



## **NEXO AGUA - ENERGIA: desde el nacimiento del río Llobregat hasta Manresa**

**Kelly Prieto Márquez<sup>1</sup> Ester Badia Padilla<sup>1</sup> M.Dolors Grau<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Departament d'Enginyeria Minera Industrial i TIC - EXPLORATORI  
Av. Bases de Manresa, 61 -73 08242 Manresa

[dolors.grau@upc.edu](mailto:dolors.grau@upc.edu) +34 938777228

### **Resumen:**

En este trabajo se estudia el nexo agua-energía en el tramo del río Llobregat desde Castellar de N'hug hasta Manresa. Se lleva a cabo una evaluación de la cantidad de energía necesaria en las estaciones potabilizadoras y depuradoras para adecuar el agua del río, además de determinar la cantidad de energía que generan las centrales mini-hidroeléctricas. Estos dos valores de energía finales son comparados para demostrar si se consume más energía que la que se genera, o al contrario.

Se estudia la necesidad de agua para la producción de energía a partir de las centrales mini-hidroeléctricas, es decir, aquellas centrales que tienen una potencia instalada de entre 100 i 1.000 kW ya que son las que mayoritariamente, encontramos en este tramo del río. Así mismo, también se estudia la necesidad o consumo de energía para la depuración y el acondicionamiento del agua, teniendo como base los procesos de depuración y potabilización del agua.

Para ello, se analizan las tendencias de consumos energéticos de las EDAR, así como de las ETAP y se intenta encontrar una relación entre el caudal de agua tratado y el consumo energético en ambos casos.

Además, a partir del ratio con unidades kWh/m<sup>3</sup> (cantidad de energía producida o consumida por unidad de volumen de agua), se puede conocer por un lado, si las EDAR y las ETAP tienen mayor o menor consumo por unidad de agua tratada y por otro lado, si las mini-hidroeléctricas necesitan más o menos cantidad de agua para producir energía.

**Palabras Clave:** (mínimo de 3 y máximo de 6 palabras).

Agua, Energía, ETAP, EDAR, Mini-hidroeléctricas, Río Llobregat.



### 1. Introducción:

En la actualidad, el nexo agua-energía está siendo un tema en el cual se están invirtiendo muchos esfuerzos y recursos con el fin de determinar todos los puntos de unión entre el agua y la energía.

La finalidad del presente proyecto es estudiar ampliamente el **nexo agua-energía** en dos niveles clave: **energía para el agua, agua para la energía**. En el nivel de la energía necesaria para el agua, se estudiará la necesidad de energía para procesos de depuración y purificación del agua. El segundo nivel que se abordará se basará en por un lado, en determinar la energía contenida en el agua y la posibilidad de su extracción y aprovechamiento y por otro lado se estudiará la necesidad de agua para la producción de energía eléctrica.

A partir de la Figura 1, se pueden observar varios puntos de unión entre el agua y la energía.

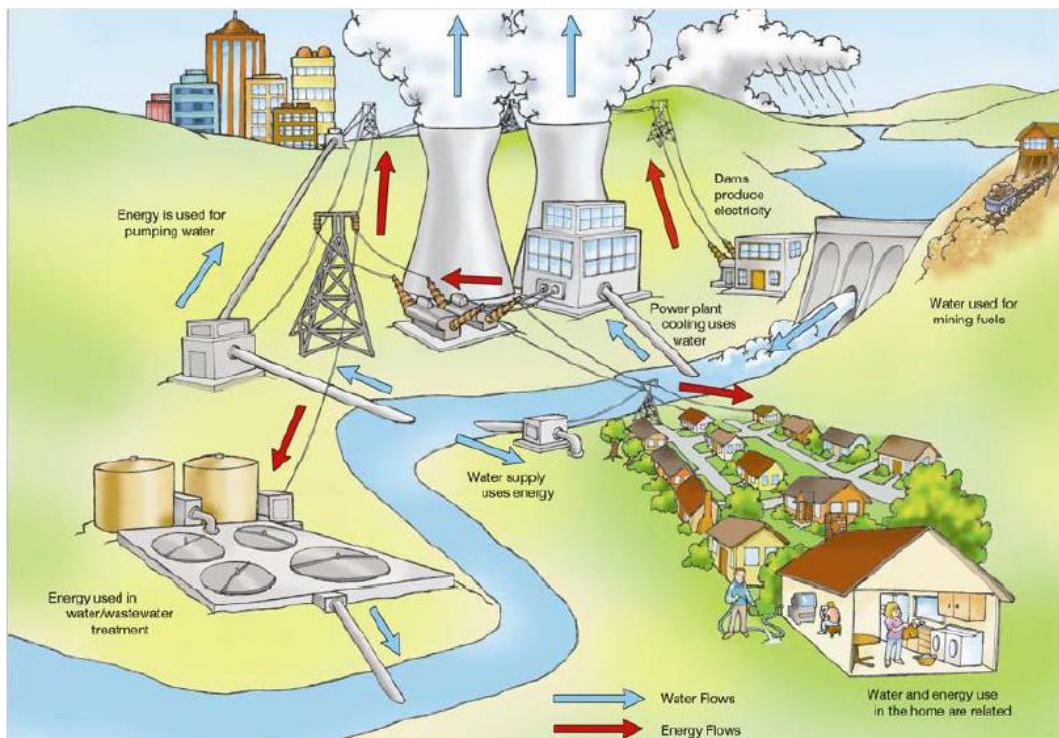


Figura 1. *Nexo agua-energía* (US.DEPARTMENT OF ENERGY)

En la figura se representan diversas necesidades de agua y energía que se indican a continuación:

1. Producción de energía a partir del agua (centrales hidroeléctricas).
2. Agua para la extracción y procesamiento de combustibles fósiles.
3. Agua para obtener vapor en las centrales termoeléctricas.
4. Agua para la refrigeración de las centrales termoeléctricas.
5. Energía para el tratamiento de agua residual.
6. Energía para el tratamiento de agua potable.
7. Energía para el bombeo del agua.

Necesidad de agua para la energía

Necesidad de energía para el agua



A parte de los temas principales mencionados anteriormente, el presente estudio también tendrá en cuenta la problemática de los ecosistemas a consecuencia de la utilización del agua para la producción de energía.

El **caso de estudio** se basa en la evaluación del nexo agua-energía en la cuenca del río Llobregat, concretamente en el tramo que transcurre des de Castellar de N'hug hasta Manresa. Se pretende evaluar el nexo agua-energía mediante el recuento de las estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP) y estaciones depuradoras de agua residual (EDAR) que se encuentran en dicho tramo de río y su comparación posterior con el total de centrales mini-hidroeléctricas instaladas en el mismo tramo. Este recuento con su posterior comparación permitirá conocer la cantidad de energía generada por la totalidad de estaciones mini-hidroeléctricas, y por otro lado, la energía consumida por las estaciones de tratamiento y depuración del agua para su adecuación, en el tramo estudiado.

Para poder llevar a cabo la comparativa entre energía consumida y generada, es necesario tener información de todas las instalaciones potabilizadoras, depuradoras y mini-hidroeléctricas instaladas en el tramo estudiado. Una vez determinadas, debemos averiguar los consumos energéticos de cada una de las ETAP y EDAR existentes, así como conseguir los datos de generación de energía eléctrica de la totalidad de estaciones mini-hidroeléctricas.

Con los datos presentados en el caso de estudio se pretende dar a conocer el nexo agua-energía para una zona con gran aprovechamiento energético del agua (El río Llobregat), con la finalidad de poner de manifiesto la estrecha relación entre el agua y la energía.

Los objetivos del trabajo presentado son los siguientes:

- **Objetivos principales:**
  - Estudiar diversos aspectos sobre el nexo agua-energía.
  - Demostrar si, en el tramo del Río Llobregat estudiado, se consume más energía de la que se genera o al contrario.
- **Objetivos específicos:**
  - Evaluar la energía necesaria para la obtención del agua potable en las ETAP.
  - Evaluar la energía necesaria para la depuración de agua residual en las EDAR.
  - Evaluar la energía producida en la totalidad de centrales mini-hidroeléctricas.

## **2. Metodología: Caso de Estudio**

La zona dónde se ha realizado el estudio se sitúa en la cuenca del río Llobregat (Figura 2), concretamente, en el tramo que transcurre des de Castellar de N'hug hasta Manresa, tal y cómo habíamos puntualizado anteriormente.

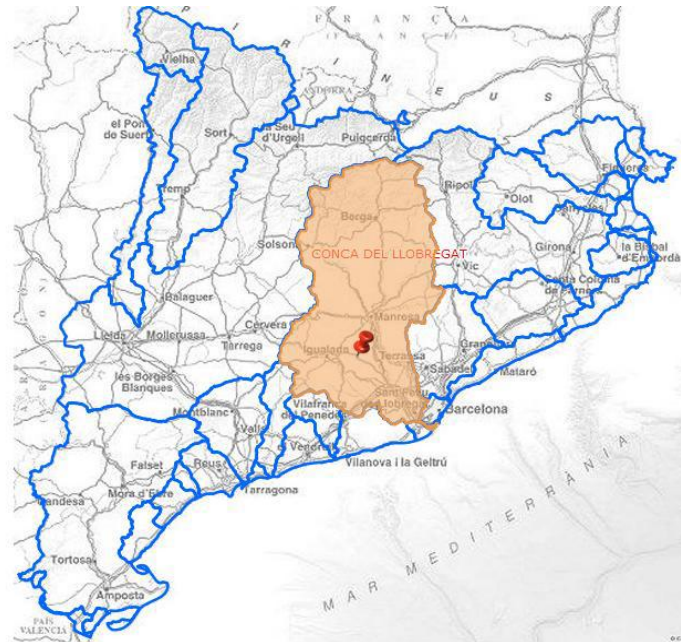


Figura 2. Cuenca del Llobregat (ICAEN)

## 2.1. Centrales mini-hidroeléctricas

Las dos comarcas que tenemos en consideración en este estudio son **El Berguedà** y **El Bages** (hasta Manresa). Se encuentra una gran cantidad de centrales mini-hidroeléctricas en ambas comarcas.

La historia nos indica el por qué en el tramo estudiado hay muchas centrales mini-hidroeléctricas (potencia instalada superior a 100 kW e inferior a 1000kW). Esto es debido a que el Llobregat fue el motor de la energía hidráulica de las centrales en su industrialización, lo que conllevó a que hubiera una enorme concentración de industrias textiles a su alrededor. En la actualidad la industria textil ya no funciona, pero las centrales en su gran mayoría aún se utilizan para la generación de energía.

Con la ayuda de las bases de datos de l'Institut Català de l'Energia (ICAEN) hemos obtenido los listados de las centrales mini-hidroeléctricas que se encuentra en el río Llobregat. Dicho listado detalla la potencia instalada de cada central, pero no la energía producida, por lo tanto hacemos una estimación a partir de la siguiente expresión:

$$E = P \cdot t \cdot 0,426$$

Dónde ***E*** es la Energía generada en KWh

Dónde ***P*** es la potencia instalada en KW

Dónde ***t*** es el tiempo de funcionamiento en h

Dónde el factor **0,426** es el factor de capacidad

A partir del estudio de Castellví, J.A.P, conseguimos tener un valor medio de la capacidad de las centrales mini-hidroeléctricas de la cuenca del Llobregat. El valor medio de capacidad obtenido es del



46,2%. Utilizando este factor, tal y como aparece en la ecuación(1), podemos acercarnos más al valor real de energía generada de cada central hidroeléctrica.

Se han localizado **17 mini-hidroeléctricas en el Berguedà y 17 mini-hidroeléctricas en el Bages**. Se estima que la totalidad de estas centrales mini-hidroeléctricas, a partir de la expresión anterior, generan aproximadamente **146.683 kWh/día**.

Por otra parte, también se ha estudiado la cantidad de agua que requieren estas centrales mini-hidroeléctricas para poder producir esta energía eléctrica. A continuación se muestra en la tabla 1, para cada central, el caudal de agua que utilizan así como la energía eléctrica generada.

<b>CENTRALES MINI- HIDROELÉCTRICAS</b>	<b>Energía generada estimada (Kwh/día)</b>	<b>Caudal de agua (m<sup>3</sup>/día)</b>	<b>Ratio (kWh/m<sup>3</sup>)</b>
CH VILAFRUNS	<b>3.216</b>	<b>388.800</b>	<b>0,008</b>
COLÒNIA SOLDEVILA	<b>3.992</b>	<b>449.280</b>	<b>0,009</b>
HILATURAS	<b>3.770</b>	<b>561.600</b>	<b>0,007</b>
LA RABEYA	<b>3.548</b>	<b>470.016</b>	<b>0,008</b>
CH EL RIU	<b>1.996</b>	<b>475.200</b>	<b>0,004</b>
CAN GALOBART	<b>5.322</b>	<b>777.600</b>	<b>0,007</b>
PRESA FORCADA	<b>2.894</b>	<b>604.800</b>	<b>0,005</b>
SERRASSANS	<b>1.464</b>	<b>596.160</b>	<b>0,002</b>
EL MAL PAS	<b>4.158</b>	<b>386.208</b>	<b>0,011</b>
FILATS MJS	<b>4.269</b>	<b>442.368</b>	<b>0,010</b>
PONT DE CABRIANES	<b>1.552</b>	<b>207.360</b>	<b>0,007</b>
CH EL PONT VELL	<b>1.996</b>	<b>302.400</b>	<b>0,007</b>
SANT BENET	<b>4.435</b>	<b>518.400</b>	<b>0,009</b>

Tabla 1. Energía generada estimada, caudal de agua utilizado y ratio de las centrales mini-hidroeléctricas del Bages.

A partir de los datos de la tabla 1 además de las centrales mini-hidroeléctricas del Berguedà, calculamos una ratio media que es: 0,009 kWh/m<sup>3</sup>. Este valor hace concluir que las centrales mini-hidroeléctricas estudiadas necesitan grandes unidades de agua para generar de energía.

## 2.2. Estaciones de Depuración de Agua Residual

El número de depuradoras de aguas residuales (EDAR) en el tramo estudiado, es de 25: 12 EDAR en la zona de la comarca del Bages estudiada y 13 EDAR en la comarca del Berguedà.

De cada una se estudió el tipo de tratamiento que utilizaban; Fangos activados, Biodisco, Filtros percoladores, tal y como se muestra en la Figura 3, para intentar relacionar el consumo de energía con el tipo de tratamiento utilizado. También se estudió el año en el que se puso en funcionamiento cada



estación, con la finalidad de averiguar si las estaciones más antiguas, a consecuencia de tener tecnología más antigua, tenían un consumo mayor.

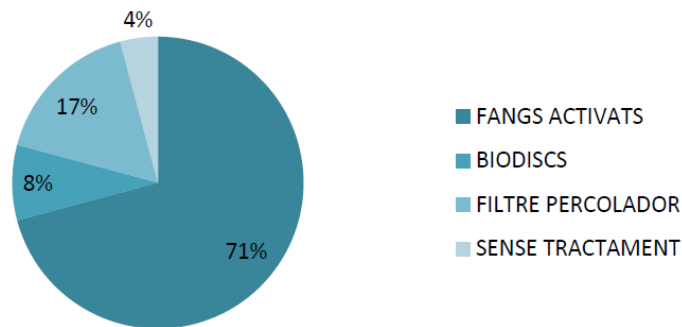


Figura 3. Tipos de tratamientos secundarios de las EDAR estudiadas

Las estaciones que utilizan **fangos activados** son la mayoría (17 EDAR), pero de todas estas sólo teníamos los datos reales de consumo energético y de caudal de agua tratado correspondientes a 13 estaciones depuradoras. Con la finalidad de conseguir los datos que faltaban, se intentó buscar una relación entre el consumo energético y el caudal de agua tratado a partir de aquellas estaciones de las cuales teníamos sus datos reales. De esta forma se obtuvo la ecuación (2):

$$E = 0,489 \cdot q + 43,549 \quad (2)$$

Dónde  $E$  es la Energía consumida en KWh/día

Dónde  $q$  es el caudal de agua residual tratado en  $m^3$ /día

Tal y como muestra la ecuación, se encontró una relación entre estos dos parámetros, hecho que nos permitió aproximar un valor de energía consumida a partir del caudal tratado, para aquellas EDAR de las que no conocíamos su valor real. Debíamos tener en cuenta, que los datos que habíamos conseguido de aquellas pocas depuradoras de las cuales no disponíamos de sus datos reales, eran los valores de diseño (caudal de diseño). Este era el máximo valor al que la estación podía llegar, pero no se acercaba al valor real, por lo tanto, a partir de los datos reales y de diseño de las otras depuradoras conseguimos averiguar, que de media éstas trabajaban a un 60% de su capacidad. Consecuentemente hicimos una estimación de caudal real de agua tratado de un 60% respecto el valor de diseño y este valor es el que utilizamos para saber la energía consumida a partir de la fórmula anterior.

Una vez realizadas todas las aproximaciones y cálculos necesarios, obtuvimos el total de energía consumida por las estaciones depuradoras, que utilizaban la técnica de fangos activados, tal y como se muestra en la Figura 4.

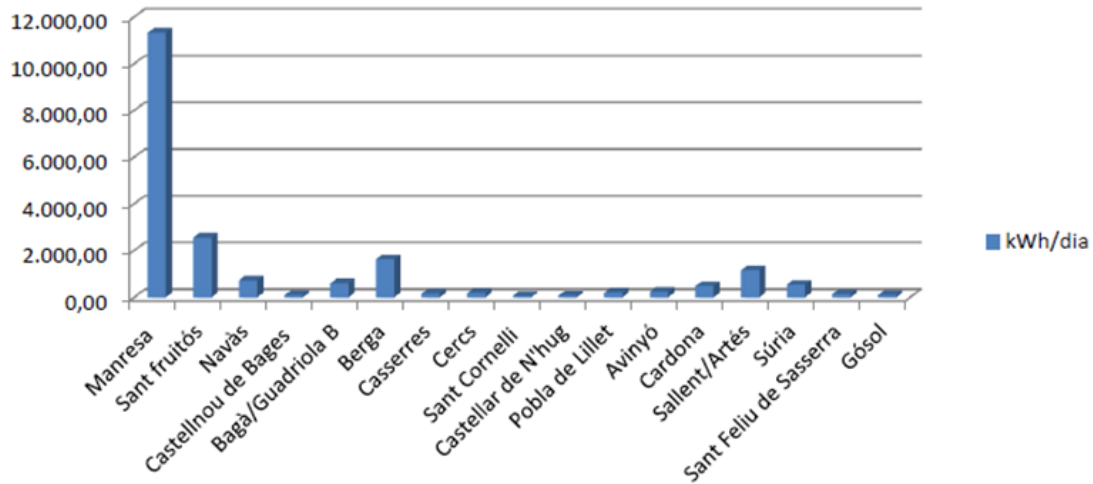


Figura 4. Consumo energético de las EDAR, que utilizan Fangos activados

Tal y como se puede observar en la Figura 4, la estación depuradora de Manresa es la que sin duda, consume más energía respecto las otras depuradoras estudiadas, pero también la que más caudal de agua trata.

A medida que realizamos los cálculos, también determinamos el Ratio de cada depuradora. Este parámetro relaciona la energía consumida por cada m<sup>3</sup> de agua tratado por ello, tiene unidades kWh/m<sup>3</sup>. Vemos que éste valor es más pequeño en depuradoras que tratan caudales muy grandes, y más grande en depuradoras que tratan caudales pequeños, tal y como se puede ver en las tablas 2 y 3, por lo tanto, el consumo energético por m<sup>3</sup> de agua tratada es menor en aquellas depuradoras que traten caudales de agua muy grandes.

<b>EDAR DEL BAGES</b>	<b>Caudal de agua tratado por las EDAR (m<sup>3</sup>/día)</b>	<b>Energía consumida por las EDAR (Kwh/día)</b>	<b>Ratio (kWh/m<sup>3</sup>)</b>
<b>AVINYÓ</b>	390	234,49	0,60
<b>CARDONA</b>	900	484,19	0,54
<b>CASTELLNOU DE</b>	87	98,36	1,13
<b>MANRESA</b>	22.933	11.332,89	0,49
<b>NAVARCLES/SANT</b>	4.452	2.559,80	0,57
<b>NAVÀS</b>	847	727,01	0,86
<b>SALLENT/ARTÈS</b>	2.280	1.159,84	0,51
<b>SÚRIA</b>	1.023	544,41	0,53
<b>SANT FELIU DE SASERRA</b>	204	143,43	0,70

Tabla 2. Energía consumida, caudal de agua tratado y ratio de las EDAR de Fangos activados del Bages.



<i>EDAR DEL BERGUEDÀ</i>	<i>Caudal de agua tratado por las EDAR (m<sup>3</sup>/día)</i>	<i>Energía consumida por las EDAR (Kwh/día)</i>	<i>Ratio (kWh/m<sup>3</sup>)</i>
<i>BAGÀ/GUARDIOLA B.</i>	1.874,38	603,64	0,32
<i>BERGA</i>	4.438,09	1.630,36	0,37
<i>CASSERRES</i>	274,10	160,32	0,58
<i>CASTELLAR DE N'HUG</i>	80,44	77,03	0,96
<i>CERCS</i>	364,94	186,28	0,51
<i>GÓSOL</i>	120	102,30	0,85
<i>LA POBLE DE LILLET</i>	282,09	200,73	0,71
<i>SANT CORNELLI DE</i>	48,28	62,99	1,30

Tabla 3. Energía consumida, caudal de agua tratado y ratio de las EDAR de Fangos activados del Berguedà.

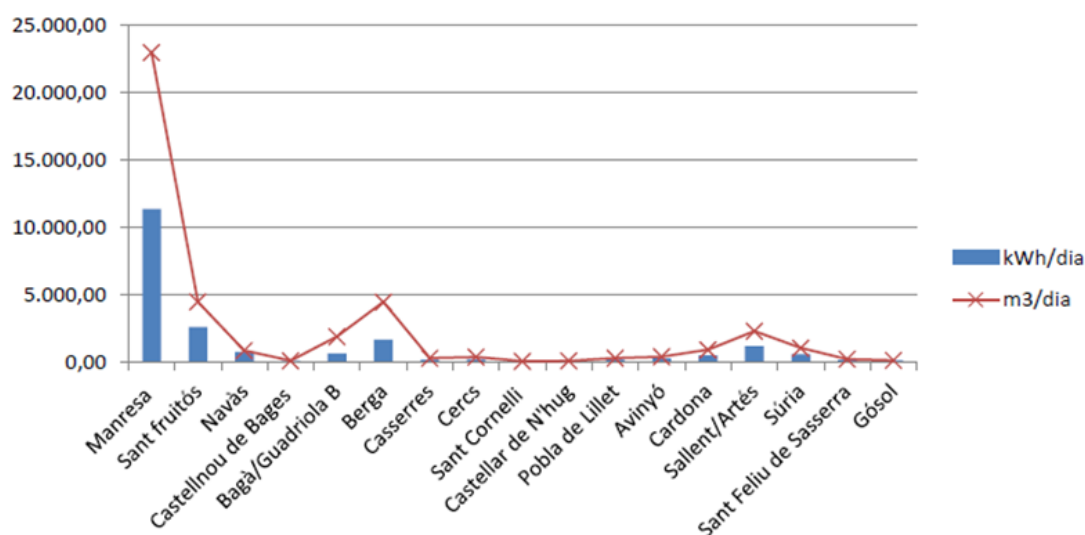


Figura 5. Consumo energético y caudal de agua tratado las EDAR, que utilizan Fangos activados

La tendencia del Ratio que comentábamos se puede observar en la Figura 5, así como en la tabla 2 y 3. En la estación de Manresa hay un gran salto entre la energía consumida y el caudal de agua tratado, por lo tanto se trata mucha más agua (en valor numérico) que energía que se consume, pero este salto disminuye en las EDAR más pequeñas igualándose más el valor de energía consumida con el de agua tratada.

El resultado final es que el total de EDAR que utilizan Fangos activados, tratan un caudal de **40.598,32 m<sup>3</sup>/día** y consumen **20.308,07 kWh/día**.

Por otra parte se han estudiado las EDAR que utilizan **Filtros percoladores**. El total de EDAR que utilizan esta técnica en el tramo estudiado son 3 estaciones. De las cuales solo disponemos de datos reales de 2. Por este motivo se han realizado las estimaciones pertinentes para determinar los valores reales desconocidos de esta tercera depuradora.





Como resultado, obtenemos que las 3 EDAR que utilizan Filtros Percoladores tratan un caudal total de **2.386,76 m<sup>3</sup>/día** consumiendo un total de energía eléctrica de **1.372,89 kWh/día**.

Finalmente estudiamos las EDAR que utilizan la técnica de Biodiscos, estas únicamente son 2. No disponemos de los datos reales de estas depuradoras, así que, estos datos se ajustan en función de la relación obtenida en las EDAR de Fangos activados. Como resultado obtenemos que las 2 EDAR tratan un caudal de agua total de **67,20 m<sup>3</sup>/día** consumiendo un total de energía eléctrica de **120 kWh/día**.

### Resultados: Estaciones de Agua Residual

Agrupamos todas las EDAR estudiadas, con el fin de poder conseguir un valor total de energía consumida y de caudal de agua tratado. Los valores obtenidos son los siguientes:

- **Energía consumida por las EDAR:** 21.800 kWh/día
- **Caudal de agua tratado por las EDAR:** 43.052 m<sup>3</sup>/día
- **Media ponderada del Ratio de las EDAR:** 0,68 kWh/m<sup>3</sup>

Tal como se puede observar de los resultados obtenidos, la energía consumida por las EDAR tiene un valor suficientemente grande como para tenerlo en consideración.

## 2.3. Estaciones de Tratamiento de Agua Potable

En el tramo del Llobregat estudiado se encuentran un total de 19 poblaciones que tienen instaladas 1 o 2 plantas de tratamiento de agua potable, siendo un total de 21 ETAP.

Debemos mencionar que en este apartado hemos tenido diversos problemas para la obtención de datos reales de caudal de agua tratado y de energía consumida de cada estación. Únicamente se pudo conseguir valores reales de caudal de agua tratado y de energía consumida de 4 ETAP. De 2 ETAP conseguimos datos de consumo energético real pero no de caudal tratado. Y de una última ETAP, la de Manresa obtuvimos su caudal real pero no su energía consumida.

El consumo energético de cada ETAP depende de más factores a parte del caudal de agua tratado (Bombeo en la captación del agua, bombeo del agua hacia el usuario y limpieza de filtros), por lo tanto, no hay una relación directa entre el consumo de energía y caudal de agua tratado como ocurría en las EDAR. Este hecho nos impide estimar el consumo de energía a partir del caudal tratado.

Para aquellas 2 ETAP de las que no conocemos el caudal de agua tratado, realizamos una estimación a partir de la necesidad de satisfacer el consumo de agua potable de la población (126 L/habitante-día), valor que viene dado por el Instituto Nacional de Estadística. A partir del número de habitantes de cada localidad dónde haya instalada una ETAP, podremos calcular el caudal que estas estaciones deben tratar, cómo mínimo.

Una vez realizados los cálculos con sus estimaciones pertinentes, obtenemos que el total de 6 ETAP, las cuales hemos podido conseguir sus datos, tratan un caudal de agua potable de **4.160,72 m<sup>3</sup>/día** y consumen un total de **2.319 kWh/día** de energía eléctrica.

## 2.4. Resultados totales

Se agrupan los datos obtenidos de cada apartado con la finalidad de hacer un balance energético basándonos en la energía consumida y la generada. Los datos obtenidos se muestran en la tabla 4:



<i>Energía Generada por las mini- hidroeléctricas (Kwh/día)</i>	<i>Energía consumida por las EDAR (Kwh/día)</i>	<i>Energía consumida por las ETAP (kWh/día)</i>
146.683	21.800	2.319

Tabla 4. Energía consumida y generada total en el tramo del río Llobregat estudiado.

Los resultados muestran que el consumo de las ETAP es muy pequeño en comparación al consumo de las EDAR. En este proyecto se ha hecho una comparativa entre una ETAP y EDAR de dimensiones comparables, en la que se ha demostrado, que ambas tienen consumos energéticos comparables, siguiendo esta afirmación, podríamos realizar la comparación a dos niveles:

1. Solo teniendo en cuenta el consumo energético de las EDAR
2. Teniendo en cuenta que el consumo energético de las EDAR es similar al de las ETAP

Nos centramos en estos dos niveles:

**CASO A)** Sólo teniendo en cuenta el consumo de las EDAR

- **Energía Generada por las mini-hidroeléctricas:** 146.683 Kwh/día
- **Energía consumida por las EDAR:** 21.800 Kwh/día

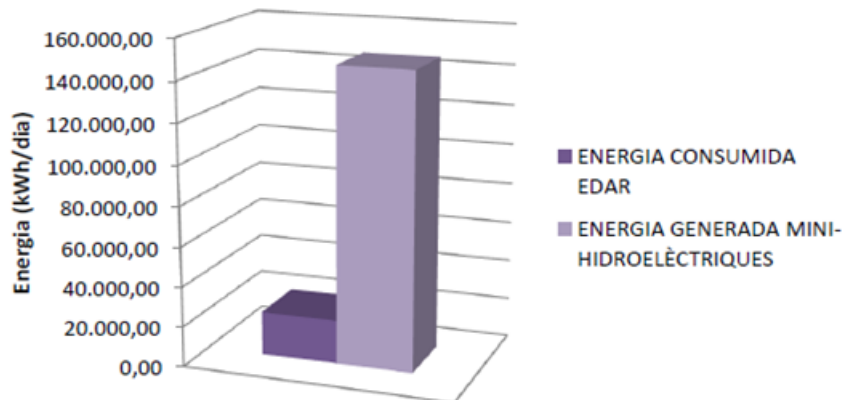


Figura 6. Energía generada por las mini-hidroeléctricas y energía consumida por EDAR.(CASO A)

En este caso, podemos observar, en la Figura 6, que la energía generada en las mini-hidroeléctricas, es mucho mayor que la energía consumida por la totalidad de EDAR estudiadas. Por lo tanto el balance energético es positivo.

**CASO B)** Considerando que el consumo de las ETAP es equivalente al de las EDAR

Lo que hacemos en este apartado es igualar el consumo de la ETAP con el consumo de la EDAR de la misma población:

- **Energía Generada por las mini-hidroeléctricas:** 146.683 Kwh/día
- **Energía consumida por las EDAR:** 21.800 Kwh/día



- **Energía consumida por las ETAP:** 20.614,98 kWh/día

Por lo tanto, la energía consumida en total (EDAR+ETAP) es de **42.415 kWh/día**.

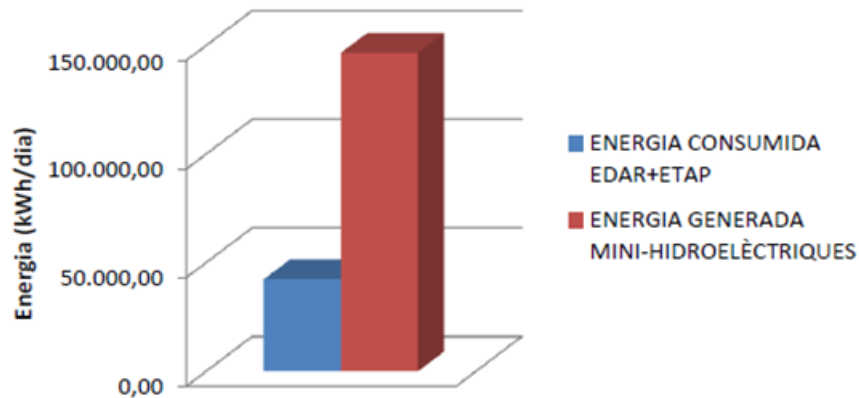


Figura 7. *Energía generada por las mini-hidroeléctricas y energía consumida por las EDAR y ETAP. (CASOB)*

Tal y como podemos ver en la Figura 7, aunque nos pusiéramos en el peor de los casos (que el consumo de las ETAP fuera equivalente al consumo de las EDAR) el balance energético sigue siendo positivo. Se genera mucha más energía que la que se consume.

### 3. Conclusiones:

En la primera parte del trabajo hemos podido profundizar en varios los aspectos correspondientes al nexo agua energía.

Cómo se ha visto con anterioridad, hemos considerado que las 34 mini-hidroeléctricas de nuestro caso de estudio trabajaban a un 46,2% de su capacidad, pero tenemos que ser conscientes de que algunas centrales trabajarán por encima de este porcentaje y otras por debajo. También hemos podido comprobar que las centrales mini-hidroeléctricas que más energía generan son las centrales mini-hidroeléctricas de la comarca del Berguedà. Otro hecho que hemos podido observar es que las centrales mini-hidroeléctricas estudiadas tienen la necesidad de elevadas cantidades de agua para producir energía, hecho que se puede observar claramente en el ratio medio obtenido  $0,009 \text{ kWh/m}^3$ . Se tiene que tener en cuenta que esta agua no se consume puesto que se devuelve al río, pero puede provocar problemas en el ecosistema.

De las 32 EDAR del caso de estudio, un 71% utilizan fangos activados. La EDAR que más caudal trata es Manresa y la más pequeña es la EDAR de Montmajor. Hemos comprobado que las EDAR del caso de estudio respecto al caudal de agua tratada trabajan a un valor medio del 60% de su capacidad.

A partir de los datos reales obtenidos de aquellas EDAR que utilizan fangos activados hemos conseguido una relación lineal que relaciona el consumo energético con el caudal de agua residual tratado. Esta relación la hemos utilizado para calcular el consumo energético de las EDAR que utilizaban fangos activados, de las cuales no disponíamos de datos reales. Como resultado para las EDAR que utilizan fangos activados tenemos que el ratio oscila entre 0,32 y  $1,30 \text{ kWh/m}^3$ , y la media de estos es de  $0,68 \text{ kWh/m}^3$ . De los ratios de las EDAR hemos podido observar una tendencia, que se basa en qué cuando una EDAR trata más caudal de agua tiene un ratio más reducido y cuando son EDAR con poco caudal de agua tratada el ratio es superior.



Las EDAR que utilizan la técnica de filtros percoladores tienen un ratio entre 0,57 y 0,59 kWh/m<sup>3</sup>. Esperábamos que este tipo de EDAR consumiera menos energía que las de fangos activados, pero los resultados obtenidos no han coincidido con nuestra predicción inicial. Las 3 EDAR no son una muestra suficientemente grande como para encontrar la tendencia de consumo de este tipo de EDAR.

En nuestro caso de estudio, únicamente tenemos 2 EDAR que utilicen Biodiscos, además de éstas no hemos obtenido datos reales, y consecuentemente, hemos tenido que aproximar su consumo energético a partir de la relación obtenida en las EDAR que utilizaban fangos activados, este hecho suponía un cierto error. El resultado de estas 2 EDAR es una ratio de 1,40 y 2,76 kWh/m<sup>3</sup>, ratios muy elevados que podemos justificarlos con el hecho de que ambas EDAR son muy pequeñas.

En cuanto a las ETAP del caso de estudio, únicamente hemos conseguido datos reales de consumos energéticos de 6 ETAP de un total de 21. Con estos datos hemos demostrado que no hay relación lineal entre el consumo energético y el caudal tratado por las ETAP. Esto demuestra que el consumo energético de las ETAP no depende de la cantidad de agua tratada, sino de otros parámetros que se basan principalmente en el bombeo del agua, tanto por la captación como para la distribución. Esta comparación muestra que las EDAR y las ETAP comparadas tienen consumos energéticos similares. Mencionar que en las ETAP no hay una ratio como en las EDAR puesto que el consumo energético es variable, dependiendo del lugar dónde está ubicado la ETAP.

A pesar de las dificultades de la obtención de datos de consumos energéticos de las ETAP, finalmente hemos conseguido estimar este consumo a partir de la comparación entre las ETAP y EDAR de las mismas poblaciones las cuales teníamos datos reales. Se considera que se tendría que realizar un trabajo mucho más exhaustivo para encontrar el consumo energético real de las ETAP del caso de estudio.

A partir de los resultados obtenidos en el caso de estudio, comparando la energía necesaria para las EDAR y ETAP, con la energía producida en las mini-hidroeléctricas, podemos concluir que a pesar de contemplar el peor de los casos de consumo energético posible, el balance energético es positivo: únicamente se consume un 28,92% de la energía que se genera en este tramo del Río Llobregat.

Por lo tanto, podemos afirmar que en el tramo del río Llobregat estudiado, desde Castellar de N'hug hasta Manresa, teniendo la cuenta el consumo energético de las ETAP y de las EDAR además de la producción energética de las centrales mini-hidroeléctricas, **se produce mucha más energía que no la que se consume.**

#### 4. Acknowledgements:

Se agradece la participación de diferentes entidades que nos han proporcionado datos indispensables sin las cuales este estudio no se hubiera llevado a cabo:

- ICAEN nos proporcionó datos de las centrales hidroeléctricas instaladas en el Llobregat a partir de su página web y asesoramiento personal.
- Agües de Manresa S.A, que proporcionó ratios y caudales reales de agua residual tratada de varias EDAR, además del caudal real de agua tratada de la ETAP de Manresa.
- Consell Comarcal del Berguedà que nos facilitó los datos reales de caudales de agua residual y consumos energéticos de las EDAR de la comarca del Berguedà, además de los datos de consumo energético real de 3 ETAP.



- Agència Catalana de l'Aigua (ACA) nos proporcionó las especificaciones técnicas de las EDAR.

## References

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2006). Energy Demands on Water Resources Report To Congress on the Interdependency of Energy and Water. A: Power. p. 1-80.

Castellví, J.A.P.(1983) Aprofitament de salts fluvials petits per a l'obtenció d'energia elèctrica a Catalunya. A: Universitat de Barcelona.

Aigües de manresa S.A (Empresa municipal). Agua potable. A: [en línea]. Disponible en: <http://www.aiguesmanresa.cat/es/nivells/contingut/titular/aigua-potable>

Lazarova, V., Choo, K., Cornel, P. *Water-energy interactions in water reuse*. 1ª edición. Londres: IWA Publishing, 2012. ISBN: 9781843395416

IEA.(2012) Water for Energy: Is energy becoming a thirstier resource? *World Energy Outlook*. p. 1-33.

Instituto Nacional de Estadística. (2014). *Encuesta sobre el suministro y saneamiento del Agua*, p. 8.

Torcellini, P., Long, N., & Judkoff, R. (2003). *Consumptive Water Use for U.S. Power Production*, National Renewable Energy Laboratory, Golden, United States.

The world bank. (2013) *Thirsty Energy*. A: [en línea]. Disponible en: <http://www.worldbank.org/en/topic/sustainabledevelopment/brief/water-energy-nexus>