



## **10º Congreso Nacional del Medio Ambiente (Conama 10)**

**Consumo energético del ciclo integral del agua y propuestas de ahorro**

**Eficiencia energética en los procesos de tratamiento de agua**

Javier Uche Marcuello

Fundación CIRCE Universidad de Zaragoza



Jueves 25 de noviembre de 2010



# Eficiencia energética en los procesos de tratamiento de agua

## ÍNDICE

1. La importancia de los procesos de tratamiento en el ciclo del agua y en el consumo total de energía
2. Metodología: análisis exergético de procesos
3. Análisis de una desaladora (varias tecnologías)
4. Análisis de una planta potabilizadora genérica y real (Casablanca, Zaragoza)
5. Análisis de varias depuradoras (CIC) y estudio en particular de la producción de biogás (Cuarte, Zaragoza).
6. Conclusiones

## 1. La importancia de los procesos de tratamiento en el ciclo del agua y en el consumo total de energía

Algunos datos a considerar (Yagüe, 2008)

- Captación, embalse y transporte a superficiales: 40 GWh
- Extracción aguas subterráneas: 3.000 GWh
- Desalación: 1.000 GWh. (en 2010 supondrá más de 3.000 GWh, con 900 hm<sup>3</sup>/año)
- Potabilización y distribución urbana: 340 GWh
- (Distribución agua de riego: 1.000 GWh).
- Saneamiento (depuración): 1.000 GWh

Total: 6.380 GWh ~ 2,5 % del consumo nacional en 2007 (267.000 GWh).

Cada vez, las **tecnologías más intensivas** en consumo de energía son necesarias para el abasto municipal:

- Desalación: 3-5 kWh/m<sup>3</sup>.
- Reutilización: 0-1,5 kWh/m<sup>3</sup>. (Dependiendo del uso posterior, puede requerir bombeo)
- Eliminación nitratos, otros componentes (THMs, metales pesados, ...) en la potabilización: ¿? kWh/m<sup>3</sup>.
- Trasvases y bombeos: f (distancia, orografía).
- Redes municipales: gestión compleja (presión suministro) → implicaciones energéticas.



## 2. Metodología: Análisis exerético

¿Cual es el **consumo energético mínimo** de cada tecnología?

- Está asociado a cada proceso que apliquemos. Ejemplo: 0.8 kWh/m<sup>3</sup> para desalar agua de mar (mediterránea), en un proceso de separación de una mezcla.
- Podemos aplicar distintos procesos para el mismo objeto (desalar). Cada tecnología tendrá unos valores de consumo distintos. Por su propia idiosincrasia, algunos son más eficientes que otros.

¿**Cómo de lejos estamos** con la técnica actual con respecto a ese mínimo?

- Podemos estar cerca o muy lejos. A veces, ni lo sabemos.
- Generalmente, si estamos lejos es porque hay flujos internos y subproductos que no somos capaces de aprovechar (energéticamente hablando). En muchos casos, la calidad energética del producto es muy baja.

¿**Podemos llegar** a dicho consumo mínimo mejorando la tecnología?

- Análisis **exerético**: Balance e/s de una planta de tratamiento cualquiera (genérica).
- Mide el **mínimo energético** para cada proceso donde está involucrada la transformación energética (hay pérdidas, por tanto no hay eficiencia total)
- **Análisis i/o**: los flujos de e/s de cualquier sistema analizado (planta de tratamiento de aguas) e miden con exerjía: energía útil de un flujo energético con respecto al ambiente de referencia.

## 2. Metodología: Análisis exerético

La exergía de un **flujo (mezcla acuosa)** tiene la expresión general siguiente:

$$\underbrace{b \text{ (kJ / kg)}}_{\text{Total.exergy}} = \underbrace{c_{p,H_2O} \left[ T - T_0 - T_0 \ln \left( \frac{T}{T_0} \right) \right]}_{\text{Thermal.Ex}} + \underbrace{v_{H_2O} (p - p_0)}_{\text{Mechanical.Ex}} + \underbrace{\Delta G_f + \sum_e n_e b_{chme}}_{\text{Chemical.Ex}} - \underbrace{R T_0 \sum xi \ln \frac{a_i}{a_0}}_{\text{Concentration.Ex}} + \underbrace{\frac{1}{2} (C^2 - C_0^2)}_{\text{Kinetic.Ex}} + \underbrace{g (z - z_0)}_{\text{Potential.Ex}}$$

Para analizar un tratamiento del ciclo del agua cualquiera tenemos un esquema e/s:



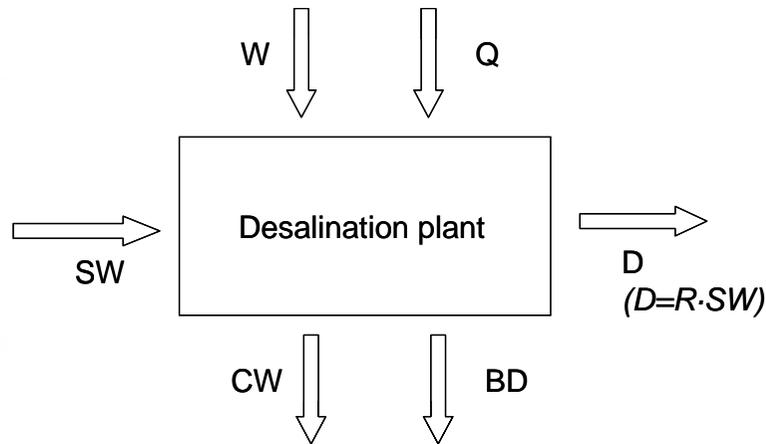
$$k^* = \frac{F}{P} \Rightarrow \begin{matrix} k^*_{\text{proceso}} \\ k^*_{\text{producto}} \end{matrix}$$

$$\eta_{\text{exerg}} = \frac{1}{k^*}$$

## 3. Análisis de una desaladora (tecnologías destilación/membranas)

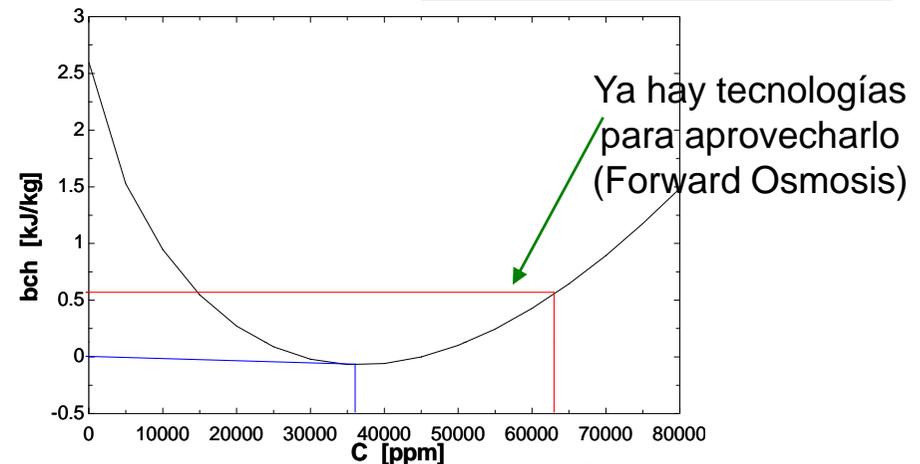
Los grandes **puntos débiles** de la desalación (mejor por membranas) son:

- El factor de recuperación R (produce salmuera con exergía)
- El precalentamiento del agua (destilación)
- La presión osmótica requerida mayor de la teórica.

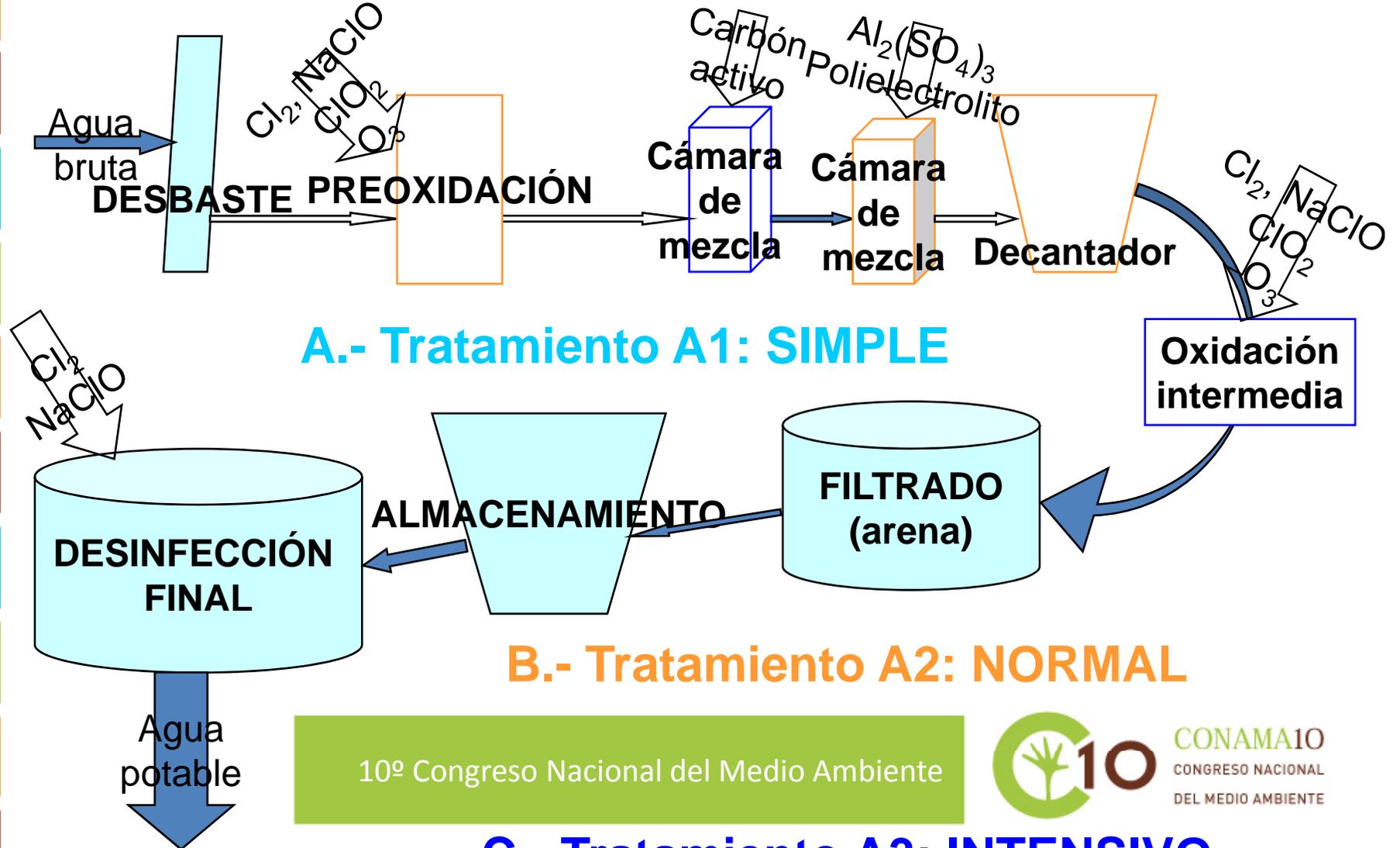


SW: Agua mar  
 W: Electricidad; Q: Calor;  
 CW: Agua enf.; BD: Salmuera,  
 D: Efluente (producto)  
 R: Factor recuperación planta

	$k_{\text{proceso}}$	$k_{\text{producto}}$
MSF	3.8	21.4
MED	3.8	8.3
RO	2.5	5.5
ED	1.2	8.0



4. Análisis de una potabilizadora genérica (según tipo agua y normativa)

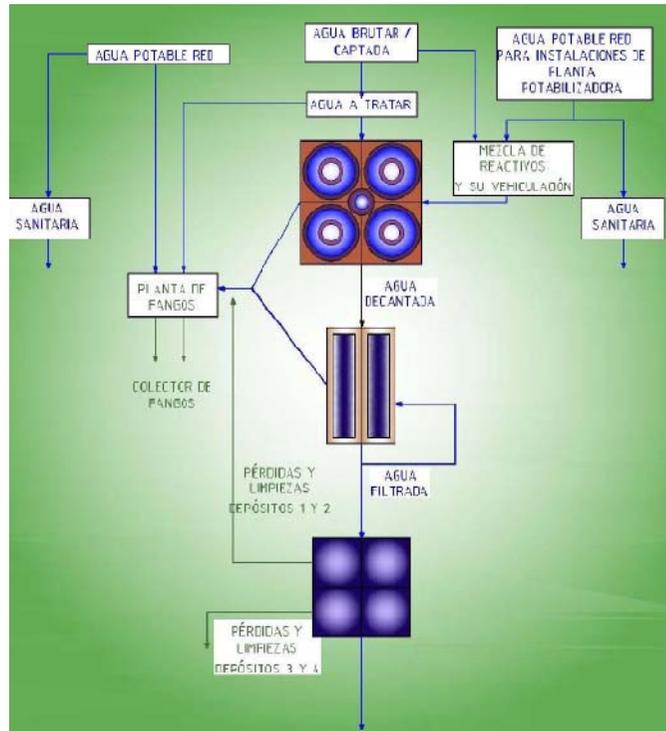


A.- Tratamiento A1: SIMPLE

B.- Tratamiento A2: NORMAL

C.- Tratamiento A3: INTENSIVO

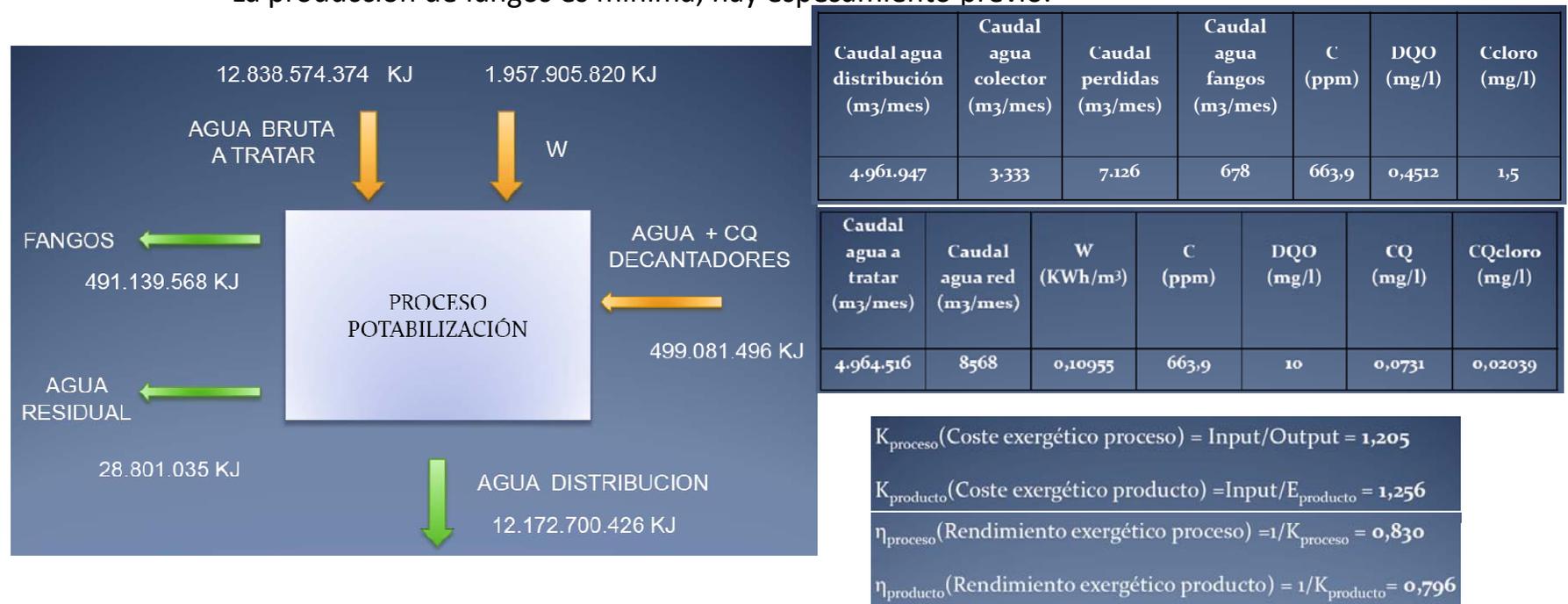
## 4. Análisis de una potabilizadora real (Casablanca, tipo A2)



## 4. Análisis de una potabilizadora real (Casablanca, tipo A2)

El rendimiento exergético es **elevado**, ya que:

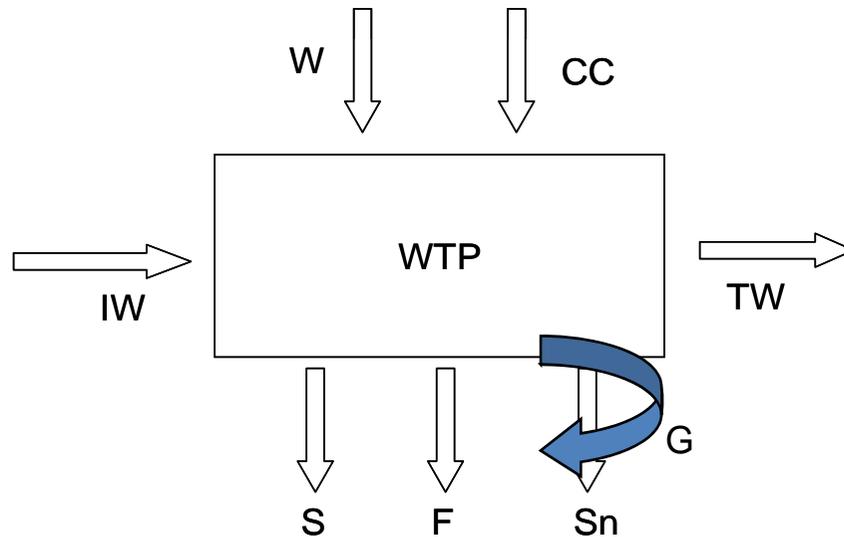
- El factor de recuperación R es muy elevado (agua bruta → agua potable)
- El consumo de reactivos y energía es reducido (0,1 kWh/m<sup>3</sup>)
- La producción de fangos es mínima, hay espesamiento previo.



## 5. Análisis de varias depuradoras (varias en las CIC, La Muga)

La depuración **no es muy eficiente energéticamente**, dados:

- El valor energético de los subproductos (fangos).
- La gran cantidad de procesos de mezclado
- El (relativamente) elevado CE (0,5 kWh/m<sup>3</sup>).

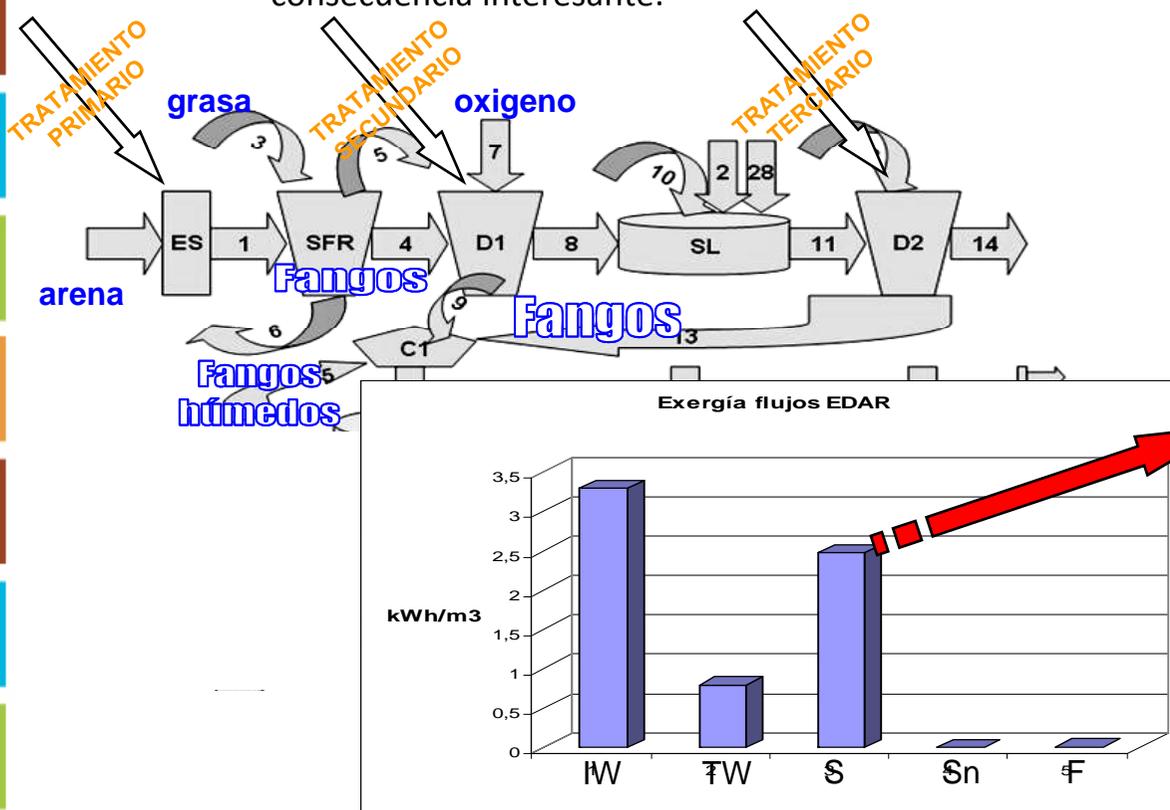


IW: Agua bruta; W: Electricidad; CC: Reactivos;  
 S: Fangos, F: Grasas, Sn: Arenas; TW: Efluente; G: ¿Biogás?.

	k* proceso	k* producto
Begur	1.83	4.46
Blanes	2.32	4.69
Cadaqués	3.23	5.81
Castell d'Aro	1.92	3.87
Colera	3.08	5.60
El Port de la Selva	2.07	4.10
Empuriabrava	1.99	4.39
L'Escala	2.47	4.62
Llançà	2.19	3.57
Lloret de mar	2.53	4.69
Palamós	2.06	3.44
Pals	2.17	4.16
<i>k* (media)</i>	<b>2.32</b>	<b>4.45</b>

## 5. Análisis de en detalle de una depuradora (Cuarte, Zaragoza)

Analizando la exergía de los subproductos de la depuradora, se pueden ver otra consecuencia interesante:

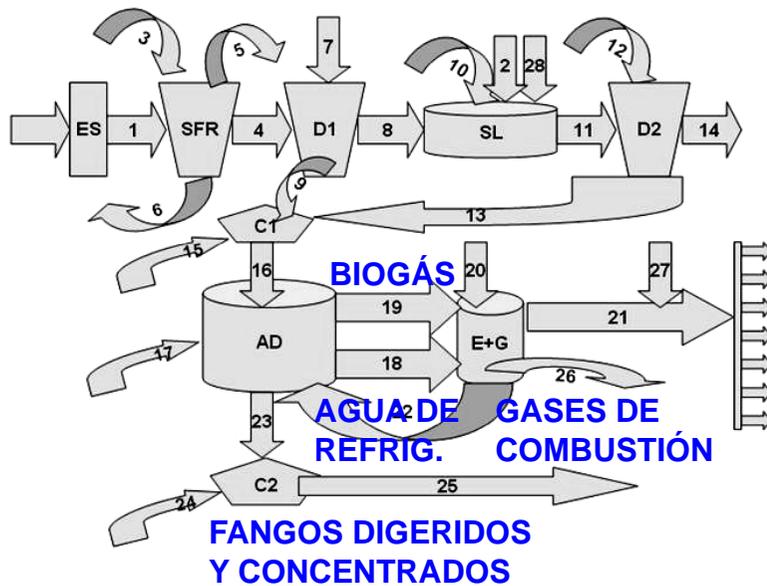


### ALTERNATIVAS PARA LA VALORIZACIÓN DE FANGOS DE EDAR:

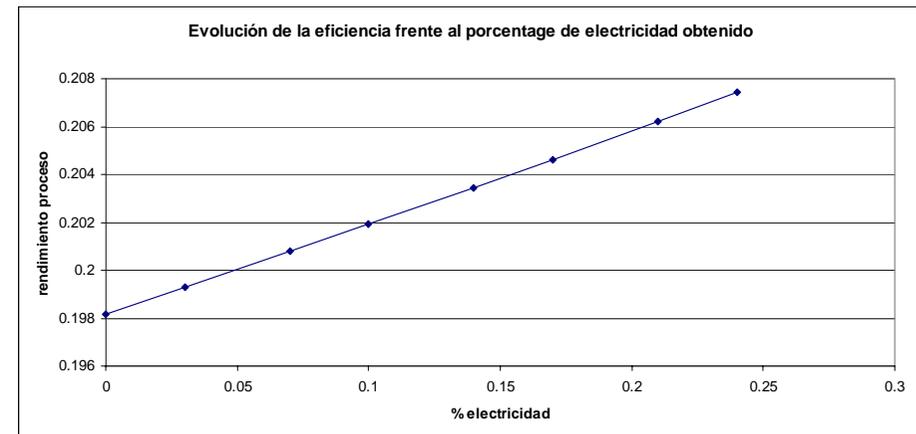
- a.- Digestión aerobia → compostage
- b.- Tratamientos térmicos: incineración, combustión, gasificación. Complejos y caros sistemas de acondicionamiento de los fangos
- c.- **TRATAMIENTO ANAEROBIO**. fangos concentrados → biogás (60-65% de CH<sub>4</sub>) → MACI. Los fangos pueden después ser secados y utilizados como fertilizante. → **La mejor opción**
- d.- Reutilización del fango como materia prima de industrias
- e.- Tratamiento como residuo sólido peligroso

## 5. Análisis de mejora en una depuradora (Cuarte, Zaragoza)

La **recuperación de gas** para reducir el consumo energético interno, obviamente mejora el rendimiento exergético global de la planta.

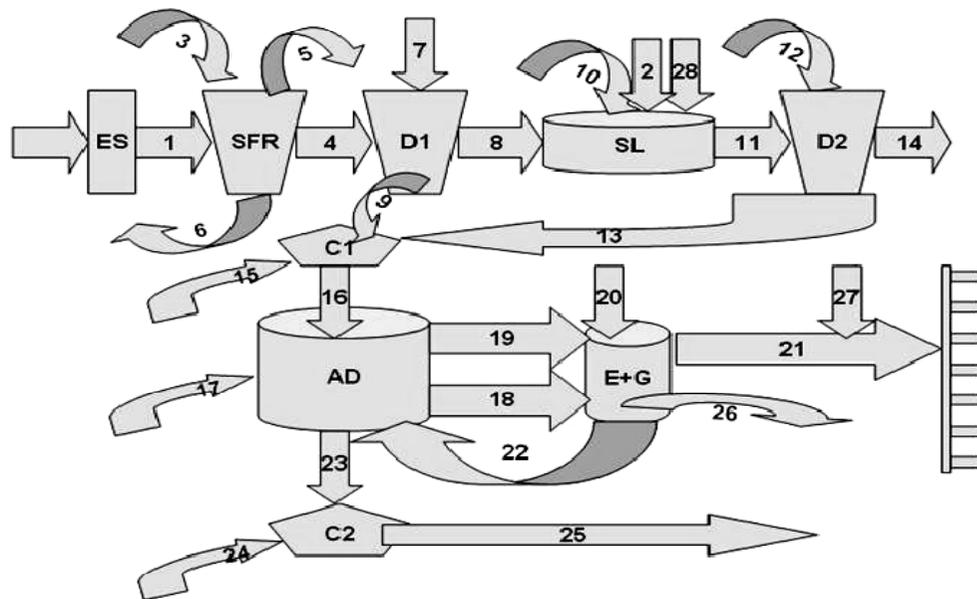


**Flujos eléctricos**  
3,7,12,15,17,20,21,24,27



## 5. Análisis de en detalle de una depuradora (Cuarte, Zaragoza)

Haciendo un análisis exergético calculando la exergía de todos los flujos internos de una depuradora, siguiendo las distintas **etapas de proceso** en la depuradora, en cada una de ellas se acumulan pérdidas energéticas, no despreciables:



### Rendimientos exergéticos locales

- ES (Desbaste): no incluido en análisis
- SFR (Eliminación de arena y grasas): 0.98
- D1 (Decantación primaria): 0.95
- SL (Laguna de estabilización aerobia): 0.95
- D2 (Decantación secundaria): 0.99
- C1 (Concentración fangos 1º): 0.98
- AD (Digestor anaerobio): 0.77
- E+G (MACI combustión biogás): 0.9
- C2 (Concentración fangos 2º): 0.83

$\eta_{\text{proceso}} = 0.5$

## 6. Conclusiones

En las plantas de tratamiento de aguas, el análisis exergético, que **valora la calidad energética de todos inputs y outputs** que entran a dicha planta de tratamiento, permite visualizar más información que la clásica. Hay que saber el mínimo energético ( $CE_{real}/\eta_{ex}$ ), comparar con el CE real y localizar donde está la energía perdida para intentar recuperarla o evitarla.

En la **desalación**, tenemos varios cuellos de botella energéticos ( $\eta_{ex} < 0.1$ ):

- el bajo valor de R afecta a su bajo rendimiento exergético. De la salmuera, se recupera su presión (ERI), no su exergía química.
- si hay (-pre)calentamiento, hay una pérdida muy elevada de eficiencia (incluso integrado en esquemas de planta dual, poligeneración, reducción consumo/mayor producción en OI)

En **potabilización**, la eficiencia energética es elevada ( $\eta_{ex} > 0.8$ ) ya que:

- los flujos exergéticos de e/s son muy preponderantes. El tipo de reactivos incide poco en el rendimiento exergético final.
- aunque el CE es bajo, al existir baja producción de entropía en la dilución, es importante en la reducción del rendimiento exergético.

En **depuración**, la eficiencia energética es baja ( $\eta_{ex} < 0.25$ ), debido a

- la energía útil que contiene la MO en el agua bruta, que no la contiene el agua clara.
- la calidad energética de los subproductos. Hay que valorizarlos en posible dentro de la planta.
- el elevado número de procesos en cascada sucesivos, con dilución (mezcla  $\rightarrow$  entropía)