

Gestión sostenible del agua y de los residuos en zonas urbanas

Ralf Otterpohl^{*}, *Matthias Grottker*^{**} y *Jörg Lange*^{***}

^{*} Otterpohl Wasserkonzepte, Kanalstrasse 52, D 23552 Lübeck, Alemania

tel: +49-451-70 200-51, fax: -52, e-mail: OTERWASSER@T-online.de

^{**} Fachhochschule Lübeck, FG Siedlungswasserwirtschaft, Stephensonstr. 3, D 23562 Lübeck, Alemania

tel: +49-451-500-5155, fax: -5079

^{***} ATURUS, Holbeinstr. 19, D 79100 Freiburg, Alemania

tel: +49-761-72 467, fax: -40 73 95

R E S U M E N

El sistema habitual de alcantarillado y las estaciones de depuración aerobia de aguas residuales (EDAR), no deberían considerarse como la única solución posible para el saneamiento. Los sistemas con separación en origen pueden evitar muchos problemas de la tecnología empleada en el vertido, al tener en cuenta las diferentes calidades de las aguas residuales y darles un tratamiento adecuado para su reutilización.

Las diferentes calidades de los residuos y de las aguas residuales en los asentamientos humanos, y la tecnología apropiada para su tratamiento pueden ser:

1. heces poco diluidas con o sin orina y residuos biológicos: compostaje o digestor anaerobio (fermentación),
2. aguas grises: planta aerobia con filtro biológico,
3. agua de lluvia: tratamiento y filtración,
4. residuos no biodegradables: reutilización como materia prima.

Con el fin de llevar a cabo la gestión de recursos, el material que procede de la agricultura debería retornar al suelo como fertilizante. A esto se añade, y es de gran importancia, la materia orgánica. Ésta contribuye al mantenimiento o la formación de la capa de humus y crea un depósito para el carbono cuando aumenta el contenido de éste en el suelo. También se ahorra energía: el tratamiento aerobio con nitrificación que requiere gran cantidad de energía, queda obsoleto; así como la producción de la correspondiente cantidad de fertilizante artificial.

Un proyecto piloto para un nuevo barrio de 300 habitantes en Lübeck, Alemania, demostrará la conveniencia de un nuevo sistema integral con sanitarios al vacío (en vez de los sanitarios con descarga de agua) y tuberías para la recolección de aguas negras. Este agua se mezclará con residuos biológicos triturados y alimentará a una planta semiseparativa de biogás que produce fertilizante líquido sin desecación. Las aguas grises se tratarán con sistemas descentralizados de filtro biológico. El agua de lluvia se recoge, se almacena y se filtra con un sistema de zanjas. De esta manera se pueden evitar en este asentamiento los costosos sistemas centralizados de alcantarillado. El consiguiente ahorro se emplea en la

financiación de la infraestructura explicada anteriormente.

Palabras clave = **Saneamiento sostenible, sanitarios al vacío, alcantarillado al vacío, tratamiento de aguas residuales, planta de biogás, energías renovables, tratamiento anaerobio, digestor, compostaje, lechos filtrantes artificiales, residuos domésticos, residuos orgánicos, nutrientes, agricultura, calentamiento global, concentración de materia, comunidades sostenibles, eco-ciudad, planeamiento urbano.**

Desventajas del concepto tradicional de saneamiento en los países industrializados

Las plantas de tratamiento de residuos centralizadas resuelven el acuciante problema de la contaminación de forma eficaz y requieren una capacidad de tratamiento por habitante relativamente pequeña. Los colectores de descarga pueden ser una forma muy eficaz de transporte si tienen una longitud razonablemente pequeña por habitante. Sin embargo, hay varias desventajas que resultan excesivamente importantes con la actual propagación por todo el mundo de este tipo de sistemas si se considera a largo plazo.

El concepto tradicional de saneamiento de los países industrializados produce flujos lineales de materia que provocan la acumulación y la mezcla de los ciclos de la alimentación y el agua. La reutilización de materiales y el vertido de los flujos en lugares adecuados es limitada.

Imagen 1.- Flujo lineal de materia en el sistema de saneamiento tradicional en los países industrializados.

La cuestión de los flujos de carbono ha de tenerse en cuenta también en la gestión del agua y de los residuos en las ciudades [Strong y Arrhenius, 1993; Arrhenius, 1992]. Para el fósforo hay que considerar, como factor más importante, la influencia de la gestión del agua en las ciudades sobre los flujos de materiales que contienen fósforo como componente principal [Beck et al. 1994]. En el trayecto desde su extracción, su paso por la ciudad y a través del sistema de saneamiento urbano, el fósforo pasa de un estado no absorbible a una forma soluble que termina en las masas de agua. Muchas de las desventajas del sistema unificado de alcantarillado que se enumeran abajo son muy conocidas, otras raramente se señalan:

- Las pérdidas de nutrientes, incluso en las mejores estaciones de depuración posibles, son de más del 20% de nitrógeno, más del 5% de fósforo y más de un 90% de potasio. Los nutrientes perdidos se acumulan en el mar. Los recursos de fósforo y potasio que se utilizan en reponer estas pérdidas estarán casi agotados en un período preocupante (un orden de magnitud de 10 generaciones, con una amplia variación según las diferentes publicaciones).
- Una alta demanda de energía para la destrucción de los componentes orgánicos de las aguas residuales y para la nitrificación. Junto a éstos, la síntesis de amoníaco a partir de nitrógeno para la producción de fertilizantes, requiere una gran cantidad de energía.

- La pérdida de potasio y la elevada contaminación de los lodos del alcantarillado hacen casi imposible su uso como fertilizante agrícola. La ausencia de reciclaje de los componentes orgánicos humanos y de los residuos biológicos para el suelo hacen que no se mantenga la capa de humus y no forman un depósito de carbono al aumentar el contenido de éste en el suelo.
- Es necesaria una gran cantidad de agua para trasladar los residuos humanos a las plantas de tratamiento (lo que conduce a desastres especialmente en las áreas metropolitanas donde el agua es escasa).
- Existen problemas higiénicos al recoger el agua desbordada de la recogida combinada y los efluentes de las estaciones de depuración de aguas residuales (EDAR). Estos problemas se agudizan en los países con un bajo nivel de ingresos, en los que no existe un tratamiento adecuado (aunque existan plantas, a menudo se inutilizan en un par de años).
- La presencia conjunta de azufre con otros metales pesados puede llevar a su combinación con dichos metales.
- Exige elevados costes de reparación y funcionamiento del sistema de saneamiento y de las plantas de tratamiento de residuos. La mayoría de los ayuntamientos no reparan el promedio anual del 1 al 2% del sistema de saneamiento y tratamiento que se requiere en los sistemas con un período de duración de 50 a 100 años.
- Un escaso sentido de responsabilidad por parte de los usuarios en cuanto al ciclo del agua y al destino de las sustancias contaminantes debido a la invisibilidad e invulnerabilidad (principalmente por la disolución, y no degradación final de las sustancias químicas) de la infraestructura de recogida de aguas residuales en el entorno local.

Los efectos de los puntos mencionados no presentan una situación límite. Sin embargo, contienen un fuerte potencial para una lenta degradación de los sistemas naturales de producción de alimentos y pesca. Con tales expectativas, la injusticia social puede aumentar por la subida de los precios del agua y los alimentos.

Las desventajas del sistema unificado de recogida de aguas residuales indican la necesidad de una evaluación de nuevos conceptos y su comparación con el enfoque tradicional. Además, la extensión de este planteamiento por todo el mundo requiere un desarrollo adicional de sistemas apropiados para las diferentes regiones geográficas y condiciones sociales, teniendo siempre en cuenta las necesidades globales.

Evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de saneamiento

Es muy difícil encontrar un enfoque científico para definir la sostenibilidad de los sistemas de saneamiento. Algunos de los métodos posibles para obtener información adicional acerca del funcionamiento de los sistemas, son los Métodos de Análisis del Ciclo del Agua (SETAC, 1993), el concepto MIPS (concentración de materia por unidad de servicio, relacionado con la masa y la energía) [Schmidt-Bleek, 1993] y el Índice de Sostenibilidad (uso del suelo) [Moser, 1994]. Sin un asesoramiento adecuado, el concepto de sostenibilidad a menudo se utiliza mal, al calificar a la ligera como "sostenibles"

mejoras tecnológicas convencionales. En cuanto al ciclo del agua en la ciudad deben considerarse los cuatro principios siguientes:

- Un menor uso de energía y materiales para el mismo o mayor número de actividades.
- Que no exista transferencia de problemas en el espacio ni en el tiempo ni a otras personas.
- Que no exista reducción o degradación de los recursos hídricos o de suelo, incluso a largo plazo.
- La integración de las actividades humanas preferentemente dentro de los ciclos naturales.

Estos principios ideales pueden llevar a la mejora de los sistemas de alcantarillado y tratamiento del agua. El sistema unificado tradicional no permite seguir la mayoría de estos principios.

Actualmente se está realizando un estudio MIPS (concentración de materia por unidad de servicio) para comparar el sistema tradicional con el sistema al vacío propuesto en este artículo y con un sistema basado en el compostaje de las heces con los residuos orgánicos [Reckerzügl, 1997]. Los resultados provisionales indican algunas mejoras importantes en los sistemas separativos y semiseparativos en lo que se refiere a la concentración de los materiales (en el sistema convencional hay una alta concentración), al consumo de energía y a la cantidad de contaminantes y nutrientes vertidos a las aguas. Los resultados se presentan a continuación más ampliamente. El inconveniente de este método es que ambos sistemas tendrían que alcanzar el mismo nivel de servicio. Sería más realista incluir en cada sistema el coste de producción de los fertilizantes necesarios, en el caso de que el nitrógeno, el fósforo y el potasio se desperdicien.

Clasificación de los residuos domésticos y de las aguas residuales en relación con los sistemas separativos de saneamiento

El proceso de definición de un sistema diferente de saneamiento comienza con un estudio de los diversos residuos y componentes de las aguas residuales. La clasificación de los residuos de los asentamientos humanos lleva a cuatro grupos representados en la tabla 1. Se incluyen también los métodos de tratamiento adecuados.

Tabla 1.- Clasificación de los residuos domésticos y las aguas residuales para los procesos de tratamiento apropiados

| Clasificación del tratamiento | Tratamiento apropiado | |
|---|--|---|
| Grupo 1 Residuos sólidos biodegradables y heces poco diluidas con orina (o posterior separación de orina) | Anaerobio o compostaje (procesado de la orina) | Relacionado con el ciclo de los alimentos |
| Grupo 2 Aguas grises con muy pocos nutrientes (de los baños, lavadoras y cocinas) | Aerobio con plantas con filtro biológico | Relacionado con el ciclo del agua |
| Grupo 3 Aguas pluviales | Uso y filtración local | Relacionado con el ciclo del agua |
| Grupo 4 Residuos sólidos no biodegradables (pequeña fracción con reutilización de los embalajes) | Procesamiento para convertir en materia prima | |

El grupo 1 contiene casi todos los nutrientes: nitrógeno, fósforo y potasio. La mayoría de ellos están concentrados en la orina. La separación de las heces y de la orina de las aguas residuales domésticas puede considerarse como el paso más importante hacia un planteamiento sostenible del uso del agua. Además de los sistemas de compostaje, que no suelen ser bien aceptados por la gente y que deberían desarrollarse más, los inodoros al vacío conectados a digestores anaerobios parecen ser una tecnología prometedora para recoger las heces y la orina y tratarlas junto a los residuos orgánicos. Estos sanitarios se escogieron para el sistema integral que se describe en detalle a continuación, ya que parecen combinar comodidad y fiabilidad. Se pueden utilizar alternativamente sistemas de inodoros de descarga con separación o sistemas que necesiten poca cantidad de agua para la descarga.

El desarrollo de inodoros óptimos es un tema clave para la implantación de los sistemas sostenibles de saneamiento. Es también importante facilitar el ahorro de agua limpia que cada vez escasea más en muchas partes del mundo. A menudo, hasta los últimos modelos de inodoros funcionan bastante mal aunque utilicen grandes cantidades de agua. Sería muy beneficiosa una optimización científica con un diseño adecuado teniendo en cuenta las demandas de separación. Un primer paso puede ser empezar a instalar inodoros que separen la orina incluso sin hacer, por ahora, un mayor uso de la separación. Estos inodoros existen [Lange y Otterpohl, 1997] y pueden reducir la cantidad de agua necesaria para la descarga a un total de menos de 10 litros por persona y día. La cazoleta de la orina necesita una descarga de sólo 200 mililitros, la cazoleta de las heces puede ajustarse según las necesidades locales (por ejemplo con la pendiente de las tuberías). Estos inodoros son rentables económicamente y permiten un cambio en el futuro hacia los sistemas sostenibles. Basándose en este sistema de separación en origen, el sistema ANS [Larsen y Gujer, 1996] e incluso los sistemas de biogás pueden implantarse en el futuro.

En el siglo XIX (1873) Lienur construyó un sistema separativo en los Países Bajos con tuberías al vacío para las aguas negras. El propósito era no contaminar el agua y devolver los nutrientes al suelo. Este tipo de sistemas prestaban servicio a miles de personas en Amsterdam y en otras ciudades. Sin embargo en esa época había algunos problemas técnicos que impidieron que se extendieran.

Gestión del agua urbana y calentamiento global

El carbono tiene un papel importante en el balance de materia en los sistemas urbanos de alcantarillado. Este problema se une al uso de las fuentes fósiles de energía (con emisión de CO_2) para tratamientos aerobios y nitrificación, lo que causa también una rápida emisión de carbono a la atmósfera (considerando que el tratamiento anaerobio puede reemplazar en parte a las fuentes fósiles de energía). También existe la cuestión de la posible creación de un depósito de carbono en la capa superficial del suelo por el vertido de materiales tratados que contengan carbono. Ésta es casi la única posibilidad de una acción antropogénica contra el calentamiento global, además del ahorro de energía de origen fósil y de detener la deforestación. Junto a esto, el aumento del contenido de carbono en el suelo mejora la fertilidad y evita una mayor degradación. [Arrhenius, 1992]. El sistema tradicional de evacuación devuelve, en las mejores circunstancias, sólo una pequeña proporción de carbono al suelo, incluso cuando todo el lodo se utiliza para la agricultura. La imagen 2 presenta una comparación del mejor escenario posible de un sistema tradicional de compostaje de residuos orgánicos (todavía poco frecuente en áreas urbanas) con un sistema de tratamiento anaerobio separativo de las heces, la orina y los residuos orgánicos.

Imagen 2.- Balance estimativo del carbono

Para las estaciones depuradoras de aguas residuales, se dio por sentado el uso del lodo en la agricultura. En la práctica esto es imposible muchas veces, debido a las altas concentraciones de metales pesados y microcontaminantes en el lodo, como consecuencia de la recogida y tratamiento unificados. En cuanto al balance energético, el sistema anaerobio ahorra la energía de aireación y produce gas útil que sustituye a las fuentes fósiles de energía, por ejemplo en las plantas de cogeneración de calor y electricidad.

Conceptos para un saneamiento sostenible en las zonas urbanas incluyendo climas diferentes

Hay una gama amplia de soluciones para conseguir unos sistemas de saneamiento más sostenibles, considerando las diferentes calidades del agua. Hay muchos conceptos tradicionales en diferentes áreas del mundo con ciertas ventajas. Algunos conceptos y ejemplos de sistemas de saneamiento más sostenible, económica y técnicamente viables, pueden ser:

1. "Sanitarios al vacío" (vacuum closets (VC) en inglés), tratamiento anaerobio con higienización y tratamiento conjunto de residuos domésticos orgánicos (plantas de biogás), aplicación del fertilizante líquido producido a la agricultura en las épocas de cultivo (plantas de biogás separativas y semiseparativas con tuberías al vacío, plantas opcionales de biogás más grandes y granjas con capacidad relacionadas con las necesidades de nutrientes y con almacenamiento y utilización del gas).
2. El compostaje de heces y residuos domésticos orgánicos, aplicación del compost a la agricultura (se necesitan algunos cuidados por parte de los usuarios, casas de más de 3 pisos, uso de la disolución filtrada para el jardín, volteo del compost en la estación apropiada). La humedad debe mantenerse en un rango del 50 al 60%, lo que es difícil en los climas cálidos.

3. El secado de las heces en los climas cálidos en aseos de desecación con paneles solares, la humedad debe ser menor del 20% [Winblad, 1996], el control es sencillo (mejor cuanto más seco). Para este sistema, existen problemas en los países en los que la limpieza anal se hace con agua. Es posible la reutilización para la agricultura después de un almacenaje suficiente. No es apropiado en climas fríos, requiere un gran cantidad de energía.
4. Sistemas de descarga con agua tradicionales con aseos que separan la orina (además ahorran la mayor parte del agua); almacenaje separativo de la orina estabilizada y descarga por control remoto al sistema de alcantarillado a primeras horas de la mañana, de acuerdo con el tiempo necesario de transporte; tratamiento de los fluidos con alta concentración de nutrientes, recogidos en la estación depuradora de aguas residuales [Larsen y Gujer, 1996]. (Es posible la mejora dentro de las estructuras existentes, aunque es necesario una pendiente suficiente en la recogida).
5. Aseos de descarga de agua (water closet (WC) en inglés), tratamiento aerobio sin nitrificación, digestor para el lodo, uso de los efluentes para el riego y como fertilizantes, lodos no contaminados para la agricultura. (Sólo en los países sin estación invernal, o con invernaderos o acuicultura).

La tabla 2 da una visión posible sobre las ventajas y desventajas de las distintas soluciones. La tabla intenta dar una idea poco precisa; sin embargo, las visiones generales son difíciles debido a la amplia variedad de aspectos para cada caso. El sistema tradicional de los países industrializados con aseos de descarga (WC), sistemas unitarios de alcantarillado y plantas de tratamiento avanzadas se muestra en la columna número 6 para comparar. Los impedimentos sociales o religiosos deben tenerse en cuenta para cada sistema a la hora de implantarlo en un determinado lugar. Todos los planteamientos no separativos pueden modificarse con la separación en origen de la orina. Para las estrategias 1 y 3, el tratamiento de las aguas grises se tiene que realizar en las instalaciones unitarias o separativas.

Tabla 2.- Comparación cualitativa de los diferentes conceptos de saneamiento (6: sistema tradicional en los países industrializados)

| Tema | 1 VC-Digestor | 2 Compos taje | 3 Secado | 4 Separa ción de la orina | 5 WC-Riego | 6 WC |
|---|---------------|---------------|----------|---------------------------|-----------------|------|
| patógenos (rw= aguas recibidas) (op= buen funcionamiento) | + | + op | + | - rw | - | - rw |
| reciclaje de nutrientes para la agricultura | ++ | ++ | ++ | + | ++ | -- |
| depósito de carbono frente al calentamiento global | + | ++ | ++ | -- | - | -- |
| consumo de agua | + | ++ | ++ | + | reutil izació n | -- |
| tratamiento conjunto de residuos domésticos orgánicos | posibl e | necesario | posibl e | no | no | no |
| eficiencia energética total | ++ | ++ | ++ | + | + | - |
| regiones áridas | + | ++ | ++ | + | - | -- |
| climas con estaciones frías | + | ++ | -- | + | -- | - |
| centros de grandes ciudades | + | -- | - | ++ | - | ++ |
| ciudades pequeñas y suburbios | ++ | ++ | + | ++ | - | + |
| zonas rurales | - | ++ | ++ | - | ++ | - |
| funcionamiento y mantenimiento | - | + | ++ | - | + | + |
| soluciones de tecnología sencilla | -- | ++ | ++ | -- | - | -- |

+Sistemas apropiados

Los sanitarios al vacío en el sistema 1 pueden sustituirse por sanitarios de descarga con poco gasto de agua o por sanitarios con separación de la orina. Se necesita también pendiente suficiente para la evacuación por descarga de agua y otros medios de transporte. La figura 3 muestra los principales flujos de materia en el sistema de saneamiento 1. Este esquema representa los recorridos básicos de los flujos de materiales de forma ideal. El ciclo no es en realidad un ciclo, sino un sistema, los recorridos deberían ser más largos que los representados, para utilizar en la agricultura el fertilizante líquido que se produce. Puede aplicarse también a la producción agrícola industrial o en las explotaciones forestales. El objetivo es llevar a cabo la gestión de recursos, mediante la obtención de sustancias que sean necesarias y puedan ofrecerse al precio de mercado (en el futuro). Debe desarrollarse un mercado local como parte del sistema de saneamiento. Existen muchas zonas con un exceso de fertilizantes debido a la importación masiva de piensos para el ganado. Este tipo de prácticas son, en cualquier caso, insostenibles, y deben abandonarse si se quiere un

desarrollo sostenible. De todos modos, las áreas con exceso de estiércol no son los lugares ideales para iniciar nuevos sistemas de saneamiento.

Imagen 3.- Flujos de materia de un sistema de saneamiento sostenible.

Un sistema con "sanitarios al vacío" y una planta de biogás se implantará en un proyecto piloto a nivel técnico. Se empezará la construcción a mediados de 1997. El proyecto se describe con más detalle a continuación.

Un proyecto piloto para el sistema de vacío-biogás para áreas urbanas

Un sistema integrado de saneamiento con "sanitarios al vacío", sumideros al vacío y una planta de biogás para las aguas negras, se llevará a cabo para el nuevo barrio de "Flintenbreite" en la ciudad alemana de Lübeck, junto al mar Báltico. La zona, con un total de 3,5 hectáreas no estará conectada al sistema general de alcantarillado. El sistema es un proyecto de los autores de este artículo, para la compañía constructora Trautsch Bau, que se encarga de la urbanización de este área en cooperación con el ayuntamiento de Lübeck. El barrio contará con unos 300 habitantes, y se ha tomado como proyecto piloto para poner en práctica el sistema. Sin embargo, todos los componentes del proyecto se utilizan en diferentes campos desde hace muchos años y, por tanto, están bien desarrollados. Los sanitarios al vacío se utilizan en barcos, aviones y trenes. Ya existen algunos ejemplos de su uso en bloques de pisos para ahorrar agua. El sistema al vacío y unificado de alcantarillado da servicio a cientos de pueblos. El tratamiento anaerobio se utiliza en el tratamiento de aguas residuales industriales, tratamiento de residuos orgánicos en muchas granjas, y para las heces en miles de sistemas en el sudeste asiático y otros muchos lugares. El sistema que se construirá en Lübeck consiste principalmente en:

- La utilización de sanitarios al vacío (VC), con recogida y tratamiento anaerobio, y tratamiento conjunto con los residuos orgánicos domésticos en plantas de biogás (separativas o semiseparativas); el reciclaje de los lodos de digestión anaerobia en la agricultura, con almacenamiento para épocas de cultivo.
- El uso de biogás en un cogenerador de calor y electricidad (calor para las viviendas y el digestor), además de otro combustible (gas natural en este caso).
- El tratamiento separativo de las aguas grises en "lechos filtrantes artificiales" (energéticamente muy eficaces).
- La recogida de aguas pluviales para su reutilización y la recogida de las aguas pluviales desbordadas mediante un sistema de drenaje y filtrado por zanjas [**Grotehusmann, 1993**].

Un cogenerador (calor y electricidad), adaptado para usar biogás cuando el depósito esté lleno, producirá la calefacción de las viviendas. También se utilizará para calentar la planta generadora de biogás. Además habrá sistemas solares pasivos de apoyo a la calefacción de las viviendas, y sistemas solares activos para el agua caliente. En la figura 4 se muestra un esquema de este sistema. La imagen no pretende mostrar todos los detalles, sino dar una idea del sistema con la recogida y tratamiento de las heces.

En el digestor se instalará una estación de bombeo. Se cuenta con una unidad de bombeo extra en caso de avería. La presión del sistema es de 0,3 bar, que se utiliza tanto para los sanitarios al vacío como para las conducciones al vacío. Los conductos tienen una dimensión de 50 mm para facilitar un buen transporte impulsado por aire. Deben situarse a una profundidad suficiente para estar protegidos frente a las heladas, y deben tener sifones cada 30 metros para crear tapones de material transportado que impidan la salida de los gases al exterior. El ruido es una de las preocupaciones respecto a los sanitarios al vacío, pero las unidades más modernas no son más ruidosas que los sanitarios de descarga de agua y sólo producen un ruido seco.

Las heces mezcladas con los residuos orgánicos triturados (para la mezcla, sólo los procedentes de la aguas negras) son saneadas calentando la mezcla a 70.C durante 30 minutos. Un intercambiador de calor que calienta previamente el flujo de entrada reutiliza la energía. El digestor funciona termofílicamente a una temperatura de unos 55.C con una capacidad de 35 m³ cúbicos, lo que es la mitad de la necesaria para el funcionamiento mesofílico (a unos 37.C). Sin embargo, en la operación pueden darse problemas debidos a las altas concentraciones de NH₄ y NH₃ (ácido amónico y amoniaco), que se han estimado en cerca de 2.000 mg/l. En caso de dificultades, la operación se detendrá en condiciones mesofílicas, en las que la proporción de NH₃ es menor en la misma medición del pH con un tanque adicional. Otro aspecto es la cantidad de sulfuro en el biogás. Ésta puede reducirse mediante un control sobre el suministro de oxígeno en el digestor o en la corriente de gas.

La planta de biogás se concibe también para ser una unidad de producción de líquido fertilizante. Es importante considerar el recorrido de las sustancias contaminantes desde el origen. Una fuente importante de metales pesados son las tuberías para el agua corriente de cobre o de zinc. Se evitarán estos materiales, utilizando tuberías de polietileno. Los lodos de aguas residuales no se desecarán, por estar compuestos de buen fertilizante, y para no tener que tratar el agua resultante. La relativamente poca cantidad de agua añadida a las aguas negras consigue un volumen lo suficientemente pequeño para el transporte. Habrá un tanque de almacenaje durante 2 semanas para la recolección de los flujos del digestor. El biogás se almacenará en el mismo tanque dentro de un contenedor, lo que proporciona una mayor flexibilidad de funcionamiento. El fertilizante será sacado por un camión y transportado a una granja que tenga un tanque de almacenaje para 8 meses. Estos tanques se pueden obtener fácilmente o se pueden construir con poco dinero.

El tratamiento separativo de las aguas grises debería hacerse mediante un proceso con filtro biológico. Las tecnologías apropiadas con espacio muy limitado tienen filtros aireados para la arena, plantas con discos de rotación y filtros de goteo (Nolde, 1995) con infiltración de aguas grises tratadas dentro del almacén de las aguas pluviales y sistema de infiltración. Los lechos filtrantes artificiales son una posible solución para las zonas urbanas, ya que se pueden integrar en jardines y parques. Las aguas grises son relativamente fáciles de tratar porque tienen un bajo contenido de nutrientes. Puede haber incluso una falta de nutrientes para incorporar en el inicio del sistema de tratamiento de aguas grises. En cuanto haya un filtro biológico eficaz, los microorganismos podrán utilizar los nutrientes liberados por la separación. Varios proyectos a escala técnica han demostrado la posibilidad y el excelente funcionamiento del tratamiento separativo de las aguas grises. Estas plantas permiten la reutilización del agua de los inodoros de descarga, que no es posible económicamente en el proyecto de Lübeck debido al bajo consumo de agua de los inodoros al vacío. Las aguas grises en Flintenbreite se tratarán en lechos filtrantes separativos alimentados verticalmente con una extensión de 2 m² por habitante. Éstos son relativamente baratos en cuanto a la construcción y especialmente en el funcionamiento. Los pozos de bombeo servirán como una cámara de arena, para la separación de grasas y tendrán filtros para las partículas de gran tamaño por encima del nivel

del agua. Los efluentes se filtrarán preferiblemente mediante un sistema de zanjas de drenaje para las aguas pluviales.

La infraestructura de Flintenbreite incluyendo el concepto de saneamiento integral será financiado inicialmente por la compañía constructora y una compañía privada, en la que empresas, técnicos de planeamiento y más tarde los dueños de las casas y las viviendas, se integrarán financieramente y tendrán derecho a voto en la toma de decisiones. Parte de la inversión se cubre con una tasa por la conexión, como en el sistema tradicional. El dinero ahorrado por no tener que construir un sistema de saneamiento por descarga, con un menor consumo de agua limpia y con la construcción coordinada de todas las tuberías y redes (saneamiento al vacío, calefacción local y distribución de energía, abastecimiento de agua, redes de TV y telefonía) son esenciales para la viabilidad económica de este sistema. Las tasas por vertido de aguas residuales y residuos orgánicos que se impondrán más adelante, cubrirán el funcionamiento, los intereses sobre las inversiones adicionales y el mantenimiento del sistema.

Una parte de los costes de funcionamiento tienen que cubrirse con un operador a tiempo parcial, pero esto también supone la creación de empleo a nivel local. La compañía se ocupa del funcionamiento de la totalidad de las estructuras técnicas incluyendo la generación y distribución de calor y de electricidad, de los sistemas de energía solar activa y de un sistema avanzado de comunicaciones.

La concentración de material y energía en el sistema se estudia actualmente, comparándolo con el sistema tradicional, mediante el método MIPS en el Wuppertal Institute de Alemania [Reckerzügl, 1997]. La concentración de materia y de energía es menor de la mitad en el sistema separativo respecto al sistema convencional, dando servicio a una zona con una densidad de población media (ver tabla 3). Para el sistema unitario, la mayor parte del material necesario resulta de la construcción del sistema de saneamiento. Las previsiones de los vertidos se basan en la media de las aguas grises vertidas; la calidad de las aguas vertidas se muestra en comparación con los valores medios de una moderna planta de tratamiento con una eliminación de nutrientes avanzada y un buen funcionamiento.

La tabla 3 indica algunas de las principales ventajas del nuevo sistema que justifican su estudio en el futuro. La reducción de vertidos al mar y el ahorro de energía y materia acumulado por persona, con una vida media de 70 años, sería de unos 700 m³ de agua limpia, 230 Kg de COD, 4,2 Kg de fósforo, 42 Kg de nitrógeno, 85 Kg de potasio, 10.000 Kw de energía y cerca de 160 toneladas de material usado. El ahorro de estas emisiones puede también sustituir la producción de fertilizantes por medio de energía de origen fósil y por síntesis de nitrógeno; lo que se puede estimar en otros 7.000 Kwh de energía ahorrada [Boisen, 1996]. Estas cifras cobran importancia en relación al gran aumento de la población y el descenso de las fuentes de energía no renovables.

Tabla 3.- Estimación de las emisiones, el consumo de energía y la concentración de materiales del sistema propuesto en comparación con el sistema tradicional

| Sistema tradicional avanzado | | Nuevo sistema de saneamiento | |
|---|-------------|--|------------------------------------|
| COD | 3,6 Kg/P/a | COD | 0,3** Kg/P/a |
| BOD ₅ | 0,4 Kg/P/a | BOD ₅ | 0,1** Kg/P/a |
| P total | 0,07 Kg/P/a | P total | 0,01** Kg/P/a |
| N total | 0,73 Kg/P/a | N total | 0,13** Kg/P/a |
| K total | 1,4 Kg/P/a* | K total | 0,2* Kg/P/a |
| *aproximación | | *aproximación | **datos oficiales del HH-Allermöhe |
| Demanda de energía para el abastecimiento de agua 0,5 Kwh/m ³ a 25 Kwh/m ³ | | Demanda de energía para el abastecimiento de agua (ahorro de agua mayor del 20%) 20 Kwh/P/a | |
| Demanda típica para el tratamiento de agua 85 Kwh/P/a | | Sistema mediante vacío 25 Kwh/P/a | |
| | | Tratamiento de aguas grises 2 Kwh/P/a | |
| | | Transporte de lodo (en 2 meses a 50 Km) 20 Kwh/P/a | |
| | | Ganancias netas en biogás (12,5 W) -110 Kwh/P/a | |
| Demanda total 12,5 W = 110 Kwh/P/a | | Producción total 5 W = -43 Kwh/P/a (cifras del proceso de diseño) | |
| Concentración de materia 3,6 t/P/a (estudio MIPS de Reckerzügl, 1997) | | Concentración de materia 1,3 t/P/a (estudio MIPS de Reckerzügl, 1997) | |

Otras opciones para sistemas integrales de saneamiento basados en plantas de biogás

El interés por el sistema integral aquí descrito ha aumentado enormemente desde su primera publicación [Otterpohl y Naumann, 1993] y el comienzo de la planificación para el proyecto de Lübeck. Este sistema se construirá en otros proyectos. El sistema puede muy bien ser más económico en conjunto que el sistema tradicional. Esto depende de la posibilidad de filtrar el agua de lluvia localmente, lo que se está convirtiendo en la estrategia habitual. También depende del tamaño de la zona a la que da servicio, y del número de habitantes. El tamaño óptimo puede ser un área con 500 a 2.000 habitantes. Unidades menores son viables si sólo se recogen las aguas negras y los residuos orgánicos, y se llevan a una planta de biogás de mayor tamaño, situada preferentemente en una granja. El tratamiento de las aguas grises puede realizarse en una estación depuradora de aguas residuales si el alcantarillado se encuentra próximo. En ciertos casos es el sistema más económico. La eliminación de los nutrientes puede mejorarse si un cierto

porcentaje de la población cuenta con un sistema separativo y de tratamiento de las aguas negras. Si se alcanzase una determinada proporción, la nitrificación resultaría obsoleta.

El tamaño de las ciudades es importante debido a las distancias de transporte. Sin embargo, incluso en las áreas metropolitanas sería posible tratar ese problema. Tanto el fertilizante líquido como la mezcla de residuos orgánicos y aguas negras sin tratar, pueden transportarse mediante bombeo o por tren, evitando los periodos punta de transporte de viajeros. Estos son temas de planificación a largo plazo, muy relacionados con el planeamiento urbano. Desde el punto de vista del saneamiento sostenible, de la producción y transporte de los alimentos y para aumentar el contacto de los ciudadanos con la naturaleza, las ciudades del futuro deberían planearse en forma de estrella, con áreas rurales entre ellas.

El sistema propuesto está basado en sanitarios al vacío, pero hay otros medios de recoger las aguas negras. En Suecia se han desarrollado sanitarios con separación de orina, y un tipo de sanitarios de descarga de presión, con una tapadera en lugar de sifón para evitar los malos olores [Lange y Otterpohl, 1997]; ambos pueden utilizarse para la recogida de aguas negras. El sanitario de descarga de presión debe tener una pendiente de más del 5% en las tuberías, al menos hasta el colector. El transporte posterior podría realizarse mediante un sistema de vacío o de presión. Los sistemas basados en plantas de biogás deberían tener un cogenerador (calor y energía eléctrica), si existe demanda de calefacción cerca de la planta, el ejemplo típico es el asentamiento al que da servicio el sistema en climas fríos. Un planteamiento interesante podría ser la producción de biodiesel, a partir del fertilizante del digestor. Existen motores que pueden funcionar con una mezcla de biogás y biodiesel.

Conclusiones

El sistema tradicional de saneamiento tiene varios inconvenientes graves: necesita demasiada agua, disuelve las heces y eleva los niveles de nutrientes en los mares, incluso contando con modernas estaciones depuradoras. Para la definición de nuevos sistemas de saneamiento, los desechos y aguas residuales domésticas pueden dividirse en cuatro grupos:

1. Residuos sólidos biodegradables y heces con orina (o separación posterior de la orina).
2. Aguas grises (baño, lavadora y cocina).
3. Desagües de pluviales.
4. Residuos sólidos no biodegradables.

Existen diversos sistemas de saneamiento, con ventajas y desventajas según las condiciones ambientales. Un sistema de saneamiento más sostenible para áreas urbanas implica:

- Separación de heces y orina mediante sanitarios al vacío y tratamiento de la mezcla con residuos orgánicos en planta de biogás.
- Tratamiento aerobio de aguas grises en lechos filtrantes artificiales separativos.
- Filtración de aguas pluviales para evitar del todo un sistema de alcantarillado unitario.

Si se comparan las emisiones a los ríos, los balances energéticos y la concentración de materia, se demuestran las ventajas de este sistema. La principal desventaja de este sistema es que es incompatible con el saneamiento tradicional en las ciudades industrializadas. Será instalado en un nuevo barrio de 300 habitantes en la ciudad alemana de Lübeck. Este sistema puede ser una solución apta para el saneamiento adecuado de áreas urbanas. Los costes de ejecución reales pueden obtenerse de este proyecto, así como de

otros que están actualmente en preparación. Si las ventajas resultan claras, este sistema podría implantarse en nuevos barrios que reúnan las condiciones adecuadas, y en renovaciones integrales de viviendas. El planeamiento urbano debe valorar el efecto de posteriores instalaciones, sobre el sistema de alcantarillado y tratamiento tradicional. El cambio completo y definitivo al sistema de saneamiento separativo llegará en el momento en que el sistema actual de alcantarillado y estaciones depuradoras quede obsoleto técnicamente.

Referencias bibliográficas

Arrhenius, Eric (1992) **Population, Development and Environmental Disruption: An Issue on Efficient Natural Resource Management** (, Ambio, Vol.21, No.1)

Beck, M. B; Chen, J; Saul, A.J.; Butler, D. (1994) **Urban Drainage in the 21st Century: Assessment of new technology on the basis of global material flows**, (Water Science & Technology, Vol. 30, No.2, ppl-12)

Boisen, Thorkil (1996) (TU Denmark, Dept. of Building and Energy, personal information)

Grothehusmann, D (1993) **Alternative Urban Drainage Concept and Design** (Proceedings of the 6th Int. Conf. on Urban Storm Drainage, Niagara Falls, Canada)

Larsen, Tove; Gujer Willi (1996) **Separate Management of Antropogenic Nutrient Solutions** (Water Science and Technology, Proceedings of IAWQ Biennial, Singapore)

Lange, Jörg; Otterpohl, Ralf (1997) **Abwasser: Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft**, (Malbeton Verlag, Pfohren, Germany, ISBN 3-9803502-1-5 (en alemán))

Lienur, Charles T. (1873) **Die pneumatische Kanalisation in der Praxis** (Lienur & de Bruyn-Kops, Boselli, Frankfurt a.M., Alemania (en alemán, ver también Lange y Otterpohl, 1997)

Moser, Anton (1994) **Trends in Biotechnology, Sustainable technology development: from hightech to ecotech** (Acta Biotechnology, Vol.14, No.4)

Nolde, Erwin (1995) **Betriebswassernutzung im Haushalt durch die Aufbereitung von Grauwasser** (Wasserwirtschaft und Wassertechnik Nr. 1 (en alemán))

Otterpohl, Ralf; Grottker, Matthias (1996) **Possibly Sustainable Sanitation Concepts for Urban Areas**, (Environmental Research Forum, Vols. 3-4, pp. 269-278, Transtec Publications, Zurich, Suiza, ISBN 0-87849-736-6)

Otterpohl, Ralf; Naumann, Jörg (1993) **Kritische Betrachtung der Wassersituation in Deutschland, Symposium Umweltschutz, wie?** (Kirsten Gutke-Verlag, Colonia, Alemania (en alemán))

Reckerzügl, Thorsten (1997) (Conclusiones provisionales de una tesis doctoral por el Wuppertal Institute)

Schmidt-Bleek, F. (1993) **Wieviel Umwelt braucht der Mensch? MIPS-Das Mass für ökologisches Wirtschaften** (Birkhäuser Verlag, Berlin, Basel, Boston (en alemán))

SETAC (1993) Guidelines for Lifecycle Assessment, 'Code of Practice', Society of Environmental Toxicology and Chemistry (Proceedings of a workshop in Sesimbra, Portugal)

Strong, Maurice ; Arrhenius, Eric (1993) Closing Linear Flows of Carbon through a Sectorial Society: Diagnosis and Implementation (Ambio, Vol.22, No. 7)

Winblad, Uno (1996) Recent developments in Sanitation (Environmental Research Forum, Vols. 3-4, pp. 329-334, Transtec Publications, Zurich, Suiza, ISBN 0-87849-736-6)

Traducido por Gloria Gómez, M. Soledad Pascual y María Cifuentes.

Fecha de referencia: 30-09-1997

Boletín CF+S > 2 -- Especial sobre RESIDUOS > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n2/aaguas.html>

Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X