



## Trabajo Fin de Máster

# La rentabilidad de la renovación de los equipamientos asociados al abastecimiento de agua en los edificios de la ciudad de Zaragoza

Autor/es

Diego J. Colás Elvira

Director/es

Ramón Barberán Ortí

Facultad de Economía y Empresa

2013

# **La rentabilidad de la renovación de los equipamientos asociados al abastecimiento de agua en los edificios de la ciudad de Zaragoza.<sup>1</sup>**

## **RESUMEN**

Producir energía degrada el medio ambiente, mejorar la eficiencia en su utilización constituye el modo menos costoso de preservar el entorno. El sector residencial presenta un potencial significativo de ahorro energético en su conjunto y, en particular, lo presentan las instalaciones de los edificios de distribución de agua a las viviendas. Sin embargo, sin un beneficio neto positivo no es de esperar que puedan llevarse a término las actuaciones necesarias para que los equipamientos mejoren en eficiencia, al margen del ahorro energético potencial que se obtenga. El trabajo analiza, por tanto, el impacto de las reformas de las instalaciones de suministro de agua a las viviendas en el consumo energético, así como su rentabilidad financiera y económica, tanto para una muestra representativa, como para el conjunto de la ciudad consolidada de Zaragoza. Los resultados muestran cómo obtener un beneficio neto positivo, a resultas de las reformas, dependerá de las características de la instalación, así como del edificio.

## **ABSTRACT**

Energy generation harms environment, improve efficiency when energy is used is the less expensive way of preserving it. The residential sector has an important energy saving potential as a whole and, in particular, water supply systems in buildings. However, profitability is mandatory before investing in efficiency of equipment improving, despite of energy potential saving to be obtained. Therefore, this paper analyzes the impact of the building water supply systems reforms on energy consumption and its financial and economic profitability, both a representative sample and the consolidated city of Zaragoza. Results show how profits to be obtained depend on building's water supply systems characteristics.

---

<sup>1</sup> El presente trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto RENOVEA: Impacto económico y ambiental de un plan RENOVE para la Eficiencia del Agua y la energía asociada en el sector doméstico, que recibió ayuda financiera del Programa de Apoyo a Agrupaciones Empresariales Innovadoras (AEIs) del Ministerio de Industria, Energía y Turismo en su convocatoria de 2012. A resultas de ello se ha contado con la colaboración, para aquellos cometidos que escapan a las posibilidades de un Trabajo final del Máster, con las siguientes empresas e instituciones: Aquagest S.A., Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE), Alfredo Sanjuán S.A. y Ayuntamiento de Zaragoza.

## ÍNDICE

1. Introducción
  2. Planteamiento del problema
  3. Caso de Estudio
  4. Metodología
    - 4.1. Estimación del ahorro potencial de energía
    - 4.2. Cálculo de los costes y beneficios
    - 4.3. Cálculo de la rentabilidad
  5. Resultados
    - 5.1. Ahorro de energía
    - 5.2. Rentabilidad financiera
    - 5.3. Rentabilidad económica
  6. Conclusiones
- Referencias bibliográficas

**Palabras clave:** Eficiencia energética, sistema de suministro de agua, análisis de rentabilidad, análisis coste-beneficio.

**Keywords:** Energy efficiency, water supply system, profitability analysis, cost-benefit analysis.

**Clasificación JEL:** D62, Q25, Q41

## 1. Introducción

La producción de energía provoca efectos no deseados sobre el medio ambiente. No sólo contribuye al cambio climático, también genera contaminación acústica, degrada el suelo, reduce la visibilidad, afecta a la salud e impacta sobre el paisaje (Georgakellos, 2010). En este sentido, en España, al finalizar el año 2012, las principales tecnologías responsables de dar cobertura a la demanda de energía eléctrica son la nuclear (22,1%), termoeléctrica del carbón (19,3%), eólica (18,1%) y el ciclo combinado (14,1%), que emplea gas natural, las principales tecnologías responsables<sup>2</sup> (REE, 2012). En consecuencia, el consumir energía eléctrica en España supone degradar el medio ambiente en las formas en que lo hacen estas tecnologías.

La necesaria reducción en la emisión de gases de efecto invernadero ha conducido a desarrollar la capacidad de generación nuclear. Estas instalaciones son gravosas, tanto en términos de costes de instalación como de mantenimiento, debido a las fuertes medidas de seguridad a las que obligan, lo que no ha evitado que el reciente accidente de Fukushima haya reabierto el debate sobre la seguridad (Energy Information Administration, 2013). La posibilidad de contaminación radioactiva, no obstante, no se reduce a la operación en planta, también la extracción, molido y postprocesamiento del combustible son procesos que pueden llevar a dosis importantes de radiación. Además, no se han resuelto todavía los problemas asociados al almacenaje en profundidad del combustible nuclear ya utilizado. Sin perjuicio de sus impactos ambientales, la energía nuclear, en el largo plazo, es dependiente de la disponibilidad de uranio (IPCC, 2007), luego de su uso pueden derivarse problemas de suministro.

La combustión de carbón emite otros contaminantes, como el dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, así como materia particulada, que ocasionan importantes daños ambientales y sociales, no sólo en las proximidades del lugar de emisión, también en áreas distantes situadas en la trayectoria de la dispersión de los compuestos (Czarnowska y Frangopoulos, 2012) que no son participantes directos en el cambio climático, además de emitir dióxido de carbono que sí lo es (IPCC, 2007). Estos contaminantes pueden afectar negativamente a la salud, a los materiales de construcción, a los cultivos y al suelo. La materia particulada cuyo diámetro es inferior a los 10µm (PPM10), en concreto, es particularmente nociva para los niños, además de ser susceptible de provocar problemas cardiorespiratorios, especialmente en bebés y ancianos (Czarnowska y Frangopoulos, 2012; Georgakellos, 2010).

---

<sup>2</sup> Además de la nuclear, el carbón, la eólica y el ciclo combinado, que sumaron el 73,6% de la electricidad producida, también contribuyeron a satisfacer la demanda la cogeneración y el resto (12,7%), la hidráulica (7,7%), solar fotovoltaica (2,9%), solar termoeléctrica (1,35) y térmica renovable (1,8%)

El gas natural es el combustible fósil que produce la menor cantidad de gases de efecto invernadero por unidad de energía consumida, lo que, en consecuencia, le favorece en las estrategias de mitigación del cambio climático (IPCC, 2007). Las previsiones apuntan a que el gas natural será la fuente energética que en mayor proporción, respecto del resto, crecerá de cara al futuro (Energy Information Administration, 2013), lo que conducirá a formas de extracción no convencionales cuyos impactos ambientales relacionados con la ocupación del espacio y contaminación de los acuíferos son muy severos (European Parliament, 2011).

Las plantas de producción eléctrica que utilizan recursos fósiles como combustible –carbón o gas natural- son, en consecuencia, causa de los mayores problemas en contaminación atmosférica (Georgakellos, 2010), lo que no impide que sean hoy las fuentes energéticas predominantes en el sector (Chaaban, Mezher y Ouwayjan, 2004) y las previsiones apuntan a que lo seguirán siendo en el futuro, a pesar de que continuar quemando combustibles fósiles en las condiciones actuales no resulta ya sostenible en términos de cambio climático (IPCC, 2007).

La necesidad de mitigar los impactos ambientales adversos del empleo de combustibles fósiles, fundamentalmente los asociados al cambio climático, la inestabilidad en sus precios y asegurar el suministro energético, han motivado un importante crecimiento de las energías renovables conectadas a red (Sebitosi y Pillay, 2008). Sin embargo, las renovables no están exentas de problemas. Presentan densidades energéticas mucho menores  $-5\text{W}/\text{m}^2$  frente a  $100.000\text{W}/\text{m}^2$ - (IPCC, 2007) lo que resulta en una mucho mayor ocupación del espacio para conseguir la misma potencia instalada. Por otro lado, están sometidas, por cuestiones climáticas, a una mayor incertidumbre: la hidráulica es sensible a los periodos de sequía, la eólica a la velocidad del viento, la solar a la nubosidad o la biomasa a la productividad de los cultivos (IPCC, 2007), si bien en su favor cabría decir que sus precios son estables a lo largo de su vida útil (IPCC, 2007; Awerbuch and Sauter, 2005). Entre las renovables, es la energía eólica la más rentable, si bien es complicada su integración en los sistemas de producción debido a su intermitencia (Duic et al., 2013). La fabricación de los aerogeneradores no está exenta de la emisión de gases de efecto invernadero (Braun, 2004).

Por lo expuesto resulta lógico que la Comisión Europea considere la eficiencia energética como la forma más rentable para la sociedad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y de otros contaminantes, y de asegurar el suministro de energía (European Commission, 2011). En consecuencia, se ha impuesto como objetivo un ahorro del 20% para el año 2020 (European Commission, 2010) del que el mayor potencial reside en los edificios ya

construidos (European Commission, 2011). España, como país miembro, deberá contribuir a estos objetivos.

Para Europa el margen de maniobra es considerable, manteniéndose las demandas de confort del año 2007, la mejora que se obtendría alcanzando en todo el parque los niveles de limitación de demanda energética del Código Técnico de la Edificación (CTE) supondría una disminución de más del 30% en el consumo de energía en las viviendas y el ahorro de cerca de 5.000 millones de euros cada año (Cuchi y Sweatman, 2011). Éstas mejoras en eficiencia no tendrán únicamente un impacto en el consumo eléctrico, contribuirán, a su vez, a reducir la emisión de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, mejorar la calidad de vida, asegurar el suministro energético, la creación de puestos de trabajo y nuevas empresas y el crecimiento de la economía en su conjunto (Gago et al, 2012). La renovación de alrededor de 10 millones de viviendas construidas antes de 2001 con la intención de transformarlas en viviendas de bajo consumo y baja emisión de gases de efecto invernadero podría generar entre 110.000 y 130.000 empleos directos estables y de calidad entre los años 2012 y 2050, con una inversión de hasta 10.000 millones de euros anuales (Cuchi y Sweatman, 2011).

En el caso particular de España, una política de eficiencia energética eficaz resulta esencial debido a la dependencia del exterior y a que no se están cumpliendo los compromisos de reducción de emisiones adquiridos en Kyoto (Labandeira, Labeaga y López-Otero, 2011). En este sentido, el sector residencial español supone el 17% del consumo final total y el 25% de la demanda de energía eléctrica (IDAE y Eurostat, 2011). El 44% de los edificios existentes en España son de antes de 1980, luego se les supone una menor eficiencia energética que a los más recientes (IDAE y Eurostat, 2011).

La literatura suele centrar su atención en el consumo energético destinado a calefacción, pues porcentualmente es allí donde se produce el mayor consumo energético (Labandeira, Labeaga y López-Otero, 2011; IDAE Y Eurostat, 2011) y donde las reformas que permitan mejorar el aislamiento de las viviendas tendrían bastante que decir. En todo caso, se toman en consideración los consumos energéticos puertas adentro de los hogares sin valorar otras opciones relativas a las instalaciones existentes en los edificios de viviendas (IDAE y Eurostat, 2011).

Los equipamientos de los edificios para el suministro de agua a las viviendas constituyen una de estas instalaciones consumidoras de energía a las que, siendo parte del sector residencial, no se toma en consideración en los planes que desarrollan las administraciones con el propósito de cumplir con sus objetivos de eficiencia energética. Estas instalaciones suponen,

aproximadamente, un 45% del total de la energía necesaria para bombear el agua desde las plantas de tratamiento hasta los hogares (Cheng, 2002), lo que puede suponer el 1,6% del consumo total de energía eléctrica de la ciudad (Cheug, Mui y Wong, 2013). En el Estado de California, no obstante, consideran que el bombeo de agua, sumando el externo y el interno a los edificios, puede alcanzar el 6% del total del consumo eléctrico (DeBenedictis et al., 2013) y se ha estimado este consumo de energía está en torno al 7% del consumo de energía global. Estas cifras sugieren un significativo margen a la hora de acometer medidas de mejora de la eficiencia energética de este tipo de instalaciones.

En estos sistemas de abastecimiento de agua la energía se pierde debido a diferentes motivos: ineficiencias en los grupos de bombeo debido a errores en el diseño o la instalación o a un mantenimiento incorrecto, pérdida de presión en la tubería, excesiva presión de servicio o un abastecimiento excesivo motivado por fugas de agua en la instalación o por un uso no apropiado del recurso (Feldman, 2009). En consecuencia, subsanar estos despilfarros de energía pasaría por gestionar la demanda de agua, lo que reduciría su consumo y, en consecuencia, la energía utilizada en su bombeo, solventar las ineficiencias asociadas a los grupos de bombeo o detectar las fugas y ponerles fin (DeBenedictis, 2013). En este sentido, sería mejorando el diseño y el modo de operar de las bombas, así como reduciendo las fugas, como se obtendrían los ahorros mayores en consumo de electricidad (Feldman, 2009).

El presente trabajo aborda el ahorro potencial de energía obtenido al reformar las instalaciones de suministro de agua de los edificios para aprovechar la presión existente en la red general de distribución de la ciudad. Aunque dichas reformas también podrían contribuir a reducir significativamente las fugas existentes en estas instalaciones, no han podido obtenerse datos sobre su importancia por lo que quedan fuera del alcance del mismo. Este planteamiento ahorrador no se toma en consideración en la literatura, ni siquiera en revisiones exhaustivas del modo de mejorar la eficiencia en los sistemas de suministro de agua (Coelho y Andrade-Campos, 2014), por lo que las aportaciones del presente estudio resultan particularmente novedosas.

En este sentido, este trabajo tiene como objetivo evaluar la situación de las instalaciones de abastecimiento de agua en los edificios residenciales de la ciudad de Zaragoza y las consecuencias energéticas, ambientales, financieras y económicas de su reforma. Acometer estas reformas tiene por finalidad reducir el consumo energético asociado al bombeo del recurso hasta los lugares de consumo en las viviendas y eliminar las posibles fugas de agua vinculadas al mal estado de los equipamientos. A estos efectos se analiza una muestra de

edificios representativa de Zaragoza y, posteriormente, los resultados son elevados al total de los edificios de la ciudad.

El trabajo se estructura en cinco secciones, además de esta introducción. La sección segunda plantea el problema a resolver. La tercera presenta el caso de estudio, es decir, describe las características de los edificios de la ciudad de Zaragoza, así como la naturaleza de las reformas según las particularidades de cada edificio. La cuarta sección expone la metodología empleada para calcular el ahorro potencial de energía, así como los costes y beneficios de las reformas y su rentabilidad, tanto para los inversores privados, como para la sociedad en su conjunto. La quinta sección se dedica a los resultados obtenidos en términos de ahorro potencial de energía, rentabilidad financiera y rentabilidad económica, tanto para la muestra de edificios como para el conjunto de la ciudad. Se cierra el trabajo con una sección de conclusiones.

## **2. Planteamiento del problema**

Todo edificio, para abastecerse de agua cuenta con una instalación propia a partir del punto de derivación de la red general de distribución del municipio. Al margen de que pueda incluir otros elementos –toma o acometida, llave de registro, distintos conductos de alimentación, batería de contadores y red interior divisionaria del edificio-, en los casos en que las condiciones de la red general de distribución no garantizan que en todos los puntos de consumo se disponga de la presión adecuada, la instalación integra un sistema de presurización que está compuesto por el grupo de presión propiamente dicho –que necesita para su funcionamiento de energía eléctrica y está compuesto, a su vez, por una o más bombas configuradas en serie o en paralelo- y un depósito de ruptura, cuya función es evitar que, al actuar el grupo de bombeo, puedan darse descensos en la presión de la tubería general que afecten a los usuarios. Sin embargo, los criterios para la implantación y diseño de los depósitos de ruptura y grupos de presión han sido muy conservadores, lo que ha llevado a que fueran instalados en algunos edificios que disponen, para su abastecimiento en todas sus alturas, de la suficiente presión en la red general de distribución (Zinnae, 2012).

La existencia de tanques de ruptura para mejorar la fiabilidad del suministro de agua a los usuarios sin variaciones bruscas de presión, obliga a efectuar unos bombeos que pueden ser innecesarios y a un consumo energético adicional que puede ser prescindible (Uche, 2013). Por tanto, es recomendable suprimir los depósitos de ruptura, así como los grupos de bombeo, en todos los edificios en que la presión general de red es la suficiente como para que todas sus alturas puedan abastecerse de agua con la presión de la red municipal. Por otro lado, en



aquellos edificios en que la presión general permite sólo abastecer de agua a las primeras plantas, puede instalarse un depósito presurizado que se conecta directamente a la acometida, el cual almacena agua a la misma presión que la red y permite reducir el consumo energético del grupo de bombeo. El ahorro energético, obtenido de suprimir el depósito de ruptura o de instalar un depósito de presión, contribuirá a reducir los costes energéticos soportados por los propietarios de los edificios y a cumplir los compromisos contraídos por la Unión Europea en materia de eficiencia energética (European Commission, 2011).

**Tabla 1: Tipología de los edificios según las características de sus instalaciones de suministro de agua**

	Características del tipo		Recomendación sobre la reforma
	Presión de red	Equipamientos	
<b>Tipo 0</b>	Presión suficiente para todas las plantas	No hay grupo de presión ni depósito de ruptura	No hay mejora posible
<b>Tipo 1</b>	Presión suficiente para todas las plantas	Grupo de presión	Eliminar el grupo de presión y conectar directamente a la red urbana
<b>Tipo 2</b>	No hay presión para ninguna planta	Grupo de presión	Adecuar el grupo de presión para trabajar con un depósito presurizado
<b>Tipo 3</b>	No hay presión para ninguna planta	Grupo de presión y depósito de ruptura	Desconectar el depósito de ruptura y conectar el grupo de presión a un nuevo depósito presurizado
<b>Tipo 4</b>	Presión suficiente para las plantas bajas	Grupo de presión	Conectar directamente a la red las plantas bajas y adecuar el grupo de presión para trabajar con un depósito presurizado para plantas altas
<b>Tipo 5</b>	Presión suficiente para las plantas bajas	Grupo de presión y depósito de ruptura	Desconectar el depósito de ruptura, conectar las plantas bajas directamente a la red y conecta el grupo de presión para las plantas altas
<b>Tipo 6</b>	Presión suficiente para las plantas bajas	Grupo de presión y depósito de ruptura no en uso	No hay mejora posible

Según el número de plantas del edificio para las que se dispone de presión suficiente en la red general de distribución y los equipamientos que integren en las instalaciones de suministro del

interior del edificio, todos los edificios son susceptibles de clasificarse en uno de los tipos descritos en la Tabla 1 y, a su vez, de asociarse a una propuesta de reforma, como también se hace en la Tabla 1.

En todo caso, a pesar del ahorro potencial de energía que puede obtenerse, reformar las instalaciones de los edificios estará siempre condicionado por la rentabilidad de la inversión que es necesario efectuar. El ahorro energético potencial es, así, condición necesaria pero no suficiente. El análisis Coste-Beneficio, en este sentido, permite determinar si la mejora de la eficiencia en las instalaciones de abastecimiento es rentable y, en consecuencia, si es posible que sea materializada. En este estado de cosas, estimar la rentabilidad financiera –beneficio neto para las comunidades de propietarios de los edificios- y la rentabilidad económica – beneficio neto para el conjunto de la sociedad- de la realización de la reforma de las instalaciones de los edificios residenciales constituye una información imprescindible para la toma de decisiones, tanto para los promotores privados –las comunidades de propietarios- que deben decidir si acometer las reformas, como para la Administración, que puede optar por subvencionar la totalidad, o una parte, de estas reformas para conseguir objetivos de interés social como el ahorro de energía y la reducción de las emisiones contaminantes. Confirmar la rentabilidad positiva del proyecto se constituye así en condición necesaria y suficiente.

Para terminar con esta sección, recordar que en lo referente a los efectos de la reforma de las instalaciones de los edificios, no ha podido establecerse el posible ahorro de agua, por las insalvables dificultades que fueron encontradas a la hora de inspeccionar los depósitos de ruptura para localizar posibles fugas. Por tanto, el problema planteado se limita al ámbito energético y los beneficios estimados constituyen un mínimo al que debería añadirse el derivado del ahorro de agua en caso de conocerse.

### **3. Caso de estudio**

El caso de estudio de este trabajo es la ciudad de Zaragoza. Para su desarrollo se ha partido de la selección de una muestra de sus edificios residenciales, obtenida mediante un proceso de muestreo aleatorio estratificado por zonas, utilizando un procedimiento de afijación proporcional. Los estratos fueron definidos según la localización de los edificios, estableciéndose 14 diferentes en función de sus características urbanísticas y de edificación. La extracción de la muestra se realizó a partir del censo de edificios de la ciudad confeccionado por el Ayuntamiento a partir del Padrón de habitantes de 2012, en el que se contabilizaban

42.957 inmuebles. Una vez depurado para eliminar las unidades que no se correspondían con el objeto de estudio –edificios en ruinas, vacíos, de oficinas, administrativos, culturales y deportivos, así como las unidades localizadas fuera de la ciudad consolidada-, cumplían las condiciones para ser objeto de estudio 19.371 inmuebles, de los que fue extraída una muestra de 151. Se extrajeron, además, dos muestras suplentes para el caso de encontrar dificultades en la realización de la recogida de la información necesaria en los inmuebles de la muestra titular.

Con el propósito de obtener la información necesaria para la elaboración del trabajo fueron visitadas e inspeccionadas, durante el primer trimestre de 2013, las instalaciones de suministro de agua de estos 151 edificios. En este trabajo de campo se contó con la colaboración de la empresa Aquagest. A estos efectos se diseñó un cuestionario específico. La información contenida en los cuestionarios fue, acto seguido, trasladada a soporte informático y revisada para subsanar errores o carencias de información.

A resultados del trabajo de campo se tuvo conocimiento de que casi la mitad de los edificios de la muestra disponen de un grupo de presión (49,7%), mientras que en menos de la mitad no existe (39,1%). En los restantes (11,3%), sí que existe un grupo de presión pero no se encuentra en uso (Figura 1.1).

En lo relativo al depósito de ruptura, más de la mitad de los edificios de la muestra (58,3%) no lo tienen. El porcentaje restante de los que sí tienen se reparte entre los atmosféricos en uso (31,8%), atmosféricos que no se utilizan (8,6%) y cerrado que sí se encuentra en uso (1,3%). Es decir, que un elevado porcentaje (66,9%) no tienen depósito de ruptura o, en caso de tenerlo, no lo utilizan (Figura 1.2).

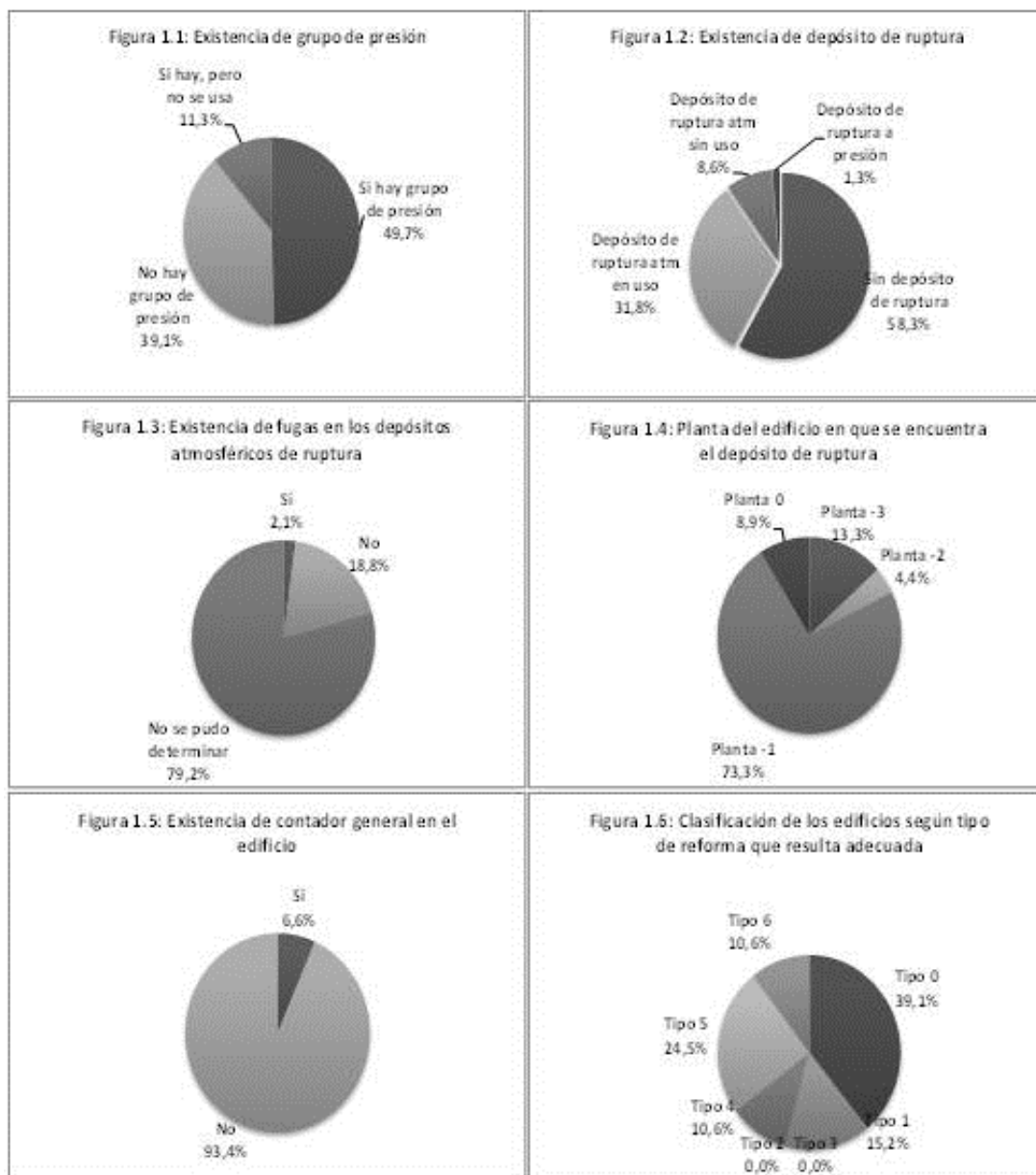
En la inmensa mayoría de los depósitos de ruptura (79,2%) no se pudo determinar la existencia de fugas. En el resto de depósitos de ruptura (20,8) en los que se pudo determinar la existencia de fugas, éstas suponen un porcentaje no significativo (2,1%) (Figura 1.3).

Atendiendo a su localización, en la mayor parte de los edificios (73,3%) el depósito de ruptura, en caso de haberse constatado su existencia, se encuentra en el primer sótano, en la altura inmediatamente inferior a la rasante, para el resto de opciones, planta 0 (8,9%), planta -2 (4,4%) y planta -3 (13,3%), los porcentajes son mucho menores (Figura 1.4).

La no existencia de contador general o totalizador del consumo (un dispositivo que permite conocer el total de agua que accede de la red municipal al interior del edificio), en la inmensa

mayoría de los edificios (93,4%), tampoco hace posible, por esta vía, conocer la existencia y cuantía de fugas de agua (Figura 1.5).

**Figura 1: Características de las instalaciones de suministro de agua de los edificios**



Resumiendo, el edificio tipo sería uno que disponga de grupo de presión, sin depósito de ruptura o, en caso de tener depósito de ruptura, éste es atmosférico, se encuentra en uso y localizado en el primer sótano.

En cuanto a la clasificación de los edificios según el tipo de reforma que resulta adecuada, todos ellos pueden aprovechar en alguna de sus plantas la presión de red, por lo que las tipologías 2 y 3, vistas en la Tabla 1, no tienen aplicación. En aproximadamente la mitad de la muestra (49,7%) no es preciso llevar a cabo ninguna reforma –Tipos 0 y 6-, es decir, o bien no

hay grupo de presión o bien, de haberlo, no está en uso y, por tanto, no puede obtenerse ahorro energético alguno. La distribución del resto de los edificios desvela que la solución mayoritaria se corresponde con el Tipo 5 (24,5%), siguiéndole los Tipos 1 y 4 con un 15,2% y un 10,6% respectivamente (Figura 1.6).

#### **4. Metodología**

##### **4.1. Cálculo del ahorro energético**

Para estimación del ahorro de energía asociado al bombeo de agua que puede obtenerse de suprimir los depósitos de ruptura y optimizar los grupos de presión de cada edificio se ha contado con la colaboración del Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos –CIRCE- (Uche, 2013).

A estos efectos, se parte del cálculo del consumo energético –en kWh/m<sup>3</sup>- asociado al bombeo a partir de la altura media a vencer en cada edificio según su tipología y el diseño del grupo de presión actual. Multiplicando ese consumo energético unitario, por el consumo de agua anual total del edificio, obtenido de la lectura de todos sus contadores durante el año 2012 –información suministrada por el Ayuntamiento de Zaragoza-, se obtienen los valores del consumo energético anual de los edificios de la muestra antes de la reforma. A partir de la información, también proporcionada por el Ayuntamiento de Zaragoza, de la presión existente en la red general de distribución puede estimarse, a su vez, el número de alturas que pueden suministrarse directamente de la red pública, lo que permite valorar en qué edificios puede suprimirse el grupo de presión y en cuáles introducirse un depósito presurizado y un grupo de presión adaptados para abastecer sólo a las plantas altas, en definitiva, clasificar los edificios según la tipología de la Tabla 1.

Se ha supuesto que el rendimiento de los grupos de presión, tanto los actuales como los alternativos, es constante e idéntico en todos los casos. Con este planteamiento, sólo se obtiene un ahorro de energía en el caso de que la reforma implique unas necesidades de bombeo de agua menores, es decir, si todas, o parte de las viviendas (las situadas a menor altura), dejan de suministrarse mediante el grupo de presión y pasan a hacerlo directamente de la red. Así, se estima el consumo energético después de la reforma como un porcentaje del consumo energético previo, determinado por el número de plantas que se dejan de suministrar. En el caso de suprimir el grupo de presión y de que el edificio se abastezca en

todas sus alturas de la red general, este porcentaje será igual a cero, siendo el ahorro obtenido igual al consumo energético estimado antes la reforma.

En resumen, para conseguir el ahorro de energía se ha de proceder a reformar las instalaciones de los edificios, suprimiendo los depósitos de ruptura y el grupo de presión en aquellos edificios en que es posible aprovechar la presión existente en la red general de distribución, y sustituyendo el depósito atmosférico por otro estanco y rediseñando el grupo de presión cuando el aprovechamiento solo es posible en las plantas del edificio a menor altura. Ello implica que para la realización del análisis Coste-Beneficio, la situación sin proyecto será la de los equipamientos de los edificios recogida en los cuestionarios, mientras que la situación con proyecto será la de los equipamientos una vez concretadas las reformas teóricas.

#### **4.2. Cálculo de los costes y beneficios**

El punto de partida del análisis financiero y económico es la identificación y cuantificación de los costes y beneficios –privados, en el análisis financiero, y sociales, en el económico– derivados de las reformas siguiendo las pautas habituales del análisis de proyectos de inversión.

Para cada una de las tipologías de reforma, se recurrió a una empresa instaladora para que realizase dos estudios piloto sobre la mano de obra y los materiales necesarios en cada tipo de reforma, así como sobre sus costes. Estos estudios piloto incluyen la información relativa al número de desplazamientos y cantidad de horas de trabajo del personal, así como las unidades de todos aquellos elementos de fontanería precisos y sus precios de mercado referenciados al primer trimestre de 2013.

De este modo, se dispone de la información necesaria para calcular los costes unitarios por vivienda, según tipo de reforma. La inversión necesaria para cada uno de los 151 edificios de la muestra se calcula como el producto de ese coste unitario según tipo de reforma a acometer en el edificio, por su número de viviendas.

Los costes unitarios en el análisis económico se calculan netos de impuestos, ya que éstos no constituyen un coste neto para la sociedad sino una mera transferencia de rentas entre distintos agentes integrantes de aquella (European Commission, 2008). Esto implica excluir el IVA del coste de los materiales, del desplazamiento y de la mano de obra, así como el

Impuesto sobre la Renta de las Personas Físicas (IRPF) del coste de la mano de obra<sup>3</sup>. La Tabla 2 expone los costes unitarios de los tipos de la reforma en 2013, con impuestos, para el análisis financiero, y netos de impuestos, para el análisis económico.

**Tabla 2: Costes unitarios derivados de la reforma de las instalaciones de suministro de agua en los edificios según tipo de reforma**

Euros 2013	Costes por vivienda				Costes por edificio			
	Sin impuestos		Con impuestos		Sin impuestos		Con impuestos	
	Mano de obra	Materiales	Mano de obra	Materiales	Mano de obra	Materiales	Mano de obra	Materiales
<b>Tipo 0</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tipo 1</b>	23,1	18,4	33,7	22,3	371,6	296,1	358,2	2.681,9
<b>Tipo 2</b>	23,4	34,6	34,2	41,8	-	-	-	-
<b>Tipo 3</b>	31,2	35,9	45,5	43,4	-	-	-	-
<b>Tipo 4</b>	83,2	110,6	121,3	133,8	2.681,9	3.566,3	3.911,6	4.315,2
<b>Tipo 5</b>	86,2	112,5	125,7	136,1	2.798,9	3.654,2	4.082,3	4.421,6
<b>Tipo 6</b>	-	-	-	-	-	-	-	-

Los beneficios del proyecto provienen del ahorro de energía eléctrica en el bombeo de agua hasta los puntos de consumo, así como de la no necesidad de mantenimiento y reparación de los grupos de presión en aquellos edificios en que éstos se suprimen al acometer la reforma. En el análisis económico se tienen en cuenta, además, los beneficios que obtiene la sociedad al emitirse menos gases de efecto invernadero.

La valoración del ahorro de energía obtenido en la reforma de las instalaciones de los edificios se hace con el precio de la electricidad, ya que es el tipo de energía que se emplea para alimentar los grupos de presión. El precio de la energía eléctrica corresponde al establecido por el Ministerio de Industria como Tarifa de Último Recurso<sup>4</sup>. A este precio se le ha aplicado el impuesto indirecto que le corresponde, esto es, el impuesto sobre la electricidad -5,113% efectivo- y, seguidamente, el IVA al tipo general del 21%.

La valoración de ahorro que se deriva de la no necesidad de mantenimiento y reparación del grupo de bombeo, debido a su supresión, se hace a partir de la información suministrada por las empresas del sector sobre los precios medios de las operaciones de mantenimiento

<sup>3</sup> El tipo impositivo que se ha considerado para el IVA es el general vigente en el año 2013 (21%). La presión fiscal media aplicada a las rentas del trabajo se corresponde con un 17,5% del IRPF. El dato relativo al IRPF proviene de las estadísticas sociales de la OCDE para 2012 ([http://www.oecd-ilibrary.org/taxation/income-tax-and-social-security-contributions-2008\\_20758510-table1](http://www.oecd-ilibrary.org/taxation/income-tax-and-social-security-contributions-2008_20758510-table1)).

<sup>4</sup> Resolución del 27 de diciembre de 2012, de la Dirección General de Política Energética y Minas por la que se establece el coste de producción de energía eléctrica y las tarifas de último recurso a aplicar a partir del 1 de enero de 2013.

(anuales) y de reparación (quinquenales), con impuestos, para el análisis financiero, y sin impuestos, para el económico.

En el análisis económico se han tomado en consideración los beneficios obtenidos por la sociedad debido a la reducción de los gases de efecto invernadero, en forma de CO<sub>2</sub> equivalente, por el menor consumo de electricidad. Las emisiones de CO<sub>2</sub> se han valorado de acuerdo con el precio que se obtiene de las subastas de derechos de emisión en 2013 en el mercado secundario español (SENDECO2, 2013), como una aproximación a su coste social. El impacto sobre la reducción de emisiones se ha estimado de acuerdo con los estándares técnicos de la emisión de la energía eléctrica, según el mix eléctrico español del año 2012, de acuerdo con WWF España (2013)<sup>5</sup>.

En la Tabla 3 se exponen los precios estimados con impuestos para el análisis financiero y netos de impuestos para el económico.

**Tabla 3: Precios de los factores de coste asociados al uso de agua (euros de 2013)**

	Sin impuestos	Con impuestos
<b>Electricidad (Euros/Kwh)</b>	0,1509	0,1920
<b>Emisiones CO2 (Euros/kg)</b>	0,0035	0,0035
<b>Reparación (Euros/5 años)</b>	501,9	665,5
<b>Mantenimiento (Euros/año)</b>	289,5	363,0

#### 4.3. Cálculo de la rentabilidad

Una vez estimados los costes y los beneficios del proyecto, siguiendo las pautas habituales del análisis de proyectos de inversión se procede a estimar la rentabilidad que obtienen las comunidades de vecinos, quienes habrán de impulsar las reformas –análisis financiero- y la que obtiene la sociedad en su conjunto –análisis económico-.

El periodo temporal considerado relevante para el análisis es de 20 años –entre 2014 y 2033-, lo que corresponde a la vida útil de este tipo de instalaciones según se desprende de la consulta a empresas del sector.

Se procede, en consecuencia, a calcular el Valor Actual Neto (VAN)<sup>6</sup>, teniendo en cuenta la vida útil del proyecto. Se adopta, además, en lo que respecta a la distribución temporal de los

<sup>5</sup> A partir de las emisiones del mix eléctrico publicadas por WWF España (2013) y tomando en consideración que, según el Intergovernmental Panel on Climate Change, un kg de NOx equivale a 296 kg de CO<sub>2</sub>, se obtiene el CO<sub>2</sub> equivalente de un Kwh de energía eléctrica.

<sup>6</sup>  $VAN = (B_1 - C_1) + B_2/(1+r) + \dots + B_t/(1+r)^{t-1} + \dots + B_{20}/(1+r)^{19}$  donde  $C_1$  es el gasto en el año inicial,  $B_t$  el beneficio proporcionado por el proyecto en cada uno de los  $t = 1, \dots, 20$  años de vida útil de la inversión,  $1/(1+r)^{t-1}$



costes de inversión de la reforma de los edificios, el supuesto de que se producen íntegramente durante el primer año. Los beneficios derivados del ahorro de energía, así como los provenientes de la no necesidad de mantenimiento ni reparación de los grupos de presión en los casos en que se suprimen, se supone que se obtienen con periodicidad anual desde el primer año, manteniéndose constantes en términos reales. Para el cálculo del VAN económico, a diferencia del financiero, tanto la inversión inicial, como los beneficios del proyecto, se aplican netos de impuestos y se toman en consideración, además, los beneficios sociales derivados de emitir un volumen menor de gases de efecto invernadero.

Por otro lado, para homogeneizar los valores de los flujos anuales y proceder a su agregación, se adopta un tipo de descuento del 5% para el análisis financiero y una tasa de descuento social del 3,5% para el económico, siguiendo la recomendación de la Comisión Europea para los países no receptores de los Fondos de Cohesión (European Commission, 2008)<sup>7</sup>. Una vez calculado el VAN se procede a hacer lo propio con la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) de la inversión. Así, quedan establecidas la rentabilidad financiera y la económica de la reforma de cada una de las instalaciones de los 151 edificios de la muestra.

Una vez calculados el VAN y el TIR de los edificios de la muestra, se procede a elevar los datos al total de las viviendas de la ciudad consolidada de Zaragoza para conocer qué efecto tendrían estas reformas de llevarse a término en todo el núcleo urbano. A estos efectos se utiliza como ratio de elevación la inversa del porcentaje que representan los edificios de la muestra con respecto al total de edificios elegibles de cada uno de los estratos establecidos inicialmente.

Se ha hecho abstracción de la incertidumbre asociada a la evolución del consumo de energía de las instalaciones de los edificios. También se han obviado las posibles alteraciones que pueden sufrir los precios de los factores de coste y beneficio asociados, así como las que puedan afectar a la tasa de descuento. Por tanto, según cómo evolucionen en el tiempo los valores de esas variables podrían obtenerse resultados distintos a los aquí presentados.

---

es el factor de descuento,  $r$  es el tipo o tasa de descuento y  $t$  el periodo de tiempo en el que se obtienen los beneficios.

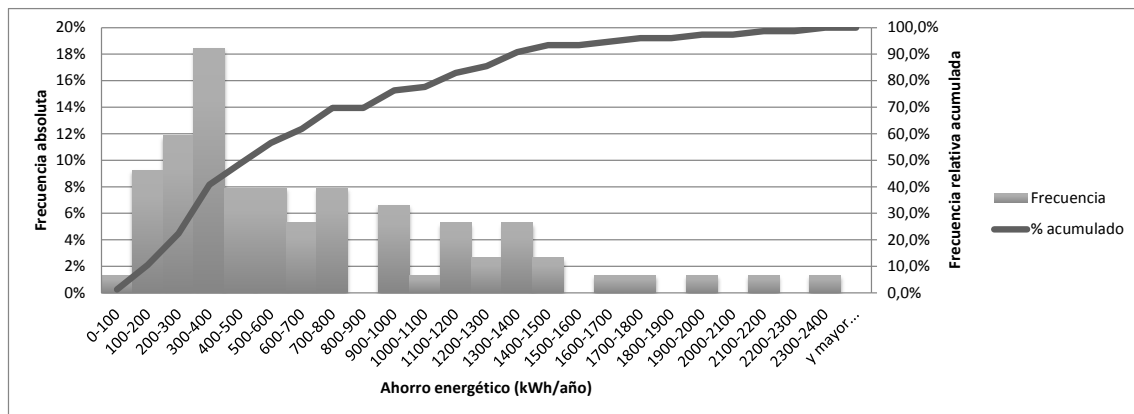
<sup>7</sup> La tasa del 5% es la recomendada por la Comisión Europea para el periodo 2007-2013, no habiéndose publicado la correspondiente al periodo 2014-2020.

## 5. Resultados

### 5.1. Ahorro de energía

En 76 de los 151 edificios de la muestra (50,3%) existen posibilidades de ahorro de energía a través de la reforma de las instalaciones de suministro de agua. La media de ahorro energético en esos 76 edificios es de 695 kWh/año, si bien la dispersión es muy elevada (desviación típica de 511 kWh/año) y, en consecuencia, este valor es poco representativo de la situación de cada uno de ellos.

**Figura 2: Función de distribución de los edificios según su ahorro energético anual**



La Figura 2 muestra cómo se distribuyen los edificios según el ahorro energético anual obtenido. En la mayoría se obtienen ahorros comprendidos entre los 100 y los 600 kWh/año, aunque hay casos en los que llegan a superarse los 1000 e incluso los 2000 kWh/año.

La Tabla 5 recoge la media de los ahorros energéticos obtenidos para los edificios de la muestra agrupados según el tipo de reforma acometida. También recoge el ahorro energético total para Zaragoza, una vez elevados aquellos al conjunto de la ciudad consolidada (los resultados deben ser tomados con la debida precaución por la gran dispersión que afecta a los resultados de la muestra). En lo concerniente a la muestra, son los edificios en que se acometen las reformas de Tipo 4 y de Tipo 5 los que obtienen un mayor ahorro potencial de energía, lo que se explica por su mayor número de viviendas y por su mayor altura, que permite que se aproveche en su totalidad la presión de la red general de distribución, a pesar de que deba mantenerse el grupo de bombeo para abastecer a las plantas altas. En los de Tipo 1, hay un menor número de viviendas y, en muchos casos, las alturas que pueden suministrarse con la presión de la red general superan a las alturas del edificio y una parte de esa presión no es aprovechada, lo que se refleja en el menor ahorro energético obtenido.

En cuanto a los ahorros energéticos elevados al total de los edificios de la ciudad consolidada, la semejanza en los valores obtenidos para las reformas de Tipo 1 y 4 se explican por el mayor porcentaje de edificios del primero (15,2%) respecto del segundo (10,6%), como atestigua la última de las gráficas de la Figura 1, combinando con el menor ahorro unitario del primero respecto del segundo. Razonamiento que puede utilizarse para justificar la considerable diferencia con el ahorro obtenido para los edificios de tipo 5 (24,5%).

**Tabla 4: Ahorro de energía inducido por la reforma de las instalaciones de suministro de agua**

Tipo de reforma de los edificios	Muestra	Ciudad de Zaragoza	
	kWh/edificio/año*	kWh/año	TEP/año
<b>Tipo 1</b>	400,9 (228,8)	1.166.954,5	100,3
<b>Tipo 4</b>	768,0 (627,9)	1.618.823,7	139,2
<b>Tipo 5</b>	846,2 (516,3)	3.943.230,9	339,1
<b>Total</b>	695,0 (511,0)	6.729.009,1	578,6

\*Desviación típica entre paréntesis

## 5.2. La rentabilidad financiera

El análisis financiero, está dirigido a conocer el beneficio neto que el proyecto podría reportar a las comunidades de vecinos de los edificios como consecuencia de acometer las reformas adecuadas en las instalaciones de suministro de agua.

La inversión es el resultado de multiplicar el coste por vivienda del tipo de reforma a acometer por el número de viviendas de cada edificio. Los beneficios derivados de la reforma son producto de la reducción de los costes soportados como consecuencia de los ahorros en energía eléctrica para el bombeo de agua y, en los casos en que se suprime el grupo de presión, de la no necesidad de reparaciones y mantenimiento.

Los valores medios del VAN del proyecto y su TIR, por tipo de reforma y para el conjunto de la muestra, se presentan en la Tabla 5. El VAN financiero es negativo en el 69,7% de los edificios en que se obtiene un ahorro energético al reformar las instalaciones y positivo en el restante 30,3%. Se obtiene un VAN medio de -2.297,4 euros por edificio si se toman en consideración los 76 edificios (50,7% de la muestra) en los que se ahorra energía y una TIR media, sin embargo, del 28,7%. Las desviaciones típicas obtenidas muestran la enorme dispersión de los

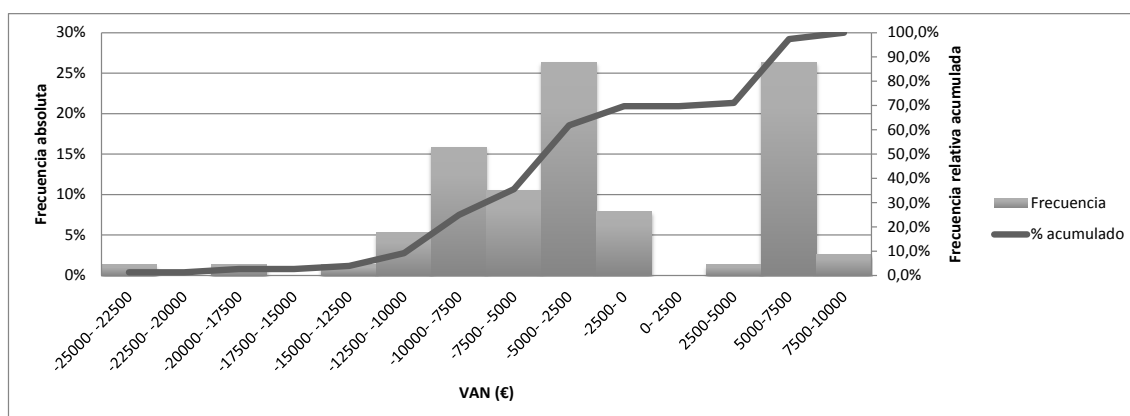
datos e indican la escasa representatividad de las medias para aproximar la situación de cada uno de los edificios de la muestra.

**Tabla 5: Rentabilidad de la reforma de las instalaciones de suministro de agua de los edificios**

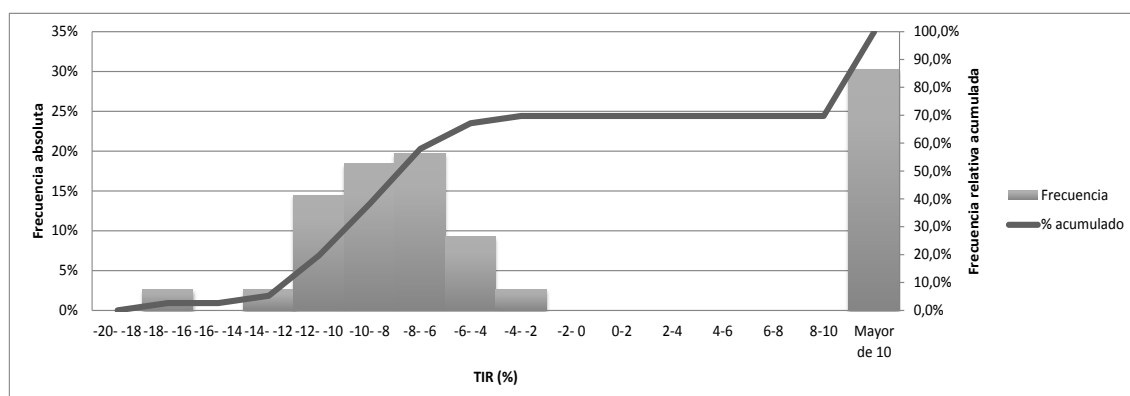
(euros de 2013)		Análisis financiero*	Análisis económico*
<b>Tipo 1</b>	<b>VAN</b>	6.819,6 (777,2)	6374,9 (638,9)
	<b>TIR (%)</b>	114 (53)	130 (60)
<b>Tipo 4</b>	<b>VAN</b>	-6.204,2 (4884,9)	-4.529,4 (3.578,8)
	<b>TIR (%)</b>	-9,1 (2,7)	-9,2 (2,7)
<b>Tipo 5</b>	<b>VAN</b>	-6.275,3 (4.218,7)	-4.559,4 (3.131,5)
	<b>TIR (%)</b>	-8,3 (2,9)	-8,3 (2,9)
<b>Total</b>	<b>VAN</b>	-2.297,4 (7.074,3)	-1.244 (5.737,1)
	<b>TIR (%)</b>	28,7 (63,6)	33,3 (71,7)

\*Desviación típica entre paréntesis

**Figura 3: Función de distribución del VAN financiero de la reforma**



**Figura 4: Función de distribución de la TIR financiera de la reforma**



La aparente contradicción entre un VAN medio tan desfavorable y una TIR tan elevada se explica por la función de distribución de la rentabilidad (Figuras 3 y 4). Los resultados más favorables, tanto del VAN como de la TIR, se corresponden con la reforma de Tipo 1, que

ofrece una rentabilidad positiva extraordinariamente elevada mientras que los más desfavorables, con rentabilidad negativa, lo hacen con las reformas de los Tipos 4 y 5. La TIR media es muy elevada, producto de unas TIR excepcionalmente grandes para el Tipo 1 y moderadamente negativas para los Tipos 4 y 5 (véase primera columna Tabla 5), junto con inversiones de pequeña cuantía (véase Tabla 2).

El análisis de sensibilidad (véase el primer bloque de la Tabla 6) muestra cómo un aumento del 1% en la tasa de descuento ocasiona una disminución del VAN del 8% de media en el Tipo 1 y del 3,2% y del 3,5% en los Tipos 4 y 5. Como se aprecia en la Tabla, esto implica que, por más que se reduzca la tasa de descuento, el VAN de las reformas de los Tipos 4 y 5 nunca se hace positivo y, a su vez, que el VAN de las reformas del Tipo 1 no se hace negativo para cualquier margen razonable de incrementos en la tasa de descuento.

**Tabla 6: Análisis de sensibilidad del beneficio neto de las reformas según el valor de la tasa de descuento**

		Análisis financiero					Análisis económico				
		2%	3%	4%	4,5%	5%	2%	3%	4%	4,5%	5%
Tipo 1	VAN (€)	16.881,5	15.447,5	14.185,4	13.611,1	13.071,0	13.905,6	12.745,2	11.724,0	11.259,4	10.822,4
Tipo 4	VAN (€)	-10.632,3	-11.026,8	-11.373,2	-11.530,6	-11.678,4	-8.092,8	-8.390,9	-8.652,7	-8.771,7	-8.883,5
Tipo 5	VAN (€)	-11.027,9	-11.477,5	-11.872,4	-12.051,8	-12.220,4	-8.385,0	-8.724,8	-9.023,3	-9.158,9	-9.286,3
Total	VAN (€)	-1.280,6	-1.663,6	-2.000,3	-2.153,4	-2.297,4	-805,7	-1.107,3	-1.372,4	-1.493,0	-1.606,3

La Tabla 7 recoge en su primera columna, una vez elevados al total de la ciudad los resultados obtenidos para la muestra, la estimación relativa a los beneficios privados que podrían obtenerse si se acometiese la reforma de todos los edificios del Tipo 1 existentes, un total de 19,9 millones de euros, así como las pérdidas, que se derivarían de llevar a cabo la reforma de los edificios que se corresponden con los Tipos 4 y 5.

**Tabla 7: Beneficio neto potencial de la reforma de las instalaciones de suministro de agua de los edificios de Zaragoza (euros de 2013)**

Tipo de reforma	VAN Financiero	VAN Económico
<b>Tipo 1</b>	19.902.892,0	18.607.119,8
<b>Tipo 4</b>	-13.092.433,9	-9.558.768,3
<b>Tipo 5</b>	-29.233.326,8	-21.239.539,6

### 5.3. La rentabilidad económica

El análisis económico, pretende cuantificar el beneficio neto que el proyecto podría reportar a la sociedad en su conjunto y, en consecuencia, comprobar si es o no deseable acometer las

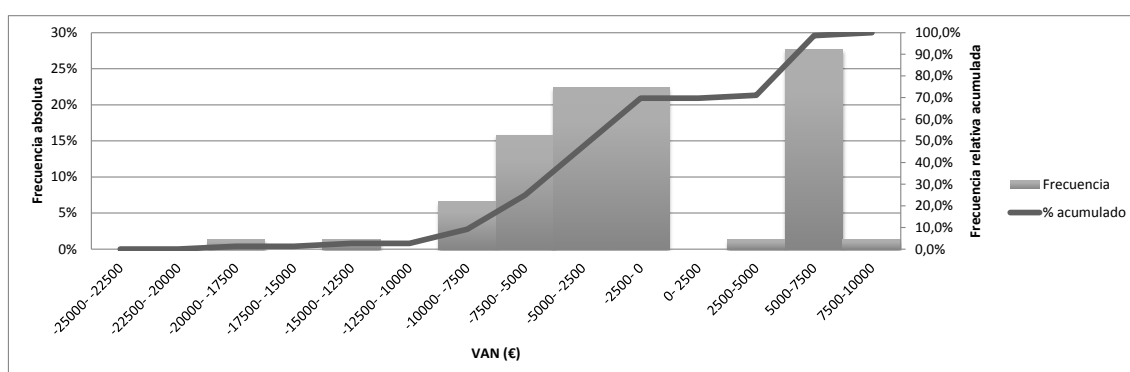
reformas en las instalaciones de suministro de agua de los edificios desde una perspectiva social.

Al igual que para el análisis financiero, los costes unitarios por vivienda se recogen en la Tabla 2, ahora netos de impuestos. La inversión para cada edificio será el resultado de multiplicar éstos, según tipo de reforma, por el número de viviendas de cada edificio. Los beneficios a considerar son los mismos que en el análisis financiero con la salvedad de que se toman netos de impuestos y de que se añaden los resultantes de la disminución en emisiones de gases de efecto invernadero.

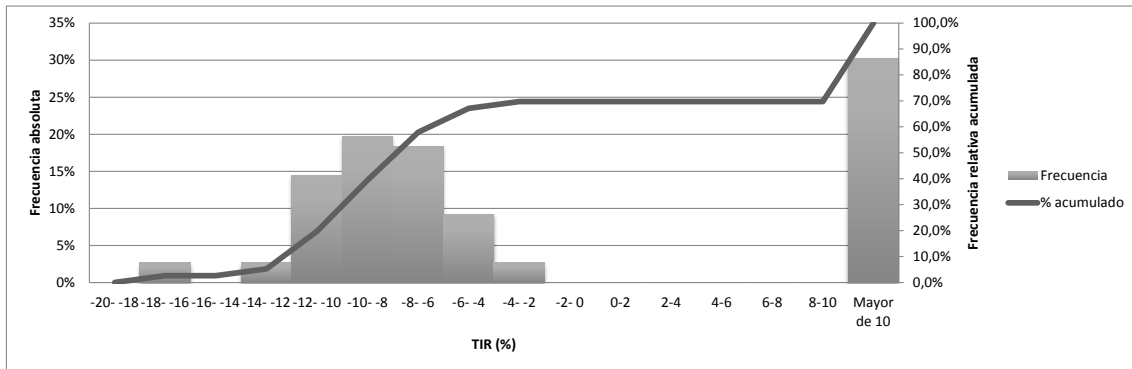
En el 30,3% de los 76 edificios de la muestra para los que se obtiene ahorro energético al reformar sus instalaciones, la inversión resulta rentable. Por tanto, es el mismo porcentaje que el obtenido en el análisis financiero. En la segunda columna de la Tabla 5 se muestran los valores medios del VAN y la TIR de la reforma y su tasa de rentabilidad. El valor medio del VAN es de -1.244 euros por edificio, siendo, sin embargo, la TIR media de un 33,3%. Esta disparidad en el signo del VAN y la TIR se explica porque los edificios en que la inversión no es rentable lo es con una tasa mucho menor que en aquellos en que sí lo es.

Las Figuras 5 y 6, que representan, respectivamente, la distribución del VAN y de la TIR, no sólo dan muestra de la disparidad de los datos, también del hecho de que sólo los edificios de Tipo 1 ofrecen una rentabilidad elevada, a diferencia de aquellos de los Tipos 4 y 5 (veáse también la Tabla 5).

**Figura 5: Función de distribución del VAN económico de la reforma**



**Figura 6: Función de distribución de la TIR económica de la reforma**



El análisis de sensibilidad que se detalla en el segundo bloque de la Tabla 6 refleja que un aumento de la tasa de descuento en un 1% hace que el VAN disminuya en los edificios de Tipo 1 en un 8% de media, mientras que lo hace en un 3,2 % y en un 3,5% para los Tipos 4 y 5. Resultados casi idénticos a los vistos para la rentabilidad financiera.

La elevación al total de la ciudad de los resultados obtenidos para la muestra (segunda columna de la Tabla 7) permite estimar en 18,6 millones de euros los beneficios sociales que podrían obtenerse si se acometiese la reforma de todos los edificios que encajan en el Tipo 1. Igualmente, permite estimar la pérdida social que se derivaría de la ejecución de la reforma de los Tipos 4 y 5.

## 6. Conclusiones

El objetivo general del presente trabajo ha sido el análisis de las posibles reformas a acometer para mejorar la eficiencia en las instalaciones de suministro de agua de los edificios residenciales de la ciudad de Zaragoza, el potencial de reducción de consumo eléctrico producto de esas reformas y las rentabilidades financiera y económica de las actuaciones destinadas a ese fin. En consecuencia, se ha evaluado una muestra de 151 edificios representativa de la ciudad. La principal aportación del trabajo es la obtención de resultados en concepto de ahorro energético y rentabilidad financiera y económica en relación a un equipamiento particularísimo de los edificios residenciales, como es la instalación privada de suministro de agua, sobre el que no hay literatura previa.

Los resultados del análisis muestran que en un 50,3% de los edificios de la ciudad pueden llevarse a término reformas en sus instalaciones de suministro de agua que posibilitarían un ahorro en el consumo de energía eléctrica. En el 15,2%, la reforma permite eliminar el grupo de presión y suministrarse directamente de la red de distribución de la ciudad, con lo que deja

de consumirse energía eléctrica en concepto de bombeo a los puntos de consumo del edificio. El promedio de ahorro energético es de 695 kWh/año, con una desviación estándar de 511 kWh/año que da una idea de las diferencias existentes en la valoración de unos u otros edificios.

En lo que concierne al análisis financiero y económico, los resultados muestran que la reforma no es rentable en todos los casos en que permite ahorrar energía. En caso de poderse suprimir el grupo de presión, la actuación es extraordinariamente rentable como demuestra una Tasa Interna de Rendimiento del 219% para el análisis financiero y del 249% para el económico en tales edificios, siendo recuperada la inversión íntegramente durante el primer año en que está operativa. Lo cual pone claramente de manifiesto la idoneidad de acometer las reformas en aquellos edificios que son susceptibles de aprovechar la presión de la red general de suministro de agua para abastecer a todas sus plantas. Estos resultados contrastan con las Tasas Internas de Rendimiento negativas –que se mueven entre el -16,1% y el -17,2%– para los análisis financiero y económico de los edificios en que hay que acometer otro tipo de reformas. Esa falta de rentabilidad se explica por los elevados costes de adaptación de las instalaciones que es preciso acometer al no suprimirse el grupo de presión y por los bajos beneficios al ahorrarse energía, solamente, en las plantas bajas y persistir los gastos de mantenimiento y reparación del grupo de presión. Por tanto, se comprueba que el ahorro de energía es condición necesaria pero no suficiente para que una reforma sea eficiente.

El hecho de que existan instalaciones del todo innecesarias que ocasionan costes de funcionamiento y mantenimiento significativos, cuya supresión permitiría obtener rentabilidades financieras y económicas muy elevadas, indica el desconocimiento por parte de la sociedad de estas posibilidades de ahorro. En este sentido sería preciso una intervención pública, al menos, destinada a informar a las comunidades sobre el número de plantas que podrían suministrarse directamente de la red urbana. De este modo, los edificios que han dejado de usar el grupo de presión por ser innecesario y aquellos que lo siguen usando sin necesidad y podrían abastecerse con la presión de red, supondrían más del 25% del total de edificios de la ciudad.

Las diferencias entre los resultados del análisis financiero y los del análisis económico son significativas, obteniéndose mejores resultados para el segundo frente al primero debido a los menores costes de la inversión, tanto en concepto de mano de obra como de materiales, la contabilización de las externalidades y por la menor tasa de descuento y viéndose perjudicado por los menores beneficios derivados del ahorro en energía, fruto de la menor valoración de



los costes asociados al consumo de electricidad. Al igualar las tasas de descuento aplicadas, en el análisis de sensibilidad, los resultados financieros siguen siendo peores que los económicos. Sin embargo, si se toma en consideración el tipo de reforma a realizar, para el grupo de edificios en que puede suprimirse el grupo de presión, los resultados financieros son mejores que los económicos para una misma tasa de descuento, no siéndolos para el resto.

Estos resultados constituyen una evidencia sólida de que, según su configuración, es muy rentable reformar las instalaciones de distribución de agua existentes en los edificios. Sin embargo, también muestran que el logro de una mayor eficiencia energética es, en muchos casos, una alternativa altamente gravosa, no compensándose de ninguna forma la inversión inicial. En consecuencia, es clave diseñar correctamente estas instalaciones, tomando en consideración la presión de red, en el momento del diseño del edificio. Al respecto tiene un papel que jugar la Administración pública suministrando información sobre esa variable e introduciendo estándares de obligado cumplimiento en la normativa sobre edificación.

### **Bibliografía**

Awerbuch, S. y Sauter, R. (2006). Exploiting the oil-GDP effect to support renewables deployment. *Energy Policy* 34: 2805-2819.

Braun, M. (2004). Environmental External Costs from Power Generation by Renewable Energies. Diplomarbeit, Universität –Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Stuttgart.

[http://elib.unistuttgart.de/opus/volltexte/2004/1948/pdf/Martin\\_Braun\\_Diplomarbeit\\_Environmenta\\_External\\_Costs\\_from\\_Power\\_Generation\\_by\\_Renewable\\_Energies.pdf](http://elib.unistuttgart.de/opus/volltexte/2004/1948/pdf/Martin_Braun_Diplomarbeit_Environmenta_External_Costs_from_Power_Generation_by_Renewable_Energies.pdf). Último acceso septiembre 2013.

Chaaban, F.B., Mezher, T. y Ouwayjan, M. (2004). Options for emissions reduction from power plants: an economic evaluation. *Electrical Power and Energy Systems* 26: 57-63.

Cheng, C. L. (2002). Study of the inter-relationship between water use and energy conservation for a building. *Energy and Buildings* 34: 261-266.

Cheung, C.T., Mui, K.W. y Wong, L. T. (2013). Energy efficiency of elevated water supply tanks for high-rise buildings. *Applied Energy* 103: 685-691.

Coelho, B. y Andrade-Campos, A. (2014). Efficiency achievement in water supply systems-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30: 59-84. Cuchi, A., Sweatman, P. (2011). *Una visión país para el sector de la edificación en España. Hoja de ruta para un nuevo sector de la vivienda.*

[http://www.gbce.es/archivos/ckfinderfiles/Investigacion/libro\\_GTR\\_cast\\_postimprenta.pdf](http://www.gbce.es/archivos/ckfinderfiles/Investigacion/libro_GTR_cast_postimprenta.pdf).

Último acceso septiembre 2013.

Czarnowska, L. y Frangopoulos, C.A. (2012). Dispersion of pollutants, environment externalities due to a pulverized coal power plant and their effect on the cost of electricity. *Energy* 41: 212-219.

DeBenedictis, A., Haley, B., Woo, C.K. y Cutter, E. (2013). Operational energy-efficiency improvement of municipal water pumping in California. *Energy* 53: 237-243.

Duic, N., Guzovic, Z., Kafarov, V., Klemes, J. J., van Mathiessen, B. y Yan, J. (2013). Sustainable development of energy, water and environment systems. *Applied Energy* 101: 3-5.

Energy Information Administration (2013). *International Energy Outlook*. Office of Integrated Analysis and Forecasting, US Department of Energy, Washington DC.

[http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2013\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2013).pdf). Último acceso septiembre 2013.

European Commission (2010). *Energy 2020: a strategy for competitive, sustainable and secure energy*. COM639, Brussels.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0639:FIN:En:PDF>. Último acceso septiembre 2013.

European Commission (2011). *Energy efficiency plan 2011*. COM 109, Brussels.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0109:FIN:EN:PDF>. Último acceso septiembre 2013.

European Parliament (2011). *Impacts of shale gas and shale oil extractions on the environment and on human health*. Committee on Environment, Public Health and Food Safety. Brussels.

<http://europeecologie.eu/IMG/pdf/shale-gas-pe-464-425-final.pdf>. Último acceso septiembre 2013.

Feldman, M. (2009). Aspects of energy efficiency in water supply systems. In: Proceedings of the 5th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference. South Africa; 2009.

[http://www.miyawater.com/user\\_files/Data\\_and\\_Research/miyas\\_experts\\_articles/08\\_Other%20aspects%20of%20NRW/01\\_Aspects%20of%20Energy%20Efficiency%20In%20Water%20Supply%20Systems.pdf](http://www.miyawater.com/user_files/Data_and_Research/miyas_experts_articles/08_Other%20aspects%20of%20NRW/01_Aspects%20of%20Energy%20Efficiency%20In%20Water%20Supply%20Systems.pdf). Último acceso septiembre 2013.

Gago, A., Hanemann, M., Labandeira, J., Ramos, A. (2012) *Climate Change, Buildings and Energy Prices*. Economics for Energy. Working Paper FA04/2012.

Georgakellos, D. A. (2010). Impact of a possible environmental externalities internalization on energy prices: The case of the greenhouse gases from the Greek electricity sector. *Energy Economics* 32: 202-209.

IDAE y Eurostat (2011). *Análisis del consumo energético del sector residencial en España- Informe final*. Secretaría General. Departamento de Planificación y Estudios.

[http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_Informe\\_SPAHOUSEC\\_ACC\\_f68291a3.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf). Último acceso septiembre 2013.

IPCC (2001). *Climate Change 2001: Mitigation – Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Metz, B., Davidson, O., Swart, R. and Pan, J. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge.

[http://www.grida.no/publications/other/ipcc\\_tar/?src=/climate/ipcc\\_tar/wg3/index.htm](http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/wg3/index.htm).

Último acceso septiembre 2013.

IPCC (2007). *Climate Change 2007: Mitigation Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R. and Meyer, L.A. (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY.

[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4\\_wg3\\_full\\_report.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4_wg3_full_report.pdf). Último acceso septiembre 2013.

Labandeira, X., Labeaga, J.M., López-Otero, X. (2011). *Energy Demand for Heating in Spain: An Empirical Analysis with Policy Purposes*. Economics for Energy, Working Paper 06/2011.

REE (2013). *Sistema eléctrico español 2012*. Red Eléctrica de España. Madrid, 2013.

[http://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/inf\\_sis\\_elec\\_ree\\_2012\\_v2.pdf](http://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/inf_sis_elec_ree_2012_v2.pdf). Último acceso septiembre 2013.

Sebitosi, A.B. y Pillay, P. (2008) Renewable energy and the environment in South Africa: A way forward. *Energy Policy* 36: 3312-3316.

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2011). *Planificación de los Sectores de Electricidad y Gas 2012-2020. Desarrollo de las Redes de Transporte*. Subdirección General de Planificación Energética y Seguimiento. Primer Borrador, julio 2011.

[http://www.minetur.gob.es/energia/es-ES/Novedades/Documents/PlanificacionElectricidad Gas\\_2012\\_2020.pdf](http://www.minetur.gob.es/energia/es-ES/Novedades/Documents/PlanificacionElectricidad_Gas_2012_2020.pdf). Último acceso septiembre 2013.

Uche, J. (2013). *Memoria técnica justificativa. Proyecto RENOVEA*. CIRCE, Área de Recursos Naturales (mimeo).

Zinnae (2012) *RENOVEA: Impacto económico y ambiental de un plan RENOVe para la Eficiencia del Agua y la energía asociada en el sector doméstico. Memoria final Programa de Apoyo a Agrupaciones Empresariales Innovadoras (AEIs) del Ministerio de Industria, Energía y Turismo* (mimeo).