

SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE TRATAMIENTO Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN UN BARRIO PRIVADO EN SALTA, ARGENTINA

DECENTRALIZED SEWAGE TREATMENT AND REUSE SYSTEMS IN A PRIVATE NEIGHBORHOOD IN SALTA, ARGENTINA

Lucas Seghezzo*

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Instituto de Investigación en Energía No Convencional (INENCO), Salta, Argentina.

Licenciado en Recursos Naturales (Universidad Nacional de Salta, UNSa). M.Sc. y Ph.D. en Ciencias del Medio Ambiente (Universidad de Wageningen, Holanda).

Consultor Internacional Senior Lettinga Associates Foundation (LeAF), Wageningen, Holanda.

Aníbal P. Trupiano

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Gobierno de la Provincia de Salta, Argentina.

Walter A. Tejerina

Facultad de Ingeniería (FI), UNSa, Salta, Argentina.

Viviana I. Liberal

FI, UNSa, Salta, Argentina.

Carlos M. Cuevas

FI, UNSa, Salta, Argentina.

* Avda. Bolivia 5150, A 4408 FVY Salta, Argentina; +54-387-4255516; lucas@unsa.edu.ar

RESUMEN

Se presenta y discute el diseño, operación y transferencia de un sistema de tratamiento de aguas residuales para viviendas unifamiliares. El sistema, que se conoce localmente como "STAR" (Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales), incluye tratamiento primario y secundario, una etapa de filtración, una etapa opcional de desinfección para la eliminación de patógenos, si fuera requerido, y alternativas de disposición final. Los efluentes tratados pueden ser reutilizados para riego. El tratamiento secundario se lleva a cabo en un reactor anaeróbico de manto de lodos y flujo ascendente o reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket). Se presentan datos de operación de cinco sistemas localizados en un barrio privado ubicado en las cercanías de la ciudad de Salta, Argentina. Los efluentes de los sistemas estudiados cumplen en general con las normas municipales de descarga de efluentes. El uso de sistemas STAR puede contribuir a minimizar el riesgo de contaminación del agua subterránea y a reducir considerablemente la inversión inicial requerida por un sistema convencional de colectora cloacal y planta de tratamiento centralizada. Una evaluación más confiable y completa de la eficiencia de los sistemas orientada a optimizar el diseño para futuros usuarios requiere la realización de muestreos sistemáticos y frecuentes. Para promover su utilización segura y exitosa, se han realizado actividades de transferencia de esta tecnología a usuarios finales, arquitectos, ingenieros, empresas constructoras y estudiantes universitarios locales.

ABSTRACT

The design, operation, and transfer of a sewage treatment system for single households is presented and discussed. The system, locally known as "STAR", Spanish acronym for "wastewater treatment system" (Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales), includes primary and secondary treatment, a filtration step, an optional disinfection stage to remove pathogens if required, and final disposal alternatives. Treated effluents can be reused for irrigation. Secondary treatment is provided by an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. Five systems have been operating at a relatively isolated neighborhood in Salta, Argentina. Effluents complied with discharge standards for organic matter. The system minimizes the risk of polluting the groundwater table and considerably reduces the investment demanded by conventional sewers and centralized treatment plants. Systematic monitoring is

essential to assess the operation and optimize future designs. In order to transfer this technology to end users and promote its safe and successful implementation, training courses have been given to local professionals and university students.

Palabras clave: aguas residuales domésticas; reactor UASB; reuso; sistemas descentralizados; tratamiento anaeróbico.

INTRODUCCION

Antecedentes

En la ciudad de Salta, en el Noroeste Argentino, las investigaciones sobre sistemas de tratamiento anaeróbico comenzaron en 1995 cuando se puso en marcha el primer reactor anaeróbico de flujo ascendente y manto de lodos o reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) para el tratamiento de aguas residuales domésticas (ARD). Los resultados obtenidos desde entonces permiten afirmar que, bajo las condiciones ambientales locales, el reactor UASB es una tecnología eficiente y robusta para el tratamiento de ARD crudas o pre-sedimentadas (Seghezzo, 2004). Un producto de estas investigaciones ha sido el diseño de un sistema integral y descentralizado para el tratamiento y reuso de ARD que se conoce localmente como "STAR" (Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales).

El reactor UASB

El éxito del concepto UASB, desarrollado a fines de los años 70 en Holanda (Lettinga et al., 1980), radica en el establecimiento de un denso manto de lodo en la zona inferior del reactor, en el cual tienen lugar la totalidad de los procesos bacterianos que conducen a la eliminación de la contaminación orgánica. Este manto o lecho de lodo se forma por acumulación de sólidos suspendidos y bacterias en crecimiento. La turbulencia generada por el flujo de ARD que ingresa al reactor y el burbujeo ocasionado por la producción de biogás son suficientes para asegurar un buen contacto entre el ARD y la biomasa bacteriana (Hulshoff Pol et al., 1983). Diversas configuraciones de proceso son posibles para el diseño de una planta de tratamiento en la que se incluya un reactor UASB como etapa principal de tratamiento biológico. El reactor UASB puede reemplazar parcial o totalmente muchas de las unidades requeridas en sistemas aeróbicos convencionales (tales como barros activados o lechos percoladores), pero siempre es necesario considerar la utilización de desarenadores, rejillas de distintos diámetros para la retención de materiales gruesos, y lechos para el secado de los barros biológicos generados. El efluente de los reactores UASB normalmente necesita tratamiento adicional para remoción de Demanda Química y/o Bioquímica de Oxígeno (DQO/DBO), material orgánico coloidal, patógenos, olores, entre otros parámetros de calidad del efluente, para alcanzar las normas específicas de descarga o reuso. Este post-tratamiento puede ser llevado a cabo en sistemas aeróbicos. De todas maneras, la incorporación de una etapa anaeróbica reduce los requerimientos de superficie de todo el sistema de tratamiento.

Tecnología sustentable

La evaluación de la sustentabilidad de una tecnología en particular es una tarea compleja que debe tener en cuenta la mayor cantidad posible de impactos que la adopción y uso de esta tecnología pueden ocasionar a la sociedad y el medio ambiente (Wad y Radnor, 1984). Los aspectos culturales locales deben ser considerados, especialmente en países en desarrollo, y debería prestarse atención a los efectos de la tecnología a largo plazo y en diferentes escalas de análisis (regional, continental y global). Probablemente no existan tecnologías que sean intrínsecamente sustentables, como tampoco puede decirse que haya una respuesta estrictamente objetiva a la compleja cuestión de la sustentabilidad. Podría decirse que la unidad mínima que puede o no ser sustentable es el escenario o contexto en el cual las tecnologías son utilizadas y aplicadas, más que las tecnologías o los sistemas en sí mismos. Al respecto, simples dicotomías como, por ejemplo, tecnologías de pequeña escala versus tecnologías de gran escala, o sistemas centralizados versus sistemas descentralizados, pierden su significado porque criterios como "escala" o "grado de centralización" no pueden ser usados en forma aislada para evaluar la sustentabilidad de una tecnología determinada (van Vliet, 2004). Diferentes lugares requieren soluciones diferentes y la implementación exitosa de

la “mejor” solución para un caso particular depende en gran parte de la aceptación consciente, imparcial y democrática de los actores locales (Rijsberman y van de Ven, 2000).

Transferencia de tecnología

Algunas veces las tecnologías modernas y “eficientes” que fueron creadas en el contexto de la economía de mercado han sido asociadas con altos costos sociales y ecológicos (Bandyopadhyay y Shiva, 1989). Por otro lado, la introducción de nuevas tecnologías puede afectar o transformar los sistemas socio-culturales y es necesario tener en cuenta que entre la invención o el desarrollo de una cierta tecnología y su efectiva adopción por los usuarios finales generalmente tiene lugar un proceso muchas veces largo y complejo (Freeman, 1974). Este proceso de difusión de tecnologías en la sociedad puede ser facilitado u obstaculizado por una gran cantidad de factores (Ray, 1984). La transferencia de tecnología puede ser conveniente para países en desarrollo ya que les permitiría evitar el largo y costoso proceso de creación tecnológica (Pachauri et al., 1994). Sin embargo, la transferencia de tecnología no debería ser sólo una transferencia de bienes y capital sino también de habilidades y herramientas de gestión que contribuyan al desarrollo de la capacidad tecnológica del país. La construcción de capacidad tecnológica requiere el desarrollo de los recursos humanos necesarios para seleccionar, asimilar, adaptar, mejorar y crear nueva tecnología (Putranto et al., 2003; Vessuri, 2003). Cualquier transferencia de tecnología conllevará también la adopción de los riesgos asociados con esa tecnología en particular (Hellström, 2003). Como la mayoría de estos riesgos están relacionados al hecho de que las innovaciones tecnológicas tienden a incrementar la complejidad, la interdependencia y la centralización, podría argumentarse que los cambios tecnológicos en el sentido de la simplicidad, la independencia, la autosuficiencia y la descentralización tenderían a una reducción asociada de esos riesgos globales. La velocidad a la cual una nueva tecnología es adoptada está influenciada por muchos factores técnicos, sociales, institucionales y hasta geográficos. La adopción de una determinada tecnología puede también enfrentarse a la presencia de tecnologías tradicionalmente establecidas y a patrones, normas, arquetipos, modelos, o intereses, en general agrupados como “paradigmas” o “trayectorias”, que están enraizados tanto en la sociedad como en la investigación y la práctica científica y tecnológica (Kemp, 1993).

Convergencia tecnológica

En algunos países en desarrollo, los sectores más prósperos de la sociedad tienden a usar tecnologías más costosas, usualmente centralizadas y generalmente más contaminantes por el sólo hecho de que pueden permitírselo en términos económicos. A veces, sin embargo, la existencia de limitaciones físicas o geográficas, la necesidad de cumplir con restricciones institucionales o legales, o algunas exigencias específicas de rendimiento técnico pueden obligar a los usuarios a buscar alternativas tecnológicas con menor impacto ambiental o social que no están siempre disponibles en la oferta tecnológica tradicional. Estas situaciones podrían ser una oportunidad útil y un desafío interesante para probar tecnologías que satisfagan altos niveles de confort y servicios mientras que, al mismo tiempo, cumplan con los más rigurosos criterios de sustentabilidad, incluyendo el de accesibilidad económica. En estos casos, los segmentos de población con mayor poder adquisitivo pueden jugar un rol positivo mediante el financiamiento total o parcial de las tareas requeridas para la adaptación de una determinada tecnología a las condiciones locales. El rol de algunas instituciones públicas tales como universidades y centros de investigación puede también ser importante para promover la diseminación y garantizar la disponibilidad pública de las soluciones tecnológicas desarrolladas de esta manera. Este proceso de generación, adaptación y difusión de tecnologías más sustentables puede contribuir a generar un cierto grado de “convergencia” tecnológica entre todos los sectores sociales que se considera importante en términos de sustentabilidad ya que una sociedad que promueve un tipo de tecnología para los ricos y otro para los pobres, no será nunca sustentable.

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es presentar información sobre el diseño, construcción, operación y transferencia del sistema STAR para su uso en viviendas unifamiliares de un barrio privado construido en un ambiente vulnerable en la ciudad de Salta, Argentina.

METODOLOGIA

Localización del estudio

Los sistemas STAR objeto de este trabajo fueron construidos en una urbanización privada denominada “Valle Escondido”, localizada en un valle rodeado por cerros a unos 5 km de la ciudad de Salta, en el Noroeste de Argentina (**Figura 1**). El área ha sido declarada como “protegida” por la legislación municipal (Municipalidad de Salta, 1999), por lo que las intervenciones humanas están relativamente restringidas. Del total de 640 ha que constituyen “Valle Escondido”, aproximadamente el 80% será destinada a áreas verdes y jardines. Sin embargo, alrededor del 95% del área total del proyecto permitirá la infiltración de agua ya que las calles no serán pavimentadas, se protegerán áreas con fines recreativos y paisajísticos, y se evitarán las construcciones en algunos espacios comunes. Se construirán entre 300 y 400 viviendas en terrenos que varían entre 2500 y 10000 m². Actualmente, alrededor del 40% de las viviendas ya han sido construidas. Para cumplir con la legislación provincial, las tres fases de la urbanización han sido sometidas a Estudios de Impacto Ambiental (EIA) realizados por un equipo multidisciplinario de profesionales (García et al., 2006). La temperatura promedio de la zona es 17.9°C y la precipitación anual es de 662 mm (Bianchi, 1996). El agua potable es de buena calidad y se ha encontrado en cantidad suficiente para cubrir las necesidades de toda la urbanización en pozos excavados y perforados a profundidades entre 13 y 165 m. El contenido de arcilla del terreno de la mayor parte del valle es relativamente bajo y la estructura y textura del suelo permiten una infiltración moderadamente rápida. El riesgo de afectación del acuífero por infiltración de aguas contaminadas se evaluó como bajo a moderado (García et al., 2006). El área no tiene cobertura de red cloacal y por lo tanto el tratamiento de ARD debe ser lo suficientemente bueno como para descargar el efluente doméstico tratado en el suelo sin poner en peligro la calidad del acuífero.

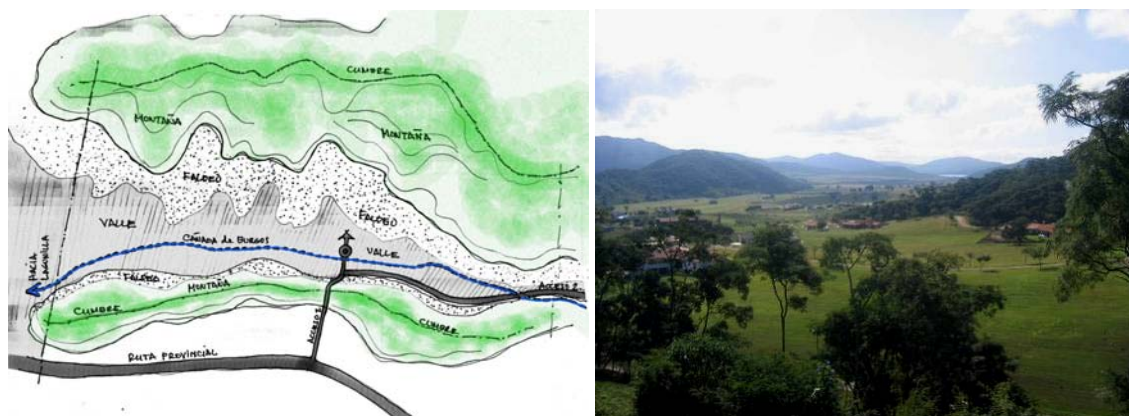


Figura 1. Esquema general de la zona a urbanizar en “Valle Escondido” (izquierda) y vista panorámica de la situación actual (derecha). Croquis y foto gentileza de Luis F. Rengifo.

Selección del sistema

“Valle Escondido” fue concebido como una urbanización “ecológica”. La selección de un sistema de tratamiento descentralizado e integral se basó en la necesidad de minimizar el riesgo de contaminación del acuífero subterráneo, única fuente disponible de agua potable en esa zona, aunque otros criterios técnicos, económicos y sociales también jugaron un papel importante en esa decisión. El área no está cubierta con la red cloacal municipal y, por razones geográficas, resultaba complicado y costoso transportar las ARD hasta la red. Por otra parte, la construcción de una planta de tratamiento convencional (aeróbica) fue descartada porque las casas están siendo construidas en forma muy gradual y la inversión no podría ser absorbida por los escasos propietarios iniciales. El uso de efluentes tratados para irrigación de espacios verdes, una práctica que ahorra agua y puede ser tomada como parte del proceso de tratamiento, tiene también beneficios económicos ya que la disponibilidad de agua potable es relativamente limitada y la tarifa se calcula de acuerdo al consumo de las viviendas.

El sistema "STAR"

El sistema STAR es una combinación de varios procesos de tratamiento y puede ser adaptado a las necesidades específicas de los usuarios (**Figura 2**). El sistema incluye unidades de tratamiento preliminar, primario y secundario (biológico), una etapa de filtración en arena o en el suelo, y facilidades para almacenamiento y desinfección (opcionales). Podría ser necesario en casos especiales un tratamiento preliminar (rejillas, separador de grasas y desarenador). La etapa biológica principal de este sistema es un reactor UASB. Los efluentes tratados pueden ser reutilizados en riego y los excedentes ser dispuestos en pozos absorbentes, lechos de infiltración, o descargados directamente en cuerpos de agua en función de la calidad del efluente y las posibilidades geográficas.

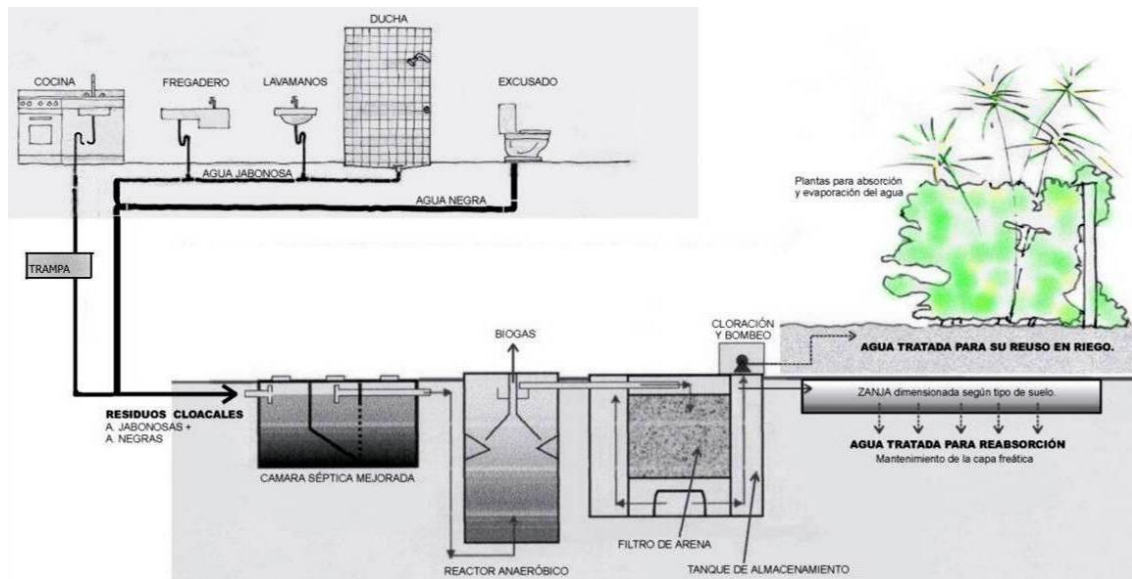


Figura 2. Diagrama esquemático no a escala de una de las posibles configuraciones STAR. Croquis gentileza de Luis F. Rengifo.

Toma de muestras y análisis de laboratorio

La caracterización del efluente de los sistemas fue realizada mediante el análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos sobre muestras puntuales. Las muestras se tomaron una o dos veces al año para cumplir con las regulaciones internas de la urbanización. Los muestreos fueron realizados por personal del Laboratorio de Estudios Ambientales (LEA) de la Universidad Nacional de Salta (UNSa). Las muestras fueron mantenidas a 4°C hasta su análisis. La temperatura y el pH fueron medidos en el momento del muestreo. La materia orgánica, expresada como DQO (Demanda Química de Oxígeno), y los sulfuros (S^{2-}) fueron determinados por duplicado. Los sólidos sedimentables en 10 min y en 2 h fueron determinados en conos Imhoff. Las determinaciones se realizaron de acuerdo al *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1995) o usando micrométodos HACH®. Los resultados se expresan mediante promedios acotados con un intervalo de confianza (IC) con un nivel de significación (α) del 0.05 (5%).

RESULTADOS Y DISCUSION

Rendimiento de los sistemas

Los sistemas STAR fueron construidos por compañías locales. El material de construcción más utilizado fue mampostería de concreto. Algunos elementos de los reactores UASB, como los conos separadores Gas-Líquido-Sólido (GLS), fueron hechos en plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV) o metal (**Figura 3, izquierda**). Ambos materiales resultaron adecuados y fueron también comparables en términos de costos. El primer sistema STAR fue construido en 2003. Actualmente hay cinco sistemas en operación en este barrio (**Figura 3, derecha**), junto a otros once sistemas de tratamiento de tipo aeróbico que fueron diseñados y construidos por otras

empresas del medio. La ausencia de mayor experiencia local con la tecnología STAR fue un motivo por el que muchos propietarios de la urbanización optaron por otros sistemas de tratamiento que se ofrecían en el mercado (con los cuales, cabe aclarar, tampoco existía demasiada experiencia local). Sin embargo, la presencia de empresas nacionales que ofrecían sus sistemas “llave en mano” a través de empresarios locales con cierto prestigio en otros rubros fue suficiente en algunos casos para descartar el sistema STAR en primera instancia.



Figura 3. Sistema STAR en construcción (izquierda) y en operación (derecha). El sistema de la izquierda es una versión compacta del diseño original, desarrollada por arquitectos locales. Fotografías de Luis F. Rengifo (izquierda) y Walter A. Tejerina (derecha)

Las muestras de efluentes fueron tomadas en 2005 y 2007 de los sistemas que estaban operando en el momento del muestreo. La calidad promedio del efluente cumple holgadamente con las normas locales de descarga para disposición final en suelo (Municipalidad de Salta, 2001; SeMADeS, 2001) (**Tabla 1**). Sólo se detectó un caso de no cumplimiento, con un valor de DQO de 218 mg/L, ligeramente superior a los 200 mg/L que establece la norma de descarga. Por análisis complementarios realizados en algunas muestras, se puede anticipar que los efluentes no cumplen con las normas de descarga para coliformes totales y fecales, por lo que, en algunos casos, sería necesaria una etapa de desinfección antes de la descarga del efluente en el sitio de disposición final. Se observaron algunas variaciones entre los sistemas, probablemente debidas a diferencias en las costumbres domésticas, al uso de cantidades diferentes de jabón y otros productos de limpieza, al elevado consumo de agua en algunas viviendas, a la presencia de mayor cantidad de personas por vivienda que las estimadas en el momento del diseño, a dificultades de muestreo (no se trabajó sobre muestras compuestas), entre otros motivos.

Tabla 1. Resultados de los análisis de muestras de efluentes de cinco sistemas STAR para dos períodos de muestreo. Se muestran promedios \pm IC al 95%. Las normas de descarga en suelo son las vigentes en la Municipalidad de Salta (2001).

Año	STAR	pH	S ²⁻ (mg/L)	Sólidos sedimentables (mL/L)		DQO (mg/L)
				10 min	2 h	
2005	1, 2, 3	7.5 \pm 0.2	1.8 \pm 2.1	0.03 \pm 0.07	0.03 \pm 0.07	149.0 \pm 71.8
2007	1, 2, 4, 5	8.1 \pm 0.6	1.2 \pm 1.6	0.13 \pm 0.24	0.50 \pm 0.98	129.7 \pm 77.9
Norma de descarga:		5.5 a 10.0	5.0	0.5	5	200.0

Los sistemas STAR presentaron en general un rendimiento superior al de los sistemas aeróbicos monitoreados. De hecho, el efluente de los otros once sistemas aeróbicos de tratamiento contenía en promedio 303.4 \pm 104.1 mgDQO/L y sólo tres de ellos cumplieron con

las normas de descarga para este parámetro. El efluente crudo que ingresa a los sistemas no fue analizado, por lo que no es posible calcular la eficiencia de remoción. Sin embargo, de acuerdo a la experiencia obtenida en trabajos anteriores realizados en la región, es posible inferir que la concentración del ARD influente está probablemente entre 400 y 600 mg DQO/L y, por lo tanto, la eficiencia de remoción estimada de los sistemas STAR se encontraría entre 65 y 75%, lo cual está de acuerdo con resultados previos obtenidos en reactores UASB utilizados para tratar ARD presedimentadas (Seghezzi, 2004).

Monitoreo y evaluación de los sistemas

A pesar de la escasa capacidad de control gubernamental, la actitud proactiva de la administración del barrio lleva a cabo un programa regular de muestreo y monitoreo. Desde un punto de vista más académico, sin embargo, se puede considerar que la frecuencia de muestreo fue relativamente baja, ya que se realizó sólo con la intención de cumplir con las regulaciones ambientales locales. Sería necesario un muestreo más sistemático y frecuente para hacer más segura la evaluación de los sistemas actuales y para optimizar el diseño, construcción y operación de los sistemas futuros. Este monitoreo probablemente requiera un aporte de financiación externa. La experiencia con otros sistemas descentralizados para la provisión de agua y servicios sanitarios indica que son frecuentemente los más sustentables aunque los resultados tienden a ser más heterogéneos (Pearce-Oroz, 2006). Por otra parte, en sistemas individuales de tratamiento de efluentes es virtualmente imposible, por razones de costo, requerir la construcción de instalaciones que permitan el muestreo del efluente crudo. Por esta razón, es difícil medir la eficiencia de dichos sistemas. Para evaluar la eficiencia de los sistemas de manera más precisa, sería interesante construir algunas unidades que cuenten con tanques de muestreo adecuados de manera de tener la posibilidad de caracterizar el efluente crudo producido en la vivienda.

Capacidad de construcción

El éxito del sistema STAR fue rápidamente conocido entre los arquitectos, ingenieros y empresas constructoras de la zona, al punto que la sigla STAR comenzó a transformarse en sinónimo de "sistema descentralizado de tratamiento de efluentes" aún entre los profesionales que no sabían que el diseño original provenía de la universidad nacional local. Algunas empresas trataron de copiar el sistema y construyeron unidades de rendimiento deficiente que comenzaron a generar dudas sobre la eficiencia del sistema original. Por esta razón, se decidió comenzar una activa campaña para diseminar la tecnología con todos sus detalles a los profesionales locales de la construcción. Esta campaña comenzó con un curso de entrenamiento dado en la asociación de arquitectos en diciembre de 2007 en el cual participaron alrededor de treinta profesionales. Están programados cursos similares en las asociaciones de ingenieros para el año 2008. También están siendo entrenados en estos temas graduados universitarios y estudiantes de postgrado. El espíritu de estas actividades de transferencia se basa en los ideales del Profesor Gatzke Lettinga, inventor del reactor UASB, quien no patentó su invención para garantizar su diseminación libre, abierta y global.

Discusión final

La existencia de un consumidor "verde" y responsable ha sido siempre considerada un requisito importante para la adopción y difusión de tecnologías más sustentables. Por tal motivo, se han realizado muchos esfuerzos en décadas pasadas en áreas tales como la educación ambiental. No está del todo claro si tales esfuerzos han tenido el éxito deseado ya que la adquisición de bienes con mejores rendimientos ambientales no ha cumplido las expectativas iniciales y la toma de decisiones de consumo no se realiza necesariamente según criterios ambientales. Existen casos en los que la selección de una determinada tecnología más sustentable puede estar favorecida por la carencia relativa de otras opciones. Estas situaciones podrían ser una oportunidad para probar las posibilidades y las ventajas de algunas de esas tecnologías sin necesidad de entrar a competir con opciones tecnológicas convencionales y bien establecidas ya que, en general, los usuarios tienden a la utilización de las alternativas conocidas, seguras, y demostradas, de manera de minimizar los potenciales riesgos que se asocian (con o sin razón) a las nuevas tecnologías. Una experiencia exitosa con una tecnología nueva en un nicho de mercado en donde hay una cantidad limitada de opciones podría ser un catalizador para un cambio tecnológico a mayor escala. La introducción exitosa de tecnologías más sustentables en áreas marginales o vulnerables en las cuales existen pocas opciones alternativas disponibles podría potenciar luego la aceptabilidad de dichas tecnologías en toda la sociedad.

Esa estrategia de difusión podría ser más eficiente para introducir conceptos nuevos, más sustentables, que un enfrentamiento comercial abierto contra opciones menos sustentables pero defendidas por actores poderosos que controlan el mercado y pueden ejercer una importante presión sobre los consumidores a través de la publicidad o haciendo uso (y abuso) de su posición dominante. Por otro lado, es importante tener siempre en cuenta que las tecnologías no son nunca intrínsecamente sustentables si están desconectadas de las necesidades y los requerimientos de los usuarios y si se pretende introducirlas sin considerar las características específicas de los lugares en los que van a ser utilizadas. También es importante tener en cuenta que una tecnología más sustentable debería ser una alternativa para la solución de las necesidades de todos los sectores de la sociedad, independientemente del nivel de ingreso o la posición social. Por razones estratégicas, antes de promover una nueva tecnología supuestamente más sustentable a una escala regional, nacional o global, es prudente probarla a pequeña escala en nichos del mercado o de la sociedad que pueden no ser suficientemente rentables en un comienzo para empresas consolidadas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desempeño de los sistemas STAR en operación fue satisfactorio y su efluente cumple con las normas locales de descarga excepto para coliformes totales y fecales si no se incorpora una etapa de desinfección.

Una evaluación más confiable de la eficiencia de los sistemas orientada a evaluar su funcionamiento y optimizar el diseño para futuros usuarios, requiere la realización de muestreos más sistemáticos y frecuentes.

El sistema STAR ha sido seleccionado por los habitantes de este barrio privado porque permite el reuso del efluente tratado para riego, contribuye a minimizar el riesgo de contaminación del agua subterránea, y reduce la inversión inicial requerida por un sistema convencional de colectora cloacal y planta de tratamiento convencional.

Para promover la utilización segura y exitosa de los sistemas STAR, se están realizando actividades de transferencia de esta tecnología a usuarios finales, arquitectos, ingenieros, empresas constructoras y estudiantes universitarios locales.

La experiencia obtenida en este barrio podría ser usada en otras áreas similares donde la construcción de un sistema convencional de colectora cloacal y/o planta de tratamiento centralizado resultara indeseable por razones ambientales, económicas o sociales. Una de las lecciones aprendidas más importantes en este trabajo es que un adecuado diseño y operación resultan cruciales para el éxito de los sistemas descentralizados como el STAR.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la información provista por el equipo de arquitectos de Gómez de la Lastra & Asociados, y especialmente a Luis F. Rengifo. La administración de "Valle Escondido" permitió acceso a los resultados analíticos.

REFERENCIAS

- Bandyopadhyay, J. y Shiva, V. (1987). Development, poverty and the growth of the green movement in India. *The Ecologist*, 19(3), 111-117.
- Bianchi, A. R. (1996). *Temperaturas Medias Estimadas para la Región Noroeste de Argentina*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria. Salta, Argentina, 14 pp.
- Freeman, D.M. (1974). *Technology and society: issues in assessment, conflict, and choice*. Markham series in process and change in American society, Rand McNally College Publishing Company, Chicago, Estados Unidos.
- García, R.F., Chafatinos, T., Moya Ruíz, F.A., Rocha Fasola, V., Tálamo, E., Medina, E.P.J., Morón Usandivaras, A.G., Soria, S.S., y Méndez Macías, D.J. (2006). Estudio de impacto

- ambiental y social de la eco-urbanización Valle Escondido (tercera etapa), Provincia de Salta. Salta, Argentina, 145 pp.
- Hellström, T. (2003). Systemic innovation and risk: technology assessment and the challenge of responsible innovation. *Technology in Society*, **25**, 369-384.
- Hulshoff Pol, L.W., de Zeeuw, W.J., Velzeboer, C.T.M., y Lettinga, G. (1983). Granulation in UASB-reactors. *Water Science and Technology*, **15**, 291-304.
- Kemp, R. (1993). An economic analysis of cleaner technology: theory and evidence. En Fischer, K. y Schot, J., editores, *Environmental strategies for industry. International perspectives on research needs and policy implications*, 79-113, Island Press, Washington D.C., Estados Unidos.
- Lettinga, G., van Nelsen, A.F.M., Hobma, S.W., de Zeeuw, W., y Klapwijk, A. (1980). Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. *Biotechnology and Bioengineering* **22**, 699-734.
- Municipalidad de Salta (1999). Ordenanza 9278/99. Creación de la Reserva Natural de Uso Múltiple.
- Municipalidad de Salta (2001). Ordenanza 10438/01. Normas de emisión de líquidos cloacales.
- Pachauri, R.K., Damodaran, M., y Dang, H. (1994). Industrial restructuring in developing countries: The case of India. En Ayres, R.U. y Simonis, U.E., *Industrial Metabolism. Restructuring for sustainable development*, 55-77, United Nations University Press, Tokyo, Japón.
- Pearce-Oroz, G. (2006). The viability of decentralized water and sanitation provision in developing countries: the case of Honduras. *Water Policy*, **8**, 31-50.
- Putranto, K., Stewart, D., y Moore, G. (2003). International technology transfer and distribution of technology capabilities: the case of railway development in Indonesia. *Technology in Society*, **25**, 43-53.
- Ray, G.F. (1984). *The diffusion of mature technologies*. Cambridge University Press, Occasional papers XXXVI, Cambridge, Reino Unido.
- Rijsberman, M.A. y van de Ven, F.H.M. (2000). Different approaches to assessment of design and management of sustainable urban water systems. *Environmental Impact Assessment Review*, **20**, 333-345.
- Seghezzi, L. (2004). *Anaerobic treatment of domestic wastewater in subtropical regions*. Tesis de doctorado. Universidad de Wageningen, Wageningen, Holanda.
- SeMADeS (Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Provincia de Salta). *Resolución 011/01*. Normas de descarga de efluentes para la Provincia de Salta.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1995). Décimo novena edición, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, Estados Unidos.
- van Vliet, B. (2004). Shifting scales of infrastructure provision. En Chappells, H., Southerton, D. y van Vliet, B., editores., *Sustainable consumption: the implications of changing infrastructures of provision*, Edward Elgar Publishing, Camberly, Reino Unido.
- Vessuri, H. (2003). Science, politics, and democratic participation in policy-making: a Latin American view. *Technology in Society*, **25**, 263-273.
- Wad, A. y Radnor, M. (1984). *Technology assessment: review and implications for developing countries*. UNESCO, París, Francia.