

# Propuesta de un modelo integral de financiación de las empresas depuradoras de aguas residuales.

**Terceño, Antonio**

Vicerrector de Personal Docente e Investigador  
Facultad Ciencias Económicas y Empresariales  
Universidad Rovira i Virgili  
atg@fcee.urv.es

**Brotons, José M.**

Profesor Titular de Economía Financiera y Contabilidad.  
Universidad Miguel Hernández  
jm.brotons@umh.es

**Trigueros, José A.**

Profesor Titular de Economía Financiera y Contabilidad  
Universidad Miguel Hernández  
ja.trigueros@umh.es

**Recibido:** 22/06/2007 **Revisado:** 20/07/2007 **Aceptado:** 21/09/2007

---

## Resumen

En los últimos años está adquiriendo una gran importancia los recursos hídricos no convencionales, en especial, la depuración y reutilización de aguas residuales. Su efectiva implantación requiere de un modelo de financiación que estimule el sector para conseguir efluentes de mejor calidad a menores precios. A la vista de las deficiencias detectadas en el actual sistema, en el presente trabajo se propone un modelo integral de costes y financiación, que trate de mejorar aspectos como: la distribución de los costes conjuntos, la investigación, la reducción de costes, etc. El criterio para separar los costes conjuntos ha sido el valor neto de realización, sin embargo, la inexistencia de un mercado de aguas depuradas impide el conocimiento de su precio, por lo que ha sido necesario el empleo de técnicas alternativas para su estimación, como la matemática borrosa.

**Palabras clave:** Depuración, EDAR, precio de mercado, coeficientes de reparto, beneficio industrial, valor neto de realización.

## Abstract

In the last years the not conventional water resources, especially, the wastewater and reuse are acquiring a great importance. Its effective establishment requires a financing model that stimulates the sector to obtain better quality effluents with smaller prices. Due to the current system detected deficiencies, in this paper we propose an integral model of cost and financing, that tries to improve aspects as: the common prices distribution, the investigation, the cost reduction, etc. The criterion to separate common prices has been the net value, nevertheless, the non-existence a depurated market water impedes the knowledge of its price, for which has been necessary to use alternative tools for its estimation, as the fuzzy mathematics.

**Key words:** Wastewater, WWTP, market price, coefficients of distribution, industrial benefit, net value.

## 1. Introducción.

La situación hídrica de muchas cuencas hidrográficas de la península ibérica es especialmente preocupante, tanto por la escasez de recursos como por su elevada salinidad y contaminación. La depuración es capaz de aliviar los problemas de contaminación que padecen la mayoría de nuestros ríos y costas. La reutilización actual en España es de 200 hm<sup>3</sup>/año, y según las previsiones del Libro Blanco del Agua (MIMAM, 2000) se espera alcanzar en el año 2015 los 1.100 hm<sup>3</sup>/año.

El sector de la depuración en España se encuentra regulado administrativamente, y su financiación corresponde a las comunidades autónomas, aunque sólo la normativa de la Comunidad Valenciana establece mediante decreto el modelo de financiación de estas instalaciones. Sin embargo, éste adolece de importantes deficiencias, que impiden que el sector tenga incentivos para conseguir agua depurada de mejor calidad a precios más económicos. En el resto de las comunidades, la normativa es muy escasa limitándose a indicar que se sufragarán los gastos de explotación de dicha actividad.

En consecuencia, el propósito de este trabajo es el desarrollo de un modelo de financiación que solvete las citadas deficiencias, que sea lo suficientemente ágil y dinámico para adaptarse a las situaciones cambiantes, que estimule la innovación tecnológica y la competitividad entre las empresas del sector, y en consecuencia, que mejore de calidad de los efluentes de las depuradoras. Entendemos que la propuesta que se realiza es extrapolable a otros países, ya que la necesidad de generar recursos hídricos y su tratamiento como bien

público es prácticamente universal.

Una estación depuradora de aguas residuales (EDAR) genera conjuntamente agua, fangos y electricidad. Nuestro objetivo en el presente trabajo es el diseño de un sistema que financie el agua depurada (cuya venta lo impide el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas), ya que el resto de productos los puede vender en el mercado. Para ello se propone un modelo que teniendo en cuenta los costes reales de cada estación, financie los costes del agua depurada en base a valores obtenidos por la comunidad autónoma y sobre los que la EDAR no pueda influir individualmente.

Para ello, y dada la existencia de costes conjuntos generados por la multiplicidad de productos obtenidos, se ha de realizar una asignación de éstos entre los productos. La dificultad de comparación entre sí de los mismos, y a la vista de los trabajos consultados, hemos considerado oportuno utilizar el criterio del valor neto de realización (VNR) para su separación.

Sin embargo, la inexistencia de mercado para el agua depurada nos obliga a recurrir a técnicas alternativas para estimar su precio. El empleo de la matemática borrosa permite la obtención, no de un valor puntual que podría dar origen a multiplicidad de errores, sino de un conjunto de valores con sus funciones de pertenencia, obtenidos a partir de las opiniones de los expertos debidamente tratadas, que permiten mejorar la capacidad de predicción.

Por todo ello, el presente trabajo se estructura en las siguientes fases: revisión del sistema actual de financiación,

propuesta de un modelo de costes que permita definir un sistema de financiación que solvente las deficiencias del actual y por último se destacarán las principales conclusiones del trabajo.

## **2. Financiación actual de las EDAR.**

La financiación del sector corresponde a las comunidades autónomas, siendo la Comunidad Valenciana la que tiene un desarrollo normativo más extenso. Para solicitar la financiación de los gastos de explotación se utilizan unos documentos denominados modelos de financiación (MF). En ellos se establece la relación de gastos financiables y la forma de su agregación, que puede resumirse de la siguiente forma:

1. Se agregan los costes de energía eléctrica, personal, reactivos y otros costes (mantenimiento, evacuación de residuos y varios).
2. Se procede a su separación en fijos y variables. Para los primeros se calcula el coste diario, y para los segundos el coste por metro cúbico depurado.
3. La financiación correspondiente a cada periodo se obtendrá multiplicando el coste medio diario por el número de días del periodo a financiar, y para los variables, el coste por metro cúbico por el volumen depurado.
4. A las cantidades así obtenidas, se les agregará el 19% en concepto de gastos generales y beneficio industrial.

El sistema de financiación actual adolece de importantes deficiencias, entre las que destacamos (Brotons, 2003):

1. Muchos costes no son subvencionables ya que no están con-

templados en dicho modelo;

2. No se establecen criterios para la separación de los costes comunes de actividades financiables y no financiables;
3. No se considera la existencia de costes conjuntos a los distintos productos, lo que supone que se financian costes correspondientes a fangos y electricidad que se podrían recuperar con su venta, y por último,
4. El beneficio industrial financiable es un 19% de los costes, siempre que se justifique y sea inferior o igual a las cantidades aprobadas por la administración autonómica. De esta forma, un aumento de los gastos sobre las cuantías aprobadas no será subvencionable, y una reducción supondrá una merma en la financiación. Por este motivo, entendemos que no existen incentivos para la reducción de los gastos ni premio a la eficiencia de las empresas.

En consecuencia, dada la importancia de la depuración de aguas residuales, y ante las múltiples deficiencias del actual sistema, a lo largo del presente trabajo se propondrá un nuevo modelo de financiación que estimule la competitividad entre las empresas mediante la innovación tecnológica para conseguir efluentes de mejor calidad a precios más económicos.

## **3. Propuesta de un modelo de costes para las EDAR.**

La mejor forma de determinar la financiación correspondiente a las EDAR es mediante la determinación de la cantidad a financiar por cada uno de los procesos que la integran. Para ello habrá que calcular el coste real medio (en el ámbito de la comunidad) de cada uno,

una vez imputados todos los costes, y a continuación, asignarlos a los productos de acuerdo con criterios de reparto adecuados.

Para la elección de éstos últimos se ha de tener en cuenta que una EDAR genera conjuntamente agua depurada, fangos y electricidad. Aunque generalmente los productos vienen fijados por el diseño de la depuradora, en algunas ocasiones, las empresas pueden plantearse la generación de electricidad, pero, de acuerdo con Brotons (2006), la elección de diferentes criterios en función de los productos finales puede generar importantes distorsiones, por lo que se recomienda el criterio del VNR.

Por su parte, en la norma quinta de la Resolución de 9 de mayo de 2000, del Instituto de Contabilidad y Auditoria de Cuentas, los costes imputados a cada producto deben de ser lo más paralelos o proporcionales al valor neto de mercado o de realización del citado producto. En este sentido, la Norma Internacional de Contabilidad Nº 2 (NIC 2) referente a existencias establece en el párrafo 12 que la distribución de estos costes puede basarse, por ejemplo, en el valor de mercado de cada producto, ya sea como producción en curso, en el momento en que los productos comienzan a poder identificarse por separado, o cuando se complete el proceso productivo.

En otros trabajos, como Slater y Wootton (1984) se examina la aplicación práctica de los costes comunes en varias empresas químicas y de alimentación del Reino Unido. En su estudio, se llega a la conclusión de que los costes comunes se pueden asignar bien de acuerdo con un método de cantidades físicas, o bien mediante el método del VNR. Hemmer (1996), en un tratamiento matemático

de los costes de exceso de capacidad y costes comunes recomienda que cuando la producción presenta costes conjuntos y capacidad disponible, el coste de los recursos conjuntos deben asignarse entre los productos de acuerdo a su VNR. El anterior argumento es apoyado por Wang (1996) que considera que este criterio supone una mejora significativa sobre el método de las cantidades físicas. Otros trabajos sobre costes estándares también recomiendan el uso del mismo (Deakin y Maher, 1991).

Aunque la tipología por secciones es muy distinta de unas a otras EDARs, el esquema genérico de una depuradora que genere agua, fangos y electricidad podría representarse como un flujo de entrada que se va separando en las distintas líneas de productos: aguas depuradas, fangos deshidratados y electricidad en el punto AF, y éstos dos últimos en el FE. Los conjuntos “afe”, “fe”, “ag”, “fa” y “el” representan respectivamente las secciones pertenecientes a las líneas comunes a los tres productos, comunes a fangos y electricidad, específicas de aguas, de fangos y de electricidad.

Los VNR de cada producto en cada punto, son los que se indican en el cuadro 1, donde los precios de cada producto vienen denotados por  $P_A$ ,  $P_F$  y  $P_E$ :

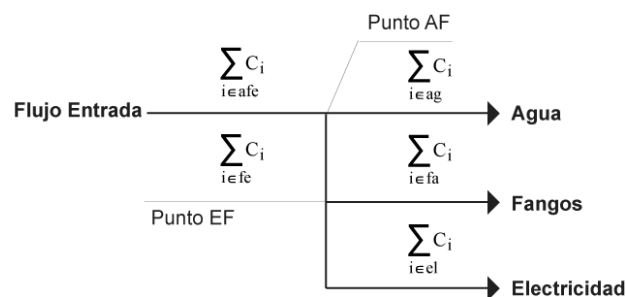


Gráfico 1. Esquema de una EDAR

Fuente: Elaboración propia, 2004

**Cuadro 1.**  
 Valores Netos de Realización

Producto y punto de separación	Valor Neto de Realización
Fangos deshidratados en FE y AF:	$P_{F(AF)} = P_F - \left( \sum_{i \in fc} C_i \sum_{i \in fa} C_i \right)$
Electricidad en el punto FE:	$P_{E(AF)} = P_E - \left( \sum_{i \in fc} C_i \sum_{i \in el} C_i \right)$
Agua depurada en el punto AF:	$P_{A(AF)} = P_A - \sum_{i \in ag} C_i$

Sin embargo, el cálculo del precio de mercado del agua depurada resulta muy problemático. Las empresas depuradoras no pueden comercializar su producto ya que su misión es únicamente reciclar un bien público como es el agua, que como tal, no puede ser objeto de venta, de acuerdo con la Ley de Aguas.

Dado que no existe un mercado de agua depurada, no se puede conocer el precio que estarían dispuestos a abonar los demandantes, o el que solicitan los oferentes. En consecuencia y para poder utilizar el VNR se hace necesario estimar dicho precio “construyendo”, de modo ficticio, un mercado de agua depurada y estableciendo una relación entre precios y cuantías ofertadas y demandadas.

Para realizar dicha estimación y partiendo de que la información se obtendrá de personas relacionadas con el sector y por tanto, será una información subjetiva, entendemos que lo mejor es utilizar instrumentos de la Teoría de los Subconjuntos Borrosos. Dado que nos encontramos ante una información débil y subjetiva y siguiendo a Azorín (1979), Trillas (1980) o Kaufmann *et al* (1994), entre otros, éste es un instrumento adecuado para su tratamiento. En cualquier caso, a medida que comiencen a ser comercializadas dichas aguas se generará un mercado de agua depurada que determinada su precio, por lo que la

estimación que proponemos tendrá un carácter meramente temporal.

La estimación de las variables objeto de estudio, se realizará mediante un adecuado tratamiento de las opiniones facilitadas por los expertos, que se agruparán en dos categorías: los demandantes que especificarán las cantidades que estarían dispuestos a pagar por el uso de este producto y su precio, y los oferentes, que expresarán las cantidades a cobrar.

Para los demandantes, su agregación dará como resultado el número borroso precio de demanda por metro cúbico ( $\tilde{P}_D$ ). Este grupo manifestará su opinión mediante un par de valores (a, b). Para precios inferiores a “a”, demandarían cualquier cantidad y para precios superiores a “b”, su demanda sería nula. Entre “a” y “b”, su función de pertenencia sería decreciente y lineal. Se representa en el gráfico 1:

Siendo su función de pertenencia:

$$\alpha = \mu_{\tilde{P}_D}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq a \\ \frac{x-b}{a-b} & a < x \leq b \\ 0 & b < x \end{cases}$$

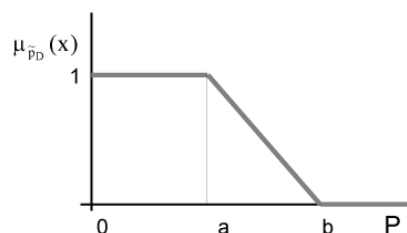
[1]

y su  $\alpha$ -corte:

$$\tilde{P}_{D\alpha} = \{x \in U / \mu_{\tilde{P}_D}(x) \geq \alpha\} = [a, f_{\tilde{P}_D}^{-1}(\alpha)] = [0, b + \alpha(a - b)]$$

[2]

Por su parte, un segundo grupo estará formado por los oferentes, que



**Gráfico 2.** Precio de oferta

establecerán los precios a los que ofrecerán agua depurada. La agregación de las anteriores opiniones, dará como resultado un número borroso que representa el precio de oferta ( $\tilde{P}_S$ ). Al igual que antes, los oferentes comunicarán un intervalo (e, f), siendo “e” el valor mínimo al que ofertarían alguna cantidad de agua y, “f” el valor a partir del cual se ofertará cualquier cantidad. Entre ambos la función de pertenencia será creciente. Su representación se realiza en el gráfico 2: Que se corresponde con la siguiente función de pertenencia:

$$\alpha = \mu(x)_{\tilde{P}_S} = \begin{cases} 0 & x \leq e \\ \frac{x-e}{f-e} & e < x \leq f \\ 1 & f < x \end{cases}$$

[3]

Siendo el  $\alpha$ -corte del número borroso  $\tilde{P}_S$ :

$$\tilde{P}_{S\alpha} = \{x \in U / \mu_{\tilde{P}_S}(x) \geq \alpha\} = [e + \alpha(f - e) \infty]$$

[4]

Por último, el precio de equilibrio de mercado se obtendrá a partir de la intersección de los números  $\tilde{P}_D$  y  $\tilde{P}_S$ :

$$\mu_{\tilde{P}}(x) = \mu_{\tilde{P}_D \cap \tilde{P}_S}(x) = \mu_{\tilde{P}_D}(x) \wedge \mu_{\tilde{P}_S}(x)$$

[5]

Para hallar la intersección debemos distinguir diferentes casos, pero sólo tendrá sentido cuando  $b \geq e$ , es decir, que el precio máximo de demanda (e) sea menor que el precio mínimo de oferta (b) ya que en caso contrario la intersección de las funciones de pertenencia de la

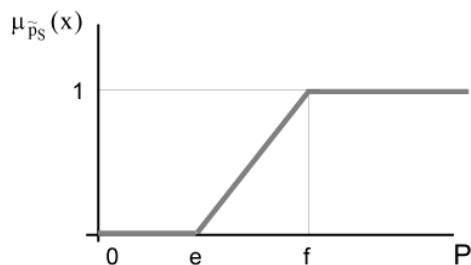


Gráfico 3. Función de pertenencia creciente

oferta y la demanda sería nula y por tanto no habría mercado de agua.

En función de los valores a, b, e y f, se pueden plantear diferentes alternativas, pero sólo analizaremos el caso en el que  $a \leq f$  y  $e \leq b$  (gráfico 4), ya que el resto carece de sentido económico:

La función de pertenencia de  $\mu_{\tilde{P}_D \cap \tilde{P}_S}(x)$  será:

$$\alpha = \mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq e \\ \frac{x-e}{f-e} & e < x \leq x_1 \\ \frac{x-b}{a-b} & x_1 < x \leq b \\ 0 & b \leq x \end{cases}$$

[6]

Siendo el punto de intersección  $x_1$ :

$$x_1 = \frac{fb - ea}{f - e - a + b}$$

[7]

Una vez normalizados, obtendríamos en ambos casos un número borroso triangular<sup>1</sup> cuyos  $\alpha$ -cortes son:

$$\tilde{P}_{A\alpha} = \{x \in U / \mu_{\tilde{P}}(x) \geq \alpha\} = \{\alpha(P_b - P_a) + P_a, \alpha(P_b - P_c) + P_c\}$$

[8]

En resumen, todas las opiniones de los expertos considerados como demandantes, que no habrán tenido más que facilitar los valores “a” y “b”, vienen representadas por su correspondiente haz de números borrosos. La agregación de todas las estimaciones se realizará a través del número borroso medio. De forma similar se procederá con los expertos considerados como oferentes, que habrán tenido que determinar “e” y “f”.

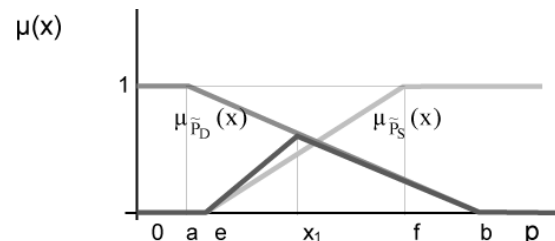


Gráfico 4. Número borroso medio

1 Se define como Número Borroso Triangular (NBT) aquel cuya función de pertenencia es lineal.

Sin embargo, la posibilidad de que existan opiniones de expertos que se alejen de la que se ha considerado representativa del agregado, sugiere la conveniencia de realizar un intento de aproximar en lo posible estas opiniones. Para ello se les informará de la distancia existente entre su opinión y la agregada, para que la reconsideren, si lo estiman oportuno.

A este respecto, la profesora Gil-Lafuente (1990), con el fin de evitar que este proceso de petición de información y suministro de opinión se prolongue indefinidamente, considera necesario fijar de antemano el número de veces que se va a pedir opinión. El proceso se repetirá independientemente de la demanda y la oferta hasta alcanzar una fase  $j$  en la que se cumpla alguna de las condiciones siguientes:

- La dispersión de los extremos no sea excesiva, de acuerdo con el coeficiente de variación (CV). Así el proceso de la demanda se repetirá hasta que el máximo de los coeficientes de variación de cada extremo "a" y "b" sea inferior al máximo fijado a priori CV\*.

$$\max\{CV_a^j, CV_b^j\} \leq CV^* \quad [9]$$

- Las opiniones de los expertos no difieran de manera significativa en dos fases consecutivas. Para ello, se determinan las diferencias en valor absoluto entre las opiniones de cada encuestado en dos fases consecutivas (para ambos extremos), y se aplica el test de Wilcoxon<sup>2</sup>.

- El número de interacciones sea igual al máximo fijado.

De esta forma, una vez conocidos todos los precios, ya es posible calcular los coeficientes de reparto de todos los

costes conjuntos a los distintos productos. En el cuadro 2 se muestra la expresión que tendría en el punto AF, donde A y F representan las unidades producidas de agua y fangos respectivamente, y  $\tilde{P}_{A(R)}$  y  $P_{F(R)}$  sus VNR en el punto AF:

La función de pertenencia del coeficiente de asignación al agua depurada es:

$$[10] \quad \mu_{\tilde{r}_A}(x) = \begin{cases} 0 & x < \frac{A \cdot P_a}{F \cdot P_f + A \cdot P_a} \\ \frac{(F \cdot P_f + A \cdot P_a) \cdot x - A \cdot P_a}{A \cdot (P_b - P_a) \cdot (1-x)} & \frac{A \cdot P_a}{F \cdot P_f + A \cdot P_a} \leq x < \frac{A \cdot P_b}{F \cdot P_f + A \cdot P_b} \\ \frac{(F \cdot P_f + A \cdot P_c) \cdot x - A \cdot P_c}{A \cdot (P_b - P_c) \cdot (1-x)} & \frac{A \cdot P_b}{F \cdot P_f + A \cdot P_b} \leq x < \frac{A \cdot P_c}{F \cdot P_f + A \cdot P_c} \\ 0 & x \leq \frac{A \cdot P_c}{A \cdot P_c + F \cdot P_f} \end{cases}$$

**Cuadro 2.**  
Coeficientes de reparto

AGUA	FANGOS
$\tilde{r}_A = \frac{A \times \tilde{P}_{A(AF)}}{A \times \tilde{P}_{A(AF)} + F \times P_{F(AF)}}$	$\tilde{r}_F = \frac{F \times P_{F(AF)}}{A \times \tilde{P}_{A(AF)} + F \times P_{F(AF)}}$

La función de pertenencia del coeficiente de asignación a los fangos se obtiene de forma similar. De forma análoga obtendríamos los coeficientes de reparto para el agua ( $\mu_{\tilde{r}_A}(x)$ ), fangos ( $\mu_{\tilde{r}_F}(x)$ ) y electricidad ( $\mu_{\tilde{r}_E}(x)$ ) en el punto FE.

Una vez determinada la forma de reparto de los costes conjuntos, para lo que ha sido necesario el uso de números borrosos, se procede a la asignación de los costes de los procesos a los productos. Así, los costes de estos últimos estarán formados por los específicos ( $C_A$ : de aguas, como los análisis de los influentes y efluentes, y  $C_F$  de fangos), los correspondientes a las líneas específicas, y la parte imputable de los conjuntos, evacuación de lodos, comercial y

2 Su uso se considera especialmente indicado ya que se trata de una prueba no paramétrica (que no exige que la distribución poblacional tenga una forma específica), y tiene en cuenta no sólo el signo de las diferencias entre dos fases consecutivas, sino también la magnitud.

administración. En el cuadro 3 se muestra un resumen de los mismos, siendo VFE la producción valorada a los VNR de cada producto en el punto FE, y T el valor de la producción total a precios de mercado. Por su parte,  $R_E$  hace referencia a los costes de la sección de evacuación de lodos (de aquellas depuradoras en las que no se generan fangos deshidratados)

Los costes comerciales se imputarán únicamente a los productos que sean objeto de venta: fangos y electricidad, en proporción a su valor de producción. Como última sección objeto de reparto, los costes de administración se distribuirán en función del valor de cada producto. En consecuencia, los costes de cada uno estarán formados por los costes específicos, la parte correspondiente a los conjuntos, los de las líneas específicas, y el reparto de las secciones de evacuación de lodos, comercial y administración.

El sistema pretende ser lo suficientemente amplio como para recoger cualquier gasto de la empresa y establecer las asignaciones correspondientes. Sin embargo, somos conscientes que debido a la gran multitud de costes existentes,

puede que algunos hayan quedado fuera de nuestro planteamiento. Sin embargo, bastará con asimilarlos a algunos de los presentes para determinar el proceso que deberán seguir hasta la imputación definitiva a los productos.

#### 4. Propuesta de un sistema de financiación de las EDAR.

Una vez analizado el sistema de costes que deberán utilizar todas las empresas, el nuevo sistema de financiación deberá permitir a las empresas beneficiarse de la reducción que obtengan en sus costes y evitar que puedan incidir directamente sobre el beneficio industrial financiado. Para que el ente responsable correspondiente pueda fijar la financiación de cada EDAR, deberán comunicar una serie de informaciones relativas a volúmenes depurados ( $V_i$ ), fangos (F) y electricidad generados (E), desniveles a superar por los influentes y efluentes ( $h_i$ ), costes unitarios de cada sección y diversos indicadores de gestión.

A partir de la misma, la administración procederá a estimar una serie de variables que pueden resumirse en: costes específicos de agua ( $\hat{C}_A$ ) y fangos ( $\hat{C}_F$ ), que no pueden asignarse a ningún proceso en particular, costes unitarios de secciones ( $\hat{C}_i$ ), incluidos los de evacuación de lodos no utilizables como fangos deshidratados ( $\hat{R}_E$ ), costes de elevación por  $m^3$  un metro de altura ( $\hat{C}_{E u}$ ), administración ( $\hat{C}_D$ ), y precios de agua ( $\hat{P}_A$ ), fangos ( $\hat{P}_F$ ) y electricidad ( $\hat{P}_E$ ) y que se muestran en la tabla 4:

A diferencia de los procesos principales, en administración no se puede garantizar que la relación sea directa entre el importe total y el volumen depurado, por lo se que propone que sea el ente autonómico correspondiente el

**Cuadro 3.**  
Asignación de los costes de los procesos a los productos.

		PRODUCTOS		
		AGUA	FANGOS	ELECTRICIDAD
COSTES	Específicos	$C_A$	$C_F$	O
	Conjuntos	$\sum_{i \in ag} C_i$	O	O
	- Agua	$\tilde{F}_A \cdot \sum_{i \in af} C_i$	$\tilde{F}_F \cdot \sum_{i \in af} C_i$	O
	- Agua y Fangos	$\tilde{S}_A \cdot \sum_{i \in afe} C_i$	$\tilde{S}_F \cdot \sum_{i \in afe} C_i$	$\tilde{S}_E \cdot \sum_{i \in afe} C_i$
	- Agua y Fangos y Electricidad	O	$\frac{F \times P_F(E)}{V_{FE}} \cdot \sum_{i \in fo} C_i$	$\frac{E \times P_E(E)}{V_{FE}} \cdot \sum_{i \in fo} C_i$
	Conjuntos E y F	$\sum_{i \in ag} C_i$	$\sum_{i \in fa} C_i$	$\sum_{i \in el} C_i$
	Líneas Específicas	$CR_{EL}$	O	O
	Evacuación Lodos	O	$\frac{F \times P_F}{F \times P_F + E \times P_E} C_{CO}$	$\frac{E \times P_E}{F \times P_F + E \times P_E} C_{CO}$
	Comercial	$\frac{A \times \tilde{P}_A}{T} C_{AD}$	$\frac{F \times P_F}{T} C_{AD}$	$\frac{E \times P_E}{T} C_{AD}$
	Administración			

Fuente: Elaboración propia



que determine la mejor regresión entre las variables independientes  $X_{ij}$  que representan un determinado nivel de actividad  $j$  de la empresa  $i$  (o cualquier otro parámetro que se estime oportuno de las empresas), y la dependiente  $C_{D_i}$  (costes de administración de la citada estación). De esta forma tendremos que la regresión que servirá para determinar los gastos de administración que corresponde financiar a cada depuradora será<sup>3</sup>:

$$\hat{C}_{iD} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{1i} + \hat{\beta}_2 X_{2i} + \dots + \hat{\beta}_m X_{mi}$$

[11]

En consecuencia, la financiación

**Cuadro 4.**  
Estimación de variables

	Variable	Valor a Estimar	Forma de cálculo
Específicos de agua	$\hat{C}_A$	Costes específicos del agua	Media comunidad
Específicos de fangos	$\hat{C}_F$	Costes específicos de los fangos	Media comunidad
Elevación	$\hat{C}_{ELU}$	Costes por m <sup>3</sup> elevado por m. altura	Media comunidad
Procesos comunes y línea de agua	$\hat{C}_I$	Costes de cada proceso por m <sup>3</sup> tratado	Media comunidad
Específicos de Lodos	$\hat{R}_{EL}$	Costes de elevación de lodos por m <sup>3</sup> depurado	Media comunidad
Elevación	$\hat{C}_{AD}$	Coste total	Regresión múltiple
Agua	$\hat{P}_A$	Precio de mercado	Estimación matemática borrosa
Fangos	$\hat{P}_F$	Precio de mercado	Precio medio
Electricidad	$\hat{P}_E$	Precio de mercado	Precio medio

**Cuadro 6.**  
Financiación de las EDAR

Concepto a Financiar	Importe
Costes específicos de aguas:	$F_{IA} = \hat{C}_A$
Costes de elevación	$F_{IE} = \hat{C}_{EU} \times V_i \times h_i$
Conjuntos a agua, fangos y electricidad <sup>1</sup>	$\tilde{F}_{IAFE} = \tilde{t}_A \times V_i \times h_i \times \sum_{j \in a, f, e} \hat{C}_j \times V_j$
Línea específica de aguas:	$F_{Iaj} = \sum_{j \in a, f, e} \hat{C}_j \times V_j$
Evacuación de lodos:	$F_{IEL} = \hat{R}_{EL} \times V$
Costes de administración:	$\tilde{F}_{IAD} = \frac{A \times \tilde{P}_A}{T} \times \hat{C}_{AD}$
Beneficio industrial:	$\tilde{B}_i = b \times (F_{IA} + F_{IE} + \tilde{F}_{IAFE} + F_{Iaj} + F_{IEL} + \tilde{F}_{IAD})$
<b>Financiación Total:</b>	$F_i^{\%} = F_{IA}^{\%} + F_{IE}^{\%} + F_{IAFE}^{\%} + F_{Iaj}^{\%} + F_{IEL}^{\%} + F_{IAD}^{\%} + B_i^{\%}$

<sup>1</sup>  $\tilde{t}_A$  tomará el valor uno si la EDAR solo genera aguas depuradas,  $\tilde{t}_A$  si genera además fangos, y  $\tilde{t}_A$  si se obtiene además electricidad

correspondiente a cada EDAR, que se muestra en la tabla 5, se obtendrá mediante la agregación de los componentes: costes específicos de aguas, de elevación, costes conjuntos, línea de aguas, evacuación de lodos, administración y beneficio industrial.

Como puede comprobarse, la financiación total, obtenida como agregación de todos sus componentes, es un número borroso, por ser suma de números borrosos. El resultado así obtenido podría desfuzzyficarse por cualquiera de los métodos conocidos (centro del área, media borrosa, etcétera), lo que simplifica bastante los cálculos. Pero en caso de no utilizarlo, el precio de mercado sería un número borroso, lo que implicará que la distribución de costes y la estimación de la financiación se realizaría con coeficientes borrosos.

## 5. Consideraciones finales.

En los últimos años está adquiriendo una gran importancia la depuración y reutilización de aguas residuales, pero dadas las deficiencias del actual sistema de financiación nos ha llevado a proponer un nuevo sistema de que intente solventarlas

La financiación en base a costes medios de la comunidad, requiere que todas sus EDAR, con independencia de sus sistemas internos, faciliten sus costes a la administración de acuerdo con un sistema como el propuesto, que permita la comparación entre ellas. La propia estructuración física de las EDAR, organizadas en procesos físicos comparables entre sí, pero combinados de múltiples formas, nos ha obligado a asignar todos los costes a los procesos. Sin embargo, el problema ha surgido al

3 Si suponemos es una regresión lineal

tratar de imputar los costes a los productos. Esta circunstancia nos ha llevado a utilizar el criterio del VNR para la separación de los costes conjuntos.

El problema ha surgido por la inexistencia de mercado para las aguas depuradas lo que impide el conocimiento de sus precios, por lo que será necesario buscar un sistema alternativo que permita su estimación. La solución a la anterior cuestión la hemos encontrado en la aplicación de la matemática borrosa, ya que entendemos que es un buen instrumento para el tratamiento de datos subjetivos e inciertos facilitados por los expertos.

La metodología propuesta permite, a través de las opiniones de los expertos representadas mediante haces de números borrosos, determinar la función oferta y demanda del agua depurada, y en consecuencia, el precio de mercado. Dado que resulta imprescindible la realización de varias fases de información-reconsideración, ha sido necesario fijar los criterios para determinar su número, de forma que se consiga una estimación lo más correcta posible sin aumentar innecesariamente las fases.

La introducción de esta variable borrosa a nuestro modelo, tanto en la vertiente de costes como en la de financiación, lo convierte en un instrumento mucho más eficaz, con una buena capacidad de predicción y adaptación.

Una vez establecida la metodología para la determinación de los costes de cada producto, las EDAR deberán comunicar a la administración, mediante los oportunos formularios, toda la información relevante para que esta estime una serie de variables que determinen en última instancia la cantidad a financiar a cada EDAR.

Para obtener la financiación se agregarán los productos de los costes medios por metro cúbico de una comunidad autónoma (de cada proceso), por el volumen depurado por la EDAR a financiar. En caso de existir costes conjuntos a varios productos, deberán separarse de acuerdo con los coeficientes de reparto expuestos. En elevación el coste medio a tener en cuenta es el correspondiente a un metro cúbico por un metro de altura, y en administración, el estimado mediante una regresión múltiple a partir de diferentes indicadores de actividad, oportunamente distribuido en función del valor de cada producto.

En último lugar, se propone la sustitución de la actual forma de determinación del beneficio industrial, basado en los costes incurridos por una empresa, por otro calculado a partir de los costes medios por proceso. De esta forma, dicho beneficio resultará una cantidad que será únicamente función del volumen depurado, a la que no le afectará la variación de los costes individuales.

En conclusión, el nuevo sistema de financiación fomentará la competitividad de las empresas del sector, que tendrán incentivos para reducir sus costes sin perder financiación. Esto es posible ya que las innovaciones tecnológicas que disminuyan los costes, beneficiarán íntegramente a las EDAR, que a su vez se verán incentivadas a la mejora de sus rendimientos y de la calidad de sus efluentes. Todas estas circunstancias pueden ayudar a la efectiva implantación del agua depurada como un verdadero recurso hídrico que reduzca las carencias de agua existentes en muchas cuencas españolas, especialmente las situadas en el sureste español.

En cualquier caso, el sistema aquí propuesto permite determinar el precio de mercado de cualquier bien, especialmente público, para el que no exista mercado. Por otra parte, el mecanismo de separación de costes conjuntos puede ser de aplicación a cualquier otro sector con una problemática similar. Asimismo, aunque se ha basado en la legislación española, entendemos que la metodología es exportable a otros países donde la depuración de aguas se trate como bien público y las empresas sean subvencionadas, situación bastante usual.

### **Referencias Bibliográficas**

Azorín Poch, F. (1979). **Algunas aplicaciones de los conjuntos borrosos a la estadística**. Instituto Nacional de Estadística. Madrid.

Brotons, J.M. (2003). **La financiación del sector de empresas depuradoras de aguas residuales. Un enfoque operativo y metodológico**. Tesis doctoral. Universidad Miguel Hernández.

Brotons, J.M. y Trigueros, J.A. (2006) **Propuesta de financiación para las empresas depuradoras de aguas residuales**. Partida Doble, 176, abril.

Deakin E.B., Maher M.W. (1991). **Cost accounting**. Homewood, IL, Irwin,.  
Gil-Lafuente, A. M. (1990). **El análisis financiero en la incertidumbre**. Ariel. Barcelona.

Hemmer T. (1996). **Allocations of sunk capacity costs and joint costs in a linear principal-agent model**. Accounting Review, 71, pp 419-432.

Kaufmann, A; Gil Aluja, J.; Terceño, A. (1994). **Matemática para la Economía y la Gestión**. Foro científico. Barcelona.

Mimam (2000). **El Libro Blanco del Agua en España**. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.

**Norma Internacional de Contabilidad nº 2 (NIC2)** (revisada en 1993), Diario Oficial de la Unión Europea, 13/10/2003, L 261/25 a L 261/31.

**Orden de 14 de abril de 1993 de la Conselleria d'Obres Publiques de la Comunidad Valenciana** por la que se establecen los modelos en que se ha de formalizar la solicitud de financiación de las empresas depuradoras de aguas residuales.

**Real Decreto Legislativo 1/2001**, de 20 de julio por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas.

**Resolución de 9 de mayo de 2000**, del Instituto de Contabilidad y Auditoría de Cuentas, por la que se establecen criterios para la determinación del coste de producción.

Slater K, Wooton C. A (1984). **Study of joint and by-product costing in the UK**. London: Institute of Cost and Management Accountants.

Terceño, A. y Brotons, J.M. (2004). **Las empresas depuradoras de aguas residuales: una propuesta de financiación**. XI Congress of the International Society for Fuzzy Management and Economy (SIGEF). Reggio Calabria-Messina, noviembre: p. 463-481.

Trillas, E. (1980). **Conjuntos borrosos**.  
Vicens Vives. Barcelona.

Wang X. (1996). **Joint products and responses to a profit tax: the case of endogenous cost allocation**. Public Finance Quarterly, 24, pp 494–500.