



XL REUNIÓN DE ESTUDIOS REGIONALES Zaragoza, 20-21 de noviembre de 2014

La rentabilidad de la renovación de los equipamientos asociados al abastecimiento de agua en edificios. El caso de la ciudad de Zaragoza

Ramón Barberán¹

Diego Colás

Universidad de Zaragoza

Departamento de Economía Pública e Instituto de Investigación en Ciencias Ambientales (IUCA)

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 que obtener un beneficio neto positivo, a resultas de las reformas, depende de las características de los edificios y sus instalaciones.

Palabras clave: eficiencia energética; 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 Autor para correspondencia: ramon.barberan@unizar.es

1. Introducción²

El tratamiento y transporte de agua requieren energía, principalmente energía eléctrica, y la producción energética precisa en muchos casos de importantes cantidades de agua, así que ambos recursos están estrechamente relacionados (Braun, 2004; IPCC, 2007; Georgakellos, 2010; European Parliament, 2011; Czarnowska y Frangopoulos, 2012; Energy Information Administration, 2013). Dado que son recursos estratégicos, una planificación integradora de ambos es vital para asegurar la estabilidad social, política y económica en el futuro, así como para evitar escenarios insostenibles no deseados (Rodríguez et al., 2013). En concreto, las mejoras en la eficiencia energética contribuyen 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).

El incremento en la demanda energética para el suministro de agua potable y el tratamiento de las aguas residuales será significativo en los próximos 20 años. En 2030, atendiendo únicamente al crecimiento demográfico, la demanda de los servicios municipales de agua puede incrementarse hasta un 40%. Sin perjuicio de lo anterior, estos servicios pueden ser mucho más intensivos en energía en las próximas dos décadas debido a regulaciones sanitarias y medioambientales más estrictas que exigirán tratamientos adicionales o procesos más sofisticados (Liu et al, 2012).

Los costes energéticos en los países desarrollados pueden suponer entre un 5 y un 30% del total de todos los costes de operación de las instalaciones de suministro y tratamiento de agua. Por tanto, mejorar la eficiencia energética contribuye a reducir la presión sobre los presupuestos municipales, la necesidad de aumentar la capacidad de generación eléctrica y la emisión de gases de efecto invernadero y otros contaminantes (Liu et al., 2012).

En este sentido, la Comisión Europea considera la eficiencia energética como la forma más rentable para la sociedad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes y de asegurar el suministro de energía (European Commission, 2011). En consecuencia, la Unión Europea 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

² 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. Su ejecución ha contado con la colaboración destacada de 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.

construidos (European Commission, 2011). España, como país miembro, deberá contribuir a la consecución de este objetivo.

Para Europa el margen de maniobra es considerable, ya que la mejora que se obtendría alcanzando en todo el parque de viviendas 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). 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 et al., 2011). En este sentido, el sector residencial español supone el 17% del consumo energético final total y el 25% de la demanda de energía eléctrica. El 44% de los edificios existentes en España son de antes de 1980, por lo que hay un amplio margen para la mejora de la eficiencia energética (IDAE, 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 et al., 2011; IDAE, 2011) y donde las reformas dirigidas a mejorar el aislamiento de las viviendas podrían permitir ahorros significativos. En todo caso, solo suelen tomarse en consideración los consumos energéticos puertas adentro de los hogares sin valorar el potencial ahorrador de la intervención en las instalaciones comunitarias de los edificios de viviendas.

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 representar el 1,6% del consumo total de energía eléctrica de la ciudad (Cheug et al., 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). 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, principalmente: ineficiencias en los grupos de bombeo originados por errores en el diseño y la instalación o por un mantenimiento incorrecto, con pérdida de presión en la tubería; exceso

de presión de servicio; y abastecimiento excesivo ocasionado 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 la energía utilizada en su bombeo, solventar las ineficiencias asociadas a los grupos de bombeo y detectar las fugas y ponerles fin (DeBenedictis, 2013).

El presente trabajo tiene como objetivo analizar el ahorro potencial de energía que se obtendría 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. En concreto evalúa la situación de las instalaciones de abastecimiento de agua en los edificios residenciales y las consecuencias energéticas, financieras y económicas de su reforma con criterios eficientes. A estos efectos se analiza una muestra de edificios representativa de la ciudad de Zaragoza y, posteriormente, los resultados son elevados al total de los edificios de la ciudad. Este planteamiento ahorrador no ha sido tomado en consideración hasta ahora 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 estudio resultan particularmente novedosas.

El trabajo se estructura en cinco secciones, además de esta introducción. En la sección segunda se hace el planteamiento del problema. 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-, 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 grupos de presión y depósitos de ruptura 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.

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 presurizado, 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).

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 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 dicha Tabla.

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	
Tipo 0	Presión suficiente para todas las plantas	No hay grupo de presión ni depósito de ruptura	No hay mejora posible
Tipo 1	Presión suficiente para todas las plantas	Grupo de presión	Eliminar el grupo de presión y conectar directamente a la red urbana
Tipo 2	No hay presión para ninguna planta	Grupo de presión	Adecuar el grupo de presión para trabajar con un depósito presurizado
Tipo 3	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
Tipo 4	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
Tipo 5	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
Tipo 6	Presión suficiente para las plantas bajas	Grupo de presión y depósito de ruptura no en uso	No hay mejora posible

En todo caso, a pesar del ahorro potencial de energía que pueda obtenerse, reformar las instalaciones de los edificios residenciales 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 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. La rentabilidad positiva constituye una condición necesaria y suficiente de la reforma.

3. Caso de estudio

El estudio se ocupa de los edificios de la ciudad de Zaragoza, la quinta ciudad española según número de habitantes (682.004 en 2013), con una renta bruta per cápita de aproximadamente 18.000 euros y una economía especializada en el sector servicios y con un importante sector industrial (IAEST, 2014).

Se trabaja con 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 confeccionado por el Ayuntamiento de la ciudad a partir del Padrón de habitantes de 2012, en el que se contabilizaban 42.957 edificios. 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 el trabajo de campo de recogida de información 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. A estos efectos se diseñó un cuestionario específico (puede verse en Barberán y Colás, 2013).

A resultas de este trabajo de campo se ha podido establecer que casi la mitad de los edificios de la muestra disponen de un grupo de presión operativo (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).

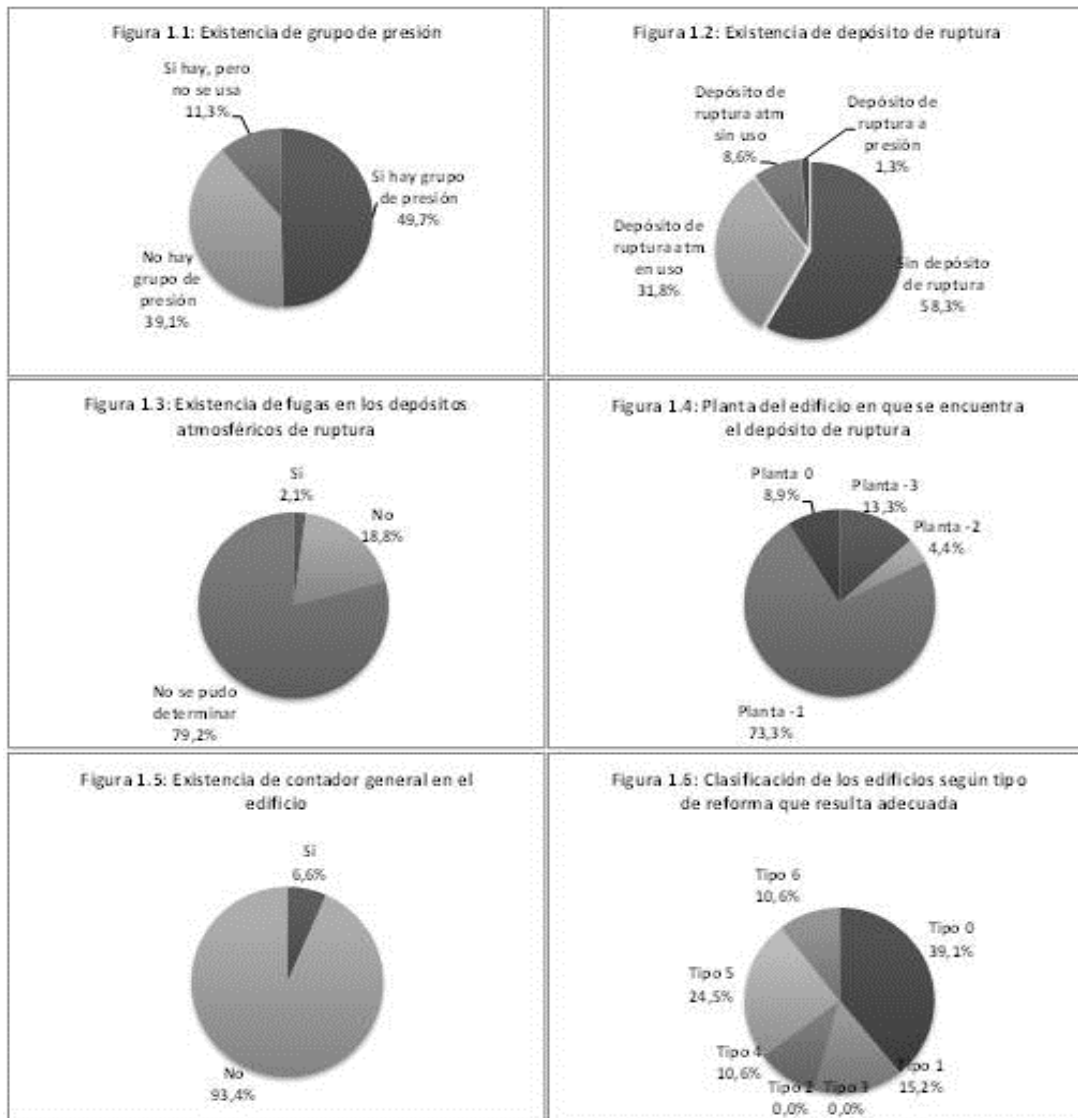
En lo relativo al depósito de ruptura, más de la mitad de los edificios de la muestra (58,3%) no lo tienen. El porcentaje restante de los que sí tienen se reparte entre los atmosféricos en uso (31,8%), atmosféricos que no se utilizan (8,6%) y cerrado que sí se encuentra en uso (1,3%). Es decir, que un 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 debido a dificultades insalvables en su inspección (depósitos inaccesibles u ocultos total o parcialmente). En el resto de depósitos de ruptura (20,8%) en los que se pudo determinar la existencia de fugas, éstas suponen un porcentaje significativo (equivalente al 10% de este subconjunto) (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 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). Estos problemas de información han determinado que el estudio se limite al ámbito energético, de modo que los beneficios estimados constituyen un mínimo al que debería añadirse el derivado del ahorro de agua en caso de conocerse.

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



Resumiendo, el edificio tipo de la muestra es uno que dispone 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

La 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 parte del cálculo del consumo energético –en kWh/m³- asociado al bombeo, que viene determinado por la altura media a vencer en cada edificio según su tipología y por 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 se estima, a su vez, el número de alturas que pueden suministrarse directamente de la red pública. Esto 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 (estos cálculos se han realizado con la colaboración del Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos –CIRCE-. Véase Uche, 2013).

Se ha supuesto, por razones de viabilidad del estudio, 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 siguen suministrando mediante bombeo. 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.

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.

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

A partir de esta información se calculan 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 por su número de viviendas.

Los costes unitarios se toman netos de impuestos en el análisis económico, ya que los impuestos 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 obra³. La Tabla 2 expone los costes unitarios por vivienda de los tipos de la reforma en 2013, con impuestos, para el análisis financiero, y netos de impuestos, para el análisis económico.

³ 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).

Tabla 2: Costes por vivienda derivados de la reforma de las instalaciones de suministro de agua en los edificios según tipo de reforma (euros de 2013)

	Sin impuestos		Con impuestos	
	Mano de obra	Materiales	Mano de obra	Materiales
Tipo 0	-	-	-	-
Tipo 1	23,1	18,4	33,7	22,3
Tipo 2	23,4	34,6	34,2	41,8
Tipo 3	31,2	35,9	45,5	43,4
Tipo 4	83,2	110,6	121,3	133,8
Tipo 5	86,2	112,5	125,7	136,1
Tipo 6	-	-	-	-

Los beneficios de la reforma 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. 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 Recurso⁴. A este precio, para el análisis financiero, se le ha añadido la carga impositiva que le corresponde, esto es, el impuesto sobre la electricidad (5,113% efectivo) y, seguidamente, el IVA al tipo general del 21%.

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

Los beneficios obtenidos por la sociedad debido a la reducción de los gases de efecto invernadero, en forma de CO₂ equivalente, por el menor consumo de electricidad, se han valorado de acuerdo con el precio que se obtiene de las subastas de derechos de emisión en

⁴ 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.

2013 en el mercado secundario español (SENDECO2, 2013), como 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)⁵.

En la Tabla 3 se exponen los precios estimados para cada una de las consecuencias beneficiosas derivadas de la reforma o, lo que es lo mismo, para cada uno de los factores de coste asociados al funcionamiento de las instalaciones de suministro de agua en los edificios.

Tabla 3: Precios de los factores de coste asociados al uso de las instalaciones de suministro de agua en los edificios (euros de 2013)

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

4.3. Cálculo de la rentabilidad

Una vez estimados los costes y los beneficios del proyecto, 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)⁶, teniendo en cuenta la vida útil del proyecto. Se adopta, además, en lo que respecta a la distribución temporal de los costes de inversión requeridos para 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,

⁵ 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 CO2, se obtiene el CO2 equivalente de un Kwh de energía eléctrica.

⁶ $VAN = (B_1 - C_1) + B_2/(1+r) + \dots + B_t/(1+r)^{t-1} + \dots + B_{20}/(1+r)^{19}$ 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, $1/(1+r)^{t-1}$ 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.

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 una tasa de descuento del 5% para el análisis financiero y 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)⁷. 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 elevan los resultados al total de los edificios de la ciudad consolidada de Zaragoza para tener una aproximación al 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.

5. Resultados

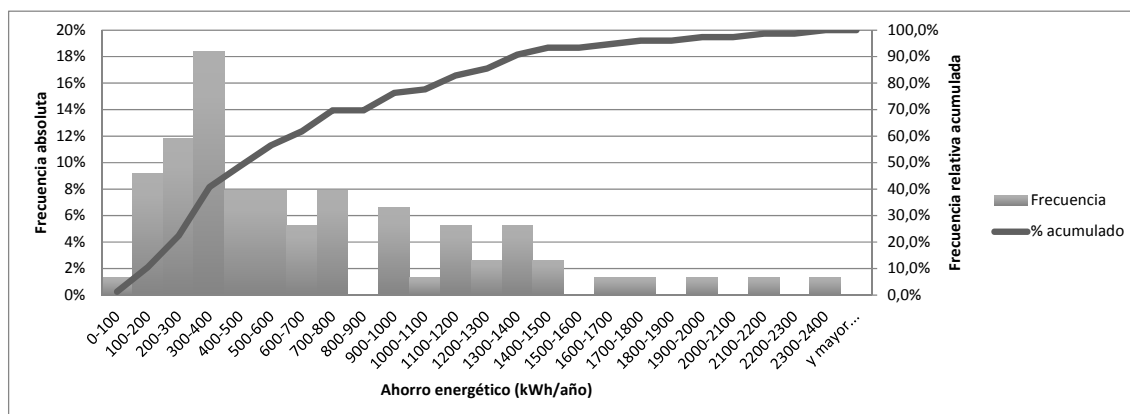
5.1. Ahorro de energía

Existen posibilidades de ahorro de energía a través de la reforma de las instalaciones de suministro de agua en el 50,3% de los edificios de la muestra. La media de ahorro energético en esos 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. Por tanto, en la Figura 2 se muestra la distribución de los edificios según el ahorro energético anual obtenido. En la mayoría se obtienen ahorros comprendidos entre los 100 y

⁷ 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.

los 600 kWh/año, aunque hay casos en los que llegan a superarse los 1000 e incluso los 2000 kWh/año.

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



La Tabla 4 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. El menor ahorro energético obtenido en los de Tipo 1 es debido a que hay un menor número de viviendas y, en muchos casos, a que las alturas que pueden suministrarse con la presión de la red general superan a la altura del edificio, por lo que una parte de esa presión no es aprovechada.

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 primer tipo (15,2%) respecto del segundo (10,6%), como atestigua la Figura 1.6, combinando con el menor ahorro unitario del primero respecto del segundo. El elevado porcentaje de edificios de tipo 5 (24,5%) justifica la considerable diferencia con los edificios de tipo 4 en el ahorro obtenido.

Tabla 4: Ahorro de energía inducido por la reforma de las instalaciones de suministro de agua en los edificios

Tipo de	Muestra	Ciudad de Zaragoza
---------	---------	--------------------

reforma de los edificios	kWh/edificio/año*	kWh/año	TEP/año
Tipo 1	400,9 (228,8)	1.166.954,5	100,3
Tipo 4	768,0 (627,9)	1.618.823,7	139,2
Tipo 5	846,2 (516,3)	3.943.230,9	339,1
Total	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 por edificio del VAN de la reforma y su TIR, por tipo de reforma y para el conjunto de la sub-muestra para la que hay posibilidades de ahorro de energía, se presentan en la Tabla 5. El VAN financiero es negativo en los edificios clasificados como de tipo 4 y 5 (el 69,7% de los edificios en que se obtiene un ahorro energético) y positivo en los edificios de tipo 1. Se obtiene un VAN medio de -2.297,4 euros por edificio y una TIR media del 28,7%. 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). Las desviaciones típicas obtenidas indican la enorme dispersión de los datos y la escasa representatividad de los valores medios.

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

	Análisis financiero*	Análisis económico*

Tipo 1	VAN por edificio (euros 2013)	6.819,6 (777,2)	6.374,9 (638,9)
	TIR (%)	114 (53)	130 (60)
Tipo 4	VAN por edificio (euros 2013)	-6.204,2 (4.884,9)	-4.529,4 (3.578,8)
	TIR (%)	-9,1 (2,7)	-9,2 (2,7)
Tipo 5	VAN por edificio (euros 2013)	-6.275,3 (4.218,7)	-4.559,4 (3.131,5)
	TIR (%)	-8,3 (2,9)	-8,3 (2,9)
Total	VAN por edificio (euros 2013)	-2.297,4 (7.074,3)	-1.244,0 (5.737,1)
	TIR (%)	28,7 (63,6)	33,3 (71,7)

*Desviación típica entre paréntesis

La función de distribución de la rentabilidad puede verse en las Figuras 3 y 4. Los resultados más favorables, tanto del VAN por edificio 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.

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

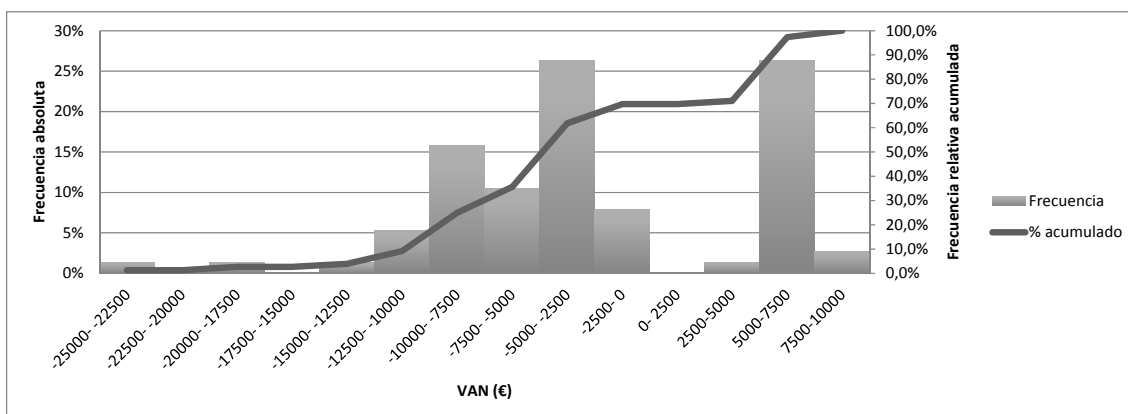
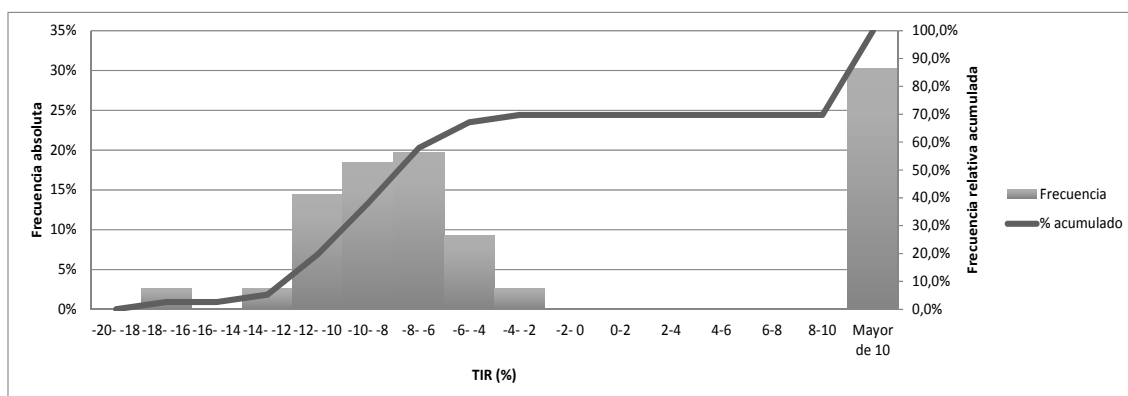


Figura 4: Función de distribución de la TIR financiera de la reforma



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 VAN de las reformas según el valor de la tasa de descuento (euros de 2013)

	Análisis financiero					Análisis económico				
	2%	3%	4%	4,5%	5%	2%	3%	4%	4,5%	5%
Tipo 1	8.807,7	8.059,6	7.401,1	7.101,4	6.819,6	7.255,1	6.649,7	6.116,9	5.874,5	5.646,5
Tipo 4	-5.648,4	-5.858,0	-6.042,0	-6.125,6	-6.204,2	-4.299,3	-4.457,7	-4.596,8	-4.660,0	-4.719,4
Tipo 5	-5.663,0	-5.893,9	-6.096,6	-6.188,8	-6.275,3	-4.305,8	-4.480,3	-4.633,6	-4.703,2	-4.768,7
Total	-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
Tipo 1	19.902.892,0	18.607.119,8
Tipo 4	-13.092.433,9	-9.558.768,3
Tipo 5	-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 por vivienda se recogen en la Tabla 2, ahora netos de impuestos. La inversión para cada edificio será el resultado de multiplicar estos costes, 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.

Los resultados no difieren sustancialmente de los vistos para el análisis financiero, ya que la inversión resulta rentable para los mismos edificios. En la segunda columna de la Tabla 5 se muestran los valores medios del VAN y la TIR para los edificios de cada tipo. 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 de nuevo 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 por edificio y de la TIR, no sólo dan muestra de la disparidad de los resultados, sino también del hecho de que sólo los edificios de Tipo 1 ofrecen una rentabilidad positiva (véase también la Tabla 5).

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

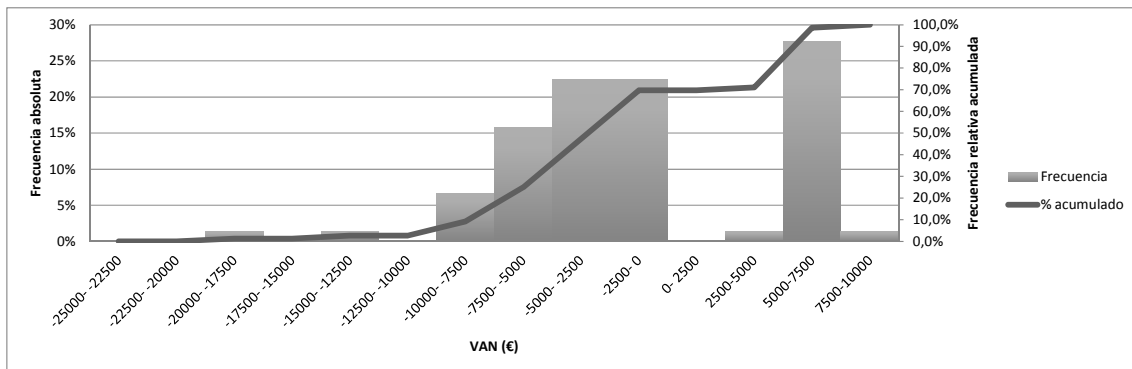
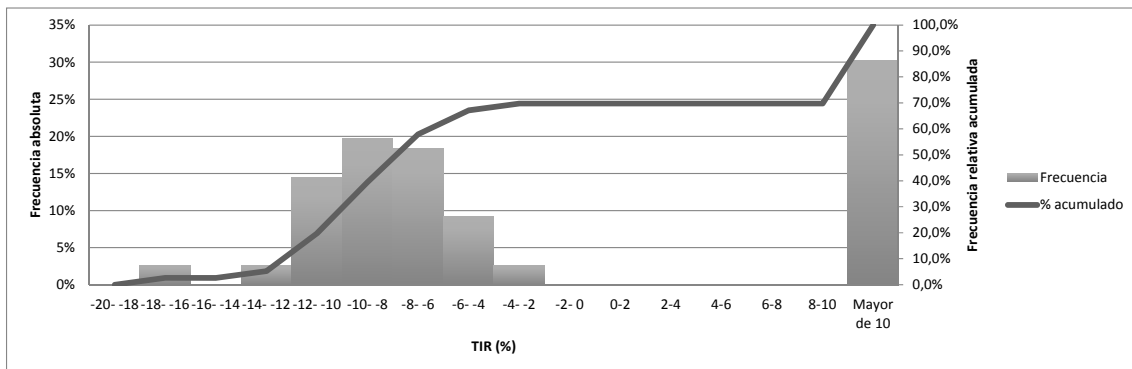


Figura 6: Función de distribución de la TIR económica de la reforma



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. Se aprecia cómo las ganancias son casi idénticas en la perspectiva privada que en la social, en tanto que las pérdidas son significativamente menores desde la perspectiva social.

6. Conclusiones

Con la finalidad de estimar el potencial de reducción de consumo eléctrico mediante la reforma de las instalaciones de suministro de agua de los edificios residenciales y las rentabilidades financiera y económica derivadas, se ha evaluado una muestra de 151 edificios representativa de la ciudad de Zaragoza. La principal aportación del trabajo es la elaboración de una metodología de análisis y la obtención de resultados sobre esta parte de la red de suministro de agua, sobre la que no hay investigaciones previas.

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 entre 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 TIR del 114% para el análisis financiero y del 130% 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 TIR negativas –que se mueven entre el -8,3% y el -9,2%– para los edificios en que requieren de 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 se hace evidente la necesidad de una intervención pública, al menos, destinada a informar a las comunidades de propietarios sobre el número de plantas que podrían suministrarse directamente de la red urbana. En cambio, las intervenciones dirigidas a incentivar económicamente este tipo de reformas no parecen pertinentes, puesto que la rentabilidad privada de acometerlas es positiva y superior a la rentabilidad social. No obstante, puede ser preciso algún tipo de apoyo para el acceso a la financiación cuando los propietarios pertenezcan a estratos de población de bajo nivel de renta.

Los resultados obtenidos 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 mediante la reforma de las instalaciones es, en muchos casos, una alternativa altamente gravosa, no compensándose de ninguna forma la inversión inicial, al margen de que se adopte una perspectiva privada o social. En consecuencia, es clave diseñar correctamente estas instalaciones en el momento de la construcción del edificio, tomando en consideración la presión de red, para evitar que se construyan instalaciones energéticamente ineficientes que después van a persistir en el tiempo debido a los elevados costes de su reforma. Al respecto parece necesaria la intervención pública no solo suministrando información sobre esa variable sino introduciendo estándares de obligado cumplimiento en la normativa sobre edificación, lo cual debería ir precedido, en su caso, de las inversiones requeridas para garantizar la estabilidad de la presión en la red de suministro.

Bibliografía

Ayuntamiento de Zaragoza (2013). *Premio Capital Verde Europea 2016. Candidatura de la M.I. Ciudad de Zaragoza*. Agencia de medio ambiente y sostenibilidad, Ayuntamiento de Zaragoza.

<http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/ZGZVERDEES/ZaragozaGreenCapital2016.pdf>

Barberán, R. y Colás, D. (2013). *La renovación de los equipamientos asociados al uso de agua en viviendas y edificios. Evaluación ambiental, financiera y económica para la ciudad de Zaragoza*. Clúster Urbano para el Uso Eficiente del Agua (ZINNAE), Zaragoza.

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

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*. Grupo de Trabajo sobre Rehabilitación patrocinado por Green Building Council España y Fundación CONAMA.

http://www.gbce.es/archivos/ckfinderfiles/Investigacion/libro_GTR_cast_postimprenta.pdf

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.

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)

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>

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>

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>

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

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

Gago, A., Hanemann, M., Labandeira, J., Ramos, A. (2012). *Climate Change, Buildings and Energy Prices*. Economics for Energy, Working Paper FA 04/2012.

<http://www.eforenergy.org/docpublicaciones/documentos-de-trabajo/WPFA04-2012.pdf>

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.

IAEST (Instituto Aragonés de Estadística) (2014). *Zaragoza. Ficha municipal*. IAEST, Estadística local. http://bonansa.aragon.es:81/iaest/fic_mun/pdf/50297.pdf

IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético) (2011). *Proyecto Sech-Spahousec. Análisis del consumo energético del sector residencial en España. Informe final*. IDAE, Secretaría General, Departamento de Planificación y Estudios.

http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf

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

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.

<http://www.eforenergy.org/docpublicaciones/documentos-de-trabajo/WP06-2011.pdf>

Liu, F., Ouedraogo, A., Manghee, S. y Danilenko, A. (2012). *A primer on energy efficiency for municipal water and wastewater utilities*. The World Bank.

<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/18060>

Rodriguez, D.J., Delgado, A., DeLaquil, P. y Sohns, A. (2013) *Thirsty energy*. Water Partnership Program. Worldbank.

<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/16536>

Uche, J. (2013). *Memoria técnica justificativa. Proyecto RENOVEA*. Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE), Área de Recursos Naturales (mimeo).