustancialmente sus condiciones de vida, higiene y confort por la presencia de WC, regadera y fregadero. Paralelamente, se abatirán los índices de contaminación del medio ambiente, pues se dejarán de realizar vertidos a cielo abierto de estos volúmenes de agua residual.

Como se ha expuesto, el sistema urbano alternativo ofrece una solución práctica y viable para dotación de agua en asentamientos irregulares ubicados en las extensas periferias urbanas. No obstante, experimentalmente está diseñado para una cuadra de 20 viviendas iniciales, que pueden duplicarse en una década; de hecho, el sistema ofrece la suficiente flexibilidad para adaptarse a mayor o menor demanda, dependiendo de las características de cada colonia popular. Pero para hacer un impacto en la solución del problema de dotación de agua dentro de grupos mayoritarios de bajos ingresos que ahora no la tienen, se requiere que el gobierno local promueva decididamente el SUA ante comunidades organizadas y para tal efecto fomente activamente mayor organización comunitaria para su difusión. Este es, sin duda, el mayor reto que enfrenta el SUA.

Bibliografía

APHA, WEF y AWWA, 1992, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, Washington.

BAZANT, Jan, 2001, *Periferias urbanas. Expansión urbana incontrolada de bajos ingresos y su impacto sobre el medio ambiente*, Trillas, México.

BAZANT, Jan, 2003, *Viviendas progresivas. Las familias de bajos ingresos y sus viviendas*, Trillas, México.

BAZANT, Jan, 2003a, *Guía práctica. Soluciones urbanas para asentamientos irregulares*, Trillas, México.

BAZANT, Jan, 2003b, *Manual de diseño urbano*, Trillas, México.

CASTAÑEDA, Víctor, 1979, *Normas de proyecto para obras de alcantarillado sanitario en localidades urbanas de la republica mexicana*, México.

CASTAÑEDA, Víctor, 1997, "Gestión integral de los recursos hidráulicos", en Roberto Eibenschultz (comp.), *Bases para la planeación del desarrollo urbano de la Ciudad de México*, ed. Porrúa, México.

SAHOP, 1979, *Normas de proyecto para obras de aprovisionamiento de agua potable en localidades urbanas de la republica mexicana*, México.