

OBJETIVOS DE CÁLCULO DE COSTE EN LAS EMPRESAS DE TRATAMIENTO Y ABASTECIMIENTO URBANO DE AGUA POTABLE. EL COSTE DEL AGUA DESALADA

Jerónimo Pérez Alemán
Francisca Piedra Herrera
Margarita Mesa Mendoza
Carolina Bona Sánchez

RESUMEN

Entre las acciones emprendidas por la Unión Europea en el ámbito de la política de aguas, destaca la Directiva 2000/60/EC del Parlamento Europeo y del Consejo, que establece un marco de acción comunitaria en dicho ámbito. Esta norma, ampliamente conocida como Directiva Marco del Agua, indica en su artículo 9 que los miembros de los estados tendrán en cuenta el principio de recuperación de los costes de los servicios de aguas, incluidos lo medioambientales.

Teniendo en cuenta dicho precepto legal, las empresas de tratamiento y abastecimiento urbano de aguas tienen la necesidad de generar información sobre los costes en general, y sobre los costes (y otras magnitudes) medioambientales en particular. En el presente trabajo centramos nuestra atención en el cálculo del coste de uno de los outputs de tales empresas, como es el agua desalada.

PALABRAS CLAVE: Coste del agua, Directiva marco del Agua, Desalación.

ABSTRACT

From among actions undertaken by the European Union in the field of water policy, emphasize the Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council, that establishes a framework for community action in the refereed field. This standard, widely known as Water Framework Directive, indicates in its article 9 that member states shall take account of the principle of recovery of the costs of water services, including environmental.

According to this legal framework, municipal water supply entities must generate information about their general costs and, more particularly, about their environmental costs and other environmental items. So, in this paper we focus on the calculation of the cost of desalinated water, which is one of these entities' main outputs.

KEY WORDS: Cost of the water, Water Framework Directive, Disalination.

1. INTRODUCCIÓN

La Unión Europea ha venido prestando una gran atención en los últimos años a la gestión del recurso hídrico, enmarcada dentro de las líneas generales de convergencia medioambiental, donde han tenido una presencia constante los principios generalmente aceptados para la gestión de dicho recurso. Tales principios son, entre otros:

- *Utilización sostenible del agua.*
- *Gestión integral.* Se trata de llevar a cabo una gestión que incluya los aspectos económicos, medioambientales, políticos, administrativos, gerenciales y socioculturales, favoreciendo así el alcance de la eficiencia en su desarrollo.
- *Control público.* A través de este control se pretende proteger el recurso, garantizando su utilización sostenible. Tal control debe permitir, además, llevar a cabo el proceso planificador anteriormente enunciado.
- *Aplicación del principio “quien utiliza el agua la paga”.*

Las aportaciones que en esta línea se han venido planteando desde la Unión Europea tienen su origen en la firma del Acta Única en La Haya (Comisión Europea; 1987), donde por primera vez comienza a adoptarse una serie de medidas para la protección del medio ambiente. Posteriormente, la entrada en vigor del Tratado de la Unión Europea (Comisión Europea; 1992) propicia la incorporación del concepto de “crecimiento sostenible respetuoso con el medio ambiente”, debatiéndose a partir de esos momentos, no ya sobre simples medidas o acciones, sino sobre políticas ambientales, en cuya definición se incorporan los principios de “cautela y acción preventiva”, “corrección de las agresiones ambientales, preferiblemente en el origen de la misma”, y “quien contamina paga”. En 1997, y más concretamente con el Tratado de Amsterdam (Comisión Europea; 1997), se plantea una revisión de toda la normativa europea existente hasta el momento, de forma tal que para garantizar la protección ambiental se incorpora el concepto de desarrollo sostenible y se añade un artículo que establece que la implementación de cualquier política emprendida por la Unión Europea debe, en todo caso, ser compatible con la protección del medio ambiente.

Con respecto a las directivas emanadas desde la Unión Europea²⁸⁸, el 23 de octubre de 2000 se aprueba la Directiva Marco del Agua (Comisión Europea; 2000), que pretende, de una parte, ser un compendio de toda la normativa comunitaria en materia de aguas, y de otra, establecer un punto de referencia para que todas las medidas destinadas a alcanzar los objetivos ambientales de protección y uso sostenible de las aguas sean coordinadas, y que sus efectos sean controlados y supervisados por las cuencas fluviales, de forma tal que se garantice la aplicación coherente y racional de la política comunitaria en materia de aguas.

En el desarrollo del texto legal se plantean unos objetivos ambientales para las aguas superficiales, las aguas subterráneas y las zonas protegidas, recogándose, además, las siguientes obligaciones para los Estados miembros de la UE:

- en el plazo de cuatro años deberán realizar:
 - el análisis de las características de la demarcación hidrográfica, el estudio de las repercusiones de la actividad humana sobre las aguas superficiales y subterráneas y el análisis económico del uso del agua;
 - un registro de las zonas declaradas de protección especial en cada distrito de cuenca fluvial;

²⁸⁸ En la década de los setenta se emitieron cinco directivas con la finalidad de establecer unos objetivos de calidad en el agua, habida cuenta de los usos previstos para las mismas. Posteriormente, se promulgaron dos más en las que se recogía, por primera vez, la cuestión relativa a la contaminación de las aguas. En la década de los noventa, aparecen las directivas sobre tratamiento de aguas residuales urbanas y sobre la contaminación originada por los nitratos sobre las aguas superficiales y subterráneas.

- velarán por el establecimiento de programas que permitan llevar a cabo el control de las aguas superficiales y subterráneas en cada cuenca fluvial, que deberán ser operativos en un plazo de seis años;
- deberán tener en cuenta la recuperación de los costes de los servicios de agua, incluidos los medioambientales, en virtud del principio “quien contamina paga”. Para llevar a cabo los mecanismos que permitan conocer los referidos costes se dispone hasta el año 2010;
- teniendo en cuenta las mejoras técnicas disponibles o los valores límite de emisión que correspondan, deberán velar, en el plazo de doce años, por el establecimiento y/o control de la aplicación de los controles de emisión;
- establecerán en cada distrito de cuenca fluvial un programa de medidas básicas y complementarias para cada demarcación hidrográfica;
- velarán por la elaboración de Planes Hidrológicos de Cuenca para cada demarcación hidrográfica situada totalmente en su territorio, que serán aplicados en un plazo de nueve años; y
- prepararán un calendario de trabajo para elaborar el plan de gestión de cuenca fluvial.

Finalmente, la Directiva plantea un conjunto de estrategias para combatir la contaminación de las aguas, mediante la eliminación de una serie de sustancias calificadas como prioritarias en función del daño que provocan en el medio acuático o el que ocasionan a través del mismo.

En definitiva, la Directiva se erige como una importante aportación a lo que se viene denominando “nueva cultura del agua”, en la que se reconoce el valor del agua en todas sus manifestaciones: económica, social y medioambiental; asimismo, advierte de una serie de plazos durante los cuales los diversos agentes económicos implicados, tanto públicos como privados, han de ir adaptándose a tales exigencias. De entre tales agentes económicos, nuestra atención se concentra en las empresas de tratamiento y abastecimiento urbano de agua, quienes, a tenor de lo expuesto, deberán diseñar los mecanismos necesarios para que se puedan conocer los costes incurridos en la obtención y prestación del servicio de abastecimiento de agua, incluidos los medioambientales. Y todo ello no sólo con el fin de que pueda tener su debida aplicación el principio de recuperación de los costes del servicio de aguas al que se alude en el precepto legal, sino también porque la determinación de las magnitudes medioambientales son, al mismo tiempo, un requerimiento derivado de la filosofía del desarrollo sostenible, que otorga una gran importancia a la preparación de información centrada en la actuación medioambiental de la entidad.

Ahora bien, asumiendo que tales empresas tienen la necesidad de generar información sobre los costes en general, y sobre los costes (y otras magnitudes) medioambientales en particular, centraremos nuestro objetivo, a los efectos de la presente comunicación²⁸⁹, en la propuesta de una metodología que permita, de una parte, proceder al cálculo del coste del agua desalada, y de otra, determinar otras magnitudes medioambientales (pérdidas, externalidades y riesgos, todas ellas de carácter medioambientales), asociados a la actividad de desalación de aguas.

Para ello, efectuamos, en primer lugar, un breve análisis de las actividades productivas de las empresas de tratamiento y abastecimiento urbano de agua, lo que nos permitirá definir objetivos de cálculo de costes para estas entidades. Ante la imposibilidad de ahondar, en el presente trabajo, en el análisis y cálculo de costes de todas las actividades, centraremos nuestra atención en la desalación de aguas, proponiendo el método de cálculo

²⁸⁹ Este trabajo se integra en un proyecto culminado, de mayor amplitud, en el que se propone una metodología para la determinación de los costes -medioambientales y no medioambientales- asociados a la totalidad de las actividades desempeñadas por las empresas de tratamiento y abastecimiento urbano de agua.

que resulta de aplicación para la determinación del coste de los outputs generados como consecuencia del desarrollo de esta actividad. Para ello, realizaremos previamente una somera descripción de los principales procesos de desalación, centrándonos, seguidamente, en el proceso de desalación por destilación. El trabajo culmina con un resumen de las principales conclusiones alcanzadas a lo largo del mismo.

2.- LAS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS DE LAS EMPRESAS DE TRATAMIENTO Y ABASTECIMIENTO URBANO DE AGUA

Con la denominación genérica de empresas de tratamiento y abastecimiento urbano de agua nos referimos a todas aquellas unidades económicas que desarrollan las actividades de captación, tratamiento y distribución del agua, así como la recogida y depuración de las aguas residuales. Estas empresas llevan a cabo unos procesos productivos determinados con el fin de suministrar agua de abasto a la población, no desarrollando una actividad pura de servicios, pues, además de tal suministro, actúan sobre el agua para hacerla útil para el consumo (tratamiento) o adecuada para su vertido al medio natural (depuración) sin que dicho medio se vea alterado (al menos dentro de los límites establecidos por la legislación vigente).

Teniendo en cuenta las peculiaridades que rodean a estas entidades, parece adecuado diferenciar en su ciclo de explotación dos grupos de funciones básicas: Transformación y Distribución. Las primera de estas funciones se refiere a la realización de actividades en las que existe un claro proceso de actuación sobre un bien tangible (materia prima) para transformarlo en producto útil para su consumo, obteniendo como resultado un conjunto de outputs tangibles. La función de distribución se concreta en el acercamiento del output principal a los distintos puntos de consumo.

La función de Transformación engloba los siguientes procesos:

- Captación: Proceso mediante el cual se capta de fuentes superficiales o subterráneas, y con medios propios, los volúmenes del recurso necesarios para el desarrollo de las actividades que les son propias. Se genera, así, una corriente de agua salobre que define un producto semiterminado. Dicho producto requiere de un tratamiento posterior en la Estación de Tratamiento de Aguas Potables para su adecuada distribución a la población; asimismo, se puede generar una corriente de agua de abasto, obteniéndose así un producto terminado, que se conducirá por las conducciones generales hasta los depósitos reguladores, donde es almacenado hasta su distribución.
- Potabilización: El agua salobre procedente tanto del proceso de Captación como de empresas externas es tratada en las Estaciones de Tratamiento de Aguas Potables, donde a partir del mencionado influente y otros factores productivos se lleva a cabo un conjunto de procesos que dan lugar a la obtención de agua potabilizada²⁹⁰. Dada sus condiciones sanitarias, este tipo de agua puede calificarse como agua de abasto, siendo conducida mediante conducciones hasta los depósitos reguladores para su posterior distribución a la población.
- Desalación: Proceso en el que a partir del agua salobre procedente del mar se lleva a cabo la separación del agua y las sales. Dependiendo de la forma de desalación que se adopte se pueden generar otros productos distintos del principal: agua desalada.
- Depuración: A partir de las aguas residuales se realiza un conjunto de actividades encaminadas a reducir las impurezas que contienen y a devolver tales volúmenes de agua a un medio receptor (mar, río, etc.)

²⁹⁰ A pesar de que tales estaciones de tratamiento incorporan la denominación de agua potable, lo cierto es que no siempre se tiene como objetivo la producción de agua apta para ser consumida mediante ingestión por parte del ser humano; en la mayor parte de las ocasiones lo que se persigue es obtener agua en condiciones sanitarias óptimas para su consumo general, pudiendo ser o no apta para su ingestión.

cumpliendo los parámetros establecidos por la legislación vigente. Fruto de tal proceso se suele obtener al menos un producto principal (agua depurada) y residuos (lodos o fangos tratados).

- Realización de análisis químicos: Actividades dirigidas a la obtención de unos outputs complementarios a las distintas manifestaciones del recurso hídrico, que se concretan en determinados servicios que se prestan a los clientes que lo solicitan.
- Actividades de mantenimiento y reparación: Encaminadas tanto al mantenimiento preventivo como a la reparación de averías. Estas actividades adquieren una importancia singular en este tipo de empresas.

Por su parte, la función de Distribución comienza una vez obtenida el agua de abasto, para distribuirla a los consumidores desde los depósitos en los que se encuentra almacenada. Esta función constituye una actividad productiva básica de este tipo de empresas, hasta el punto de que puede darse el caso de que concreten su actividad sólo en la adquisición y distribución del recurso hídrico a la población.

3. OBJETIVOS DE CÁLCULO DE COSTES

Si bien el conocimiento del coste de los productos y servicios que prestan las empresas objeto de atención adquiere la misma importancia y relevancia que en cualquier otra tipología empresarial, no cabe duda alguna que la determinación del coste del output principal de este tipo de empresas tiene también otro tipo de connotaciones.

Por una parte, la anteriormente citada Directiva Marco del Agua plantea el requerimiento de que a partir de 2010 el precio del agua de abasto deba cubrir la totalidad de los costes incurridos para que la población pueda disponer de ella en los correspondientes puntos de consumo cuando así lo precise. Por otra parte, nos encontramos con un recurso que se integra dentro de los “servicios públicos” que la Administración debe procurar a los ciudadanos, y, por tanto, el precio que éstos deben en principio pagar ha de estar en función del coste incurrido para su obtención y comercialización²⁹¹.

Así pues, no cabe duda de la necesidad de calcular el coste del agua de abasto, configurándose éste como un claro objetivo de cálculo en estas empresas. Asimismo, las distintas actividades productivas que llevan a cabo las referidas empresas y la gestión del recurso en el marco de la filosofía del desarrollo sostenible, nos lleva a definir otros posibles objetivos de cálculo de costes relevantes (Tabla 1).

Objetivos de cálculo	Descripción
Coste de agua potabilizada (AP)	Coste de producción del agua tratada, tras su obtención en la Estación de Potabilización de Aguas
Coste de agua desalada (AD)	Coste de producción del agua que ha sido tratada en la Estación de Desalación de Aguas y tiene como destino el abastecimiento urbano
Coste de agua de abasto (AB)	Coste de la totalidad del agua de abasto distribuida a la población, integrada por el agua potabilizada, el agua desalada y el agua de abasto adquirida a terceros ²⁹²
Coste de agua depurada (ADP)	Coste de producción del agua depurada en la Estación de Depuración de Aguas Residuales
Coste de ventas (CV)	Acumulación del coste de las actividades de facturación, atención al cliente y

²⁹¹ No obstante, la determinación del precio final puede depender de otras variables. Por ejemplo, cuando la gestión del servicio es indirecta el precio estará en función de lo establecido en el pliego de condiciones administrativas, pudiendo incluir una cuota a favor de la entidad privada que accede a la gestión por el *know how* aportado.

²⁹² La totalidad de estos volúmenes de agua se almacena y distribuye conjuntamente, esto es, mezclando todos los efluentes.

CITIES IN COMPETITION

	relaciones públicas
Coste de administración general y dirección (CAD)	Acumula el coste relativo a las actividades de dirección y administración de la empresa, financiación, secretaría y conserjería, recursos humanos y administración del inventario de infraestructuras
Coste de prevención, reparación y minimización de daños medioambientales	Recoge la totalidad de costes incurridos durante el período que tengan por finalidad prevenir, reparar o reducir los daños al medio natural.
Coste de recursos naturales adquiridos	Importe del coste de agua adquirida de terceros durante el período.
Valor de pérdidas medioambientales (VPM)	Cuantías ciertas que se deben satisfacer en un determinado ejercicio por causar daños medioambientales. Dichas cuantías provienen de una imposición legal
Valor de previsiones de daños medioambientales (VPDM)	Cuantías estimadas de obligaciones medioambientales ciertas que surgen como consecuencia del desarrollo de las actividades propias de la empresa en un ejercicio determinado, pero cuyo desembolso tendrá lugar en un momento futuro no determinado
Valor de contingencias medioambientales (VCM)	Cuantías estimadas de obligaciones medioambientales que si bien no son ciertas, tienen alguna probabilidad de ocurrencia
Valor de externalidades (VE)	Valor de los daños medioambientales que son provocados por la empresa, pero no los está soportando

Tabla 1. Objetivos de cálculo de costes

Como puede observarse en dicha tabla, hemos considerado una serie de objetivos que aunque en su literalidad no representan un coste en sí mismo, entendemos que son claramente objetivos de cálculo para una adecuada gestión medioambiental de la entidad.

Ante la imposibilidad de abordar el proceso de formación de todos los objetos de cálculo, nos ha parecido interesante centrarnos en el método de cálculo de costes del agua desalada. Dicho interés se justifica, no sólo porque la desalación es el proceso a través del cual es abastecida la práctica totalidad de nuestro entorno geográfico más cercano (Comunidad Autónoma de Canarias), sino porque tales procesos, aunque son ya bastante conocidos en Canarias, han sido propuestos por no pocos agentes económicos de nuestro país como alternativa a algunos de los planteamientos contenidos en el Plan Hidrológico Nacional aprobado en 2001 (Real Decreto Ley 10/2001) y modificado en 2004 (Real Decreto Ley 2/2004). En esta última modificación se propone, precisamente, la construcción y/o ampliación de (en algunos casos numerosas) desaladoras en las cuencas hidrográficas del Sur, del Segura, del Júcar y de Cataluña. Con el propósito señalado, analizamos, como paso previo y con la brevedad requerida, las peculiaridades de los distintos procesos de desalación.

4. EL PROCESO DE DESALACIÓN DE AGUA

Como hemos señalado, el proceso de desalación consiste en separar el agua y las sales del influente procedente del mar²⁹³, actividad que tiene lugar en las estaciones desaladoras. Si bien los volúmenes de *agua desalada* generada mediante este proceso son prácticamente inexistentes a nivel estatal (Tabla 2), en el contexto canario se

²⁹³ De forma esporádica es posible encontrar pequeñas poblaciones que realicen la desalación de aguas procedentes de fuentes superficiales o subterráneas de alto contenido en sales. Según hemos constatado en la Encuesta sobre el Suministro y Tratamiento del Agua (INE; 2002), sólo las Comunidades Autónomas costeras (Canarias, Ceuta y Melilla, Andalucía y la Comunidad Valenciana) aparecen con cifras de agua desalada, pudiendo afirmarse, al menos por lo que respecta a Canarias, que el agua captada para la obtención de *agua de abasto* es tan solo la procedente del mar, toda vez que la desalación de aguas de fuentes distintas al mar (fuentes subterráneas) no tiene como objetivo el abastecimiento urbano, sino la obtención, de un agua apta para otros usos, como el agrícola.

erige como la principal fuente de recurso hídrico (Tabla 3), debido a las reducidas captaciones que se realizan desde las fuentes subterráneas (pozos, galerías, etc.) y fuentes superficiales (embalses). De esta manera, el escaso porcentaje a nivel estatal de agua desalada producida (1% en 1998 y 1999, y 2% en 2000) se debe, casi en su totalidad, a la generada en la Comunidad Autónoma de Canarias.

Años	1998	Porcentaje	1999	Porcentaje	2000	Porcentaje
Agua desalada	47.620	1%	55.524	1%	85.572	2%

Tabla 2. Agua desalada producida en España (miles de m³)²⁹⁴
Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE; 2002)

Años	1998	Porcentaje	1999	Porcentaje	2000	Porcentaje
Agua desalada	45.197	54%	48.354	58%	76.835	75%

Tabla 3. Agua desalada producida en Canarias (miles de m³)
Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE; 2002)

Si bien desde un punto de vista tecnológico existen múltiples procedimientos que permiten desalar el agua del mar, lo cierto es que industrialmente sólo se han generalizado los siguientes: *Destilación súbita*, *Destilación multiefecto*, *Compresión de vapor*, *Desalación por ósmosis inversa*, *Electrodiálisis* e *Intercambio iónico*. Tales procesos²⁹⁵ pueden agruparse en los siguientes conjuntos que serán descritos brevemente a continuación:

- *Desalación por destilación*, que incluiría la *Destilación súbita*, la *Destilación multiefecto* y la *Compresión de vapor*;
- *Desalación por ósmosis inversa*; y
- *Otros procesos de desalación*, que incluye la *Electrodiálisis* y el *Intercambio iónico*.

4.1. DESALACIÓN POR DESTILACIÓN

En este tipo de procesos la separación del agua y las sales se lleva a cabo mediante la evaporación, diferenciándose las tecnologías existentes en la forma en que tal evaporación es realizada y, consecuentemente, en el propio diseño de las instalaciones.

El agua utilizada en el proceso es captada directamente del mar mediante un mecanismo incluido en la propia instalación, debiendo indicarse, con relación a otros factores productivos utilizados en el proceso, que algunas de las particularidades más significativas se refieren al relevante consumo realizado de combustible en forma de fuelóleo -utilizado en las calderas de vapor en sustitución de la energía eléctrica-, y al consumo de diversos tipos de reactivos químicos, necesarios, con distintos propósitos, a lo largo del desarrollo de cualquier proceso de desalación. El *agua desalada* obtenida se integra, conjuntamente con el *agua potabilizada* y el *agua de abasto adquirida*, en el total del *agua de abasto* que distribuyen las empresas de tratamiento y abastecimiento urbano de agua.

Si bien denominamos al efluente que surge de los procesos de desalación por destilación con el término *agua desalada*, lo cierto es que desde un punto de vista estrictamente técnico, toda agua generada en una instalación que utilice cualquier mecanismo de destilación o evaporación tiene la cualidad de *agua destilada*. No obstante, en nuestro caso reservamos esta última denominación para referirnos al efluente de *agua pura* que se genera,

²⁹⁴ Los porcentajes están calculados sobre el total de aguas captadas (superficiales y subterráneas) y desalada en cada año.

²⁹⁵ Valero *et al.* (2000) señalan que los de mayor difusión mundial son los de destilación (51%) y la ósmosis inversa (37%), siendo el resto (12%) principalmente de electrodiálisis.

merced a un tratamiento específico otorgado a determinadas cantidades de *agua desalada*, en la propia instalación de desalación por destilación²⁹⁶. El *agua destilada* se encuentra en continua recirculación en el proceso, ya que es requerida por la caldera de vapor para el desarrollo de sus actividades; no obstante, suele ser habitual que la empresa venda algunas cantidades de este recurso, principalmente a industrias farmacéuticas, en cuyo caso los volúmenes solicitados, relativamente escasos, son retirados directamente del proceso.

Asimismo, con el fin de optimizar el rendimiento de estas estaciones, las calderas de vapor incorporan un generador que permite aprovechar la energía térmica producida para transformarla en *electricidad*, que es vendida a las empresas del sector eléctrico²⁹⁷, en virtud de la legislación vigente.

Además de lo anterior, el proceso de separación del agua de las sales genera un efluente con un alto contenido de estas últimas, que recibe la denominación de *salmuera*. Este desperdicio es vertido directamente al mar desde la propia estación desaladora, mediante un mecanismo integrado en la misma²⁹⁸. Así pues, independientemente del proceso de destilación utilizado, en todos ellos se obtiene, a partir del *agua salobre* (agua del mar) y con la colaboración de otros factores productivos, un producto principal (*agua desalada*), dos subproductos (*agua destilada* y *electricidad*), y un desperdicio (salmuera) (Figura 1).

4.2 DESALACIÓN POR ÓSMOSIS INVERSA

La ósmosis es un proceso natural según el cual si disponemos de dos soluciones con distinta concentración de sales, separadas por una membrana por la que únicamente puede pasar el agua, comienza a traspasar agua de la

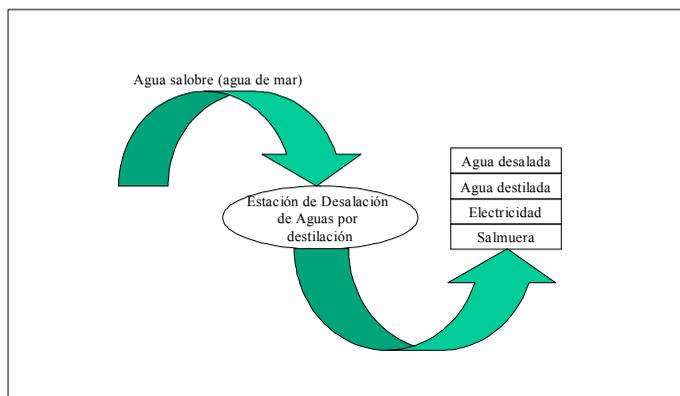


Figura 1. Obtención de outputs en la Estación de Desalación de Aguas por destilación

²⁹⁶ Aprovechando esta línea de razonamiento, debemos indicar que no existe ningún efluente de agua de abasto con la calificación de agua pura, razón por la que hemos insistido en que el objetivo de estas empresas es obtener y distribuir un agua que sea apta para el consumo, el cual puede o no incluir la posibilidad de ser ingerida, cuestión que dependerá, en última instancia, de factores tan diversos como la calidad del agua entrante, los procesos de transformación o las actividades relativas a la distribución.

²⁹⁷ La inminente liberalización del mercado de suministro eléctrico permitirá a las empresas de tratamiento y abastecimiento urbano de agua realizar la venta directamente a los consumidores.

²⁹⁸ En una de las formas que pueden adoptar las instalaciones de la destilación súbita (integrada en los procesos de desalación por destilación) es posible que parte de la salmuera sea reutilizada en el propio proceso, en cuyo caso deberíamos calificar tales cantidades reutilizadas como subproductos.

solución más pura a la que menos lo está, continuando el proceso hasta que ambas soluciones contengan el mismo nivel de concentración en sales.

La ósmosis inversa trata de invertir este proceso natural, de tal manera que se consigue obtener una solución con baja concentración en sales y otra con alta concentración (*salmuera*). Para ello es necesario someter a una solución concentrada en sales, que se encuentra en contacto con una membrana, a una presión tal que únicamente pase hacia el otro lado de la membrana una parte de la solución con baja concentración en sales, ya que la mayor parte de estas últimas no puede traspasar la citada membrana.

Con respecto a los factores distintos al agua salada utilizada en este proceso destacan, por su singularidad, los reactivos químicos y los altos consumos de electricidad, adquirida en alta.

Mediante la incorporación del *agua salobre* procedente del mar y de otros factores productivos, el proceso de desalación por ósmosis inversa da lugar a la obtención de un producto principal (*agua desalada*), un subproducto (*electricidad*) y un desperdicio (*salmuera*) (Figura 2).

Con respecto al agua desalada, ésta se integra, como ya hemos apuntado, con el resto del *agua de abasto* para su posterior distribución. La energía eléctrica adquiere una gran relevancia en este tipo de procesos, lo que ha

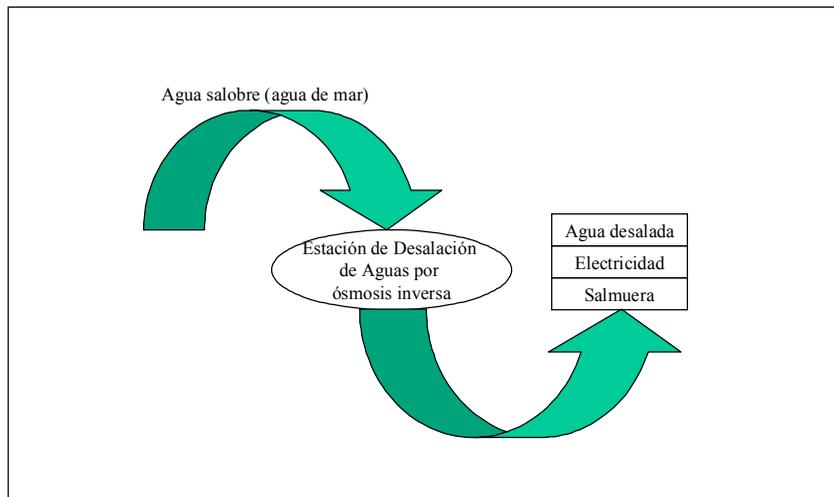


Figura 2. Obtención de outputs en la Estación de Desalación de Aguas por ósmosis inversa

originado que en la mayor parte de los casos las estaciones desaladoras por ósmosis inversa incorporen mecanismos integrados en la propia instalación que permiten la obtención de energía eléctrica, al objeto de que pueda ser consumida íntegramente en el propio proceso productivo. Finalmente, la *salmuera* generada es vertida al mar, como en el caso anterior y de la misma forma.

4.3. OTROS PROCESOS DE DESALACIÓN

El último grupo está integrado, como ya hemos señalado, por la *Electrodiálisis* y el *Intercambio iónico*, procesos mucho menos extendidos y prácticamente inexistentes en entornos como el del Archipiélago Canario. Cabe resaltar que en ellos se lleva a cabo la separación del agua y las sales mediante un proceso en el cual, a partir del *agua salobre* procedente del mar y con la necesaria colaboración de otros factores productivos, se obtiene un producto principal (*agua desalada*) y un desperdicio (salmuera), elementos cuya naturaleza y destino ya han sido descritos con anterioridad (Figura 3).

Finalmente, debemos precisar que sea cual fuere el proceso de desalación, la totalidad de actividades que en la desaladora tienen lugar, desde la captación del agua salada hasta la obtención de sus diversos outputs, se llevan a cabo en una instalación que conforma un todo unitario e indivisible.

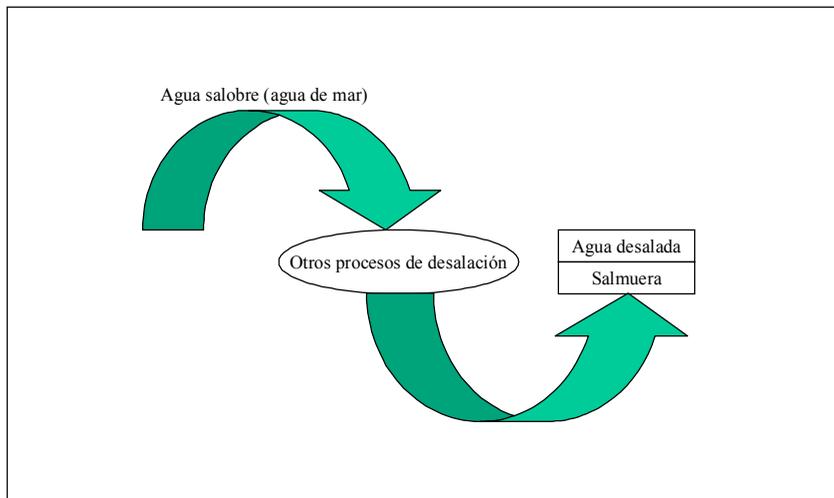


Figura 3. Obtención de outputs en la Estación de Desalación de Aguas mediante otros procesos de desalación

5. MÉTODO DE CÁLCULO DEL COSTE DEL AGUA DESALADA

Una vez que se haya determinado el coste de la actividad de Desalación, corresponde su afectación a los distintos objetivos de cálculo relacionados con el proceso que se lleva a cabo en la estación. A tal efecto, y considerando que pretendemos, no sólo configurar el coste del agua desalada, sino también generar información medioambiental que pueda ser utilizada en el amplio marco de la gestión medioambiental de la entidad, entendemos que una posible forma de dar cumplimiento a tales objetivos podría ser la distinción, cuando se lleve a cabo la fase de localización de costes, de los siguientes grupos de costes o de objetos de coste para la estación desaladora:

ACCOUNTING TRENDS

- Costes medioambientales (M). Para localizar los costes que se corresponden íntegramente con actividades de prevención, reparación y minimización asignables al centro Desalación.
- Costes no medioambientales (NM). Para configurar el coste por la realización de actividades para las que puede afirmarse que no existe ninguna finalidad medioambiental.
- Pérdidas medioambientales asignables al centro (PM). Integrará el valor de las multas, sanciones e indemnizaciones que soporta la empresa derivadas de la actividad desarrollada en la estación.
- Previsiones de desembolsos por causas medioambientales asignables al centro (PREM). Para configurar el valor de los riesgos medioambientales de la empresa atribuibles a la actividad desempeñada en la estación.
- Previsiones contingentes asignables al centro (CM). Para localizar el valor de las contingencias motivadas por la actividad desarrollada.
- Valor de externalidades asignables a la estación (E). Para configurar el valor de las emisiones de gases, fugas de combustibles,, ruidos, olores, vertidos de salmuera al medio receptor, entre otros, que devienen de la realización de las actividades propias de la desalación.

Si nos centramos en el proceso de desalación de mayor complejidad teórica para la determinación de su proceso de cálculo (desalación por destilación) -proceso que, al mismo tiempo, es el que genera la mayor diversidad de outputs y la mayor cantidad de agua de abasto en determinados contextos geográficos (como el del Archipiélago Canario²⁹⁹) debemos proceder a la afectación de las distintas partidas diferenciadas en el centro Desalación en la forma que muestra la Figura 4.

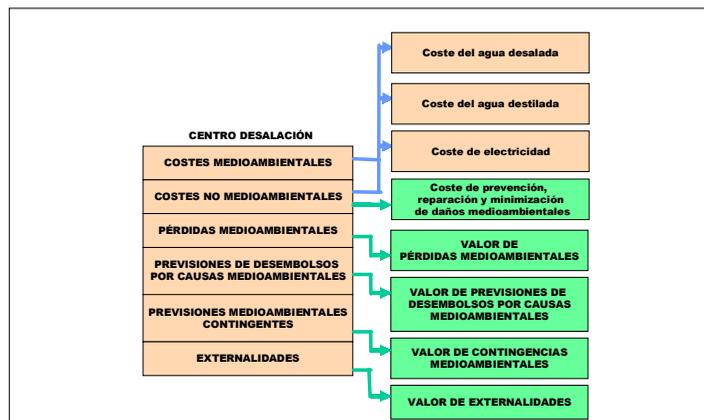


Figura 4. Afectación de costes desde el centro *Desalación*

²⁹⁹ No obstante, en cuanto a número de estaciones desaladoras, el proceso de ósmosis inversa es el más generalizado, si bien no todas ellas son utilizadas con fines de abastecer a la población, ya que está bastante generalizada la adquisición, por parte de empresas particulares (principalmente agrícolas), de pequeñas estaciones de ósmosis inversas destinadas exclusivamente al autoconsumo.

Nos resta tan solo plantearnos cómo afectar el coste de la estación, medioambiental y no medioambiental, a los tres outputs resultantes del proceso: agua desalada, agua destilada y electricidad. Es evidente que:

$$KDES = ADTV k_{dt} + EL k_{el} + ADES k_{des} \quad [1]$$

siendo:

$KDES$: Coste total del centro *Desalación*.

$ADTV$: Metros cúbicos de agua destilada vendida.

k_{dt} : Coste unitario del *agua destilada* vendida.

EL : Kilovatios/hora de electricidad obtenida.

k_{el} : Coste unitario del kilovatio/hora de electricidad obtenida.

$ADES$: Metros cúbicos de agua desalada obtenida.

k_{des} : Coste unitario del metro cúbico de agua desalada obtenida.

En la estación tiene lugar un proceso conjunto del que es imposible diferenciar los costes de cada uno de los outputs, por lo que se debe aplicar un método que parta de las hipótesis del denominado método de sustracción, toda vez que nos encontramos ante un producto principal (agua desalada) y al mismo tiempo con dos subproductos³⁰⁰ que se venden (electricidad y agua destilada³⁰¹). Como es sabido, este método de cálculo parte de la idea de que la rentabilidad del proceso es proporcionada por el producto principal, otorgándosele al subproducto una rentabilidad nula, por lo que, en consecuencia, el coste de éste último ha de ser igual a su precio de venta.

Por consiguiente, por lo que se refiere a la electricidad, se trata de un subproducto que se vende a la compañía eléctrica que tiene a su cargo el suministro de este servicio, no originándose en la empresa coste adicional alguno para su suministro. Así pues, si anulamos su rentabilidad obtenemos el coste unitario del kilovatio/hora obtenida de electricidad, esto es:

$$EL pv_{el} - K_{EL} = 0 \quad [2]$$

siendo:

$$K_{EL} = EL k_{el} \quad [3]$$

y por tanto:

$$k_{el} = pv_{el} \quad [4]$$

donde las magnitudes no denotadas hasta el momento indican:

pv_{el} : Precio de venta unitario de la electricidad.

K_{EL} : Coste total de explotación de la electricidad obtenida y vendida³⁰² en su totalidad.

Asimismo, y de forma análoga, anulando la rentabilidad del agua destilada vendida, subproducto que es vendido principalmente a empresas farmacéuticas, obtenemos:

$$ADTV pv_{dt} - K_{DTV} - O_{CDT_v} = 0 \quad [5]$$

³⁰⁰ No cabe realizar valoración alguna de la salmuera, por cuanto suele carecer de utilidad, no entrañando, su vertido al mar, ningún coste adicional para la empresa, puesto que se realiza mediante conducciones que se integran en la propia instalación.

³⁰¹ En el proceso de desalación el agua destilada se encuentra en continua recirculación, de tal manera que cuando un tercero solicita su adquisición es retirada directamente desde un punto del mismo. El resto del agua destilada es reutilizada en la propia instalación, pero ello no implica que se esté sustituyendo a ningún factor productivo, y en tal sentido, no supone un ahorro de costes para la empresa, por lo que no podemos afirmar que se trate de un autoconsumo en el sentido ampliamente aceptado del término.

³⁰² Si bien no es habitual que se generen costes con posterioridad a la obtención de la electricidad, entendemos que de no ser así el precio de venta ha de cubrir la totalidad de costes asociados al subproducto, ya sea para su obtención o para su comercialización.

siendo:

$ADTV$: Metros cúbicos de agua destilada vendida.

pv_{dt} : El precio de venta unitario del agua destilada vendida.

K_{DTV} : Coste total de explotación del agua destilada vendida.

$OCDT_v$: Otros costes generados en la empresa para el agua destilada vendida con posterioridad a la obtención de ésta en la fase de *Desalación*.

Bajo la hipótesis de trabajo de que:

$$OCDT_v = 0$$

y dado que:

$$K_{DTV} = ADTV k_{dt} \quad [6]$$

obtenemos:

$$k_{dt} = pv_{dt} \quad [7]$$

Sustituyendo en [1] las expresiones [7] y [4], resulta:

$$KDES = ADTV pv_{dt} + EL pv_{el} + ADES k_{des} \quad [8]$$

en cuya consecuencia, el coste del producto principal (agua desalada), vendrá dado por:

$$K_{DES} = ADES k_{des} = KDES - ADTV pv_{dt} - EL pv_{el}$$

En la Tabla 4 presentamos, de forma esquemática, la formación del coste de explotación del agua desalada, independientemente de lo cual podría obtenerse, en virtud de la forma en que hemos llevado a cabo la fase de localización, los costes medioambientales y no medioambientales asociados a la actividad de Desalación, así como las Pérdidas medioambientales, las Previsiones de desembolsos por causas medioambientales, las Previsiones medioambientales contingentes y las externalidades, todas ellas asociadas a dicha actividad.

	Coste Total
Coste de <i>Desalación</i>	$KDES$
- Coste de explotación de la electricidad obtenida y vendida	- $EL k_{el}$
- Coste de explotación del <i>agua destilada</i> vendida	- $ADTV k_{dt}$
= Coste de explotación del agua desalada	= K_{DES}

Tabla 4. Coste de explotación del agua desalada

6. CONCLUSIONES

En la Directiva del Consejo, de diciembre de 2000, por la que establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, (Directiva Marco del Agua), se plantea todo un conjunto de acciones que inciden en la gestión del recurso hídrico bajo la filosofía de la nueva cultura del agua. Consecuentemente, quienes ostentan la titularidad del servicio de abastecimiento urbano de agua, -los Ayuntamientos-, deberán tener en cuenta, bien sea por sí mismos -gestión directa- o a través de una empresa privada -gestión indirecta-, la recuperación de los costes relacionados con el recurso hídrico incluidos los medioambientales, en virtud del principio “quien contamina paga”. Para implantar los mecanismos que permitan conocer los referidos costes se

dispone hasta el año 2010. Ello podrá suponer para el consumidor de agua de abasto un incremento en las tarifas de suministro, pero tal aumento no puede ser una consecuencia de ineficiencias en el desarrollo de las actividades que les son propias. Se necesita, por tanto, diseñar una metodología que permita llevar a cabo el cálculo, análisis y control de la totalidad de costes incurridos por las entidades objeto de estudio, las empresas de tratamiento y abastecimiento urbano de agua.

En el diseño de dicha metodología se ha de tener presente que en el ciclo de explotación de estas empresas parece adecuado separar dos grupos de funciones básicas: Transformación y Distribución. Si bien con carácter genérico esta última actividad no se incluye en el ciclo de explotación, considerándose, por su propia naturaleza, como parte integrante del proceso de comercialización de cualquier tipología empresarial, en la entidad que nos ocupa entendemos que las actividades de distribución de su producto principal han de considerarse necesariamente dentro de su ciclo de explotación, por cuanto el abastecimiento constituye uno de los servicios que definen su razón de ser, pues su actuación principal no se puede considerar “acabada” hasta que el output generado en su proceso de transformación no haya llegado, mediante las conducciones correspondientes, a los distintos puntos de consumo.

Asumiendo la necesidad de calcular el coste del agua de abasto, configurándose éste como un claro objetivo de cálculo en estas empresas, lo cierto es que si tenemos en cuenta tanto las distintas actividades productivas que llevan a cabo tales entidades como la gestión del recurso en el marco de la filosofía del desarrollo sostenible, podríamos definir otros posibles objetivos de cálculo de costes relevantes, como son: *Coste de agua potabilizada, Coste de agua desalada, Coste de agua de abasto, Coste de agua depurada, Coste de ventas, Coste de administración general y dirección, Coste de prevención, reparación y minimización de daños medioambientales, Coste de recursos naturales adquiridos, Valor de pérdidas medioambientales, Valor de previsiones de daños medioambientales, Valor de contingencias medioambientales, y Valor de externalidades*

Si nos centramos en el proceso de desalación de aguas y, más concretamente, en el proceso de desalación por destilación, se aprecia que la afectación de los costes a los objetivos de cálculo *Coste de agua desalada, Coste de agua destilada y Coste de electricidad* se realiza de forma indirecta, ya que dado el carácter conjunto de su producción -producto principal y subproductos- se hace preciso la aplicación del método de cálculo de la sustracción.

7. BIBLIOGRAFÍA

Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y el Consejo, de 23 de octubre de 2000 (DOCE n° 327), por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

COMISIÓN EUROPEA (1987): *Acta Única Europea de 29 de junio de 1987.*

COMISIÓN EUROPEA (1992): *Tratado de la Unión Europea de 7 de febrero de 1992.*

COMISIÓN EUROPEA (1997): *Tratado de Ámsterdam de 10 noviembre 1997.*

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (2002): *Encuesta de empresas de suministro y tratamiento de agua (ESTA), Resumen de Resultados*, Instituto Nacional de Estadística (INE).

Real decreto ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional.

Real decreto ley 2/2004, de 18 de junio, por el que se modifica el Real decreto ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional.

VALERO, A.; UCHE, J. Y SERRA, L. (2000): *La desalación como alternativa al PHN*, Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE).