



**BINOMIO AGUA-ENERGÍA:
ENERGÍA PARA EL AGUA. ANALÍISIS DEL
CONSUMO ENERGÉTICO DEL CICLO DEL AGUA
EN ESPAÑA**

**WATER-ENERGY NEXUS:
ENERGY FOR WATER. ANALYSIS OF THE
ENERGY CONSUMPTION IN THE WATER CYCLE
IN SPAIN**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA
Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS**

**Presentado por:
D^a María Valdezate Arranz**

**Dirigido por:
Dr. Eloy García Calvo (UAH)**

Alcalá de Henares, a 12 de septiembre de 2020

ÍNDICE

RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	6
1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1. ESTUDIOS DE INTERÉS.....	8
2. OBJETIVOS.....	9
2.1. OBJETIVOS GENERALES.....	9
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
3. METODOLOGÍA.....	10
4. EL CICLO DEL AGUA.....	11
4.1. CONSUMO DE AGUA EN ESPAÑA.....	11
4.2. CONCEPTO DEL CICLO DE AGUA.....	11
4.2.1. FASE DE ABASTECIMIENTO.....	14
4.2.1.1. Proceso de captación.....	14
4.2.1.2. Proceso de potabilización.....	16
4.2.1.3. Proceso de distribución.....	17
4.2.2. FASE DE UTILIZACIÓN.....	18
4.2.2.1. Uso urbano e industrial.....	18
4.2.2.2. Uso agrícola.....	20
4.2.3. FASE DE SANEAMIENTO.....	20
4.2.3.1. Proceso de recogida.....	21
4.2.3.2. Proceso de depuración.....	22
4.2.3.3. Proceso de reutilización.....	23
4.2.3.4. Proceso de retorno.....	24
5. RESULTADOS.....	24
5.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EN LA FASE DE ABASTECIMIENTO.....	25
5.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EN LA FASE DE UTILIZACIÓN.....	26
5.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EN LA FASE DE SANEAMIENTO.....	27
5.4. ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA CONSUMIDA EN EL CICLO DEL AGUA EN ESPAÑA.....	29
6. DISCUSIÓN.....	31
6.1. SISTEMAS ACS.....	31
6.2. DEPURACIÓN.....	32

6.3. REUTILIZACIÓN.....	33
6.4. PÉRDIDAS EN LA RED	35
7. CONCLUSIONES.....	36
8. BILIOGRAFÍA.....	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cadena de valor del ciclo integral del agua.....	13
Tabla 2: Estimación del consumo de energía en el proceso de captación en España.....	16
Tabla 3: Estimación del consumo de energía en el proceso de potabilización en España.....	17
Tabla 4: Estimación del consumo de energía en el proceso de distribución en España.....	18
Tabla 5: Estimación del consumo de energía para uso urbano e industria en España.....	19
Tabla 6: Estimación del consumo de energía para uso agrícola en función de la tecnología empleada.....	20
Tabla 7: Estimación del consumo de energía en el proceso de recogida en España.....	22
Tabla 8: Estimación del consumo de energía en proceso de depuración en España.....	23
Tabla 9: Estimación del consumo de energía en proceso de reutilización en España.....	24
Tabla 10: Estimación del consumo de energía en proceso de retorno en España.....	24
Tabla 11: Estimación del consumo de energía en la fase de abastecimiento del ciclo del agua en España.....	25
Tabla 12: Estimación del consumo de energía en la fase de utilización del ciclo del agua en España.....	26
Tabla 13: Estimación del consumo de energía en la fase de saneamiento del ciclo del agua en España.....	28
Tabla 14: Estimación del consumo energético del ciclo del agua en España.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estimación del consumo de agua por uso para el año 2016.....	11
Figura 2: Etapas del Ciclo del Agua	12
Figura 3: Representación porcentual del consumo de energía por usos en la fase de abastecimiento	26

Figura 4: Representación porcentual del consumo de energía por usos en la fase de utilización27

Figura 5: Representación porcentual del consumo de energía por usos en la fase de saneamiento.....28

TABLA DE ABREVIATURAS

ACS: Agua caliente Sanitaria

CEDEX: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas

EDAR: Estación Depuradora de Aguas Residuales

ETAP: Estaciones de Tratamiento de Agua Potable

EUASA: Encuesta sobre usos del agua en el sector agrario

GEI: Gases de efecto invernadero

IDA: International Desalination Association

IDEA: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

INE: Instituto Nacional de Estadística

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

RESUMEN

La relación existente entre energía y agua puede estudiarse desde dos perspectivas distintas, con un enfoque que analice el consumo de agua necesario para la producción energética y desde el propio consumo de energía requerida para la producción y/o adecuación del agua para su distribución y posterior consumo.

Una característica fundamental de la relación de estos recursos es que ambos son limitados, hecho a tener en cuenta en el estudio de su interdependencia, y por lo que es fundamental además enfocar el análisis con una perspectiva basada en ahorro y eficiencia.

En este trabajo se presenta y analiza el caso concreto de la energía consumida en el ciclo del agua en España con el objetivo de establecer una aproximación en la identificación de las fases en las que se detecte un menor grado de eficiencia energética.

Con el objetivo de dotar al trabajo de un valor añadido, se propone la ejecución de una serie de recomendaciones, para contribuir a un mayor aprovechamiento de la energía que se emplea.

ABSTRACT

The relationship between energy and water can be studied from two different perspectives, with an approach that analyzes the water consumption necessary for energy production and from the energy consumption needed for the production and/or adaptation of water for distribution and its later consumption.

A fundamental characteristic of the relationship between these resources is that both are limited, a fact that must be taken into account when studying their interdependence.

This work presents and analyzes the specific case of the energy consumed in the water cycle in Spain with the aim of establishing an approximation in the identification of the phases in which a lower degree of energy efficiency is detected. In order to provide the work with an added value, it is proposed the implementation of a series of recommendations, to contribute to a better use of the energy used.

1. INTRODUCCIÓN

Agua y Energía son dos recursos íntimamente ligados. Es imprescindible la utilización de agua para la generación de energía y también es básico el uso de energía en todas las etapas del ciclo del agua. Estamos, por tanto, ante una necesidad recíproca de ambos recursos.

Desde la antigüedad, se ha utilizado el agua como fuente de producción energética y a lo largo de la historia hemos sido testigos del nacimiento de diferentes dispositivos hidráulicos que permitían un aprovechamiento de dicha energía, estableciéndose así los fundamentos de la producción hidroeléctrica.(Cabrera et al., 2010). Es una producción que en las últimas décadas se ha explotado notablemente aunque hoy en día podría decirse que dicha producción ha tocado techo en los países desarrollados ya que las grandes instalaciones ya están realizadas, las experiencias negativas no escasean y son muchas las alteraciones del medio natural que lleva asociadas.(Cabrera et al., 2010).

Desde hace unos años cuando se empieza a tener en cuenta la relación inversa: energía para el agua, ya que para garantizar un suministro de agua potable de calidad a la población es necesario un consumo de energía.(Hardy & Garrido, 2010) A esta ecuación se deben de sumar dos factores claves: el agua es un recurso limitado (tan solo un 3% del agua de la tierra es dulce, del cual solo se encuentra en estado líquido un 1%), y el consumo de energía lleva asociado la emisión de gases de efecto invernadero (en adelante GEI), principales causantes del calentamiento global. Es, por tanto, necesario trabajar en analizar y establecer una relación agua-energía eficiente.

El escenario que presenta España frente al cambio climático es uno de los peores a escala global. Esto es así, puesto que el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), prevé en su último informe de 2015 que el incremento medio de la temperatura para finales del siglo XXI será de entre 3,3°C y 6,9°C.(IPCC, 2015) En el caso de las precipitaciones medias se calcula que para esta misma fecha la reducción sea de entre el 12% y el 24%. Ante un futuro tan poco halagüeño cobra mucha más importancia la necesidad una gestión óptima y eficiente del ciclo integral del agua. Otro factor a tener en cuenta es que España es uno de los países

de Europa con mayor dependencia energética exterior. En 2017 , según en Instituto Nacional de Estadística(en adelante INE) dicha dependencia alcanzó un 74% del total, dos puntos y medio por encima que el año anterior y del que solo 36.3 % de la energía procedía de fuentes renovables (INE, 2019).

En los últimos años se han realizado diferentes estudios a nivel nacional e internacional basados en el binomio agua- energía, y que han de ser tenidos en cuenta en el desarrollo de este trabajo. Dichos estudios presentan resultados que vienen condicionados por la situación geográfica y socioeconómica, así como por la normativa de aplicación de cada caso. Dichos estudios, que se exponen brevemente en el siguiente apartado, presentan resultados que vienen condicionados por la situación geográfica y socioeconómica, así como por la normativa de aplicación de cada caso:

1.1. Estudios de interés

- *California's water-energy relationship* (CEC 2005). Se trata del estudio que dio comienzo al análisis de energía para el agua, razón por la que es tenido en cuenta en el presente trabajo. Fue desarrollado en 2005 por el Departamento e Energía en el Estado de California. En este estudio se lleva a cabo un análisis del ciclo del agua en cada una de sus etapas en el estado de California, teniendo en cuenta el consumo energético en estas y la intensidad energética requerida.
- *Balances energéticos del ciclo del agua y experiencias de reutilización planificada en municipios de la Costa Brava* (Sala, 2007) Este estudio supone la extensión de la investigación llevada a cabo en California y extrapolada a nuestro país. Su principal premisa se basa en “*la evaluación del consumo energético entre las diferentes etapas del ciclo del agua en diferentes municipios de la Costa Brava, así como posteriormente abordar el concepto de sostenibilidad con el hecho de favorecer la reutilización del agua, que supone un aumento en el consumo energético*” (Sala, 2007).
- *Agua y energía en España. Un reto complejo y fascinante* (Cabrera et al., 2010)

Se trata de un artículo publicado por parte de la Universidad de Valencia en el que se pretende analizar la situación y antecedentes del binomio agua-

energía en nuestro país, identificando los principales retos a los que se enfrenta.

- *Análisis y evaluación de las relaciones entre el agua y la energía en España* (Hardy & Garrido, 2010) En este informe se estudia de una manera estimada volumen de agua utilizada y/o consumida en España, en el que se destaca “los distintos sectores de actividad, para cada fuente energética, y a la inversa, presentar, con la ayuda de datos y estudios científicos, conclusiones sobre el papel de la energía para lograr un uso más sostenible del agua”.
- *Huella energética en el ciclo integral del agua en la comunidad de Madrid* (Ferrer Polo et al., 2017). Este estudio, llevado a cabo por la Fundación Canal Isabel II, pretende analizar la relación agua y energía en las instalaciones dependientes del organismo con el objetivo de realizar una aproximación de la huella energética del ciclo de agua .
- *La gestión del agua en España. Análisis y retos del ciclo urbano del agua* (Fernández Landa et al., 2018). Este proyecto tiene como objetivo principal realizar un diagnóstico de la situación del ciclo urbano del agua en España con el objetivo de plantear nuevas estrategias y explorar alternativas regulatorias.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

La discusión del presente trabajo de investigación es establecer de manera sistemática el consumo de energía en las diferentes etapas del ciclo del agua. En particular, el estudio pretende identificar aquellos procesos hídricos que son menos eficientes a nivel energético.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una revisión bibliográfica de la información disponible acerca del consumo energético del ciclo del agua en España. El presente estudio considera conveniente examinar los principales estudios referentes los balances hídricos, procesos implicados y diferentes aprovechamientos del agua.

- Identificación de aquellas etapas que presentan un mayor consumo de energía. La investigación se ha llevado a cabo a partir de las estimaciones expuestas en los estudios pertinentemente descritos en el desarrollo del trabajo
- Analizar los valores de consumo energético medio en cada una de las fases implicadas en el ciclo integral el agua en España. Esta premisa se llevará a cabo a partir de los datos estadísticos oficiales de consumo de agua del año 2016 proporcionados por el INE. El objeto de estudio se ha centrado en el año específico 2016 por tratarse del periodo temporal del que se dispone los últimos datos oficiales completos.
- Aproximación de los niveles de consumo energético mediante la identificación y el análisis previamente realizados. Una vez realizada la evaluación energética se llevará a cabo una aplicación de los datos a los consumos hídricos nacionales.
- Por último, a partir de las anteriores evaluaciones el estudio pretende el planteamiento de posibles recomendaciones para una mejora de la eficiencia energética del ciclo integral del agua

3. METODOLOGÍA

La metodología que se pretende exponer a continuación mantiene un estilo distintivo por tratarse de un estudio de enfoque bibliográfico.

Con el propósito de acometer de una manera explícita la singularidad de este trabajo se determina como criterio central la división del ciclo del agua en tres fases: el abastecimiento, la utilización y, por último, el saneamiento. Consecuentemente, se lleva a término la identificación, análisis estimación del consumo energético de las anteriores etapas. Para ello, se ha realizado la subdivisión de estas fases en los pertinentes procesos descritos que han facilitado dicha identificación y examen del ciclo. Para llevar a cabo esta encomienda se ha utilizado la subdivisión en procesos generalmente utilizada por parte de las entidades explotadoras y gestoras cuando se desea conocer el consumo energético en cada una de las fases del ciclo integral del agua. Sin embargo, cabe destacar, como el presente estudio ha elaborado algunas variaciones con el objetivo único de facilitar la concreción y comprensión de los resultados.

Consecuentemente, con el objetivo de realizar una revisión teórica apropiada se ha llevado a cabo una evaluación de la literatura disponible sobre la energía asociada al ciclo integral del agua en España. Los puntos para el desarrollo de esta tarea han sido los siguientes:

- a. Búsqueda y revisión de la bibliografía disponible, principalmente libros, artículos e informes, mediante los motores de búsqueda bibliográfica (Google Scholar, PubMed, etc.).
- b. Consulta de diferentes organismos oficiales para la obtención de datos reales y veraces (INE, IDEA, CEDEX, etc.).

4. EL CICLO DEL AGUA

4.1. CONSUMO DE AGUA EN ESPAÑA

El consumo de agua se puede dividir en tres grandes grupos de consumidores: El sector agrícola, sector industrial y el sector urbano. Bianualmente el INE publica la encuesta sobre consumo de agua, que se representa el a continuación (Figura1).

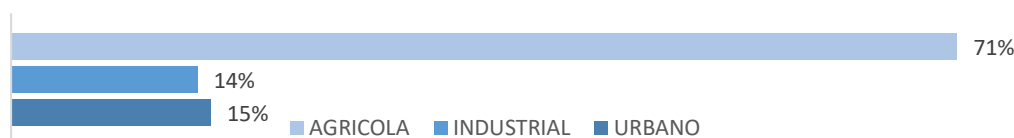


Figura 1: Estimación del consumo de agua por uso para el año 2016. Fuente: INE 2016

El sector agrícola supuso un 71% del total del consumo de agua en 2016 en nuestro país, el sector industrial, 2016 consumió un 18% del volumen total del agua y el sector urbano, que en este mismo año consumió un 15% del total de agua (INE, 2016b). Estos consumos son los que se van a tener en cuenta a la hora de realizar las estimaciones de consumo energético de cada una de las fases del ciclo del agua.

4.2. CONCEPTO DEL CICLO DEL AGUA

El hombre ha desarrollado una serie de infraestructuras para el procesamiento y distribución del agua que permiten el aprovechamiento y posterior retorno al medio natural de la misma. Esto es a grandes rasgos lo que podríamos denominar el ciclo integral del agua.

En primer lugar, una vez expuesto el concepto del ciclo del agua, la presente investigación precisa de una división del mismo en tres fases: abastecimiento, utilización o gestión de la demanda y saneamiento. Posteriormente, en segundo lugar, estas fases serán divididas en sus pertinentes procesos que se analizarán de una forma más detallada en los siguientes epígrafes (Figura 2).



Figura 2: Etapas del Ciclo del Agua. Fuente: elaboración propia modificado de Aigües de Barcelona.

- La **etapa de abastecimiento** abarca los procesos desde la captación de agua hasta que llega a las acometidas y contadores de los edificios. Esta etapa comienza con el proceso de **captación** (1) del agua de diferentes fuentes: ríos, pozos, embalses, o el mar. Esta agua es sometida a un tratamiento de **potabilización** (2) en las Estaciones de Tratamiento de Agua Potable (en adelante ETAP), cumpliendo así los requisitos necesarios para su consumo. Una vez que el agua ha sido potabilizada, es **almacenada** (3) en depósitos que permiten garantizar el abastecimiento, desde donde el agua es **distribuida** (4) a través de una red de tuberías.
- La **etapa de utilización** se trata del proceso de **consumo** (5) por parte de la población indistintamente del uso dado: urbano, agrícola o industrial.
- La **etapa de saneamiento** se encarga de que el agua que sale de las casas e industrias ya utilizada se devuelve a su cauce natural, respetando el medio ambiente, o, pueda ser reutilizada, aprovechando para usos distintos al consumo humano. Esta etapa incluye los procesos que van desde el alcantarillado al retorno (Ferrer Polo et al., 2017). Para un mejor entendimiento de la cuestión, cabe mencionar que el agua de uso agrícola

no requiere de la etapa de saneamiento. Una vez utilizado las aguas urbanas e industriales se convierten en aguas residuales. A partir de este punto comienzan una serie de procesos para su saneamiento correspondiente. En primer lugar, el agua es recogida en redes de **alcantarillado** (6) junto con las aguas pluviales que son conducidas hacia las Estación Depuradora de Aguas Residuales (en adelante EDAR). En este punto comienza su proceso de **depuración** (7). El fin de este proceso es la eliminación de las impurezas que el agua puede presentar tras ser utilizada mediante diferentes tratamientos. Esta depuración permite alcanzar las condiciones adecuadas para que el agua pueda ser **reutilizada** (8) en usos secundarios, como riego de jardines, limpieza de calles o extinción de incendios. También es útil para para disminuir los diferentes impactos ambientales a la hora de ser **retornada** (9) al medio natural.

La totalidad del consumo de agua en España supone un elevado coste energético dado el gran número de procesos y acciones implicadas en la explotación del ciclo del agua. Con el objetivo de clarificar esta cuestión se exponen la siguiente tabla:

Tabla 1: Cadena de valor del ciclo del agua. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Fernández Landa et al. 2018

FASES	PROCESOS	ACCIONES
ABASTECIMINETO	<ul style="list-style-type: none"> • Captación (1) • Potabilización (2) • Almacenamiento (3) • Distribución (4) 	<ul style="list-style-type: none"> • Explotación de presas y embalses • Captaciones y conducción • Elevación y canales • Potabilización en ETAP y EDAM
UTILIZACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo (5) 	<ul style="list-style-type: none"> • Lectura de contadores y facturación
SANEAMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> • Alcantarillado (6) • Depuración (7) • Reutilización (8) • Retorno (9) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento de alcantarillado • Explotación de redes de saneamiento • Tratamientos primarios y secundarios y regeneración • Control de acometidas y vertidos

En el caso materia de análisis se va a evaluar el coste energético en cada fase, identificando así aquellas menos eficientes.

4.2.1 FASE DE ABASTECIMIENTO

Como anteriormente se ha descrito la fase de abastecimiento incluye los procesos que van desde la captación del agua hasta su distribución.

En este sentido a la hora de realizar la aproximación energética en conjunto de la fase de abastecimiento se ha de tener en cuenta varios factores como las características topográficas, la longitud y tipo de tramos de las conducciones, pudiendo así obtenerse el promedio de la intensidad energética necesaria para cada proceso de la fase de abastecimiento (Sala,L.,2007). Con el fin de realizar una estimación de la fase de abastecimiento lo más representativa posible, se va a considerar de forma individualizada cada proceso implicado en función del uso final que va a tener el agua. Por ello se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- Uso urbano que abarca el agua destinado a consumo doméstico y el destinado a consumo municipal.
- Uso agrícola que abarca el agua destinado a las actividades del sector agrario.
- Uso industrial que tiene en cuenta el agua destinado a los diferentes sectores para la obtención y transformación de materias primas.
- “Agua no registrada” lo que a efectos prácticos se va a considerar durante el estudio “pérdidas”. Este concepto a su vez se divide en pérdidas reales y pérdidas aparentes. En primer lugar, se considera pérdidas reales las fugas, roturas y averías en la red de suministro. En segundo lugar, se considera pérdidas aparentes a los errores de medida, fraudes y consumos autorizados no medidos (INE, 2016b).

4.2.1.1. Proceso de captación

En el proceso de captación se debe valorar en primera instancia la procedencia del agua. Las fuentes de agua de las que España se sirve son principalmente tres: aguas superficiales, aguas subterráneas y agua desalada. El 80 % del agua consumida proviene de las aguas superficiales, siendo la fuente mayoritaria de abastecimiento. En relación a las aguas subterráneas y la desalación suponen el

20% restante, una cifra que tiene a ser mayor por las mejoras técnicas que se han desarrollado en los últimos años, así como por el estrés hídrico que sufren las cuencas españolas (Hardy & Garrido, 2010). Cabe mencionar que la principal fuente de abastecimiento en España es el agua superficial dado el elevado número de embalses existentes con más de 1.300 en la actualidad, lo que supone un volumen de almacenamiento de 53.000 Mm³ (Martínez-Cortina, 2009). En cambio, el agua desalada en 2008 presentaba un volumen de captación de 1.830 Mm³ con el objetivo de alcanzar este año 2020 un total de 2.475Mm³ (IDA, 2009). Por lo tanto, podemos concluir que al tratarse de una técnica que se encuentra en alza, cabe esperar que en función de que se alcancen dichos objetivos, la eficiencia de la captación de este recurso sea mucho mayor. En general, el proceso de captación de agua desalada requiere un mayor gasto energético, mientras que el agua superficial el que menos gasto representa.

En su estudio Sala.L estima el rango de intensidad energética, en función de la procedencia del agua para el proceso de captación, obteniendo un resultado medio para las aguas de uso urbano, este incluye el agua consumida por los hogares y el agua destinada a fines municipal, y aguas de uso industrial de 0,24 kWh/m³ (Sala, 2007). Por su parte Corominas realiza un cálculo de la intensidad media para la captación de agua destinado a la agricultura, estimándolo en 0,21 kWh/m³ (Corominas, 2009). Por consiguiente, teniendo en cuenta estos datos y junto con valores de consumo de agua en España para el año 2016 por uso, se puede obtener la estimación del consumo energético que supone el proceso de captación (Tabla 2).

Tabla 2: Estimación del consumo de energía en proceso de captación en España.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Sala L 2007, Corominas 2009 e INE 2016

USO	DOMÉST.*	MUNI.*	AGRÍ.	INDUS.	PÉRDIDAS	TOT. PROCESO
INTENSIDAD (kWh/m ³)	0,24	0,24	0,21	0,24	0,24	-
AGUA (Hm ³)	2.930	270	14.948	2.984	1.090	22.222 Hm ³
TOTAL ENERGÍA (GWh)	703,20	64,80	3.139,08	716,16	261,6	4.884,84 GWh

*La suma del uso doméstico y municipal da como resultado el agua destinada a uso urbano.

4.2.1.2. Proceso de potabilización

El proceso de potabilización tiene como fin convertir el agua captada en agua potable, dicho proceso se lleva a cabo en las ETAP con el fin de garantizar las condiciones de calidad óptimas para su consumo.

En las ETAP se realizan los tratamientos necesarios que permitan eliminar las sustancias no deseadas de las aguas. Se trata de procesos carácter fisicoquímicos que se aplican con diferentes técnicas que permiten alcanzar la calidad deseada. Estos tratamientos varían en función de la calidad del agua tratar, aquellas aguas procedentes de fuentes menos contaminadas necesitaran un tratamiento menor, y del destino. Este proceso solo se realiza sobre el agua destinada a consumo humano, sin contabilizar el uso municipal y el uso agrícola, es decir, el agua de uso doméstico y el agua de uso industrial. En el momento de la realización de la estimación del consumo energético del proceso de potabilización habrá de tenerse en cuenta las denominadas pérdidas.

En el caso de este proceso de potabilización, el valor de intensidad media calculado por Sala.L es de 0,57 kWh/m³ (Sala, 2007), que junto con los datos de consumo

medio aportados por el INE para el año 2016 nos permite obtener la estimación del consumo energético para el proceso de potabilización (Tabla 3).

Tabla 3: Estimación del consumo de energía en proceso de potabilización en España. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Sala.L 2007 e INE 2016

USO	DOMÉST.*	MUNICI.*	AGRÍ.	INDUS.	PÉRDIDAS	TOT. PROCESO
INTENSIDAD (kWh/m³)	0,57	0	0	0,57	0,57	-
AGUA (Hm³)	2.930	0	0	2.984	1.090	7.004 Hm³
TOTAL ENERGÍA (GWh)	1.670,10	0	0	1.700,88	621,30	3.992,28GWh

**La suma del uso doméstico y municipal da como resultado el agua destinada a uso urbano.*

4.2.1.3. Proceso de distribución

Una vez que el agua cumple los requisitos de calidad exigidos para cada uno de los usos a los que va a ser destinada es almacenada y transportada a través de una compleja red de tuberías hasta sus usuarios finales.

Al igual que en el proceso de captación, la intensidad energética requerida para el uso agrícola difiere de la requerida para el uso urbano, que incluye el uso doméstico y los usos municipales, y por el uso industrial. Para el proceso de distribución se tiene en cuenta la intensidad energética media requerida para su transporte. En este contexto, el investigador Sala cuantifica esta intensidad media para el uso urbano y para el uso industrial en 0,21 kWh/m³. (Sala, 2007). La estimación realizada por Corominas en este proceso para el agua destinada a uso agrícola es menor, 0,12 kWh/m³, debido principalmente a que el agua destinada a la agricultura es distribuida en su mayoría por gravedad. Adicionalmente las alturas de bombeo que se tienen en cuenta en esta cuestión son menores que en el caso de los usos urbano e industrial. Cabe destacar que es en este proceso de distribución es en el

que se producen las pérdidas. En relación con nuestro objeto de estudio no se consideran cuantificables los datos correspondientes a las pérdidas a lo largo de la red de distribución debido a que no suponen un gasto energético asociado.

Tabla 4: Estimación del consumo de energía en el proceso de distribución en España. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Sala.L 2007, Corominas, 2009, e INE 2016

USO	DOMÉST.*	MUNICI.*	AGRÍ.	INDUS.	PÉRDIDAS	TOT. PROCESO
INTENSIDAD (kWh/m ³)	0,21	0,21	0,12	0,21	-	-
AGUA (Hm ³)	2.930	270	14.948	2.984	0	21.132 Hm ³
TOTAL ENERGÍA (GWh)	615,30	56,70	1.793,76	626,64	0	3.092,40 GWh

*La suma del uso doméstico y municipal da como resultado el agua destinada a uso urbano.

4.2.2. FASE DE UTILIZACIÓN

Una vez que termina la fase de abastecimiento comienza la fase de utilización con la llegada del agua a través de las diferentes redes de tuberías hasta los contadores de viviendas, industrias y acometidas para uso agrícola. La fase de utilización está compuesta de forma única por el proceso de consumo. El análisis que se lleva a cabo a continuación tiene como objetivo analizar el consumo energético de esta fase en función de los usos finales del agua: urbano, Industrial y agrícola.

4.2.2.1. Uso urbano e industrial

En el caso del agua para uso urbano, que supone el 14% del consumo de agua total, 2.930 Hm³ el mayor consumo energético viene asociado al Agua Caliente Sanitario (ACS) (un 40% del consumo urbano) ya que el agua caliente es un requisito indispensable de confort en el día a día.

El Real Decreto 865/2003 de 4 julio establece los criterios higiénicos-sanitarios para la prevención y control de la *Legionella* para las instalaciones de ACS, ya que considera estas, posibles focos de proliferación y dispersión de dicha bacteria. El R.D.865/2003 establece la necesidad de calentar de forma inmediata, sin almacenamiento, esta agua antes de su utilización. La temperatura establecida para los sistemas de ACS es de 60°C. La temperatura media del agua que llega a las acometidas y contadores se considera 15°C. Por tanto, debemos de conocer la energía necesaria para calentar 1m³ de agua de 15°C a 60°C. Mediante la aplicación del primer principio de la termodinámica obtenemos que intensidad energética necesaria para llevar a cabo dicho calentamiento es de 52,91 kWh/m³., pudiendo así estimarse el coste energético.

Las necesidades energéticas en la fase de utilización del agua para el uso industrial, vendrá determinado por la utilización específica en los procesos de producción acondicionamiento y conservación de cada sector industrial al que hay que sumarle el destinado al mantenimiento y seguridad de las instalaciones y el uso para el personal. Si bien en España existen datos sobre el consumo global de agua para uso industrial, un total 2.984 Hm³, no existen datos concretos del % correspondiente a el uso de ACS para todos los tipos de industria dada la complejidad de establecer los flujos y necesidades de agua caliente de cada una de las industrias. Por lo que de forma general se va a considerar los mismos % de consumo de ACS y agua fría que en el caso del uso urbano (Tabla 5).

Tabla 5: Estimación del consumo de energía para uso urbano e industria en España. Fuente: Elaboración propia

USO	VOL. TOTAL DE AGUA (Hm³)	VOL. AGUA FRÍA (Hm³)	VOL. AGUA CALIENTE (Hm³)	TOTAL ENERGÍA (GWh)
Urbano	2.930	1.758	1.172	62.010,52
Industrial	3.044	1.826	1.218	64.444,38

4.2.2.2. Uso agrícola

El agua destinada a uso agrícola representa un 71% del total de agua consumida en nuestro país. El cálculo del consumo energético que este uso supone (Tabla 6), en la fase de consumo se va a realizar en base al procedimiento aplicado por Corominas, J. (Corominas, 2009), que tiene en cuenta los siguientes supuestos:

- Desglose de las tecnologías de riego empeladas en base a los datos aportados por la Encuesta sobre usos del agua en el sector agrario (EUASA) del año 2.016 (INE, 2016a).
- Se considera como única fuente de energía la electricidad en el conjunto del regadío, si bien se trata del caso más desfavorable, es una simplificación que facilita el estudio y tiene un error asociado muy bajo (de entre el 5% y el 10%).
- Se estima la intensidad energética media representativa para cada uno de tecnologías de riego, teniendo en cuenta alturas de elevación media y presiones estándares de aspersores y goteros (Corominas, 2009).

Tabla 6: Estimación del consumo de energía para uso agrícola en función de la tecnología empelada. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE 2016 y Corominas 2009

TECNOLOGÍA	INTENSIDAD (kWh/m³)	VOL. DE AGUA (Hm³)	TOTAL ENERGÍA (GWh)
Goteo	0,18	5.890	1.060,20
Gravedad	0,00	4.963	0
Aspersión	0,24	4.096	983,04
Total	-	14.948	2.043,23

4.2.3. FASE DE SANEAMIENTO

En esta fase las aguas ya usadas, a partir de ahora consideradas aguas residuales, se recogen de manera conjunta o separada a las aguas pluviales en la red de alcantarillado para ser transportadas a las EDAR, donde el agua residual se depura mediante procesos físicos, químicos y biológicos para posteriormente ser reutilizada

o revertida al medio natural en condiciones adecuadas. Las sustancias no deseadas se extraen y concentran como fangos que han de ser tratados para eliminar la materia orgánica que contienen.

La Comunidad Económica Europea establece en su Directiva 91/271 las exigencias en materia de recogida, tratamiento y vertido de las residuales, que todos los países miembros deben de acatar. El objeto de dicha Directiva es “proteger el medio ambiente de las repercusiones negativas que producen las aguas residuales urbanas”. Tras la promulgación de dicha directiva España desarrolla el Plan Nacional Saneamiento y Depuración y el Plan de Calidad de Aguas: Saneamiento y Depuración. Adaptarse a dichas normativas se traduce en un aumento del consumo energético ya que establece como objetivo que todos los núcleos urbanos con más de 2.000 habitantes equivalentes han de disponer de un tratamiento secundario. España tenía en funcionamiento en el año 2016 un total de 3.065 plantas EDAR lo que supone que un 98% del total de la población de nuestro país este vinculado a algún de sistema depuración, donde un 90% del total de agua que entra en la red saneamiento es tratada (IDAE, 2010).

Según los datos aportados por el INE (INE, 2016b), en el año 2016 el agua tratada en la fase de saneamiento supuso 4.727 Hm³, este será el volumen de agua que se tendrá en cuenta a la hora de realizar la aproximación de consumo energético en esta fase.

El análisis de la fase de saneamiento se realiza en función los procesos que se llevan a cabo para completarla: recogida, depuración, reutilización y retorno.

4.2.3.1. Proceso de recogida

El proceso de recogida consiste en la colección de las aguas de uso urbano e industrial, una vez que han sido aprovechadas, en la red de alcantarillado y son conducidas a la EDAR para su tratamiento.

En el caso del consumo que supone la recogida de las aguas residuales, se intuye que corresponde a un consumo muy bajo, ya que se trata de una recogida por gravedad. Se estima que dicho consumo es de 0,05 kW/m³ (Hardy & Garrido, 2010).

Tabla 7: Estimación del consumo de energía en proceso de recogida en España.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Hardy & Garrido 2010 e INE 2016

<i>PROCESO</i>	<i>INTENSIDAD.</i> <i>(kWh/m³)</i>	<i>AGUA</i> <i>(Hm³)</i>	<i>TOTAL ENERGÍA</i> <i>(GWh)</i>
<i>RECOGIDA</i>	<i>0,05</i>	<i>4.727</i>	<i>236,35</i>

4.2.3.2. Proceso de depuración

El proceso de depuración se lleva a cabo en las EDAR. El consumo energético de este proceso dependerá de los tratamientos que en ella se lleven a cabo. A grandes rasgos el proceso de depuración de aguas residuales contempla las siguientes fases:

- El tratamiento primario en la que se eliminan de sólidos grandes, arenas y grasas y sólidos en suspensión (compuestos por sólidos inertes y materia orgánica).
- Los procesos que se llevan a cabo en este tratamiento primario son una decantación por gravedad que permite la sedimentación de sólidos más pesados y voluminosos, un desbaste para la eliminación de sólidos de menor tamaño, un desarenado y desengrasado mediante flotación a partir de la inyección de aire.
- En el tratamiento secundario se lleva a cabo una serie de procesos biológicos con el fin de degradar la materia orgánica mediante la intervención de diferentes microorganismos. En este tratamiento secundario se consigue un aumento del número de bacterias que permiten la eliminación de la materia orgánica nitrogenada y carbonatada. Por último, en este tratamiento secundario se realiza otra decantación, considerada decantación secundaria en la que se separa el agua tratada de los fangos formados tras el tratamiento biológico.

De forma complementaria algunas EDAR presentan un tratamiento terciario en función de los parámetros finales de calidad exigidos y la reutilización en diferentes ámbitos. Básicamente este tratamiento terciario tiene como fin la correcta

desinfección e higienización de las aguas, para posteriores usos agrícolas, municipales o medioambientales.

La intensidad energética asociada al proceso de depuración variara en función del tamaño de la EDAR, la cantidad de carga contaminante de entrada y la calidad para su reincorporación al medio natural. En España el valor medio para el conjunto de dichos procesos es de 0,67 kW/m³ (IDAE, 2010). Se trata de uno de los valores de intensidad más altos de todos los procesos analizados hasta el momento, esto se debe al gran número de agentes implicados en los tratamientos llevados a cabo.

Tabla 8: Estimación del consumo de energía en proceso de depuración en España. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IDEA 2010 e INE 2016

<i>PROCESO</i>	<i>INTENSIDAD. (kWh/m³)</i>	<i>AGUA (Hm³)</i>	<i>TOTAL ENERGÍA (GWh)</i>
<i>DEPURACIÓN</i>	0,67	4.727	3.167,09

4.2.3.3. Proceso de reutilización

Finalizado el proceso de depuración, el agua puede tener dos destinos: la reutilización o el retorno, que se abordara en el siguiente apartado. El proceso de reutilización consiste en la aplicación de un tratamiento adicional agua una vez que se considera que ya ha sido depurada. Esta agua reutilizada puede destinarse para usos urbanos que no implique en consumo por parte de la población, para uso agrícola, industrial, recreativo o medioambiental.

La intensidad energética asociado al proceso de reutilización es de 0,59kW/m³ (Hardy & Garrido, 2010), este valor solo se aplicara al 10,4% de el agua tratada en el proceso de depuración.

Tabla 9: Estimación del consumo de energía en proceso de reutilización en España. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Hardy & Garrido 2010, INE 2016

PROCESO	CONSUMO (kWh/m³)	AGUA (Hm³)	ENERGÍA (GWh)
REUTILIZACIÓN	0,59	493	290,87

4.2.3.4. Proceso de retorno

Durante el proceso de retorno, el agua no reutilizada en el proceso anterior es retornada al medio natura.

La intensidad energética estimada para este proceso es muy baja ya que mayoritariamente se realiza por gravedad. Para esta etapa Hardy & Garrido estiman una horquilla de intensidad de entre 0,- 0,11 kW/m³ por lo para la realización de la estimación de consumo de este proceso se decide utilizar un valor de 0,05km/m³. Este consumo se aplica al 89,6% de las aguas tratadas en la EDAR, es decir aquellas que no son destinadas a la reutilización.

Tabla 10: Estimación del consumo de energía en proceso de retorno en España. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Hardy & Garrido 2010 e INE 2016

PROCESO	INTENSIDAD (kWh/m³)	AGUA (Hm³)	ENERGÍA (GWh)
RETORNO	0,05	4.234	211,7

5. RESULTADOS

Durante el desarrollo del apartado 4 “El ciclo del agua” se ha ido obteniendo los valores necesarios para la realización de la estimación de consumo energético de cada una de las fases que componen el ciclo del agua. A continuación, se presenta la estimación energética obtenida en cada una de las fases, acompañado de

representación grafica porcentual de cada una de ellas para facilitar el análisis de los datos obtenidos.

5.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EN LA FASE DE ABASTECIMIENTO

Una vez analizado el consumo energético en cada uno de los procesos, es posible realizar una estimación final de la energía que supone la fase de abastecimiento del ciclo integral del agua a nivel nacional. (Tabla 11) Para simplificar la presentación de los valores se unifican en el uso urbano los datos de uso doméstico, uso municipal y pérdidas.

Tabla 11: Estimación del consumo de energía en la fase de abastecimiento del ciclo del agua en España. Fuente: Elaboración propia

USO	CAPTACIÓN (GWh)	POTABILIZACIÓN (GWh)	DISTRIBUCIÓN (GWh)
URBANO	1.029,60	2.291,4	672
AGRÍCOLA	3.139,08	0	1.793,76
INDUSTRIAL	716,16	1.700,88	626,24
TOTAL	4.884,84	3.992,28	3.092
ENERGÍA CONSUMIDA EN FASE DE ABASTECIMIENTO (GWh)			11.969,12

**El uso urbano incluye los usos domésticos e industriales además de las pérdidas*

De acuerdo con los datos expuestos en la Tabla 11, se representa en la Figura 4 el consumo de energía por procesos para la fase de abastecimiento de forma porcentual:

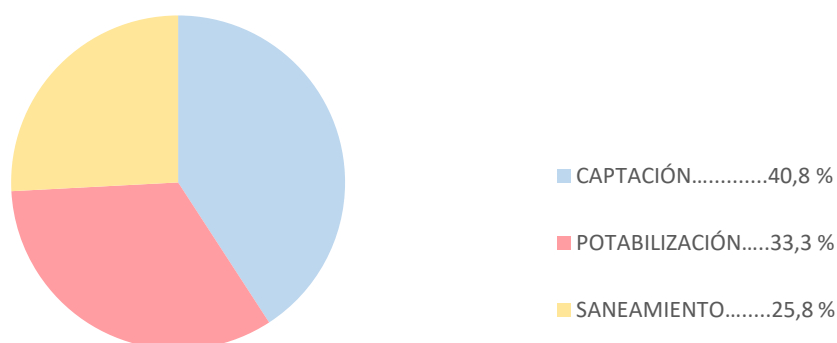


Figura 3: Representación porcentual del consumo de energía en la fase de abastecimiento.

En este gráfico se aprecia que la mayor parte de la energía consumida corresponde al proceso de captación, si bien no presenta una gran diferencia con los otros dos procesos, tanto el de potabilización y como el de saneamiento. En este caso el consumo destinado a la captación no se considera desmesurado ya que, viene condicionado principalmente por la captación de agua desalada, que supone una mayor intensidad energética en el proceso de captación.

5.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EN LA FASE DE UTILIZACIÓN

Después de estudiar el consumo energético en el proceso de consumo en función de los usos finales del agua, se puede llevar a cabo la estimación final de la energía correspondiente la fase de utilización del ciclo integral del agua a escala nacional. (Tabla 12)

Tabla 12: Estimación del consumo de energía en la fase de utilización del ciclo del agua en España. Fuente: Elaboración propia.

USO	TOTAL ENERGÍA (GWh)
URBANO	62.010,52
AGRÍCOLA	2.043,23
INDUSTRIAL	64.444,38
ENERGÍA CONSUMIDA EN FASE DE UTILIZACIÓN (GWh)	128.498,13

En la Tabla 12 se ha expuesto los consumos energéticos para la fase de utilización en función de los usos finales del agua. La Figura 4 supone la representación en tanto por ciento de la estimación de los consumos energéticos en función de su uso.

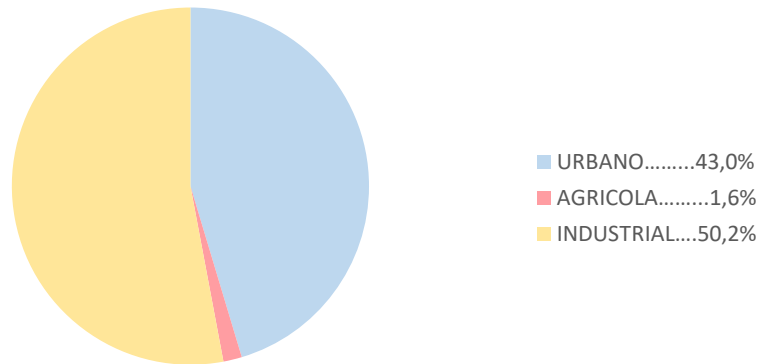


Figura 4: Representación porcentual del consumo de energía por usos en la fase de utilización

En la representación expuesta de la fase de utilización llama la atención el alto consumo que representan los usos urbanos e industriales. Este consumo tan elevado es viene derivado por la utilización de los sistemas ACS, que requieren de un alto consumo energético para el calentamiento del agua. Este trámite es imprescindible para alcanzar las condiciones sanitarias establecidas por la legislación vigente.

5.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EN LA FASE DE SANEAMIENTO

Una vez analizado el consumo energético en cada uno de los procesos implicados, es posible realizar una estimación final de la energía que supone la fase de saneamiento del ciclo integral del agua a nivel nacional (Tabla 13).

Tabla 13: Estimación del consumo de energía en la fase de saneamiento del ciclo del agua en España. Fuente: Elaboración propia.

<i>PROCESO</i>	<i>INTENSIDAD (kWh/m³)</i>	<i>AGUA (Hm³)</i>	<i>ENERGÍA (GWh)</i>
<i>RECOGIDA</i>	0,05	4.727	236,35
<i>DEPURACIÓN.</i>	0,67	4.727	3.167,09
<i>REUTILIZACIÓN</i>	0,59	493	290,87
<i>RETORNO</i>	0,05	4.234	211,7
CONSUMO TOTAL DE ENERGÍA (GWh)			3.906,01

La Tabla 13 muestra los datos obtenidos en la estimación del consumo de energía en la fase de saneamiento, cuya representación porcentual se expone en la siguiente figura:

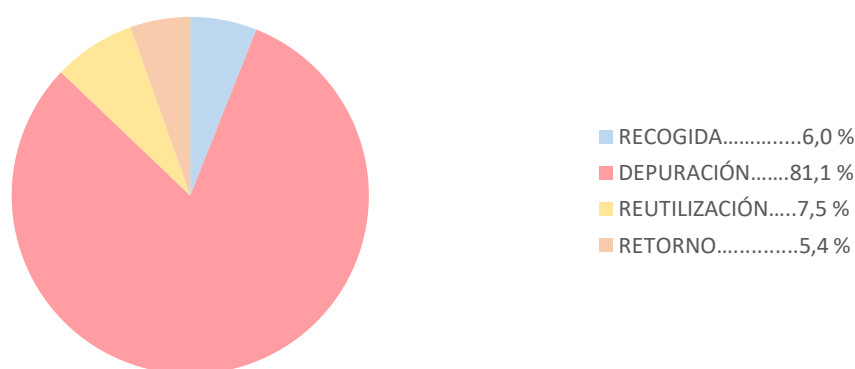


Figura 5: Representación porcentual del consumo de energía en la fase de saneamiento

En esta fase de saneamiento son dos los procesos que más llaman la atención. Por un lado, el 81,1% del consumo energético corresponde al proceso de depuración, se trata de un valor muy elevado con respecto al resto de procesos de la fase. Sin embargo, los procesos de recogida y retorno apenas suponen un consumo energético para el total de agua tratada, ya que como se ha explicado anteriormente estos procesos en su mayoría se realizan por gravedad, seguidos del 7,5% que

supone la reutilización. En este punto debe tenerse en cuenta que el proceso de reutilización solo es aplicable a un 10% del agua que ingresa en la fase de saneamiento y presenta una intensidad energética muy elevada, casi al mismo nivel que el proceso de depuración.

5.4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS EN EL CICLO DEL AGUA

En la Tabla 14 se representa de forma conjunta estas estimaciones con el fin de presentar un visión global de la estimación del consumo energético del ciclo del agua en España. El fin de esta es facilitar la identificación de aquellos procesos que suponen un mayor consumo para así poder analizarlos de forma individual en el apartado de discusión.

Tabla 14: Estimación del consumo energético del ciclo del agua en España.

Fuente: elaboración propia

FASE	PROCESO	USO	CONSUMO (GWh)	PORCENTAJE
ABASTECIMIENTO	CAPTACIÓN	Urbano	1.029,60	0,7 %
		Agrícola	3.139,08	2,2 %
		Industrial	716,16	0,5 %
		TOTAL	4.884,84	3,4 %
	POTABILIZACIÓN	Urbano	2.291,40	1,6 %
		Agrícola	0	0,0%
		Industrial	1.700,88	1,2 %
		TOTAL	3.992,28	2,8 %
	DISTRIBUCIÓN	Urbano	672	0,5 %
		Agrícola	1.793,76	1,2 %
		Industrial	626,64	0,4 %
		TOTAL	3.092,40	2,1 %
TOTAL FASE			11.969,12	8,3 %
UTILIZACIÓN	-	Urbano	62.010,52	43,0 %
		Industrial	64.444	44,6 %
		Agrícola	2,043,23	1,4 %
	TOTAL FASE			128.498,13
SANEAMIENTO	RECOGIDA	-	236,35	0,2 %
	DEPURACIÓN	-	3.167,09	2,2 %
	REUTILIZACIÓN	-	290,87	0,2 %
	RETORNO	-	211,70	0,1 %
	TOTAL FASE			3.906,01
TOTAL CICLO			144.373,36	100 %

Una vez expuestos los resultados podemos identificar que son 4 los factores que más consumo suponen en el ciclo del agua, en orden de importancia:

1. Sistemas de ACS
2. Depuración
3. Pérdidas en la red
4. Reutilización

Si bien es cierto que algunos de ellos no presentan un elevado consumo con respecto al resto, como es el caso de las pérdidas en la red o la reutilización, la optimización de estos puede suponer una mejora en la eficacia del ciclo del agua. Se realizará por lo tanto una discusión individual de cada uno de estos factores.

6. DISCUSIÓN

A partir de los análisis realizados en el apartado anterior se han considerado la deducción de cuatro puntos de discusión con la intención de plantear un debate y establecer, en la medida de lo posible, recomendaciones y medidas de mejora.

6.1. SISTEMAS DE ACS

El elevado consumo que supone la fase de utilización (Tabla 14), que corresponde al 89% del consumo energético global del ciclo integral del agua, es mayoritariamente achacable al elevado nivel de consumo que viene asociado a los sistemas ACS (Tabla 6). Por consiguiente, el presente estudio ha determinado como dos las vías con las que se alcanza un mejor aprovechamiento energético en la fase de utilización: el primero, depende de los usuarios y, el segundo, de las mejoras técnicas que permitirán una mayor eficiencia de los sistemas.

En primera instancia en relación a las acciones de los usuarios, el presente estudio contempla que es aconsejable una conveniente educación ambiental para concienciar de la problemática que supone el elevado consumo de energía en la fase de utilización. Por lo general, las campañas de concienciación ambiental deberían de llevarse a cabo por las administraciones públicas competentes que, en ocasiones, establecen colaboraciones con entidades privadas como las grandes eléctricas.

En segundo lugar, un punto clave para los usuarios es disponer de la posibilidad de acceder a equipos de alto rendimiento con una mayor eficiencia energética. Así como, la instalación de termostatos y temporizadores que permitan controlar de forma estricta el consumo y la utilización de reductores de caudal que posibilitan gastar menos agua pero que no significa una disminución de la presión.

Por consiguiente, podemos afirmar que desde la perspectiva de los sistemas de ACS existe a día de hoy una gran variedad de soluciones aportadas por las empresas de este sector. Entre ellas, las iniciativas que más fuerza han adquirido en los últimos años son la utilización de energías renovables para la producción de calor, como la energía solar y la energía geotérmica. Además, cabe mencionar que son muchos los casos en los que estas instalaciones renovables pueden cubrir el 100% del consumo asociado a los sistemas de ACS.

Adicionalmente, otra forma de reducir el consumo es mediante la utilización de sistemas de acumulación. De este modo, el agua se calienta en periodos más largos de tiempo lo que supone una menor potencia. Asimismo, otra de las ventajas es que en estas instalaciones acumulativas el caudal no variaría en función del uso que se haga del agua. Sin embargo, se debe de mencionar que en estos sistemas es significativo un correcto aislamiento de las tuberías y de los acumuladores para así evitar pérdidas y se desperdicie el aprovechamiento.

6.2. DEPURACIÓN

La fase de depuración supone un 2,2 % del consumo total del ciclo integral del agua, sin embargo, al entrar en juego tantos procesos y factores en su desarrollo resulta ser la fase que mayor número de mejoras puede presentar. Por consiguiente, para una posible optimización del proceso se han propuesto un listado con las siguientes mejoras:

- Los sistemas de control de la aireación mediante el control de las variables implicadas en este proceso pueden suponer un ahorro energético de hasta el 20%. Dichos sistemas basan su funcionamiento en sensores que realizan la medición en continuo de la concentración de amonio y nitrato, de manera que se ajusta automáticamente el proceso de aireación a dichas concentraciones (IDAE, 2010).

- Otra mejora aplicable a la aireación sería la sustitución de aireadores en superficie por otros de alto rendimiento mediante la aireación por burbujas ya que estos posibilitan un mayor conocimiento y control del proceso.
- Existe la posibilidad de separar los procesos de mezcla y oxidación en los reactores activos, de manera que se permita que la aireación no este condicionada por las necesidades de la mezcla
- Mejora en la optimización de los bombeos, evitando los sobredimensionados de las bombas, posteriormente estranguladas para adaptarse al caudal entrante. Así como, la instalación de dispositivos que permitan adaptar el proceso al caudal y presión existente.
- Instalación de turbinas hidráulicas que permitan un aprovechamiento de los saltos de agua que se producen a la salida de las aguas ya depuradas.
- Se debe tener en cuenta a la hora de alcanzar una depuración eficiente el aprovechamiento del biogás producido. Mayoritariamente este biogás contiene metano CH₄ en un 60%, principal componente del gas natural, y, en menor proporción CO₂. El poder calorífico que presenta el metano es de entre 6 y 7 kWh/m³, por lo que le hace susceptible de ser un buen sustituto de los combustibles fósiles en la digestión para la generación de energía eléctrica mediante la cogeneración. En muchos casos puede llevar a estas EDAR a ser completamente autosuficientes. Esta cogeneración se lleva a cabo mediante la obtención de energía eléctrica y térmica al mismo tiempo de manera que se pudiese aplicar a la hora de secar los fangos generados en la EDAR (IDAE, 2007).

6.3. REUTILIZACIÓN

Pese a que España se encuentra a la cabeza de Europa en cuanto a el uso de agua reutilizada resulta necesario el aumento del uso de agua regenerada debido principalmente a tres razones: el aumento de la demanda de agua en las zonas urbanas, el estrés hídrico al que esta sometido nuestro país y el alto consumo que el agua destinado a la agricultura.

En relación al agua generada se asocian principalmente tres usos (Melián-Navarro & Fernández-Zamudio, 2016):

1. Usos agrícolas.

2. Usos urbanos no potables (sanitarios, riego, limpieza de calles y mantenimiento de jardines).
3. Usos medioambientales (mantenimiento de caudales ecológicos, extinción de incendios, control de intrusión marina, recarga artificial de acuíferos y mantenimiento de humedales).

En nuestro país el uso de agua regenerada viene regulado por el Real Decreto 1620/70. La legislación establece de forma concreta los usos permitidos, así como, los criterios de calidad que ha de alcanzar el agua reutilizada para cada uso. Además, esta normativa mantiene las condiciones de cesión y explotación de los derechos de explotación del agua reutilizada.

Los beneficios que presenta la utilización de agua regenerada son muchos y variados. Diversos estudios destacan los impactos positivos del agua regenerada en la agricultura que, adicionalmente, puede llegar a suponer una reducción del uso de fertilizantes minimizando el impacto en el suelo al tratarse de aguas con elevadas concentraciones de nutrientes y materia orgánica. Por otro lado, esta carga biológica mejora significativamente este agua para poder ser usada en tierras áridas donde la pluviometría es baja. Ejemplo de ello es el caso de la cuenca mediterránea garantizando así la constancia del suministro y el éxito de los cultivos. En lo respectivo a los usos de agua regenerada para el medio ambiente se presenta de gran importancia para el mantenimiento de sistemas naturales dañados. Esta afirmación se debe a que sus principales destinos son: la recarga indirecta de acuíferos mediante percolación, recarga directa de acuíferos por inyección, riego de bosque y zonas verdes, sobre todo en épocas de sequía fuerte que puede suponer la pérdida de ecosistemas o especies sensibles de gran valor medioambiental, y, por último, el mantenimiento de humedales, ecosistemas que históricamente en nuestro país han sido fuertemente castigados y que a día de hoy las administraciones y asociaciones ecologistas se esfuerzan en mantener.

Por consiguiente, resultan evidentes los beneficios tanto económicos como sociales del agua regenerada, sin embargo, presenta dos grandes inconvenientes para el aumento del uso esta agua:

- En primer lugar, por la falta de aceptación por parte de la sociedad debido a que la población sigue siendo reticente a la utilización de estas aguas, principalmente por desinformación.
- Por otro lado, el elevado coste de inversión que a corto plazo puede suponer la instalación de los sistemas de regeneración sobre todo en pequeñas instalaciones.

La solución a estos inconvenientes parte, por un lado, de la intervención de las administraciones tanto a nivel local, provincial, comunitario o nacional mediante el desarrollo de distintas campañas de conciencia y educación ambiental. Y, por otro lado, mediante la subvención de parte de parte o de la totalidad de los costes que la instalación de estos sistemas supone.

6.4. PÉRDIDAS EN LA RED

Tal y como se ha expuesto en apartados anteriores se manifiestan dos tipos de pérdidas en la red: los fallos de medición y los fraudes. Estas pérdidas aparentes supusieron en el año 2016 una cifra significativa alcanzando el 35% de las pérdidas totales.

En primer lugar, los fallos de medición están principalmente asociados con el elevado número de caudales que los contadores deben de medir. Por consiguiente, este proceso tiene asociado un error de medición especialmente cuando se habla de caudales reducidos. Sin embargo, como la mayor parte de tecnologías, los errores de medición llevan a cabo un proceso de corrección durante el cometido y cada vez son menores. En segundo lugar, los fraudes y negligencias por partes de los consumidores suponen un problema para los consumos de agua no registrados. Resulta imprescindible actuar sobre estos casos de forma inmediata a través de las administraciones competentes. Sin embargo, existen medidas que podrían mitigar la existencias de fraudes tal y como se expone a continuación (Vela et al., n.d.):

1. Campañas de información y educación a la ciudadanía.
2. Políticas de persecución de los usuarios para regular el consumo.
3. Racionamiento del volumen de agua disponible mediante la aplicación de porcentajes de uso normal.
4. Racionamiento de recursos mediante la limitación superior de consumo.

Al mismo tiempo las pérdidas reales en el año 2016 supusieron un 65% de las pérdidas totales. Estas pérdidas son consideradas principalmente fugas en la red. Con el objetivo de solventar este problema resulta necesario la inversión en infraestructuras por parte de las entidades competentes debido a que cerca del 40% de dichas infraestructuras se construyeron hace más de tres décadas. Adicionalmente, resulta necesario aplicar soluciones mediante la implantación de nuevas tecnologías. Si bien es verdad que, ante una tubería dañada la solución es la sustitución o reparación, resulta muy importante saber con la mayor brevedad posible en que punto de la red se están produciendo dichas pérdidas. Con el objetivo de solventar las pérdidas reales se proponen las siguientes posibilidades:

1. Predicción de fallos mediante la implantación de equipos capaces de monitorizar de un modo continuo el estado de la red.
2. Detección de fugas de una manera precoz mediante la instalación de sensores en las válvulas del sistema capaces de medir caudales o presión, lo que producirá variaciones en las mediciones de uno y otro punto ante cualquier rotura permitiendo una actuación rápida y minimizando todo lo posible las pérdidas por fugas.
3. Control y actuación de forma remota mediante la instalación de dispositivos capaces de manipular la red en función de las necesidades o por programación periódica.

7. CONCLUSIONES

En el presente trabajo de estudio se ha pretendido realizar una estimación global representativa y aproximada del ciclo integral del agua. A partir de los datos públicos a nivel nacional y de la revisión y análisis de la distinta bibliografía se han deducido los siguientes resultados.

En primer lugar, durante la realización del estudio se ha detectado una carencia en la disponibilidad de datos puntuales de consumo a nivel nacional. En consecuencia, ha resultado inevitable realizar aproximaciones con rangos energéticos medios aportados por diferentes y diversos estudios respectivamente referenciados.

Con el objetivo de alcanzar una eficiencia máxima del ciclo integral del agua resulta fundamental el conocimiento de cada uno de los actores implicados. Dicho esto, se

debe destacar que los datos sobre el uso industrial han resultado especialmente conflictivos. Por lo tanto, resulta imprescindible mencionar que la información estadística debe ser garantizada a nivel de veracidad y disposición por parte de los organismos oficiales competentes.

La energía se encuentra presente de forma continua en el ciclo integral del agua y supone un factor determinante para que la ciudadanía disponga de un agua de calidad.

Resulta imprescindible señalar como el factor humano es determinante a la hora de plantear un ciclo integral del agua eficiente. A pesar de que la concienciación y educación ambiental de la población cada es cada vez mayor debe reiterarse el trabajo continuo de concienciación y sensibilización de esta cuestión. Es necesario precisar que esta formación resulta una labor imprescindible por parte de las administraciones españolas.

En relación con el uso del agua regenerada resulta fundamental la potenciación de este aprovechamiento. El motivo del argumento se deriva de las predicciones sobre el cambio climático en nuestro país cuyas estimaciones de disposición de recursos hídricos en las próximas décadas se presenta especialmente inquietante.

Por otro lado, uno de los factores determinantes en el detrimento del ciclo del agua son las pérdidas en la red. Consecuentemente, el desperdicio del recurso hídrico resulta muy elevado y alarmante con una pérdida del 3,5% del total de agua en la fase de abastecimiento y un consumo del 7,5% de la energía consumida en esta fase.

Al mismo tiempo se ha puesto en evidencia a lo largo del estudio que es conveniente impulsar el aprovechamiento del biogás producido durante el proceso de depuración. El fundamento de esta aseveración es que el biogás puede llegar a cubrir las necesidades energéticas del proceso que supone más del 80% de la fase de saneamiento y casi un 3% del consumo total del ciclo integral del agua.

Por último, el consumo de energía total supone el 90% solo en la fase de utilización. Por consiguiente, se deduce una necesidad perentoria en el ahorro energético en esta fase. Una de las posibles soluciones que recomienda la investigación es la instalación de los sistemas ACS asociados al aprovechamiento de las energías renovables, fundamentalmente de la energía solar y, cuando esta no fuese suficiente, principalmente por las condiciones geográficas, de la energía geotérmica.

Para concluir, resulta conveniente mencionar que existe una gran variedad de mejoras que podrían potenciar la eficiencia energética del ciclo integral del agua. Sin embargo, estas medidas son responsabilidad tanto de la población como de las administraciones y organismos públicos y privados competentes que deberían ser permanentemente respaldados por los centros de investigación y expertos en la materia. De todos depende el poder de optimizar un recurso imprescindible para la vida: el agua.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Barea, J., de Armas, H., Caballero, M. J., Carrasco, J. F., Colmenarejo, P., García, L., Weingartner, H. L. R., Nuñez, I., Peña, R., Jegat, H., Palau, M., Modern, M., Possible, L., & OMS. (2015). Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano. *Organización Mundial de La Salud*, VII(14), 140.
- Cabrera, E., Pardo, M. Á., Cabrera Jr., E., & Cobacho, R. (2010). Agua y energía en España. Un reto complejo y fascinante. *Ingeniería Del Agua*, 17 (3), 235–246.
- Castro García, M. C. G., Serna Box, T. R., Gadea, G., & Rodríguez Elisa. (2014). Iniciativas para el aprovechamiento energético del biogás generado en EDAR. *Conama* 2014, 1–12. http://www.conama2014.conama.org/conama2014/download/files/conama2014/CT_2014/1896711838.pdf
- Corominas, J. (2009). Agua y energía en el riego, en la época de la sostenibilidad. *Ingeniería Del Agua*, 17(3). <https://doi.org/10.4995/ia.2010.2977>
- Fernández Landa, C., Calancha Marzana, F., Otero Sardina, S. F., & Esteve Bargues, J. (2018). *La gestión del agua en España . Análisis y retos del ciclo urbano del agua*. 128. www.pwr.es
- Ferrer Polo, J., Aguado García, D., Barat Baviera, R., Serralta Sevilla, J., & Lapuente Ojeda, E. (2017). Huella energética en el ciclo integral del agua en la Comunidad de Madrid. *Fundación Canal de Isabel II*, 187.
- Hardy, L., & Garrido, A. (2010). *Análisis y evaluación de las relaciones entre el agua y la energía en España*. <http://www.fundacionmbotin.org>
- IDA. (2009). *Global Water Intelligence DesalData, Country profile: Spain, contracted capacity forecast*.
- IDAE. (2007). *Biomasa: Digestores anaerobios*.
- IDAE. (2010). *Estudio de Prospectiva: Consumo Energético en el sector del agua*.
- INE. (2016a). *Encuesta sobre el uso del agua en el sector agrario (EUASA) 2016*.
- INE. (2016b). *Estadística sobre el Suministro y Saneamiento del Agua-Año 2016 (2/7)*.
- INE. (2019). *España en cifras 2019*. https://www.ine.es/prodyser/espa_cifras/2019/40/
- IPCC. (2015). *Climate Change 2014. Synthesis report*. Gian-Kasper Plattner.

<http://www.ipcc.ch>.

Martínez-Cortina, L. (2009). *Water Policy in Spain - capítulo 2: Physical and hydrological characteristics*,.

Melián-Navarro, A., & Fernández-Zamudio, M. . Á. (2016). Reutilización de agua para la agricultura y el medioambiente. *Agua y Territorio*, 8, 80–92. <https://doi.org/10.17561/at.v0i8.3298>

Sala, L. (2007). *Balances energéticos del ciclo del agua y experiencias de reutilización planificada en municipios de la Costa Brava*.

Vela, A., Martínez, F., García-Serra, J., & Pérez, R. (n.d.). Estrategias óptimas para la reducción de pérdidas de agua en sistemas de abastecimiento. *Ingeniería Del Agua*, 1(1). <https://doi.org/10.4995/ia.1994.2630>