



Comparación de Tecnologías de Saneamiento Dinámico Separativo mediante Método de Análisis Multicriterio AHP

Esteban Pérez Rocamora ^a, Alice Elizabeth González ^b.

^a *Ing. Civil Opción Hidráulica Ambiental, Estudiante de Posgrado, Maestría de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería Universidad de la República, Uruguay, perezrocamoraesteban@gmail.com.*

^b *Dra. en Ingeniería Ambiental, Profesora Titular, Departamento de Ingeniería Ambiental IMFIA, Facultad de Ingeniería Universidad de la República, Uruguay, elizabet@fing.edu.uy*

RESUMEN :

El uso de agua genera efluentes que tienen que evacuarse de forma rápida, adecuada y segura. De no realizar una correcta gestión de estos, son conducidos crudos a los cuerpos de agua, o se infiltran al terreno, transformándose en una fuente de contaminación con fuerte afectación para la salud humana. Con el fin de disminuir los costos de construcción de los sistemas separativos para recolección de efluentes domésticos se han desarrollado alternativas. Este trabajo presenta la comparación de diferentes tecnologías de sistemas de saneamiento separativo (convencional, condominial, efluentes decantados) mediante la aplicación de un método de análisis multicriterio, en diferentes escenarios de aplicación. Según los resultados obtenidos, cuando se prioriza la robustez del sistema y no hay limitantes de costos, los sistemas convencionales son adecuados, mientras que cuando se debe priorizar la reducción de costos, si se cuenta con un compromiso de la comunidad usuaria del sistema el sistema de efluentes decantados es más adecuado. Por último, en zonas de crecimiento urbano desordenado e irregular, con dificultades en conectividad, la solución condominial es la más adecuada.

PALABRAS CLAVE: Efluentes domésticos, Saneamiento, análisis multicriterio.

1 INTRODUCCIÓN

El saneamiento se puede definir como el proceso que gestiona los efluentes líquidos (domésticos y/o no domésticos) desde su generación hasta su disposición final. En el siglo XIX se implementaron los sistemas de saneamiento unitarios, y posteriormente, los separativos y mixtos.

El sistema de saneamiento separativo convencional (SS) es el sistema más utilizado para la recolección y transporte de líquidos residuales domésticos. Está compuesto en todos sus casos por colectores que funcionan en flujo por gravedad, con una pendiente tal que favorece esa condición. Las tuberías están ubicadas sobre eje de calles o veredas preferentemente, en espacios públicos. Los criterios de diseño se basan principalmente en diámetro mínimo 200 mm y condiciones de pendiente o velocidad mínima que aseguren la autolimpieza. En algunas zonas, la extensión de dichas redes de tipo separativo tiene un costo elevado de inversión. Por esto es que la implementación de sistemas de saneamiento separativos alternativos, eficientemente comparables a los sistemas convencionales desde el punto de vista técnico, y con menores costos de inversión puede ser otra opción a considerar.

Uno de los sistemas desarrollados son los sistemas de saneamiento de efluentes decantados (ED), conocidos también internacionalmente como “sistemas de pequeño diámetro”. Estos consisten en una combinación de tratamiento de efluentes domiciliario y un sistema colectivo de recolección y conducción de pequeños diámetros. Se diseñan para recibir la porción líquida de las aguas residuales domésticas para su disposición y tratamiento, ya que la arena, grasa y otros sólidos que podrían obstruir las tuberías, son retenidos en las fosas sépticas domiciliarias. Por tal condición, es que no es necesario cumplir con el criterio de diseño de autolimpieza requerido en sistemas convencionales. Los diámetros mínimos son hasta 75 mm y se pueden emplear tramos de tuberías con pendiente ascendente.

Otra variante al saneamiento convencional es el saneamiento “condominial” (SC). Fue desarrollado por primera vez en los estados del nordeste de Brasil (Rio Grande del Norte, Pernambuco) como una alternativa de menor costo al sistema convencional. Este sistema presenta características que lo diferencian de las otras alternativas de saneamiento. El trazado de los colectores secundarios es por el interior de los predios particulares desde las instalaciones sanitarias, acompañando la pendiente del terreno para evitar excavaciones profundas. También es usual que los colectores sean trazados por veredas u otros espacios públicos para obtener ahorros sustanciales en longitud, diámetro y profundidad.

En el marco de este trabajo, se realiza la comparación mediante la aplicación de método multicriterio AHP (Analytic Hierarchy Process) de los sistemas de saneamiento separativo (convencional, condominial, efluentes decantados) en diferentes escenarios de aplicación, lo cual se presenta en las secciones siguientes.

2 METODOLOGÍA

Para la comparación de alternativas de saneamiento separativo se aplica la Metodología de Proceso Analítico Jerárquico (AHP). El objetivo del método es establecer prioridades o ponderaciones para atribuir a diferentes criterios o variables predefinidas sobre el problema. El resultado de esta priorización permite la elección de la alternativa más adecuada. El AHP integra aspectos cualitativos y cuantitativos en un proceso único de decisión. Dada su metodología, es posible el uso de valores personales, experiencia, intuición, conocimiento y pensamiento lógico en una única estructura de análisis.

El objetivo principal es identificar los aspectos que justifiquen o no la aplicabilidad de cada sistema, ya que no tiene sentido realizar la comparación sobre criterios que los resultados, positivos o negativos, sean los mismos para las tres alternativas. Dentro del universo de criterios aplicables en proyectos de infraestructura, y particularmente, en proyectos de ingeniería sanitaria, se optó por una subclasificación en tres categorías: criterios técnicos, de costos y socio-ambientales (Tabla 1).

Tabla 1. Criterios de comparación

Criterios	Técnicos	Costos	Socio-ambientales
Sub-criterios	Cumplimiento de normativa	Tamaño de diámetro de colectores secundarios	Uso de mano de obra no calificada
	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	Procedimiento constructivo	Participación de la comunidad
	Operación y mantenimiento de la red	Tipo y cantidad de elementos singulares	Aceptación pública
	Operación y mantenimiento de instalaciones	Estaciones de bombeo (diseño, construcción, mano de obra)	Generación de residuos sólidos

Tipo de tratamiento de efluente recolectados		Adecuación de Sanitaria interna/conectividad		Riesgo de salud para operarios/usuarios
Criterios	Técnicos	Costos	Socio-ambientales	
	Cumplimiento de normativa	Tamaño de diámetro de Colectores secundarios	Uso de mano de obra No calificada	
	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	Procedimiento constructivo	Participación de la comunidad	
	Operación y mantenimiento de la Red	Tipo de elementos singulares	Aceptación pública	
	Operación y mantenimiento de instalaciones	Estaciones de bombeo (diseño, construcción, Mano de Obra)	Generación de residuos sólidos	
	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	Riesgo de salud para operarios/usuarios	
Subcriterios				

3 ESCENARIOS

Con el fin de evaluar cual tecnología es la que mejor se adapta según diferentes lugares y realidades, se “crearon” tres escenarios diferentes. Aunque estos escenarios fueron creados a partir de condiciones y/o particularidades que se puede encontrar fácilmente en la realidad, se aclara que en ningún caso se habla de casos técnicos reales. Para cada escenario se considera alguna condición del entorno, que desde el punto de vista constructivo, social o ambiental lo hacen particular. En cada escenario se realiza la comparación de criterios y subcriterios de a pares según la Metodología AHP seleccionada para la evaluación. A su vez, se realiza la jerarquización de las alternativas según el criterio de comparación y las características del escenario mismo, ya que esto puede variar según las bondades o falencias que presenta cada sistema.

3.1 Escenario 1:

- Emprendimiento privado residencial con exclusividad promovido por inversionistas.
- Área de intervención se encuentra dentro de Zona de Protección ambiental.
- Se consideran los criterios socio ambientales como más importantes, dada la ubicación del proyecto, y en segundo lugar los costos de inversión y operación.
- Riesgo de salud para usuarios es la prioridad, ya que se considera que los usuarios serán exigentes frente al servicio a pagar.
- Se asume que no se debe contar con participación de usuarios en ninguna etapa (proyecto, obra, operación).
- Se prioriza que sea un sistema poco vulnerable, y con requerimientos mínimos de operación y mantenimiento (limpieza, mantenimiento de elementos, generación de residuos).

Tabla 2. Jerarquización de Criterios Escenario 1

#	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	Ponderador Global
1	Cumplimiento de normativa	3%	9%	0%
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	25%	9%	2%
3	Operación y mantenimiento de la red	11%	9%	1%
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	11%	9%	1%
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	50%	9%	4%
6	Tamaño de diámetro de colectores secundarios	10%	24%	2%
7	Procedimiento constructivo	24%	24%	6%
8	Tipo de elementos singulares	10%	24%	2%
9	Estaciones de bombeo (diseño, construcción, mano de obra)	51%	24%	12%
10	Adecuación de sanitaria interna/conectividad	4%	24%	1%
11	Uso de mano de obra no calificada	6%	67%	4%
12	Participación de la comunidad	6%	67%	4%
13	Aceptación pública	35%	67%	23%
14	Generación de residuos sólidos	15%	67%	10%
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	39%	67%	26%

Tabla 3. Jerarquización de Alternativas Escenario 1

Alternativa/Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Convencional	5	5	3	5	1	1	1	1	1	1	1	1	5	3	5
Efluentes decantados	1	1	5	1	3	5	3	3	3	1	1	5	1	1	1
Condominial	3	3	1	3	1	3	1	5	1	1	1	3	3	3	3

El SS es el sistema con mejor aceptación pública, siendo además el sistema menos vulnerable. Al ubicar los elementos de inspección en espacios públicos se facilita las tareas de mantenimiento sin molestar a usuarios, y presenta menos riesgo para éstos.

3.2 Escenario 2

- Urbanización rural, con bajo factor de ocupación de superficie.
- Fuerte presión y compromiso de la comunidad por realización del proyecto.
- Participación de mano de obra local no calificada.
- Priorización de minimizar costos de inversión y mantenimiento, frente a otros criterios.
- El terreno no presenta dificultades en cuanto a construcción, pero se identifican varias subcuencas de conducción. Se debe evitar la construcción de estaciones de bombeo.

Tabla 4. Jerarquización de Criterios Escenario 2

#	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	Ponderador Global
1	Cumplimiento de normativa	6%	9%	1%
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	18%	9%	2%
3	Operación y mantenimiento de la red	37%	9%	3%
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	37%	9%	3%



Asociación de Universidades
GRUPO MONTEVIDEO



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	3%	9%	0%
6	Tamaño de diámetro de colectores secundarios	8%	45%	4%
7	Procedimiento constructivo	19%	45%	8%
8	Tipo de elementos singulares	8%	45%	4%
9	Estaciones de bombeo (diseño, construcción, mano de obra)	61%	45%	28%
10	Adecuación de sanitaria interna/conectividad	4%	45%	2%
11	Uso de mano de obra no calificada	19%	45%	9%
12	Participación de la comunidad	19%	45%	9%
13	Aceptación pública	4%	45%	2%
14	Generación de residuos sólidos	8%	45%	4%
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	50%	45%	23%

Tabla 5. Jerarquización de Alternativas Escenario 2

Alternativa/Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Convencional	5	5	3	5	1	1	1	1	1	3	1	1	5	3	5
Efluentes decantados	1	1	5	1	3	5	3	3	3	1	5	5	1	1	1
Condominial	3	3	1	3	1	3	1	5	1	5	3	3	3	3	3

Para este escenario tenemos que la alternativa de ED se adapta mejor ya que permite el uso de mano de obra no calificada. ED es el sistema que requiere menor limpieza y mantenimiento de red, al conducir efluentes sin sólidos. Es el sistema que requiere menor inversión en cuanto a tuberías y procedimiento constructivo. El uso de tuberías con pendiente ascendente facilita el traspase de subcuencas sin uso de estaciones de bombeo. Es necesaria una fuerte participación de la comunidad para garantizar el éxito de funcionamiento del sistema.

3.3 Escenario 3

- Zona urbana densamente poblada y con alto nivel de ocupación de terreno.
- Desarrollo desordenado, sin patrones comunes trazado de caminería y vías públicas.
- Se tienen padrones por debajo de nivel de eje de calle con dificultades de conectividad.
- El impulso del proyecto se debe a políticas que involucran aumento de cobertura de servicio de saneamiento.
- Se busca la mejor solución técnica a menor costo.

Tabla 5. Jerarquización de Criterios Escenario 3

#	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	Ponderador Global
1	Cumplimiento de normativa	33%	24%	8%
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	35%	24%	8%
3	Operación y mantenimiento de la red	14%	24%	3%
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	14%	24%	3%
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	4%	24%	1%
6	Tamaño de diámetro de colectores secundarios	8%	67%	5%
7	Procedimiento constructivo	43%	67%	29%

8	Tipo de elementos singulares	8%	67%	5%
9	Estaciones de bombeo (diseño, construcción, mano de obra)	4%	67%	2%
10	Adecuación de sanitaria interna/conectividad	37%	67%	25%
11	Uso de mano de obra no calificada	6%	9%	1%
12	Participación de la comunidad	11%	9%	1%
13	Aceptación pública	24%	9%	2%
14	Generación de residuos sólidos	8%	9%	1%
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	52%	9%	5%

Tabla 5. Jerarquización de Alternativas Escenario 2

Alternativa/Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Convencional	5	5	3	5	1	1	3	1	1	3	1	1	5	3	5
Efluentes decantados	1	1	5	1	3	5	1	3	1	1	1	5	1	1	1
Condominial	3	3	1	3	1	3	5	5	1	5	1	3	3	3	3

En este escenario, dado las dificultades del lugar al tratarse de una zona ya establecida e irregular, el procedimiento constructivo y la conectividad son los criterios más importantes frente a otros. El SC es el sistema que tiene mejores posibilidades para este escenario. Los elementos singulares a utilizar son más sencillos y menos costosos. El trazado de colectores por zonas internas a los padrones o manzanas facilita la conectividad de todos los usuarios, aunque también requiere un compromiso de la comunidad para el cuidado de los elementos colectivos que se ubican en sus propios predios.

4 CONCLUSIONES

Alternativa	Puntaje		
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Convencional	41 %	30 %	37 %
Efluentes decantados	27 %	41 %	18 %
Condominial	32 %	29 %	46 %

Según los resultados obtenidos, cuando no hay limitantes de costos los sistemas convencionales son los más adecuados dada su robustez y aceptación por parte de los usuarios. Cuando se debe priorizar la reducción de costos, si se cuenta con un compromiso de la comunidad usuaria del sistema y se tienen las condiciones para la adecuación de la sanitaria interna, el sistema de efluentes decantados es el más adecuado. Por último, en zonas de crecimiento urbano desordenado e irregular, con dificultades constructivas y de conectividad la solución condominial es la más adecuada, a menor costo de inversión.

5 REFERENCIAS

1. Acevedo Netto J. (1992). Environmental Health Program 29, Innovative and low Cost technologies utilized in sewerage. Washington: OMS.



2. OPS-CEPIS (2005). Guías para el diseño de tecnologías de alcantarillado. Lima.
3. Mara, D., Otis, R. (1985). Nota Técnica N° 14: Diseño de alcantarillado de pequeño diámetro. Washington: PNUD, BM.
4. Gross, F. (2001). Experiencia de MEVIR en la disposición de efluentes cloacales mediante sistemas alternativos de bajo costo. Montevideo: MEVIR-SEINCO.
5. CONAGUA-GOBIERNO DE MÉXICO (2016). Libro 20. Alcantarillado Sanitario. Libro 21. Sistemas alternativos de alcantarillado sanitario. <http://www.mapasconagua.net/>
6. Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, Ph., Schertenleib, R. and Zurbrügg, C. (2014). Compendium of Sanitation Systems and Technologies. 2nd Revised Edition. Dübendorf: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag).
7. Mara, D., Sleigh, A., Tayler, K. (2001). PC-based simplified Sewer Design. Leeds: University of Leeds.
8. Pacheco, J. F., Contreras, E. (2008). Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos. Santiago de Chile: CEPAL, ILPES.
9. U.S. EPA (2002). Collection Systems Technology Fact Sheet. Sewers, Conventional Gravity. Washington: EPA.
10. U.S. EPA (1986). Small Diameter Gravity Sewers: an alternative for unsewered communities. Washington: EPA.
11. Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, Vol. 1, No. 1, 83-98.
12. Aznar Bellver, J. (2012). Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Valencia: Universitat Politècnica.