

Comparación de costos de soluciones de saneamiento modernas y convencionales *

Markus Lechner¹,
Günter Langergraber^{2,1}

- ¹ Club EcoSan
Neulerchenfelderstrasse 9/32, A-1160 Viena, Austria
sitio Web: www.ecosan.at
correo electrónico: ecosanclub@gmx.at
- ² IWGA-SIG – Departamento de Ingeniería Sanitaria y Control de Contaminación del Agua
BOKU – Universidad de Recursos Naturales y Ciencias aplicadas a la Vida, Viena
Muthgasse 18, A-1190 Viena, Austria
correo electrónico: guenter.langergraber@boku.ac.at

Palabras clave

Estudio comparativo, eficiencia en costos, costos de inversión, costos operativos, conceptos ecosan

Resumen

El objetivo de este estudio es investigar la efectividad de costos de soluciones ecosan para poblaciones rurales en Austria. Se han comparado tres escenarios diferentes que van de lo convencional hasta soluciones modernas orientadas al reuso. Para efectos de comparación se consideró el apego a la legislación vigente como una precondition para todas las soluciones. Para la comparación se utilizó una “población modelo” similar a una típica población rural. Considerando los requerimientos legales debido a los receptores pequeños – típicos de estas zonas – se asumieron estándares por arriba de la norma para aguas residuales.

Se compararon tres escenarios. El escenario A representa una solución convencional que incluye drenaje y planta de tratamiento; el escenario B toma en cuenta la desviación de la orina, su almacenamiento por separado y su descarga a la planta de tratamiento para reuso y el escenario C considera medidas domésticas de reducción de cantidad, almacenaje y reuso respectivamente, baños secos y tratamiento de aguas grises con posterior absorción. La estimación de costos está basada en los costos actuales de sistemas comparables y en la oferta de los proveedores. Se consideraron también los cambios necesarios dentro de los hogares.

Los resultados demuestran claramente que tanto en la construcción como en la operación y mantenimiento los sistemas convencionales para zonas rurales son la opción más costosa aunque continúa siendo promovida por los sistemas de subsidio. Es evidente que además de su sustentabilidad, los sistemas orientados al reuso ofrecen definitivamente una ventaja económica.

Introducción

La existencia y aplicación de una legislación ambiental estricta ha traído consigo mejoras significativas a la situación ambiental en Austria, al menos en lo que se refiere al asunto del

* Este artículo ha sido revisado por el comité científico del simposio

agua. Aproximadamente 85% de la población está conectada al drenaje público y por consiguiente sus aguas residuales son tratadas en plantas de tratamiento biológico (BMLFUW, 2003a) que, según el tamaño, cuentan con sistemas biológicos avanzados para la eliminación de nutrientes. En el pasado, hacer llegar esta avanzada tecnología de 'fin de tubería' a los asentamientos menos poblados ha resultado en aumentos exorbitantes tanto en los costos de inversión como en los operativos. Todas las tendencias futuras con relación a posibles desarrollos en la industria del agua/aguas residuales (PWC, 2001) tienden hacia la eficiencia económica dejando de lado las regiones sin servicio por razones de costos (BMLFUW, 2003b). Todos estos argumentos asumen la estrategia tradicional no-preventiva como la única opción posible para enfrentar los problemas existentes y esto podría resultar en una reducción de los estándares ambientales por motivos económicos.

Para este estudio se asume que las soluciones modernas de saneamiento que se enfocan en la reducción de energía y de flujos materiales pueden asegurar los altos estándares ambientales de Austria a un costo aceptable para la población. El objetivo de este estudio es pues comparar costos de inversión y operativos para diferentes soluciones tomando en cuenta diferentes grados de medidas preventivas con el fin de demostrar que la aplicación de distintos modelos de soluciones técnicas para diferentes estructuras de asentamientos puede ser la solución para alcanzar los estándares ambientales requeridos para poblaciones rurales y remotas a un costo aceptable.

Además, dichas soluciones se ajustan mejor a los requerimientos legales de Austria según los cuales la reducción, prevención y reciclaje de las aguas residuales y sus componentes son favorecidas por sobre el tratamiento de aguas residuales.

Condiciones de referencia y descripción del problema

El antecedente de este estudio fue una discusión en tres poblaciones rurales sobre la solución a sus problemas inmediatos de aguas residuales. Con el fin de objetivar la discusión y para efectos de este estudio se creó una "población modelo". Esta "población modelo" es aproximadamente el promedio de las tres poblaciones en cuestión y se asemeja a una típica población de esa región. Consiste en 25 hogares con un total de 100 pobladores. La fracción agrícola es todavía 30% con lo cual 8 del total de los hogares son granjas activas. Actualmente las aguas residuales producidas en estos hogares son recolectadas en fosas sépticas. En teoría esto significaría que las aguas residuales son almacenadas y reutilizadas en la agricultura. Debido a que estas fosas sépticas generalmente tienen un exceso ilegal de flujo – con el fin de reducir la frecuencia de vaciado – las aguas residuales tratadas mecánicamente (sólo por sedimentación) son descargadas ya sea en un alcantarillado pluvial existente o por medio de tuberías de desagüe directamente a cuerpos de aguas receptoras.

Esta región en particular está además marcada con pequeños arroyos receptores. Bajo ciertas circunstancias, esto requiere una reducción mayor de la carga de contaminación emitida comparada con los estándares generales. Por lo tanto se asume que la carga de contaminación de cualquier agua de descarga de los hogares debe ser menor a 15mg/l DBO₅ y menor a 5mg/l NH₄-N a una temperatura de 10°C.

Escenarios propuestos

Se consideraron tres escenarios con base en un sólo principio: satisfacer los requerimientos legales. Esto significa que cada solución técnica debe satisfacer los estándares legales vigentes. No se consideraron otros criterios como por ejemplo si un escenario resultaría en mayores beneficios ambientales.

El Escenario A aborda el problema en la forma convencional construyendo un sistema separado de drenaje y una planta convencional de tratamiento biológico (Figura 1). Debido a los estrictos estándares es necesario un humedal de tratamiento.

El Escenario B (Figura 2) propone un sistema de drenaje convencional con planta de tratamiento pero con sanitarios desviadores de orina con almacenaje descentralizado en cada hogar. La orina es recolectada por separado automáticamente. Utilizando el sistema de drenaje durante la noche, prácticamente sin flujo de aguas residuales, es almacenada por separado y utilizada como fertilizante en la agricultura (e.g. Lens *et al.*, 2001). No es necesario un tratamiento terciario ya que no hay que remover exceso de nitrógeno. La razón para incluir este escenario es que comparado con el Escenario C, presentado a continuación, todavía la mayoría de la responsabilidad de la operación y mantenimiento de todo el sistema recae en la comunidad y no en los hogares individuales.

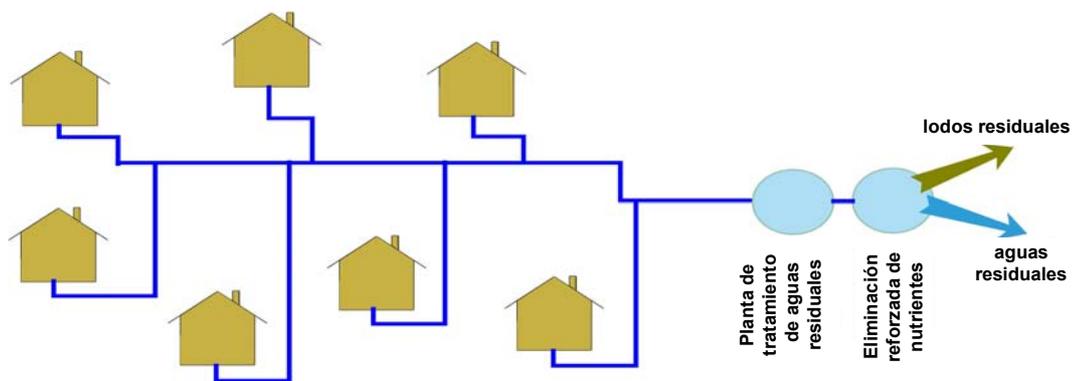


Figura 1: Modelo esquemático del Escenario A.

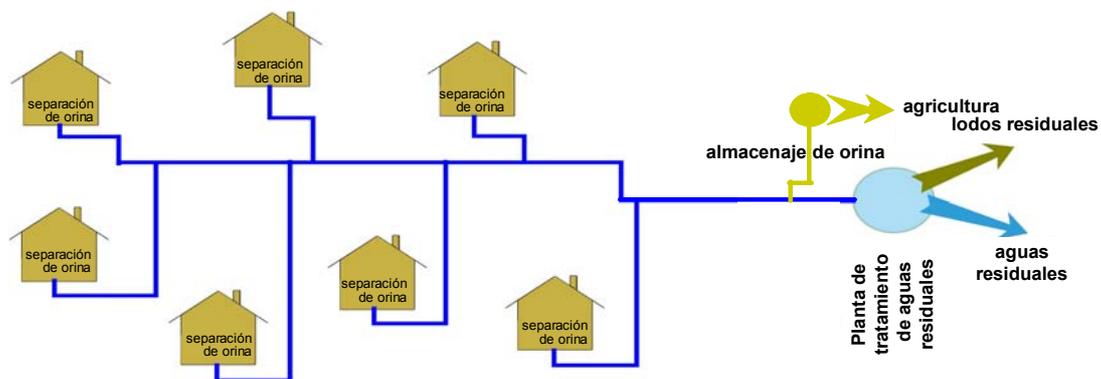


Figura 2: Modelo esquemático del Escenario B.

Se asume que bajo las condiciones dadas el Escenario C es la opción que mejor responde a los requerimientos de las soluciones ecosan, es decir, para promover el desarrollo sustentable cerrando el ciclo de nutrientes con la mínima pérdida de materia (nutrientes) y energía posible.

Para los hogares que son granjas activas se asumieron medidas locales de reducción de cantidades (i.e. sanitarios de bajo consumo de agua), acompañadas de almacenaje para los periodos en que no es posible la aplicación en la agricultura, e.g. durante periodos de suelo congelado o nieve, y su uso posterior en la agricultura junto con estiércol.

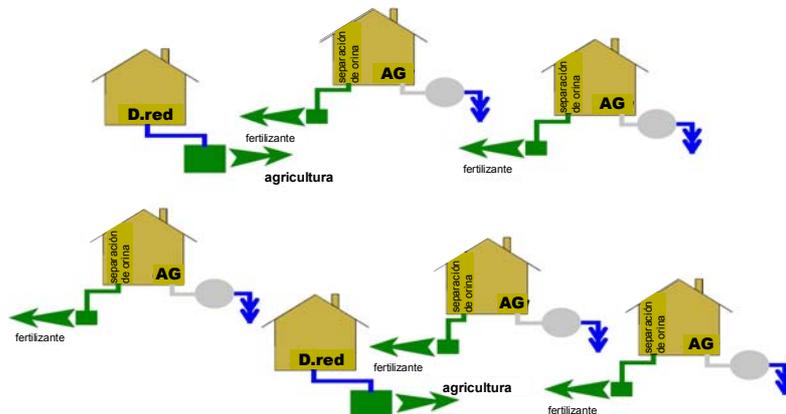


Figura 3: Modelo esquemático del Escenario C.

Para los hogares restantes se consideró la implementación de sanitarios secos para reducir la cantidad de aguas residuales. Para las aguas grises restantes se planeó la construcción de humedales con posterior absorción (Figura 3). Debe mencionarse que debido a la particular situación en Austria con relación a la protección de acuíferos la absorción al subsuelo (acuíferos) no está prohibida como tal aunque sí fuertemente regulada. Sin embargo, con base en la calidad promedio de las aguas grises (Laber y Haberl, 1999) después de ser tratadas y para efectos del estudio no se contemplan problemas en este respecto.

Costos de inversión

Los costos de inversión están basados en el marco de condiciones descrito anteriormente, en información actual publicada (e.g. BMLFUW 2001, 2003c), información de proveedores (en particular con relación a sanitarios desviadores, sanitarios secos, etc.) y en experiencias prácticas propias en la implementación tanto de proyectos de saneamiento convencionales como alternativos.

Para el costo del Escenario A se asume que no habrá mayores dificultades para la construcción de las líneas de drenaje debido a condiciones del subsuelo por lo que los costos son comparativamente bajos. Esto mismo aplica para la planta de tratamiento. Sin embargo, debido al tamaño reducido, se han estimado costos promedio equivalentes a 1,000€ por persona. Para el tratamiento terciario se ha estimado la construcción de un humedal vertical de flujo sub-superficial con un costo relativo – incluyendo todas las bombas, estructuras y tuberías necesarias – de aproximadamente 125€ por persona. La distancia promedio de la red de drenaje por cada conexión doméstica está basada en una distancia promedio dentro del pueblo de 30m y una línea de aprox. 1000m de transporte a la corriente receptora más cercana. 1.000m. La Tabla 1 resume estos supuestos y los costos totales resultantes y los costos por cada conexión doméstica respectivamente. El total de los costos de inversión es de 14,650€ para cada conexión doméstica.

Unidad	Supuesto	Costos	Costos/hogar
red de drenaje	25 hogares 70m c/u a 145€/m	€ 253,750.00	€ 10,150.00
planta de tratamiento	100 p. a 1000€ c/u	€ 100,000.00	€ 4,000.00
tratamiento terciario	100 p. a 125€ c/u	€ 12,500.00	€ 500.00
Total Escenario A		€ 366,250.00	€ 14,650.00

Tabla 1: Costos de inversión para el Escenario A

Los costos de la red de drenaje en el Escenario B naturalmente serán iguales a los del Escenario A, en tanto que se asume una significativa reducción de costos en la planta de tratamiento ya que no se requiere reforzar la eliminación de nitrógeno debido a la desviación y almacenaje de la orina. Los problemas operativos de la planta de tratamiento debidos a una falta de nutrientes podrían resolverse con una dosificación controlada de orina desde el tanque de almacenamiento. El tanque de almacenamiento fue diseñado para un periodo de almacenaje suficiente para soportar el periodo en el que no es posible la aplicación de fertilizante. Además de estos costos se han considerado los costos de los sanitarios desviadores de orina que son vitales para que el sistema funcione. Se asume que en promedio se requieren dos sanitarios nuevos para cada hogar.

La Tabla 2 resume estos supuestos y los costos totales resultantes y los costos por conexión doméstica respectivamente. Los costos totales de inversión para el Escenario B (14,694€) son prácticamente iguales que los del Escenario A. La ventaja al reducir los costos en la planta de tratamiento se pierde con el tanque de almacenaje de orina y los sanitarios desviadores de orina.

Unidad	Supuesto	Costos	Costos/hogar
red de drenaje	25 hogares 70m c/u a 145€/m	€ 253,750.00	€ 10,150.00
planta de tratamiento	100 p. a 500€/c/u	€ 50,000.00	€ 2,000.00
sanitarios con desviación de orina	25x2 a 1,200€	€ 60,000.00	€ 2,400.00
almacenaje de orina	18m ³ a 100€/m ³	€ 3,600.00	€ 144.00
Total Escenario B		€ 367,350.00	€ 14,694.00

Tabla 2: Costos de inversión para el Escenario B

Por ser la solución más “descentralizada”, los costos para el Escenario C (Tabla 3) consideran las diferentes soluciones para campesinos y otros hogares respectivamente. Por prevención cuantitativa y cualitativa se ha calculado el costo de sanitarios secos para 2/3 de todos los hogares incluyendo el costo no solo del sanitario sino de los posibles cambios necesarios dentro de los hogares. Para el tratamiento de aguas grises en estos hogares se ha calculado también la construcción de sistemas de humedales con posterior absorción. Se asume que para la construcción de un humedal de flujo vertical se requiere un área de 2m² por hogar a un costo relativo de 250€/m².

Para el tercio de los hogares restantes se asume el uso total de las aguas residuales en la agricultura. Debido al precario estado de la mayoría de las fosas sépticas existentes se han considerado costos de renovación en 50% de los casos. Ya que el tamaño necesario de las fosas depende directamente de la producción de aguas residuales, se ha considerado la instalación de sanitarios de bajo consumo de agua (dos por hogar). De modo que se estima que las dimensiones necesarias para cada fosa sean de 58m³ suficientes para un periodo de almacenaje de seis meses. Los costos totales de inversión para el Escenario C por cada hogar son aprox. tan sólo 4,450€. La diferencia principal comparado con los otros dos escenarios es la ausencia de una red de drenaje.

Unidad	Supuesto	Costos	Costos/hogar
tratamiento de aguas grises	17 hogares a 500€ c/u	€ 34,000.00	€ 1,360.00
sanitarios secos	17x2 a 1,500€	€ 51,000.00	€ 2,040.00
sanitarios de bajo consumo	8x2 a 600€	€ 9,600.00	€ 384.00
renovación de fosas sépticas	50% de 58m ³ por hogar	€ 16,240.00	€ 649.60
Total Escenario C		€ 110,840.00	€ 4,433.60

Tabla 3: Costos de inversión para el Escenario C

Costos operativos

Los costos operativos se basan en el marco de condiciones descrito anteriormente, en información actual publicada (e.g. BMLFUW 2001, 2003c) y en experiencias prácticas propias en la implementación tanto de proyectos de saneamiento convencionales como alternativos.

Los costos operativos se deben asumir con un mayor grado de incertidumbre, comparados con los costos de inversión. Una de las principales razones es que sólo se cuenta con información insuficiente sobre los costos operativos actuales de las líneas de drenaje. Además los costos dependen de si la estrategia aplicada en la operación y mantenimiento de las líneas de drenaje está orientada a la prevención o a la reparación. Para los fines de este estudio los costos de operación de las líneas de drenaje se estiman en 1% anual sobre los costos de inversión. Otra fuente de incertidumbre es el costo de la disposición de los lodos residuales del drenaje producidos en los Escenarios A y B y en menor grado en el Escenario C. Dependiendo de la ruta de reuso elegida respectivamente los costos de disposición varían significativamente. Se asume que la calidad de los lodos permitirá su aplicación en la agricultura. Asimismo, tampoco se consideró el valor supuesto al trabajo realizado en los hogares en el Escenario C con relación al vaciado de los sanitarios secos y la operación de las plantas de tratamiento de aguas grises.

La depreciación de la inversión se consideró con base en una tasa de interés fija de 5% anual. El promedio de vida útil del equipo mecánico se estimó en 10 años en tanto que la vida útil promedio del resto de la inversión se calculó en 50 años. Se consideró una inflación anual de 2%. Para efectos de este estudio se calculó una tasa constante de pago de deuda. Estos supuestos son iguales para los tres escenarios.

La Tabla 4 muestra los costos operativos del Escenario A. Para la planta de tratamiento los costos incluyen principalmente costos de energía, material, personal y supervisión externa. Los costos anuales en el Escenario A se estiman en 1,300€ por conexión doméstica.

Unidad	Supuestos	Costos	Costos/hogar
red de drenaje	1 % anual sobre la inversión	€ 2.500.00	€ 100.00
planta de tratamiento	energía, material, personal, supervisión	€ 10.000.00	€ 400.00
	lodos residuales (no se consideraron)	€ 0.00	€ 0.00
depreciación	5 % durante 10-50 años	€ 20.000.00	€ 800.00
Costos operativos totales para el Escenario A		€ 32.500.00	€ 1,300.00

Tabla 4: Costos operativos para el Escenario A

Para el Escenario B (Tabla 5) los costos operativos son casi los mismos. Una ligera reducción en los costos operativos de las plantas de tratamiento – ya que la mayor parte del costo es el personal – se compensa con un ligero incremento en los costos de inversión de esta opción. No se ha calculado el valor de aproximadamente 360kg de nitrógeno recolectado anualmente.

Unidad	Supuestos	Costos	Costos/hogar
red de drenaje	1% anual sobre la inversión	€ 2,500.00	€ 100.00
planta de tratamiento	energía, material, personal, supervisión	€ 9,000.00	€ 360.00
	lodos residuales (no se consideraron)	€ 0.00	€ 0.00
depreciación	5% durante 10-50 años	€ 21,000.00	€ 840.00
Costos operativos totales para el Escenario B		€ 32,500.00	€ 1,300.00

Tabla 5: Costos operativos para el Escenario B

Los costos operativos para el Escenario C se resumen en la Tabla 6. Además de los supuestos generales, la vida útil de los sanitarios secos y de bajo consumo se estimó en 25 años en promedio. Por lo tanto los costos de depreciación son altos comparados con los de inversión. Como ya se mencionó, tanto el valor supuesto del trabajo que se lleva a cabo en los hogares para operar las unidades como el valor del fertilizante obtenido de la separación de material no están incluidos en el cálculo. El costo total por hogar es aproximadamente 410€ anuales, menos de una tercera parte de los costos operativos y de mantenimiento de los dos primeros escenarios.

Unidad	Supuestos	Costos	Costos/hogar
tratamiento de aguas grises	17x energía, supervisión, etc.	€ 3,000.00	€ 120.00
	lodos residuales (no se consideraron)	€ 0.00	€ 0.00
depreciación	5% durante 10-50 años	€ 7,293.17	€ 291.73
Costos operativos totales para el Escenario C		€ 10,293.17	€ 411.73

Tabla 6: Costos operativos para el Escenario C

Comparación de costos

Como se mencionó anteriormente, el principio subyacente fundamental de los tres escenarios presentados es su apego a la situación legal actual con relación a la descarga de aguas residuales en el medio ambiente. Esto significa que las tres soluciones son comparables con respecto a su desempeño en este sentido.

En la Figura 4 (izquierda) se comparan los costos de inversión de las tres opciones. Mientras que los costos de inversión de los Escenarios A y B son similares, los costos para el escenario C son significativamente más bajos (aprox. 30%). La diferencia es causada principalmente por los altos costos del sistema de drenaje.

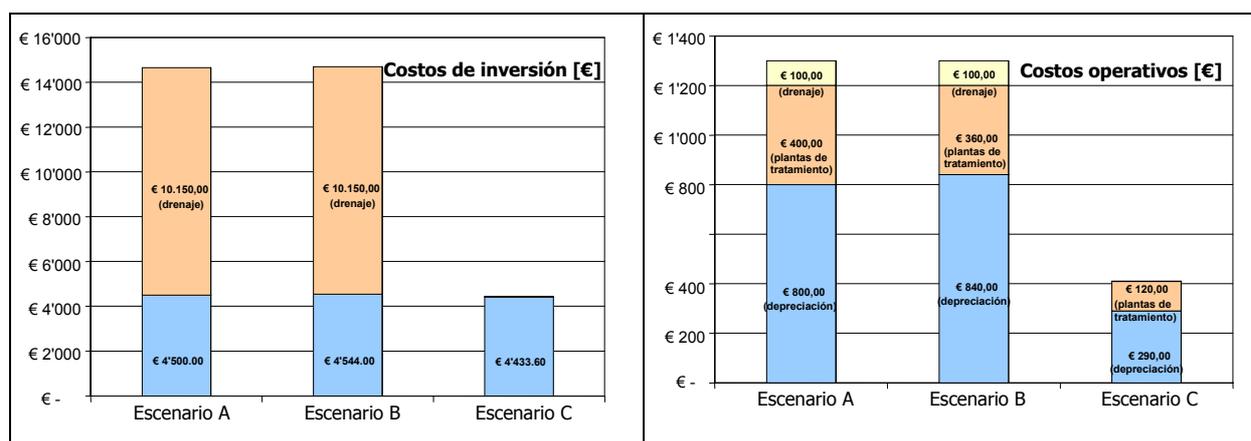


Figura 4: Comparación de costos de inversión (izquierda) y costos operativos (derecha)

La Figura 4 (derecha) muestra una situación muy similar para los costos operativos. Además de los altos costos de depreciación, causados principalmente por la inversión tan fuerte en la red de drenaje, también los costos operativos de las plantas de tratamiento en los Escenarios A y B son mayores. Esto último debe tomarse con reserva ya que, como se mencionó anteriormente, el valor del trabajo llevado a cabo en los hogares en el Escenario C no fue tomado en cuenta. No obstante, vuelve a ser evidente que en ambas opciones con drenaje se generan aproximadamente tres veces más costos de operación y mantenimiento. Incluso si se

considerara el valor del nitrógeno recolectado en el Escenario B no sería posible alcanzar el nivel de costos del Escenario C – en donde ese mismo valor es recuperado.

La Figura 4 compara costos absolutos sin tomar en cuenta el sistema actual de subsidio a la infraestructura de aguas residuales en Austria. En general las instalaciones en propiedad privada (a excepción de largas redes de conexión y redes principales de drenaje) no pueden ser subsidiadas. La situación es distinta si se toman en cuenta las tasas de subsidio promedio.

La Figura 5 resume los costos de inversión y operativos tomando en cuenta las prácticas actuales de subsidio. Debido a la naturaleza del sistema de subsidio – normalmente solo una mínima parte es una contribución directa a la inversión y el resto se utiliza para liquidar del préstamo – el efecto se vuelve aún más obvio para los costos operativos y de mantenimiento los cuales tienen que ser cubiertos directamente por los usuarios domésticos. El Escenario B se vuelve el más costoso ya que los costos de inversión son casi iguales a los del Escenario A debido a que no hay apoyos en las instalaciones domésticas. Dado que el Escenario A es todavía 50% más costoso que el Escenario C, es obvio que se está perdiendo un incentivo importante para soluciones alternativas.

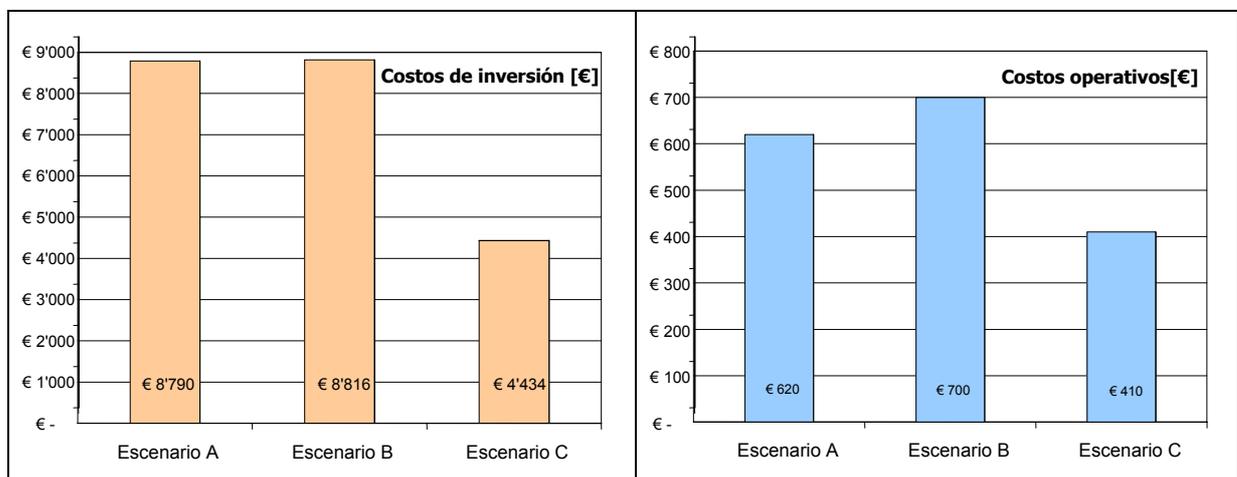


Figura 5: Costos de inversión (izquierda) y costos operativos (derecha) sin subsidio.

Conclusiones

La comparación de costos operativos y de inversión en tres escenarios diferentes muestra claramente que los sistemas convencionales para zonas rurales son la opción más costosa (principalmente por la necesidad de tuberías de drenaje) pero sigue siendo incentivada a través del sistema de subsidios. Dejando a un lado los subsidios, es obvia la ventaja de soluciones alternativas de saneamiento bajo las condiciones arriba descritas. Además de su sustentabilidad, los sistemas orientados al reuso son por esto también definitivamente más ventajosos económicamente.

Referencias

- BMLFUW (Ed., 2003a): Abwasserentsorgung in Österreich, Stand 2001 (Tratamiento de aguas residuales en Austria – datos de 2001). Viena, Austria [en alemán].
- BMLFUW (Ed., 2003b): Abwasserentsorgung, www.bmluf.gv.at, (Tratamiento de aguas residuales) Viena, Austria [en alemán].
- BMLFUW (Ed., 2003c): Kosten-Nutzen-Überlegungen zur Gewässerschutzpolitik in Österreich mit besonderer Berücksichtigung des ländlichen Raumes (Análisis costo-beneficio del control de

- contaminación en agua en Austria con un enfoque especial en zonas rurales). Schriftenreihe des BMLFUW (en impresión), Viena, Austria [en alemán].
- BMLFUW (Ed., 2001): Benchmarking in der Siedlungswasserwirtschaft - Endbericht (Benchmarking para sistemas de tratamiento de aguas residuales – informe final). Viena, Austria [en alemán].
- Laber J. & Haberl R. (1999): Teilstrombehandlung häuslicher Abwässer mit dem Schwerpunkt der Grauwasserbehandlung in Pflanzenkläranlagen (Tratamiento de flujos separados de aguas residuales domésticas con especial atención al tratamiento de aguas grises con humedales de tratamiento); Informe, IWGA-SIG, BOKU, Viena [en alemán].
- Lens P., Zeeman G. & Lettinga G. (eds.): Decentralised Sanitation and Reuse: Concepts, systems and implementation (Saneamiento descentralizado y reuso: conceptos, sistemas e implementación). IWA Publishing. Londres, Inglaterra.
- PWC – PriceWaterhouseCoopers (2001): Optimierung der kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorgung im Rahmen einer nachhaltigen Wasserpolitik, Viena, Austria [en alemán].