

ANÁLISIS DE LOS COSTES DE EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO DE ESTACIONES DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES DE PEQUEÑAS AGLOMERACIONES URBANAS.

Analysis of the costs of operation and maintenance of waste water treatment plants for small agglomeration

Daniel Torres Sánchez¹
Alfredo Jácome Burgos³
Francisco Alonso Fernández²
Roberto Arias Sánchez²
Pablo Ures Rodríguez³
Joaquín Suárez López³



Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil. (CITEEC), Universidade da Coruña (UdC).
Campus de Elviña s/n, A Coruña 1507, ESPAÑA.
(E-mail: ajacomen@udc.es). Telf: (0034)981.167.000 – Ext: 1421

Abstract

Directive 91/271 EEC in its Article 10 provides that "Member States shall ensure that the urban waste water treatment plants built to comply with the requirements of Articles 4, 5, 6 and 7 are designed, constructed, operated and maintained to ensure sufficient performance under all normal local climatic conditions. When designing the plants, seasonal variations of the load shall be taken into account". This is directly linked to the objectives of the Water Framework Directive. Thus underscoring the critical need to study the wastewater treatment plants not only from the standpoint of construction, as has been done on many occasions, but under the terms of its proper operation and maintenance. The operation and maintenance activities will last throughout the lifetime of the plant and they are responsible to obtain the yields for which the WWTP was designed for. The present work proposes some functions in order to calculate the cost of operation and maintenance of wastewater treatment plants from agglomerations of less than 1500 population equivalent, previously analyzing the best methodology to build them up. We worked on inductive and deductive methodologies. We analyzed cost data and functions from 7 studies and Spanish references. Once analyzed independently by different functions and values of studies and references on the operation and maintenance costs, they can be represented together in the same graph and obtain cost functions.

KeyWords: WWTP in small agglomerations, operating and maintenance costs, wastewater management in rural environment, rural sanitation

¹ UNIVERSIDAD DE LA CORUÑA. Investigador Contratado en el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA). Estudio de costes de explotación y mantenimiento de las EDAR de pequeñas aglomeraciones. Seguimiento de EDAR de pequeñas aglomeraciones. E-mail: dtorres@udc.es

²XUNTA DE GALICIA

³UNIVERSIDAD DE LA CORUÑA

ANÁLISIS DE LOS COSTES DE EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO DE ESTACIONES DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES DE PEQUEÑAS AGLOMERACIONES URBANAS.

Resumen

La Directiva 91/271 CEE en su Art. 10 establece que “Los estados miembros velarán por que las instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas construidas fin de cumplir los requisitos de los artículos 4, 5, 6 y 7 sean diseñadas, construidas, utilizadas y mantenidas de manera que en todas las condiciones climáticas normales de la zona tengan un rendimiento suficiente. En los diseños de las instalaciones se tendrá en cuenta las variaciones de la carga propias de cada estación”. Este requisito está directamente ligado a los objetivos de la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea, que recalca la necesidad de estudiar las depuradoras de aguas residuales no solo desde el punto de vista de la construcción y el cumplimiento de los objetivos en el efluente, como se ha realizado en muchas ocasiones sino, sobre todo, bajo el punto de vista de su correcta explotación y mantenimiento optimizando los costes. En el presente trabajo se proponen funciones de cálculo del coste de explotación y mantenimiento de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas de aglomeraciones menores de 1500 habitantes equivalentes, analizando previamente cual es la mejor metodología para su elaboración. Se trabajó en metodologías inductivas y deductivas. Se analizaron datos y funciones de coste de 7 estudios y referencias bibliográficas españolas. Una vez analizadas de forma independiente las diversas funciones y valores de los estudios, y referencias bibliográficas, sobre los costes de explotación y mantenimiento, es posible representarlas de forma conjunta en una misma gráfica y obtener funciones de costes generales.

Palabras claves: costes de explotación y mantenimiento; depuración en pequeños núcleos; planificación; saneamiento en medio rural.

Introducción

Actualmente es la Directiva Marco del Agua (DMA) el texto de referencia de la política y gestión del agua en Europa, y es ella quien define unos ambiciosos objetivos para el año 2015; entre esos objetivos se encuentran tanto el alcanzar el buen estado ecológico de las masas de agua como la recuperación de los costes. Para alcanzar estos objetivos es condición necesaria, aunque no suficiente, tomar las medidas derivadas del cumplimiento de la Directiva 91/271/CEE, sobre tratamiento de aguas residuales urbanas, la cual, en su Art. 10 establece que “Los estados miembros velarán por que las instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas construidas a fin de cumplir los requisitos de los artículos 4, 5, 6 y 7 sean diseñadas, construidas, utilizadas y mantenidas de manera que en todas las condiciones climáticas normales de la zona tengan un rendimiento suficiente. En los diseños de las instalaciones se tendrá en cuenta las variaciones de la carga propias de cada estación”.

El Ministerio de Medio Ambiente (MMA), en colaboración con las Comunidades Autónomas redactó el Plan Nacional de Calidad de las Aguas, Saneamiento y Depuración (2007-2015), que intenta dar respuesta tanto a los objetivos no alcanzados por el anterior Plan como a las nuevas necesidades planteadas en la DMA. La depuración de los núcleos pequeños de población, inferiores a 2000 h-e, constituye uno de los objetivos prioritarios del citado Plan.

Teniendo en cuenta lo comentado anteriormente queda patente la necesidad de estudiar las depuradoras de aguas residuales no solo desde el punto de vista de la construcción, como se ha realizado en muchas ocasiones sino, sobre todo, bajo el punto de vista de su correcta explotación y mantenimiento teniendo en cuenta la optimización de los costes.

En Galicia se está desarrollando el “Plan de Saneamiento de Galicia 2000-2015” (actualmente en fase de actualización y revisión), que tiene como objetivo fundamental el cumplimiento de la Directiva 91/271/CEE. El Plan definió más de 1400 aglomeraciones (es decir, sistemas de saneamiento con un punto final de vertido), de ellos 1200 son menores de 1000 habitantes equivalentes; además, se estimó que del orden de 580.000 habitantes debían tener un

saneamiento autónomo. En la actualización del Plan se han definido más de 2500 aglomeraciones; 2400 son menores de 1000 h-e (más de 90%). La singular distribución de la población en Galicia determina que la planificación, construcción y explotación de las infraestructuras de saneamiento sea especialmente compleja.

Las actividades de explotación y mantenimiento perdurarán durante todo el tiempo de vida útil de la planta, por lo que son las responsables de que se obtengan los rendimientos para los cuáles fue diseñada la EDAR. Lógicamente estas actividades implican unos costes que, en determinadas ocasiones pueden llegar a ser socialmente inasumibles en determinados contextos. Este enfoque obliga a planificar y proyectar los sistemas de saneamiento (alcantarillado, infraestructuras complementarias de la red, y las depuradoras) pensando en su explotación, seleccionando las técnicas y los procesos idóneos para cada aglomeración, huyendo de aquellos que por su complejidad requieran, por ejemplo, técnicos muy cualificados en plantas de pequeños o medianos municipios, o evitando los sistemas que, por minimizar la inversión inicial, multipliquen los consumos energéticos.

De igual forma, es necesario planificar la generación de los recursos económicos que soporten los costes de explotación y mantenimiento (que pueden alcanzar el 10-15% anual de la inversión inicial).

Como parte fundamental del desarrollo del “Proyecto de elaboración de DIRECTRICES DE SANEAMIENTO EN EL MEDIO RURAL DE GALICIA. Aglomeraciones menores de 1000 h-e. PLAN DE SANEAMIENTO DE GALICIA 2000-2015” se tomó la decisión de realizar un estudio de los costes de explotación y mantenimiento (E+M) de las depuradoras de aguas residuales urbanas en el contexto de Galicia. Estudio que nos aportará información para el ajuste del Índice de capacidad de Acogida (ICA), presentado en la ponencia “Índice de Capacidad de Acogida (ICA) como metodología de selección de soluciones de depuración para pequeñas aglomeraciones urbanas”, presentado en este congreso.

Objetivo

El objetivo principal del estudio fue el proponer funciones de cálculo del coste de explotación y mantenimiento de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas de aglomeraciones menores de 1500 habitantes equivalentes, analizando previamente cual era la mejor metodología para su elaboración. Se trabajó en metodologías inductivas y deductivas.

Metodología

Los costes de E+M pueden expresarse de diferentes formas: como gastos totales al año, como coste por unidad de agua residual tratada, o como coste por habitante equivalente. Las fuentes de estimación de costes pueden ser encontradas en la bibliografía, en informes oficiales y, ocasionalmente, proporcionadas por las propias casas constructoras de equipos. La precisión y fiabilidad de estas fuentes depende tanto del procedimiento empleado para obtener la estimación como de la finalidad con la que fue realizada. Además, su calidad puede estar influida por el período de tiempo para el que fue desarrollada, por la zona geográfica para la que se aplicó, o por la calidad exigida en la construcción por la administración propietaria.

Hay dos tipos de estimaciones de costes: las elaboradas a partir de los datos reales de plantas en funcionamiento, y las proyectadas a partir de estimaciones básicas sobre cada una de las etapas de un tratamiento general. Las primeras podrían denominarse inductivas, mientras que las segundas serían deductivas. Las estimaciones inductivas habitualmente comprenden un amplio espectro de tamaños de planta. En algunos casos puede darse una información insuficiente para cubrir el rango completo, y las estimaciones de costes podrían ser extrapoladas mediante factores de escala por encima o por debajo de los datos contrastados. Las estimaciones deductivas comprenden aquellos costes debidos a la elección específica de configuración de una determinada línea de proceso con sus respectivas etapas o unidades de proceso. Por lo tanto, las estimaciones deductivas intentan desarrollar los datos de costes para un tratamiento específico a partir de otros datos reales conocidas.

Tanto las estimaciones inductivas como las deductivas pueden ser representadas mediante una curva de coste (€/h-e.año, ó €/m³) frente a caudal, o mediante una ecuación. Dado que los procedimientos inductivos son desarrollados a menudo mediante técnicas de ajuste de curvas a los datos existentes suelen presentarse en forma de ecuación. Una ecuación de estimación de costes comúnmente utilizada, ya que refleja bien el tipo de economía de escala que puede esperarse, es de la forma:

$$Y = a \cdot x^b$$

Donde Y es el coste, x es un parámetro relacionado con los habitantes equivalentes o el caudal y "a" y "b" son constantes empíricas. Tanto en la estimación de los costes de construcción como en los de explotación y mantenimiento es importante la "economía de escala".

Por economía de escala se entiende el hecho de que una misma unidad resulte más barata en una planta grande que en una pequeña. Este ahorro es debido a la disminución, en unidades de coste, del correspondiente a equipamiento, mano de obra., etc. Las plantas de depuración deberían presentar significativas economías de escala, y la diferencia en el coste del tratamiento por unidad de volumen puede ser enorme, más o menos de un orden de magnitud.

Los costes de E +M pueden analizarse según tres criterios diferentes: estructural (o por su naturaleza), funcional y analítico.

Estructuralmente se clasifican los costes en dos grupos: Costes fijos y costes variables

Los Fijos serán aquellos que permanecen aún cuando la EDAR trate sólo una parte del caudal, o bien realice un tratamiento parcial, o, en extremo, no funcione. Los costes fijos suelen expresarse en euros por año o por mes. Los Variables son aquellos dependientes del caudal depurado. Los costes variables suelen expresarse en euros por metro cúbico.

Desde el punto de vista funcional los costes de explotación y mantenimiento pueden analizarse siguiendo la línea de tratamiento que constituye el sistema de depuración como pueden ser: Bombeo de agua bruta, pretatamiento, tratamiento primario, tratamiento biológico, estabilización y digestión de fangos, deshidratación de fangos, dirección y control

Desde el punto de vista analítico, para estudiar el coste de la depuración puede resultar más operativa la descomposición analítica de los distintos factores que intervienen en la gestión. De esta manera se puede estudiar no sólo el valor de cada parámetro y su participación en el coste total de la depuración, sino la influencia que los distintos tipos de procesos pueden tener en cada uno de estos diferentes conceptos fundamentales. Esta es la metodología más adecuada al tipo de depuradoras a estudiar. Los costes que conceptualmente componen el de gestión de la EDAR son: personal, energía, reactivos, mantenimiento y conservación, retirada de residuos; otros (equipamiento de personal, material de seguridad, transporte interior, pequeñas herramientas, reactivos de laboratorio, analíticas, consumo de agua de abastecimiento, etc.).

Se recomienda esta forma de estudiar los costes ya que las otras dos la estructural y la funcional nos exigen tener una mayor información de cada uno de los costes que se generan en la depuradora ya sea para cada etapa de estas o cuáles serán sus costes fijos y variables. Teniendo en cuenta que los costes variables dependen del caudal (caudal real) que se trata en las plantas, dato que en el 90 % de las veces no se obtiene directamente en estas EDAR.

Se analizaron datos y funciones de coste de 7 estudios y referencias bibliográficas españolas, que han analizado los costes de explotación y mantenimiento de la depuración de las aguas residuales, con el objetivo de ser comparados.

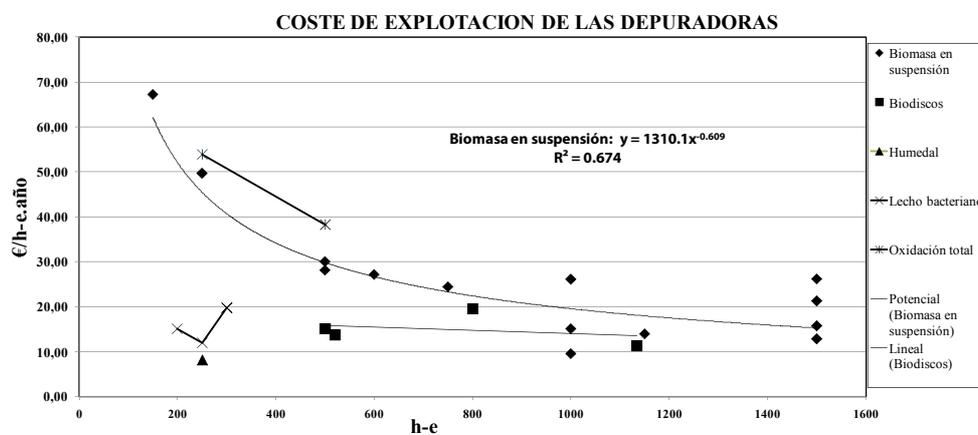
Con el fin de conocer más en detalle los costes de E+M en el contexto gallego se realizó una campaña de auditorías a depuradoras menores de 1500 habitantes equivalentes. En consenso con Augas de Galicia se eligieron 60 EDAR en funcionamiento. De las 60 depuradoras seleccionadas inicialmente, de las cuales ya fue posible obtener información de interés, fueron seleccionadas 30, en las que se pudo constatar prácticas de mantenimiento y explotación "aceptable". Como uno de los objetivos que se persiguen es adquirir el conocimiento más amplio posible sobre el estado y funcionamiento de las depuradoras en cuestión, se procedió primeramente a la elaboración de una Ficha en la que se recogerán los datos que se consideren de interés para el presente estudio.

Para elegir las 60 depuradoras al igual que las 30 con mejor funcionamiento, se siguió el siguiente criterio: 1) Diferentes rangos de poblaciones, 2) Diferentes tecnologías de depuración, 3) Con o sin consumo de energía eléctrica, 4) Con o sin deshidratación de fangos, 5) Gestión municipal y privada, 6) Dispersión geográfica.

Toda la información de las EDAR fue obtenida a través de entrevistas a los responsables de las depuradoras, de la revisión de los proyectos constructivos originales, y de las notas tomadas in situ por el equipo de trabajo.

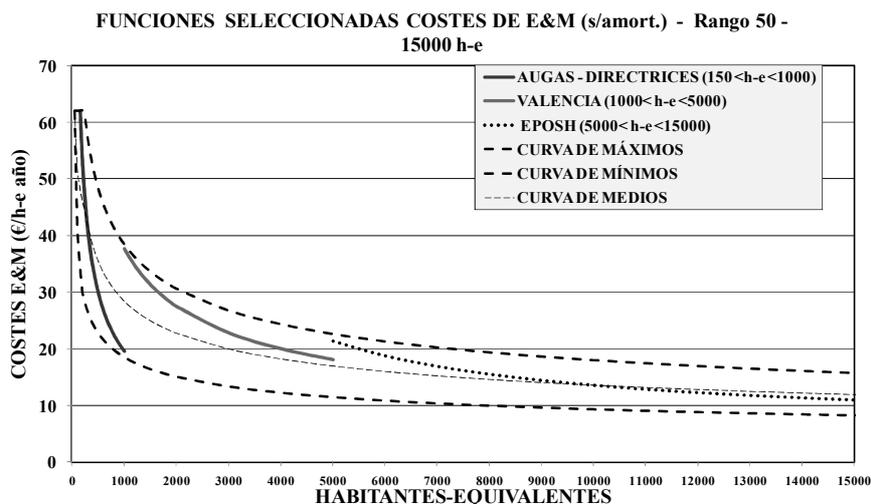
Resultados

Se ha elaborado una metodología de cálculo de los costes a partir de un análisis detallado de las unidades de coste y se han obtenido funciones representativas de los diferentes procesos y tamaños de EDAR en Galicia (grafica 1).



Grafica 1.- Costes de explotación y mantenimiento por tipología de EDAR (€/h-e.año)

Una vez analizadas de forma independiente las diversas funciones y valores de los estudios y referencias bibliográficas, es posible representarlas de forma conjunta en una misma gráfica; asimismo, las referencias y datos de interés son transformados a unidades y ratios de interés

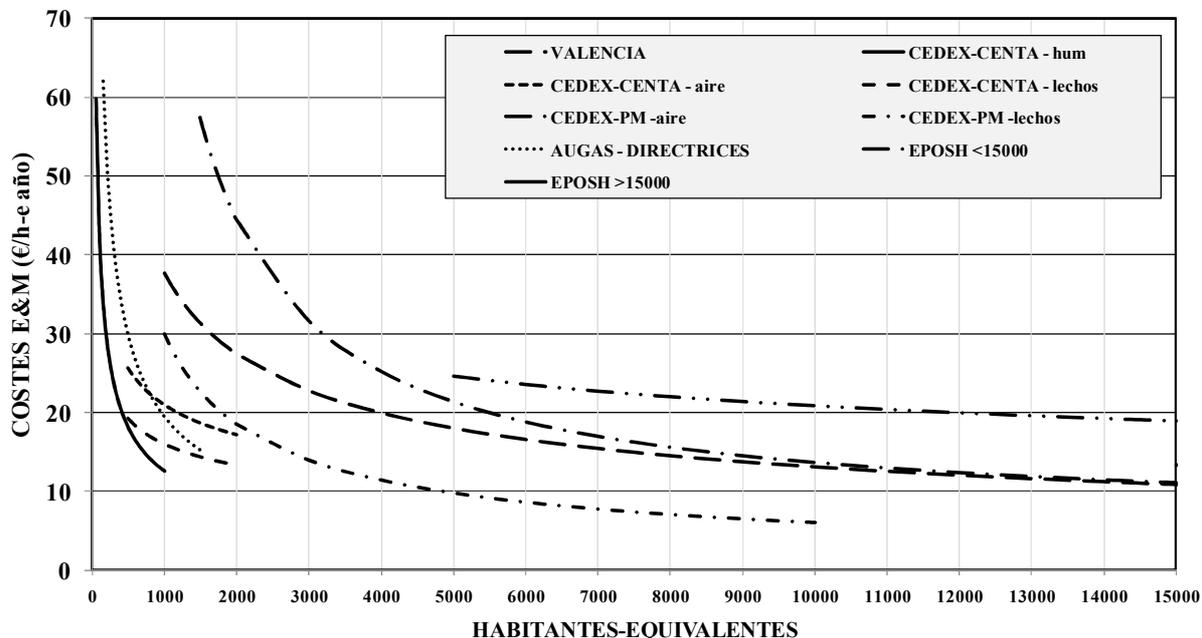


Grafica 2.- Funciones revisadas de estimación de costes de E+M. Rango de habitantes equivalentes de 50 a 15.000.

Tabla 1.- Funciones de coste seleccionadas y rangos de habitantes de equivalentes de aplicación.

RANGO DE HABITANTES-EQUIVALENTES (he)	FUNCIÓN DE COSTE €/h-e año	FUENTE
50 < he < 150	$C = 62$	
150 < he < 1000	$C = 1310 \cdot he^{-0,609}$	METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN DE COSTES DE EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EDARs MENORES DE 1000 H-E. Augas de Galicia - Empresa Pública de Obras y Servicios Hidráulicos (EPOSH). Autores: Torres, D., Jácome, A.; Suárez, J.; Grupo GEAMA de la UdC. Proyecto de Directrices de Saneamiento en el Medio Rural de Galicia.
1000 < he < 5000	$C = 892,23 \cdot he^{-0,458}$	MODELIZACIÓN DE COSTES Y EFICIENCIA EN LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: UN ANÁLISIS EMPÍRICO PARA LA COMUNIDAD VALENCIANA. Autores: Hernández, F.; Sala Garrido, R. (2007)
5000 < he < 15000	$C = (77413 + 5,87 \cdot he) / he$	INFORME DE COSTES DE DEPURACIÓN. "Empresa Pública de Obras y Servicios Hidráulicos" (EPOSH).
15000 < he < 100000	$C = (112413 + 5,87 \cdot he) / he$	"Consellería de medioambiente e Desenvolvemento Sostible". Asistencia técnica realizada por IDOM. Marzo de 2009.

ANÁLISIS DE COSTES DE E&M (sin amortización) - Rango 50 -15000 h-e



Grafica 3.- Funciones seleccionadas y envolvente para la estimación de costes de E+M.

Tabla2.- Las funciones de las curvas envolvente.

RANGO DE HABITANTES-EQUIVALENTES	FUNCIÓN DE COSTE €/h-e año
Menor de 200 h-e – valor máximo	62
Envolvente de valores de costes máximos	$C = 375,7 \cdot he^{-0,33}$
Envolvente de valores de costes medios	$C = 246,53 \cdot he^{-0,315}$
Envolvente de valores de costes mínimos	$C = 147,1 \cdot he^{-0,3}$

Conclusión

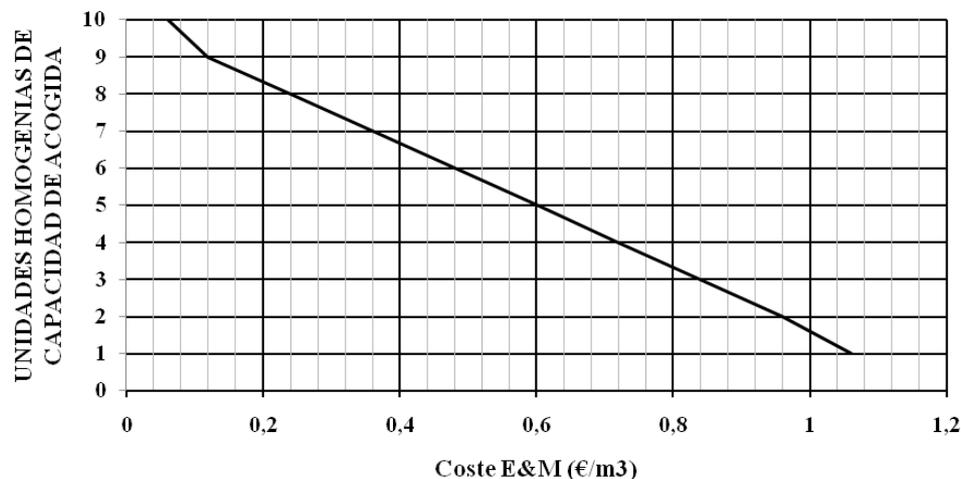
El buen diseño de una EDAR y su correcta ejecución de obra no son suficientes para el cumplimiento de los objetivos de vertido de estas instalaciones sino que permanece la necesidad de realizar su correcta explotación y mantenimiento.

Si bien es sabido que estos sistemas requieren una importante inversión para su construcción, existe, como se ha podido comprobar a lo largo de este trabajo, una explotación abandonada, escasa o en ocasiones incorrecta. Algunas de estas causas podrían deberse a los pocos recursos que algunas entidades locales poseen para dedicar a estos sistemas y también la falta de planificación en los proyectos respecto a la explotación y mantenimiento, seleccionando aquel sistema que se adapte mejor a las características del medio, tanto social como ambiental, no incorporando aquellas instalaciones que por su complejidad requieran técnicos muy cualificados en plantas de pequeños núcleos o medianos, y evitando los sistemas que por abaratar el coste de implantación multiplique el de explotación y mantenimiento ya que el tiempo de vida útil de estas plantas es entre 20 y 25 años.

Tabla 3.-Coste de explotación y mantenimiento (€/m3) (Datos para el ICA)

PROCESO	Coste E&M (euros/m ³) () rango medio
Fosa séptica	0,12
Tanque Imhoff	0,17
Humedal artificial (FHS) (como tratamiento secundario)	0,06
Humedal artificial (FHS) (como tratamiento terciario)	0,06
Lecho bacteriano	0,22 – 0,36 (0,3)
Biodiscos	0,17 - 0,3 (0,25)
Biomasa en suspensión	0,15 - 1,23 (0,44)
Oxidación total	0,84
Filtro con recirculación	0,30
Lecho aireado sumergido	0,25

La grafica 4 corresponde a la “magnitud” (“unidades homogéneas de capacidad de acogida”) que se ha asignado a cada coste para ser valorado en la metodología del ICA la cual se explicara en el artículo denominado “El Índice de Capacidad de Acogida (ICA) como metodología de selección de soluciones de depuración para pequeñas aglomeraciones urbanas”, el cual es expuesto en este congreso.



Gráfica 4.- Valores de Unidades Homogéneas de Capacidad de Acogida

Tabla4.- Costes de explotación y mantenimiento según los datos recogidos de las depuradoras auditadas

TECNOLOGIA	COSTES DE EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO	
	(€/h-e.año)	
BIOMASA EN SUSPENSIÓN	26,3	
OXIDACIÓN TOTAL	46	
BIODISCOS	15	
LECHOS BACTERIANOS	17	

Referencias

- Baptista, E. (2006). *Gestión y explotación de plantas depuradoras*. Ponencia en el Máster de Ingeniería del agua. Universidad de Sevilla
- CEDEX-CENTA (2010). *Tecnologías de depuración adecuadas a pequeñas poblaciones*.
- Hernández, F.; Sala Garrido, R. (2007) *Modelización de costes y eficiencia en los procesos de tratamiento de aguas residuales: un análisis empírico para la comunidad Valenciana*.
- J. Suárez, F. Alonso, A. Jácome, H. del Río, J. Molina, M. Álvarez. Augas de Galicia, Grupo de Enxeñaría de Agua e do Medio Ambiente de la Universidade da Coruña; (2007); “*Proyecto de elaboración de DIRECTRICES DE SANEAMIENTO EN EL MEDIO RURAL DE GALICIA Aglomeraciones menores de 1000 h-e PLAN DE SANEAMIENTO DE GALICIA 2000-2015*”.
- Llorente, V. (2009) *Análisis de costes. Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras (CEDEX)*. Canal de Isabel II (2009)
- Prats, D., Cases, V.P., Montañó, B., Soler, M., Sevilla, M., Melgarejo, J. (2008) *Tratamiento y reutilización de aguas residuales para una gestión sostenible. Instituto del Agua y de las Ciencias Ambientales; Universidad de Alicante, 3ª reunión programa consolider TRAGUA – 25 y 26 de junio de 2008*.
- Tejedor, E.; Medina, Y.; Cantón, Á. (2009) *Estudio de costes los programa de medidas para la implantación de la directiva marco del agua (CEDEX). Jornadas de Ingeniería del Agua*. Madrid.
- Torres, D., Jácome, A.; Suárez, J.; Grupo GEAMA de la UdC. (2009) *Metodología de elaboración de costes de explotación y mantenimiento de EDAR menores de 1000 h-e. Empresa Pública de Obras y Servicios Hidráulicos (EPOSH)*.
- Empresa Pública de Obras y Servicios Hidráulicos (EPOSH). “*Consellería de medioambiente e Desenvolvemento Sostible*”. Asistencia técnica realizada por IDOM. Marzo de 2009. *Informe de costes de depuración*.