

9 Diseño de un sistema de sanidad altamente eficiente con control de fuente, y experiencias en la práctica

Ralf Otterpohl

9.1 BIENVENIDO AL FUTURO – CERO EMISIONES EN EL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES.

Si los procesos naturales generaran desechos no utilizables, entonces no sería posible la existencia de formas superiores de vida. Nosotros podemos contribuir al continuo cambio de la tecnología actual caracterizada por una excesiva generación de desechos, hacia una futura tecnología libre de residuos. Los recursos renovables lo son mediante el sol y son proveídos por el suelo fértil y las aguas superficiales (además del uso directo de la energía). El manejo ecológico de las aguas residuales jugará un papel preponderante en la búsqueda de la utilización y reutilización eficientes del agua, la fertilidad del suelo a largo plazo y la protección de las aguas naturales. Una tecnología con “cero emisiones” tiene como objetivo la reutilización al 100% de todos los materiales. Este concepto fue desarrollado por la Universidad de la ONU en Tokio, Japón, aplicado a producción industrial (Pauli 2000). Los mismos principios pueden ser aplicados al manejo de aguas residuales municipales, terminando así con el concepto mismo de “aguas residuales”. Los sistemas de sanidad pueden ser diseñados para ser más eficientes; tanto tecnologías convencionales como innovadoras pueden ser aplicadas en sistemas de control de fuente. Podemos considerar a un sistema de sanidad como una unidad de producción que puede producir agua de reuso de alta calidad, fertilizantes seguros, y materiales para mejora de suelos (incluyendo residuos biológicos procesados cuando sea conveniente). Esto puede ser llamado “administración de residuos”, ya que no habrá más aguas residuales. Hoy en día, estos enfoques existen y pueden ser aplicados. Nos encontramos actualmente en una fase de rápido desarrollo y muchos sistemas pilotos están siendo planeados, construidos y operados, siendo estos más económicos y amigables al medio ambiente que los sistemas de control de efluentes. ¡Bienvenido al Futuro!

9.2 ¿EN QUÉ ESTÁN MAL LOS SISTEMAS DE SANIDAD CONVENCIONALES?

El concepto tradicional de sanidad es la tecnología de control de efluentes. Los problemas agudos (no los de largo plazo) son resueltos con sistemas oportunos en lugar de ser evitados. Esta es ahora la pauta seguida en el tratamiento de aguas residuales industriales y ha resultado en tecnologías de control de fuente con tecnologías de reuso adecuadas. En el campo del tratamiento de aguas residuales municipales la discusión apenas ha comenzado (Henze 1997). Las primeras instalaciones de sistemas utilizando sanitarios WC y drenaje con aguas y nutrientes residuales fueron criticadas, pero no existían sistemas alternativos suficientemente confiables en aquella época (Harremoës 1997, Lange y Otterpohl 1997). Los sistemas de sanidad orientados al reuso tuvieron su fin con la barata disponibilidad de energía y nutrientes que había en los recursos fósiles.

Diseño de un sistema de sanidad altamente eficiente con control de fuente

Los conceptos de sanidad deben tomar responsabilidad también por el medio ambiente así como por la salud humana. Los hechos básicos para sistemas sustentables son obvios, sin embargo son necesarios proyectos pilotos para los nuevos enfoques. Una planeación más extensiva y profunda podría dar fin a la instalación automática de los sistemas que involucran sanitarios (WCs), drenaje y planta de tratamiento de aguas residuales (WC-D-PTAR) sin considerar otras alternativas.

La Agenda 21 de las Naciones Unidas no considera los conceptos de sanidad sustentable (Agenda 21 1992) aún cuando el agua y la fertilidad del suelo son materia central para la supervivencia de generaciones futuras. Al planear un sistema de sanidad, se deben considerar las consecuencias que hay alrededor del mundo de la implantación de un sistema convencional. Muchos expertos en sanidad concuerdan en la posibilidad de resultados desastrosos aún en el corto plazo en países en vías de desarrollo.

Será necesaria una evaluación de la asombrosa variedad de opciones técnicas y sus respectivas implicaciones económicas y sociales, con el fin de desarrollar futuros sistemas de sanidad. Henze *et al.* (1997) y Otterpohl *et al.* (1997, 1999a) aportaron una serie de soluciones utilizando control de fuente.

Los conceptos de sanidad eficientes tendrán que cooperar con la agricultura con el fin de evitar emisiones y permitir el reuso de agua y nutrientes. Una agricultura sustentable tiene que ser amigable desde el punto de vista de uso de agua y debe mejorar o al menos mantener la calidad del suelo. La agricultura industrializada regularmente resulta en la rápida degradación de la capa superior fértil del suelo (Pimentel 1997). Los fertilizantes orgánicos producidos a partir de un sistema de sanidad y el manejo de residuos sólidos pueden ayudar a cuidar y mejorar la capa superior fértil del suelo.

Si las heces fecales son mezcladas con las aguas residuales mediante el uso de sanitarios convencionales que utilizan agua, el resultado es una gran demanda de agua, la dispersión en un gran volumen de agua de patógenos y microcontaminantes (residuos farmacéuticos) potencialmente peligrosos, y además se pierde la opción de reutilizar económicamente las aguas grises y de producir fertilizante. La pequeña cantidad original de heces fecales podría ser higienizada fácil y baratamente. Para esta mezcla, conocida como aguas residuales municipales, el proceso de higienización es un paso costoso de tratamiento avanzado.

Los sistemas convencionales de drenaje tiene serias desventajas: representan una parte muy costosa de la infraestructura (si se lleva a cabo rehabilitación). Los sistemas combinados descargan aguas residuales crudas en las aguas recipientes cuando hay sobreflujos; los tanques de retención son muy costosos si hay pocos sobreflujos. Los sistemas de drenaje regularmente utilizan mucho agua; aún en los países industrializados el desagüe de agua de lluvia asciende regularmente a la misma cantidad de aguas residuales. Este agua diluye las aguas residuales y las concentraciones reducidas que resultan de ello en el efluente de una planta de tratamiento hacen parecer que las emisiones son bajas, aunque las cargas pueden ser altas. En muchos casos los sistemas de drenaje están filtrando aguas residuales crudas en el suelo, con el potencial resultante de contaminación.

Diseño de un sistema de sanidad altamente eficiente con control de fuente

Recientemente ha habido discusiones también acerca de las hormonas; ya que residuos de hormonas han sido encontrados en el agua, provenientes de las pastillas anticonceptivas utilizadas ampliamente, mostrando otra debilidad de los sistemas de sanidad y aumentando el temor acerca de los efectos en el hombre y las hormonas masculinas. Estas sustancias llegan fácilmente a las aguas recipientes debido a su polaridad (son fácilmente disueltas) y su bajo grado de degradación en las plantas de tratamiento convencionales. Otro problema potencial muy importante es la posibilidad de transmisión de una creciente resistencia hacia los antibióticos mediante su emisión incontrolada al medio ambiente (Daughton y Ternes 1999). Los reactores biológicos son un medio ambiente excelente para el intercambio de bacterias dañinas.

9.3 PLANEACIÓN REGIONAL EN EL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES

La planeación regional tiene un efecto importante en la economía del sistema de aguas residuales. En Alemania, los costos de desagüe son en promedio un 79% del costo del drenaje más los costos de la planta de tratamiento en zonas rurales y perimetrales densamente pobladas. Esta cifra puede ser mucho mayor si las circunstancias son menos favorables. Por algunos años, los sistemas descentralizados de tratamiento en el sitio han sido aceptados como una solución a largo plazo en muchos países. Sin embargo, los requerimientos legales son menores comparados con aquellos para las plantas de tratamiento de aguas residuales más grandes. Puede ser fácilmente deducido que las plantas que operan localmente pueden contribuir por muy arriba de la proporción de su población en las cargas de contaminantes que son emitidos. Por otra parte sería relativamente simple implantar nuevos sistemas de sanidad locales que reutilizarían completamente los nutrientes.

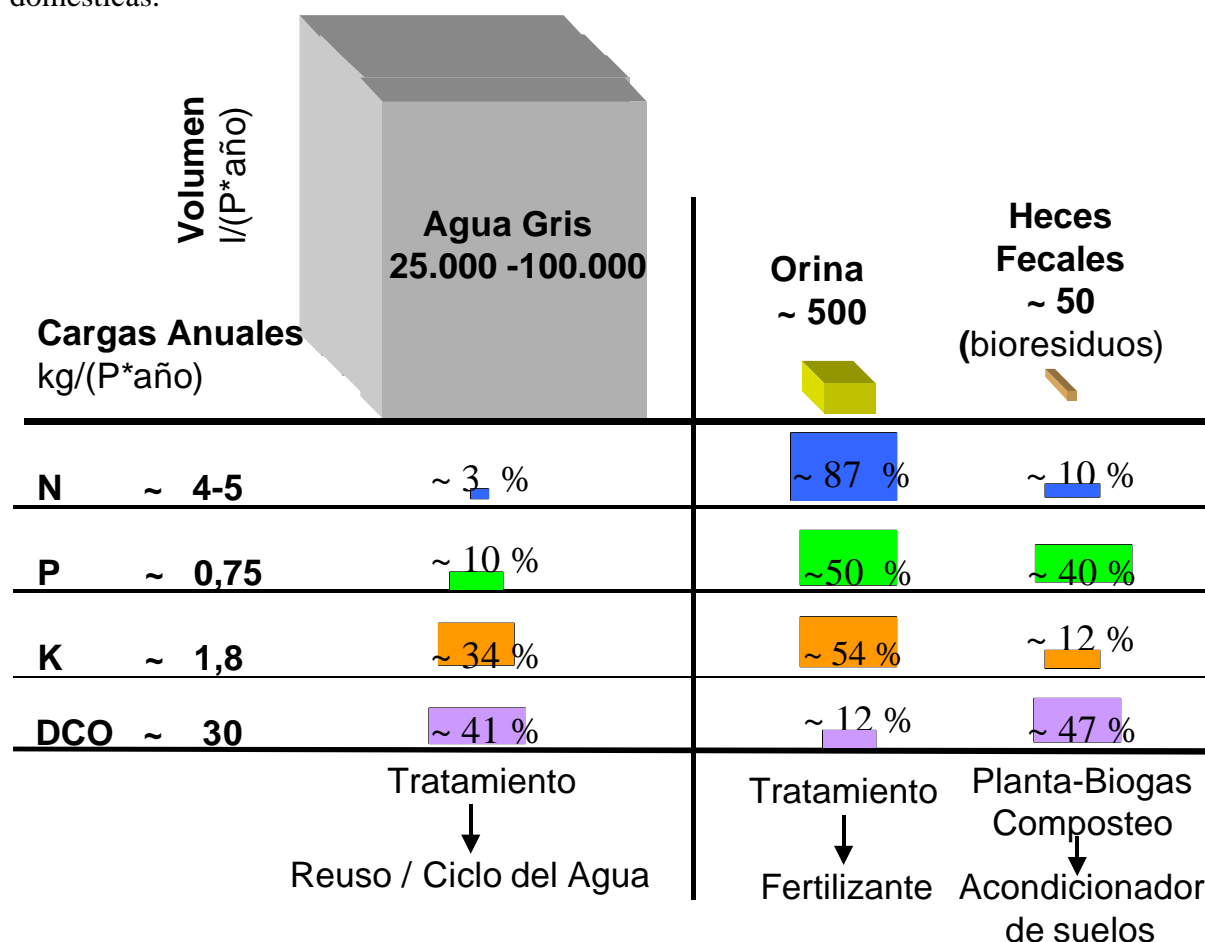
Decisiones apropiadas en cuanto a donde conectar las casas al sistema de drenaje y donde construir instalaciones que operen localmente o pequeñas plantas descentralizadas son importantes. Una buena planeación regional puede evitar el malgasto de dinero y puede proporcionar sistemas altamente eficientes de tratamiento y colección descentralizados. Deben llevarse a cabo procedimientos de cálculo de costos que incluya el desarrollo a largo plazo y el balance de los costos de operación e inversión y los productos resultantes (el reuso de agua, fertilizante, mejorador de suelos). El precio de los subproductos puede ser muy importante en países en vías de desarrollo y/o con escasez de agua donde el agua y los fertilizantes industriales no son subsidiados. Un sistema de sanidad con control de fuente puede exceder en desempeño a la mayoría de las grandes plantas avanzadas, frecuentemente con costos mucho más bajos.

Un principal inconveniente de las plantas tecnológicas descentralizadas es la falta de mantenimiento. Es esencial la responsabilidad legal así como los acuerdos de mantenimiento y estos deben ser organizados de manera eficiente en cuanto a costos. El diseño de sistemas descentralizados debe ser de tal manera que el mantenimiento y la recolección de fertilizante puedan ser hechos combinadamente y tener lugar en intervalos regulares, tales como cada seis o doce meses. Los granjeros locales pueden ser oportunos colaboradores.

9.4 CONSIDERACIONES BÁSICAS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE SANIDAD CON CONTROL DE FUENTE Y MANEJO APROPIADO DEL AGUA

El diseño de un sistema de sanidad con control de fuente tiene como objetivo un alto estándar de higiene y la completa reutilización de los recursos. Esto es exactamente lo que se puede alcanzar mediante un control inteligente de la fuente. Sin embargo, el diseño de la planta debe ser revisado para asegurar que estas metas puedan ser alcanzadas. Las condiciones socioeconómicas locales tienen que ser tomadas muy seriamente. Los antecedentes del nuevo sistema tienen que ser explicados a los usuarios. Un paso fundamental es la identificación de las diversas características de las aguas residuales domésticas, que se presentan en la Tabla 9.1, la cual muestra el rango típico de valores.

Tabla 9.1. Características de los principales componentes de las aguas residuales domésticas.



La Tabla 9.1 sugiere las siguientes conclusiones:

- La mayor parte de los nutrientes solubles se encuentran en la orina. Si la orina es separada y convertida para su uso en agricultura, el más grande paso hacia el reuso de nutrientes y una protección altamente eficiente del agua habrá sido tomado.

Diseño de un sistema de sanidad altamente eficiente con control de fuente

- El peligro en cuanto a salud de las aguas residuales es debido casi exclusivamente a la materia fecal. Su separación y minimización o ausencia de dilución dan la pauta hacia una excelente higienización teniendo como producto final un “mejorador de suelos orgánico”.
- Las aguas residuales que no están mezcladas con desechos humanos (heces fecales y orina) es un grandioso recurso para la reutilización de alta calidad del agua. Los filtros biológicos de arena y la tecnología de membranas son formas económicas de producir agua secundaria.
- Un control de fuente debe incluir la evaluación de todos los productos que terminan en el agua. La reutilización de alta calidad del agua será mucho más fácil cuando los químicos domésticos sean no solo degradables sino también mineralizables con la tecnología disponible. La tubería para agua potable no debe emitir contaminantes (incluyendo cobre o zinc).
- El flujo de agua de lluvia es una de las razones principales para construir sistemas de drenaje. Si se construyen sistemas descentralizados, se debe tener cuidado del flujo de agua de lluvia. La construcción de drenaje pluvial será prohibida frecuentemente por razones económicas en el caso de que sean instalados sistemas de sanidad descentralizados. Son factibles la infiltración local y la construcción de acequias que conduzcan hacia aguas superficiales, para el caso de agua de lluvia relativamente limpia y se pueden combinar con utilización de la misma. La prevención de su contaminación involucra evitar canalización o tubería pluviales que contengan zinc o cobre, ya que estas pueden causar contaminación con metales pesados.

En el Foro Global del Agua en La Haya en Octubre de 2000 se sostuvieron discusiones acerca de la escasez del agua. Un delegado del Centro para la Ciencia y el Medio Ambiente, con base en Delhi, India, aseguró “No hay escasez de agua, solo un mal manejo”. El delegado tenía una fuerte evidencia acerca del increíble éxito de la recolección descentralizada de agua de lluvia a escala local en la India. Durante una sequía devastadora en Gujarat en 1999 hubieron muchos poblados que tenían suficiente agua. Estos poblados habían implantado muchas medidas para conservar el agua de lluvia, conduciéndola a los acuíferos con pequeñas presas de control (de tan solo algunos metros de altura), así como a pozos y cisternas (Manis Tiwari 2000). La introducción de sistemas convencionales de sanidad puede ser también un buen ejemplo de mal manejo en una situación dada, excepto cuando la reutilización de las aguas residuales mezcladas en una combinación de riego y fertilización puede ser llevada a cabo continuamente durante el año. Un sistema de sanidad con control de fuente y el reuso de las aguas grises pueden reducir el consumo de agua fresca en un 10% por debajo de lo que hoy en día es considerado como eficiente.

9.5 NUEVO DESARROLLO 1: SANITARIOS SEPARADORES Y FLUJO POR GRAVEDAD

Este concepto es adecuado para casas individuales o asentamientos rurales. Está basado en sanitarios no-mezcladores (frecuentemente llamados sanitarios separadores o sanitarios clasificadores). El propósito de esto es proporcionar un sistema de bajo costo y

Diseño de un sistema de sanidad altamente eficiente con control de fuente

bajo requerimiento de mantenimiento con el potencial de recuperación total de recursos. El sistema recoge el agua amarilla (orina) mediante un tubo separado para guardarlo en un tanque de almacenaje hasta que pueda ser usado para la agricultura. El periodo de almacenamiento debe ser de al menos de seis meses.

El agua café (heces fecales) es lavada con una cantidad adecuada de agua (normalmente de cuatro a seis litros) y es recolectada ya sea separada o conjuntamente con las aguas grises y es descargada en una cámara de las dos que componen un tanque de composteo (con piso filtro o bolsa filtro) (ver Diagrama 9.1) donde los sólidos son precomposteados. Después de un año de deshidratación y composteo, el flujo es dirigido a la segunda cámara mientras en la primera se detiene la carga por un año. Esto permite una que continúe la deshidratación y el composteo y hace que la remoción de heces del tanque más segura.

Los productos son removidos del tanque de composteo y son ya sea utilizados como mejoradores de suelos en tierra café o completamente composteados – la composta puede ser mezclada con residuos de cocina o de jardín para que se descomponga completamente. La composta madura es usada para el acondicionamiento de suelos y mantiene o mejora la fertilidad del suelo. El filtrado del tanque de composteo será bajo en nutrientes debido a la separación previa de la orina – los nutrientes disueltos se encuentran principalmente en la orina. Por lo tanto, el filtrado puede ser tratado junto con las aguas grises (a menos que esté planeado un reuso de alta calidad).

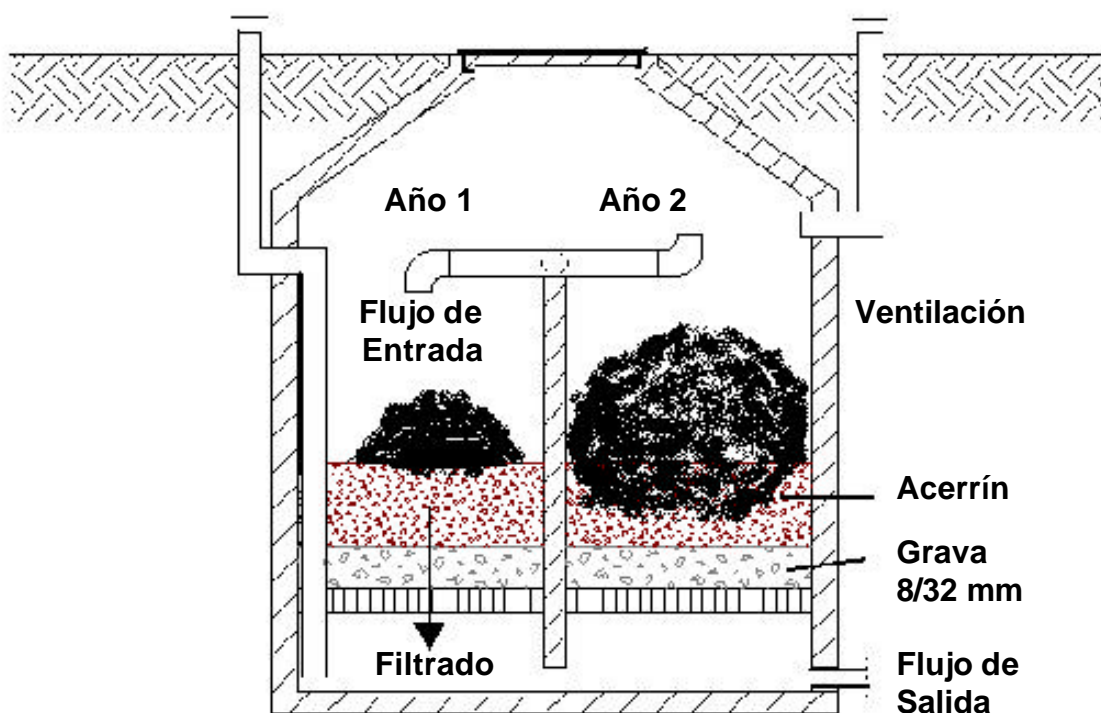


Diagrama 9.1. Un tanque de composteo de dos cámaras.

El agua gris es pretratada ya sea en el tanque de composteo con el agua café (evitando un tercer tubo, de la casa al tanque) o tratada separadamente para un reuso de

Diseño de un sistema de sanidad altamente eficiente con control de fuente

calidad. El siguiente paso puede ser el uso de o un filtro biológico de arena (con un flujo intermitente vertical) o un reactor de lodo activado combinado con filtración micro o nanométrica. Estas dos tecnologías forman una barrera eficiente contra los patógenos y pueden lograr efluentes de alta calidad con bajos requerimientos de mantenimiento. El agua purificada es descargada a un tanque receptor local, infiltrada en el suelo o recolectada para reuso. El pantano artificial necesita muy poca energía pero requiere alrededor de 1 a 2 m² por habitante. Este concepto es mostrado en el Diagrama 9.2.

Los parámetros de diseño para los elementos de los componentes de este sistema puede ser derivados de tecnología descentralizada avanzada. El agua gris por si misma tendrá regularmente la mitad de la carga de DCO en dos tercios del flujo. El filtrado de las cámaras de composteo probablemente no tendrá una gran influencia excepto por la potencial carga adicional de patógenos. La recolección y almacenamiento de la orina puede ser llevada a cabo directamente; la orina contribuye como máximo en 1.5 litros por persona por día. Una recolección libre de agua es la meta final, sin embargo esto no ha sido completamente desarrollado aún. El agua para lavar el sanitario debe ser un flujo pequeño, de otra forma el almacenamiento, el transporte y el uso se volverán más difíciles. La recolección libre de agua parece evitar los problemas de formación de sarro (cuando se forma sarro de cal en la superficie de los tubos). El calcio del agua contribuye a la formación de minerales. Los tanques de almacenamiento deben ser resistentes a químicos, la tubería y tanquería deben ser herméticos – una tasa de infiltración pequeña pero constante puede resultar en una alta dilución y requerimientos de transporte más frecuentes. Más experiencias pueden ser arrojadas a partir de los proyectos piloto que están siendo emprendidos actualmente.

Diseño de un sistema de sanidad altamente eficiente con control de fuente

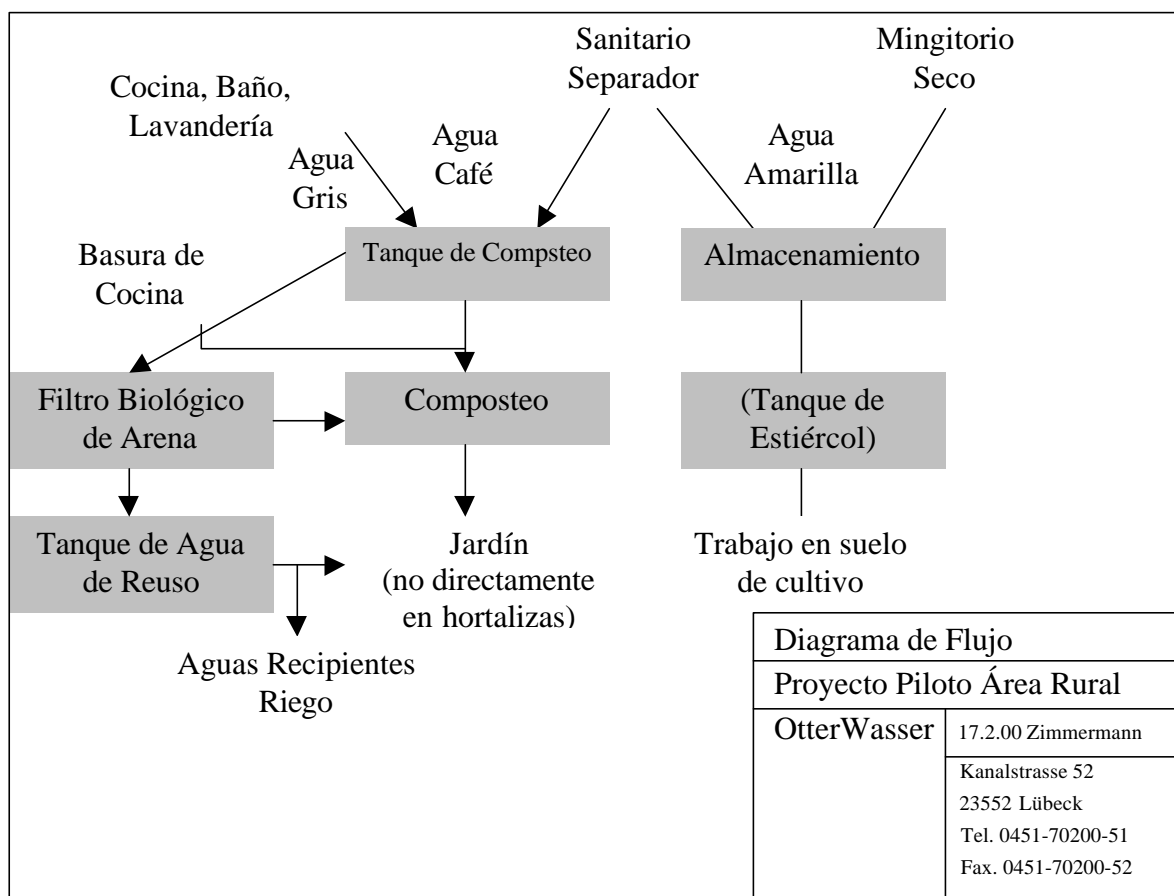


Diagrama 9.2. Elementos de un sistema de sanidad rural con control de fuente con una cámara de composteo (Rottebehälter)

El concepto presentado aquí, dependiendo de las condiciones frontera, pueden ser también construido de diferente manera tomando en cuenta los requerimientos de planeación regional. Usando una planeación de costos mínimos, se podría encontrar una solución económicamente efectiva así como una introducción gradual. En todos los casos, sin embargo, las ideas detrás del concepto deben ser bien explicadas de manera que los habitantes se vean motivados a cooperar.

Algunos experimentos con sanitarios separadores de orina han sido llevados a cabo principalmente en Suecia, en donde se tienen instalados más de 3,000 sanitarios de este tipo, demostrando claramente la viabilidad de esta tecnología. Una desventaja que ha sido observada se origina de utilizar diámetros de los tubos para la orina demasiado pequeños, ya que estos son obstruidos eventualmente por formación de sarro. El paso final hacia la recolección sin uso de agua no ha sido realizado en Suecia aún. Una compañía alemana está trabajando actualmente en el diseño de un sanitario con recolección seca de orina. Pero aún con sanitarios separadores que no utilicen agua, existe un problema primordial. Los hombres, especialmente los de edad avanzada, frecuentemente se muestran reacios a sentarse para orinar. Los más jóvenes parecen aceptar el sentarse más fácilmente y parecen entender mejor el efecto positivo que ellos podrían provocar en el medio ambiente local al adaptarse al sistema. Otra solución es el desarrollo de un mingitorio seco. El desarrollo de

Diseño de un sistema de sanidad altamente eficiente con control de fuente

estos ha tenido serios problemas con respecto al uso del tipo equivocado de químicos de limpieza y fallas en la construcción. Ahora existen a disposición nuevos modelos hechos de cerámicos; y una combinación con un recubrimiento nanoscópico es técnicamente viable. El tipo de superficie será también un paso fundamental hacia delante para los sanitarios separadores. Otro problema con los sanitarios separadores es el desecho de papel higiénico que es usado después de orinar por la mayoría de las mujeres y algunos hombres. Una solución es un cesto para este papel, otra es tirarlo en el receptáculo fecal. Si no se eliminara este papel con chorro de agua, no habría consumo adicional de agua. Están siendo buscadas nuevas soluciones para este problema.

Muchas cámaras de composteo están siendo operadas con éxito en Austria y Alemania. Los pantanos, construidos con percolación vertical y alimentación intermitente, están volviéndose la solución estándar, y estos tienen requerimientos de espacio de menos de 3 m²/capita. Estos requerimientos de espacio pueden ser más pequeños para el caso de aguas grises. Las plantas pequeñas de lodos activados que usan membranas para separación de fases se están volviendo cada vez más populares y lograrían un mejor funcionamiento con aguas grises.

La Universidad Técnica de Hamburgo (TUHH) y una compañía alemana, Otterwasser GmbH en Lübeck, han desarrollado el sistema descrito anteriormente para el tratamiento local en un molino de agua histórico cerca de Burscheid, Colonia, Alemania. El sistema está siendo construido actualmente por Lambertsmühle (una iniciativa privada para la restauración del molino de agua). Este molino está siendo convertido en un museo.

9.6 NUEVO DESARROLLO 2: SANITARIOS A VACÍO Y TRANSPORTE CON VACÍO HACIA UNA PLANTA DE BIOGAS.

Un concepto integrado de sanidad con sanitarios a vacío, drenaje a vacío y una planta de biogas para aguas negras está siendo implantado actualmente para el nuevo asentamiento llamado Flintenbreite en la ciudad de Lübeck en Alemania (NN 2000). Esta área, con un total de 3.5 hectáreas, no está conectada al sistema de drenaje central. El asentamiento será habitado finalmente por alrededor de 350 personas y es concebido como un proyecto piloto para demostrar el concepto en la práctica. Todos los componentes que están siendo usados en el proyecto ya han sido utilizados en diferentes campos de aplicación por muchos años y por lo tanto están bien perfeccionados. Los sanitarios a vacío son usados en barcos, aviones y trenes, y algunos han sido ya empleados en edificios habitacionales para ahorrar agua. Los sistemas de drenaje con vacío convencionales dan servicio a cientos de comunidades. El tratamiento anaeróbico está siendo usado en agricultura, en tratamiento de aguas residuales industriales, en tratamiento de basura orgánica, en muchas granjas y para heces fecales en decenas de miles de aplicaciones en el sureste de Asia entre otros sitios. El sistema que está siendo construido en Lübeck consiste en los siguientes componentes (Diagrama 9.3):

- sanitarios a vacío (VC) con recolección y tratamiento anaeróbico (conjuntamente con el tratamiento de basura orgánica doméstica) en plantas de biogas semicentralizadas, reciclaje de lodo digerido anaeróbicamente para su aplicación en agricultura con

Diseño de un sistema de sanidad altamente eficiente con control de fuente

almacenamiento posterior para periodos de cultivo. Uso del biogas en un generador de calor (para viviendas) o energía, junto con gas natural;

- tratamiento descentralizado de aguas residuales grises en pantanos artificiales verticales con alimentación intermitente (muy energéticamente eficiente); y
- retención de agua de lluvia e infiltración en un sistema de cunetas (zanjas poco profundas).

La calefacción para el asentamiento es producida por un motor generador combinado de calor y energía al que se le puede hacer cambio para uso de biogas cuando el tanque de almacenamiento esté lleno. Este calor es también destinado al calentamiento de la planta de biogas. Además, existe un sistema solar pasivo para apoyar la calefacción de las casas y un sistema solar activo para la producción de agua caliente. El Diagrama 9.3 no tiene como intención mostrar todos los detalles pero muestra una idea del concepto, con la recolección y tratamiento de las heces fecales.

En el digestor se instalará una estación de bombeo de vacío. Las bombas tendrán una unidad extra para ser usada en caso de falla. El vacío actúa tanto en los sanitarios a vacío como en la tubería a vacío. Los tubos tienen una dimensión de 50 milímetros (mm) para permitir un buen transporte. Estos tienen que situarse suficientemente profundo para estar protegidos contra la congelación y deben estar instalados con un gradiente de alrededor de 20 centímetros (cm) cada 15 metros para crear descargas del material transportado. El ruido es una inquietud en los sanitarios a vacío pero las unidades modernas no son más ruidosas que los sanitarios convencionales que utilizan arrastre con agua, por lo que la gente se acostumbrará a ellos.

Las heces fecales mezcladas con basura orgánica triturada son higienizadas calentando la alimentación a 55°C por 10 horas. Esta energía es después usada por el digestor que es operado a cerca de 37°C con una capacidad de 50m³. Otra preocupación es la cantidad de azufre en el biogas. Esta puede ser minimizada controlando la entrada de oxígeno al digestor o en el flujo de gas. Esta planta de biogas debe ser entendida como una unidad de producción para fertilizante líquido también. Es importante considerar las rutas que los contaminantes tomarán, desde el principio. Una fuente importante de metales pesados es la tubería de cobre o con recubrimiento de zinc.

Estos materiales deben ser evitados y usar tubos de polietileno en su lugar. El lodo no es deshidratado, para evitar pérdida de nutrientes. La relativamente pequeña cantidad de agua añadida al agua negra mantiene su volumen suficientemente pequeño para su transportación. Hay un periodo de almacenamiento de dos semanas para la recolección del efluente del digestor. El biogas será almacenado en el mismo tanque dentro de un globo que dará más flexibilidad de operación. El fertilizante será retirado por un camión y transportado a una granja que posea un tanque de almacenamiento temporal, donde permanecerá por ocho meses. Estos tanques están comúnmente disponibles o pueden ser construidos a un bajo costo. El Diagrama 9.4 muestra el edificio en Flinterbreite donde están instalados la estación de bombeo de vacío, el digestor, el generador de calor y energía y otros dispositivos. Aparte de este equipo, ahí se encuentran un salón de convenciones, una oficina y cuatro apartamentos.

Diseño de un sistema de sanidad altamente eficiente con control de fuente

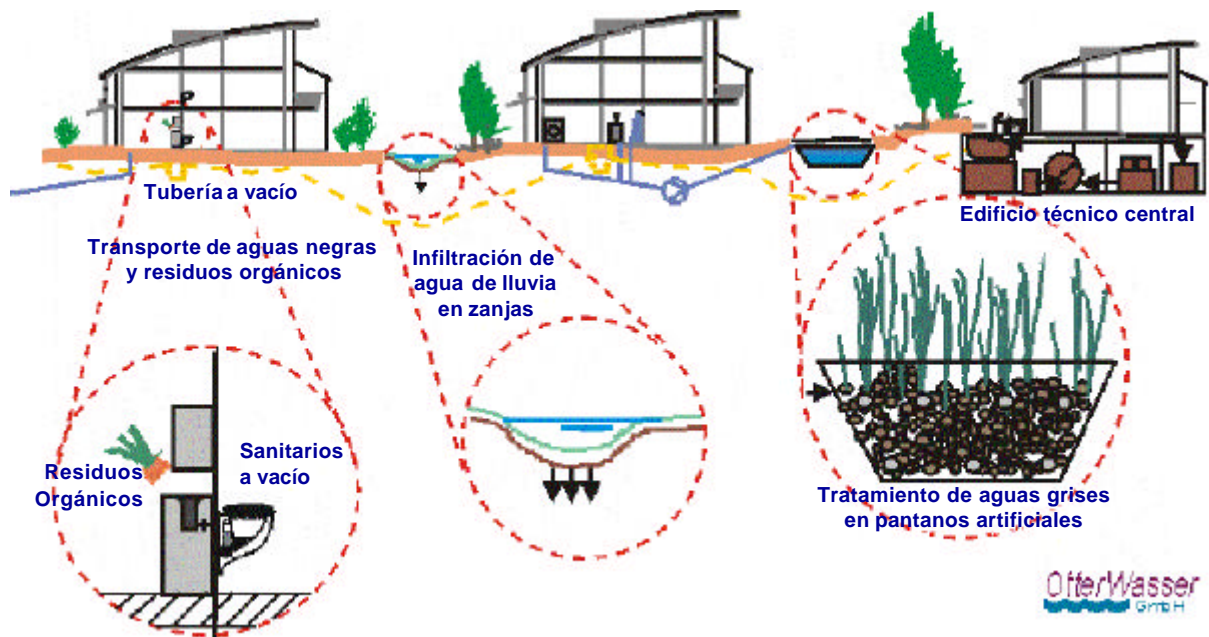


Figura 9.3. Un sistema a vacío de biogas, filtro biológico de aguas grises e infiltración de agua de lluvia.

El tratamiento descentralizado de las aguas grises residuales debe ser llevado a cabo por medio de procesos de película biológica. Tecnologías adecuadas serían reactores biológicos de membrana o pantanos artificiales. Ambos sistemas constituyen una barrera contra los patógenos. El agua puede ser reutilizada en el riego de jardines o infiltrada al sistema de agua de lluvia. Las aguas grises son relativamente fáciles de tratar ya que tienen un bajo contenido de nutrientes. Diversos proyectos llevados a cabo a escala técnica han demostrado la viabilidad y el buen a excelente funcionamiento del tratamiento descentralizado de aguas grises (NN 1999). Estas plantas permiten el reuso del agua en sanitarios, lo que no es económicamente viable en el proyecto de Lübeck debido al bajo consumo de agua de los sanitarios a vacío. Para el caso de Flinterbreite, se han construido pantanos artificiales de alimentación vertical con dimensiones de 2m² por habitante. Estos son relativamente baratos de construir y también de operar. Se halla un clarificador primario similar a una trampa de arena, para controlar sólidos y grasas. Las primeras mediciones del efluente han mostrado muy bajas concentraciones de nitrógeno.

La infraestructura para Flinterbreite, incluyendo el concepto integrado de sanidad, ha sido financiado por un banco alemán y es operado por la compañía privada Infranova. Las compañías participantes, los planificadores y los dueños de las casas y apartamentos están integrados financieramente y tendrán el derecho de votar para la toma de decisiones concernientes al desarrollo. Parte de la inversión es cubierta por una cuota de conexión, tan solo como la de los sistemas tradicionales. El dinero ahorrado por no tener que construir un sistema de drenaje que utiliza agua para arrastre, por un menor consumo de agua fresca y

Diseño de un sistema de sanidad altamente eficiente con control de fuente

por la construcción coordinada de todas las tuberías y líneas (tubos de vacío, calefacción local y distribución de energía, suministro de agua, líneas telefónicas) es esencial para la viabilidad económica de este concepto. Las cuotas cargadas por aguas residuales y basura orgánica cubren los costos de operación, los intereses de la inversión adicional y el mantenimiento del sistema. Parte de los costos de operación debe ser pagada a un operador de medio tiempo: esto también provee empleo local. La compañía mantiene la operación de todas las estructuras técnicas, incluyendo la generación y la distribución de calor y energía, los sistemas solares activos y un sistema de comunicación avanzada.



Diagrama 9.4 (izquierda) El edificio comunitario en el asentamiento de Flintenbreite; (derecha) Un sanitario a vacío que utiliza un litro de agua por descarga.

Un estudio realizado en el Instituto Wuppertal en Alemania (Reckerzügl y Bringezu 1998) usando Intensidad de Material por Unidad de Servicio (IMUS) para comparar la intensidad del material y la energía de la estructura con aquella de un sistema tradicional. La intensidad del material y la energía es la mitad en el sistema descentralizado de la cantidad en un sistema centralizado convencional que sirve a un área de densidad de población mediana (ver Tabla 9.2). En el sistema centralizado, la mayor parte de la intensidad de material proviene de la construcción del sistema de drenaje. Los valores de efluente predichos están basados en promedios de mediciones de aguas grises. Las calidades de efluente se muestran en comparación con los valores promedio de una planta de tratamiento moderna con eliminación avanzada de nutrientes.

La Tabla 9.2 indica algunas ventajas importantes para el nuevo sistema que justifican continuar con su investigación. La reducción acumulada de emisiones al mar y los ahorros de energía y uso de materiales en un tiempo de vida promedio de 70 años para 350 personas sería alrededor de 250,000m³ de agua fresca, 70,000 kilogramos (kg) de DCO, 1,500 kg de P, 13,000 kg de N, 30,000 kg de K, 5,250,000 kilowatts-horas (kWh) de energía y cerca de 56,000 toneladas de IMUS de material usado. El fertilizante producido en el sistema puede además reemplazar el producido a partir de recursos fósiles. Esto puede

Diseño de un sistema de sanidad altamente eficiente con control de fuente

ser calculado en otros 2,450,000 kWh de energía ahorrada (Boisen 1996). Estas cifras son importantes al trasladarlas a un contexto de gran población mundial y decrecientes recursos fósiles.

El interés en el concepto integrado descrito antes se ha incrementado dramáticamente (Otterpohl y Naumann 1993) desde la construcción del proyecto en Lübeck. Existen otros proyectos donde este tipo de concepto será construido. El sistema en general puede bien ser más barato que el sistema tradicional. Esto depende de las posibilidades locales de infiltración de agua de lluvia, así como del tamaño del área a la que serviría y del número de habitantes. Un tamaño óptimo podría ser una zona urbana de entre 500 y 2000 habitantes. Unidades menores son viables si la mezcla de aguas negra y basura orgánica es recolectada y transportada a una planta de biogas más grande, preferentemente situada en una granja. Las aguas grises pueden ser tratadas en una planta de tratamiento de aguas residuales existente si el sistema de drenaje está en un punto cercano. En algunos casos esta es la manera más económica. La eliminación de nutrientes puede ser mejorada si un cierto porcentaje de la población tiene el servicio de un sistema separado de tratamiento de aguas negras.

Los sistemas de control de fuente pueden ser considerados como tecnología de alta eficiencia. La investigación en proyectos pilotos generará un paso más rápido de desarrollo y traerá nuevas tecnologías para todas las situaciones sociales y geográficas en nuestro tan poblado planeta.

9.7 NUEVO DESARROLLO 3: SISTEMAS LOCALES DE BAJO COSTO Y BAJO MANTENIMIENTO.

Existen muchas ideas y tecnologías tradicionales para una sanidad sustentable con un control real desde la fuente de los desechos humanos (Winblad 1998; Otterpohl *et al.* 1999a). Algunas son más convenientes para áreas rurales, pero hay opciones para áreas en el centro de metrópolis también. Las técnicas básicas de recolección y tratamiento de baja tecnología (con o sin desechos de cocina) son:

- desecación (con calentamiento solar, sistemas de doble cámara); difícil para áreas con limpieza anal húmeda (en lugar de papel higiénico); buena para colección de orina y reuso;
- composteo (frecuentemente difícil de operar);
- sanitarios de baja dilución con sistemas de biogas; y
- colección de orina combinada con sistemas de biogas para las heces.

Tabla 9.2. Emisiones, consumos de energía e intensidades de materiales estimados del sistema propuesto comparado con el sistema tradicional.

Concepto avanzado de sanidad tradicional (WC-D-PTAR)			Nuevo sistema de sanidad		
Emisiones			Emisiones*		
DCO	3.6	kg/(P*a)	DCO	0.8	kg/(P*a)
DBO ₅	0.4	kg/(P*a)	DBO ₅	0.1	kg/(P*a)

Diseño de un sistema de sanidad altamente eficiente con control de fuente

N Total	0.73	kg/(P*a)	N Total	0.2	kg/(P*a)
P Total	0.07	kg/(P*a)	P Total	0.01	kg/(P*a)
K Total **	(>1.7)	kg/(P*a)	K Total **	(<0.6)	kg/(P*a)
Energía			Energía		
Suministro de agua (amplia variación)	-25	kWh/(P*a)	Suministro de agua (20% ahorro agua)	-20	kWh/(P*a)
Consumo de tratamiento de aguas residuales (demanda típica)	-85	kWh/(P*a)	Sistema de vacío Tratamiento de aguas grises	-25	kWh/(P*a)
			Transporte de lodo (2/mes, retorno 50)	-2	kWh/(P*a)
Consumo	-110	kWh/(P*a)	Consumo	-67	kWh/(P*a)
			Biogas	110	kWh/(P*a)
			Sustitución de fertilizante	60	kWh/(P*a)
			Ganancia	170	kWh/(P*a)
Total	-110	kWh/(P*a)	Total	103	kWh/(P*a)
Intensidad de Material***	3.6	t/(P*a)	Intensidad de Material***	1.3	t/(P*a)

*mediciones de aguas grises (NN1999)

**asumido, no hay información

***estudio IMUS (Reckerzügl y Bringezu 1998)

El problema principal es diseñar un sistema de sanitario que sea cómodo, de baja dilución y capaz de llevar a cabo el transporte. Una técnica prometedora es el sanitario NoMix (que no mezcla), desarrollado en Suecia. Ya que la mayoría de las visitas al sanitario son para orinar, estos sistemas recolectan la orina usando muy poco agua. Esto permite la recolección y el tratamiento sencillos de la orina (incluyendo secado sobre una pared de piedra caliza en climas cálidos; sistemas solares a ser desarrollados). La orina puede ser usada como fertilizante directamente en la tierra de cultivo o después de dilución (con 5 a 10 partes de agua) en plantas, pero no directamente en hortalizas. La orina debe ser almacenada por alrededor de seis meses. Las heces del sanitario NoMix pueden ser enviadas a las plantas de biogas junto con desechos de la cocina. Un sistema de sanidad con control de fuente puede llevar a un apropiado reuso de fertilizante. Al mismo tiempo, el agua gris purificada puede sustituir al agua fresca en caso de escasez de agua. De esta manera los sistemas pueden ser muy económicos. El sistema estudiado en la Sección 9.5 puede ser usado en el nivel superior de sistemas de baja tecnología en muchos países para reemplazar las fosas sépticas y sanitarios convencionales de arrastre de agua.

9.8 NUEVO DESARROLLO 4: ACTUALIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE DE AGUAS RESIDUALES.

La recolección de orina puede convertir un sistema de drenaje convencional en uno con una muy alta tasa de reutilización de nutrientes y muy bajas emisiones de nutrientes. Cuando la mayor parte de la orina es mantenida fuera de la planta de tratamiento de aguas residuales, el paso de eliminación de nutrientes se vuelve obsoleto (Larsen y Udert 1999).

Diseño de un sistema de sanidad altamente eficiente con control de fuente

Existen dos caminos fundamentales: recolección centralizada o descentralizada. El enfoque centralizado sería almacenar la orina en tanques pequeños y abrirlos por la noche cuando el sistema de drenaje está casi vacío. Un sistema de control remoto vaciaría los tanques para generar un flujo concentrado que puede ser capturado en la planta de tratamiento (Larsen y Gujer 1996). Este método está limitado a sistemas de drenaje con un buen gradiente y tiempos de retención adecuados; sin embargo, puede ser también aplicado a ramificaciones del sistema de drenaje. Almacenamiento y recolección descentralizados es la otra posibilidad.

Si todas las aguas negras son recolectadas y tratadas separadamente, un sistema convencional de drenaje puede convertirse en una planta de reciclaje de aguas grises y producir agua substituta. La conversión podría ser realizada hasta por décadas si es necesario. La viabilidad económica de tal paso tiene que ser bien pensada, porque excepto en áreas muy densamente pobladas, la rehabilitación de los sistemas de drenaje requieren un alto nivel de inversión.

9.9 RIESGOS, OBSTÁCULOS Y RESTRICCIONES.

El primer objetivo para la sanidad debe ser minimizar los riesgos de salud. Los nuevos sistemas deben ser mejores que los sistemas convencionales de sanidad, los cuales son higiénicos dentro de la casa pero comúnmente no para las aguas recipientes.

La sanidad es un tema muy sensible con respecto al deseo natural del hombre por la limpieza y los tabúes que rodean esta cuestión. La falla de los nuevos sistemas puede ser (y lo ha sido en muchos casos) la consecuencia de esto, si no es considerado e incluido en el desarrollo del proyecto. Los asuntos alrededor de los nuevos sistemas de sanidad son complejos, pero cubren un área básica de las necesidades humanas. El mantener los ciclos de comida y agua separados, el retorno de materia de la tierra a la tierra y cero emisiones al sistema acuático deben ser todos explicados a los usuarios prospectos de los nuevos sistemas de sanidad.

La infraestructura de aguas residuales es regularmente construida para ser extremadamente duradera. Esta estabilidad parece tan omnipotente para tantas personas que ellos no pueden ni siquiera imaginar diferentes soluciones de sanidad en el futuro. Tenemos que considerar la vida media de las casas, los sistemas de drenaje y las instalaciones de tratamiento con el fin de evitar problemas financieros en el futuro. El cambio es más fácil para asentamientos recientemente construidos. El tiempo de vida de una casa es por mucho menor que el de un sistema de drenaje. Los componentes de un sistema de sanidad con control de fuente podría ser instalado en departamentos cuando se encuentren en renovación, y hayan sido conectados primero a los sistemas convencionales. Esto puede ser económico con ahorro de agua desde el principio. Más tarde, después de que un grupo de viviendas haya sido convertido, un tratamiento separado puede ser implantado.

9.10 ¡BIENVENIDO AL FUTURO!

Es realmente un reto participar en el desarrollo de una nueva tecnología. Con el propósito de encontrar una mejor sanidad en el futuro se requieren habilidades

Diseño de un sistema de sanidad altamente eficiente con control de fuente

profesionales y una búsqueda de soluciones con la mente abierta. Un diálogo abierto y un intercambio de experiencias son esenciales para llevar la cosa hacia delante. Existen tantas opciones posibles que todas las condiciones sociales y económicas se pueden satisfacer. Se necesita creatividad para encontrar la tecnología adecuada y la mejor manera de implantarla, operarla y financiarla. Hay una necesidad extremadamente urgente de nuevas soluciones, sea o no esta ignorada por los medios, los políticos y el pueblo. No obstante, en muchos países industrializados, la conversión completa tendrá que ser realizada en el transcurso de décadas, debido a la duradera infraestructura de drenaje existente, estos países tienen los mejores recursos para la investigación y construir instalaciones piloto.

9.11 BIBLIOGRAFÍA

- Agenda 21 (1992). Programa de Acción de las Naciones Unidas de Río. Organización de las Naciones Unidas, Nueva York.
- Boisen, T. (1996) Comunicados personales, UT Dinamarca, Departamento de Construcción y Energía.
- Daughton, Ch.G. y Ternes, Th.A. (1999) Pharmaceutical and personal care products in the environment: agents of subtle change? *Environmental Health Perspectives* **107**(6), 907.
- Harremöes, P. (1997) Integrated water and wastewater management. *Wat. Sci. Tech* **35**(9), 11-20.
- Henze, M. (1997). Waste design for households with respect to water, organics and nutrients. *Wat. Sci. Tech.* **35**(9), 113-120.
- Henze, M., Somolyódy, L., Schilling, W. y Tyson, J. (1997). Sustainable sanitation. Selected Papers on the Concept of Sustainability in Sanitation and Wastewater Management. *Wat. Sci. Tech.* **35**(9), 24.
- Lange, J. y Otterpohl, R. (1997) Abwasse. Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft, segunda edición. Mallbeton Verlag, Pfohren, Alemania. (En alemán).
- Larsen, T.A. y Gujer, W. (1996) Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine). *Wat. Sci. Tech.* **34**(3-4), 87-94.
- Larsen, T.A. y Udert, K.M. (1999) Urinseparierung – ein Konzept zur Schliessung der Nährstoffkreisläufe. *Wasser & Boden.* (En alemán).
- Manis Tiwari, D. (2000) Rainwater harvesting – Standing the test of drought. *Down to Earth* **8**(16), 15 Enero.
- NN (2000) www.flintenbreite.de