

POLITÉCNICA

La eficiencia energética en los procesos de depuración de aguas residuales

Energía y agua

Toledo, 6 de febrero de 2015

**INDUSTRIALES**  
ETSII | UPM

M<sup>a</sup> Encarnación Rodríguez ([encarnacion.rodriguez@upm.es](mailto:encarnacion.rodriguez@upm.es))



**INDUSTRIALES**  
ETSII | UPM

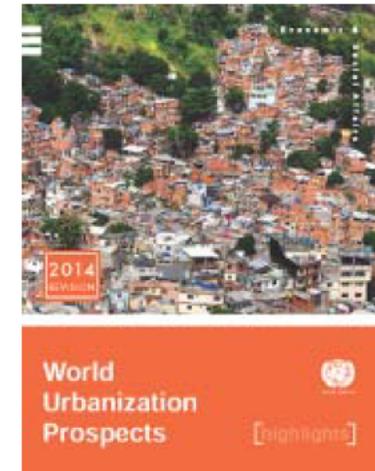


¿Por qué interesa?

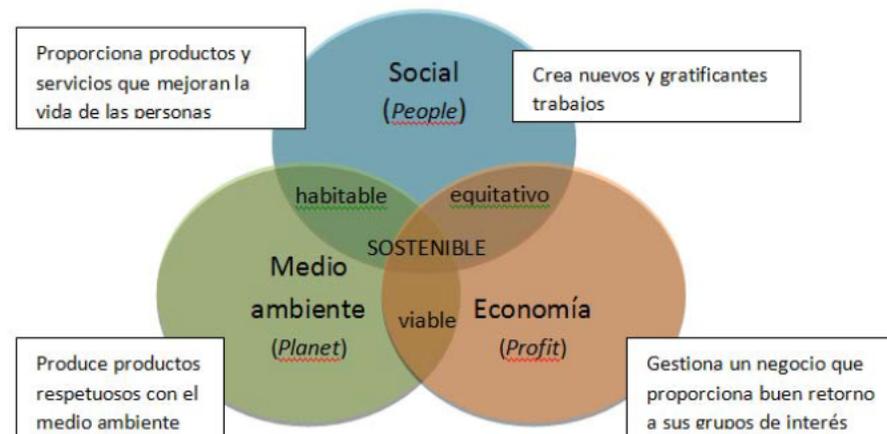


Población (2014) ≈ 7.200.10<sup>6</sup>  
**54% urbana**  
 Población (2025) ≈ 8.100.10<sup>6</sup>  
 Población (2050) ≈ 9.600.10<sup>6</sup>  
**66% urbana**

← Agua  
 Energía  
 Alimentos



## CICLO DEL AGUA

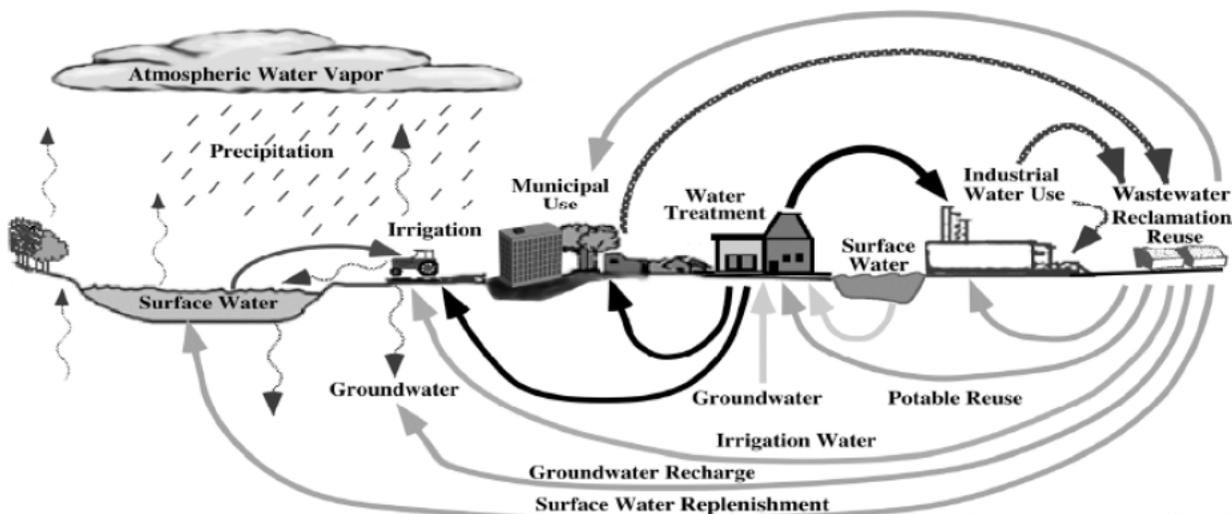




**INDUSTRIALES**  
ETSII | UPM

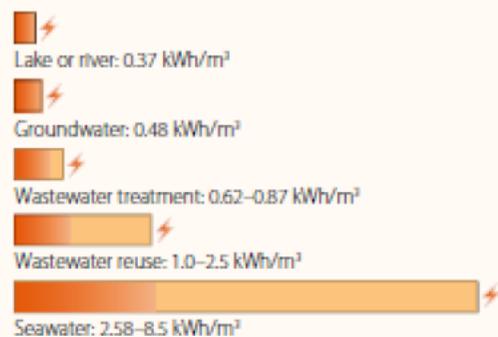


## Algunos indicadores de esa relación



Tratamiento, depuración y reutilización del agua. Fuente: T. Asano, 2001

**Amount of energy required to provide 1 m<sup>3</sup> water safe for human consumption from various water sources**



Bombeo agua subterránea: 0,1 kWh/m<sup>3</sup> (36,5 m) - 0,5 kWh/m<sup>3</sup> (122 m)

Osmosis inversa: 1,5 – 3,5 kWh/m<sup>3</sup>

UV: 0,01 - 0,04 kWh/m<sup>3</sup>

UNESCO (2014), *The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy*



## Estados Unidos

Acondicionamiento y depuración del agua ≈ 3% del consumo energético (EPA, 2012)

30% de los costes de operación y mantenimiento son energía eléctrica para distribución y tratamiento

## UE

16.000 plantas de tratamiento de aguas residuales consumiendo ≈ 5,5% del consumo eléctrico total (EEA, 2014)

## Mundo

5-30% de los costes de operación y mantenimiento son energía eléctrica para distribución y tratamiento (ESMAP, 2012).

orden	Actividad	Peso	%Δ Mes	%Δ 12 m.
1º	Metalurgia; fabricación de productos de hierro, acero y ferroaleaciones	23,3%	0,9	2,1
2º	Industria química	7,9%	-0,1	3,2
3º	Fabricación de otros productos minerales no metálicos	6,2%	0,5	7,5
4º	Industria de la alimentación	6,0%	0,9	4,5
5º	Industria del papel	5,4%	-6,6	-1,4
6º	Fabricación de productos de caucho y plásticos	4,5%	3,0	5,0
7º	Comercio al por menor, excepto de vehículos de motor y motocicletas	4,1%	-7,2	-2,9
8º	Almacenamiento y actividades anexas al transporte	3,7%	-17,0	-9,8
9º	Fabricación de vehículos de motor, remolques y semirremolques	3,1%	7,5	5,9
10º	Captación, depuración y distribución de agua	2,8%	-9,1	3,7

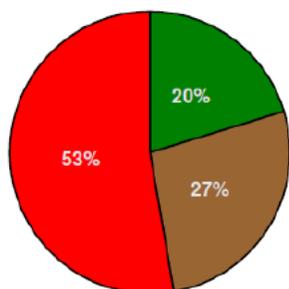
orden	Actividad	Peso	%Δ Mes	%Δ 12 m.
11º	Comercio al por mayor e intermediarios del comercio, excepto de vehículos de motor y motocicletas	2,2%	6,9	5,0
12º	Suministro de energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado	2,2%	-15,9	-10,0
13º	Actividades sanitarias	2,0%	-0,4	-3,6
14º	Administración Pública y defensa; Seguridad Social obligatoria	2,0%	2,9	7,5
15º	Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo	1,9%	1,6	4,6
16º	Transporte terrestre y por tubería	1,6%	18,8	14,8
17º	Fabricación de material y equipo eléctrico	1,3%	-3,3	-1,7
18º	Industria de la madera y del corcho, excepto muebles; cestería y espartería	1,2%	-0,2	5,8
19º	Otras industrias extractivas	1,0%	9,6	8,8
20º	Fabricación de bebidas	0,9%	4,7	1,3

Fuente: REE, Informe 2014

A nivel mundial podría ahorrarse 5-25% del consumo de electricidad mejorando el rendimiento de plantas actuales ≈ 34 - 168 TWh/a (producción de 23 plantas de 1000MW cada una).

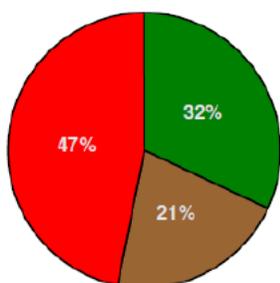


**POTENCIA INSTALADA**



■ CCM PRETRATAMIENTO Y DESODORIZACIÓN  
 ■ CCM DESHIDRATACIÓN Y RECIRCULACIÓN BIOLÓGICOS  
 ■ CCM TRATAMIENTO SECUNDARIO Y FANGOS PRIMARIOS

**CONSUMO DE ENERGÍA**



■ CCM PRETRATAMIENTO Y DESODORIZACIÓN  
 ■ CCM DESHIDRATACIÓN Y RECIRCULACIÓN BIOLÓGICOS  
 ■ CCM TRATAMIENTO SECUNDARIO Y FANGOS PRIMARIOS

Fuente: Ferrer y otros (2009)

Tratamiento	Consumo energético (kWh/m <sup>3</sup> )	
	Rango inferior	Rango superior
Fangos activos	0,43	1,09
Aireación prolongada	0,49	1,01
Lagunaje convencional	0,05	-
Regeneración (filtración +UV y Cl <sub>2</sub> )	0,18	1,21
Tratamiento (completo+UV y Cl <sub>2</sub> )	0,20	0,63

Fuente: Hardy y Garrido (2010)

**Valores medios Comunidad de Madrid:**

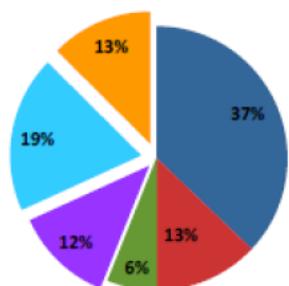
38 kWh/h-e.a

1,8 kWh/kg DBO<sub>5</sub> eliminada

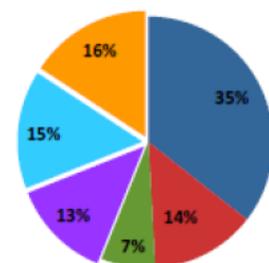
0,4 kWh/m<sup>3</sup>



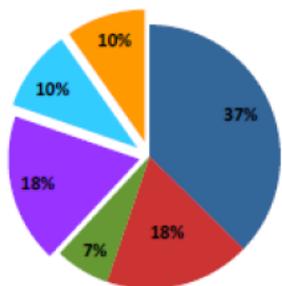
14 WWTPs 10,000 - 20,000 PE



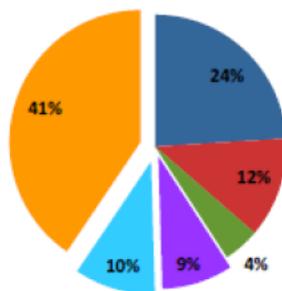
47 WWTPs 20,000 - 50,000 PE



8 WWTPs 50,000 - 100,000 PE



15 WWTPs ≥ 100,000 PE



### Costes fijos

- personal
- costes externos
- otros costes

### Costes variables

- materiales
- energía
- tratamiento de residuos

Fuente: Schaar, H. and Lindtner, S., 2012

## Consumo medio de electricidad en las 18 mayores plantas depuradoras de Europa



Fuente: EEA, 2014

Suministro de agua potable: 34 kWh/p.a  
Transporte de agua residual: 20 kWh/p.a  
Tratamiento de agua residual: 43 kWh/p.a  
Cogeneración: (9 kWh/p.a)  
Total neto: 88 kWh/p.a

Consumo doméstico de electricidad en UE-27: 814 TWh → 1600 kWh/p.a



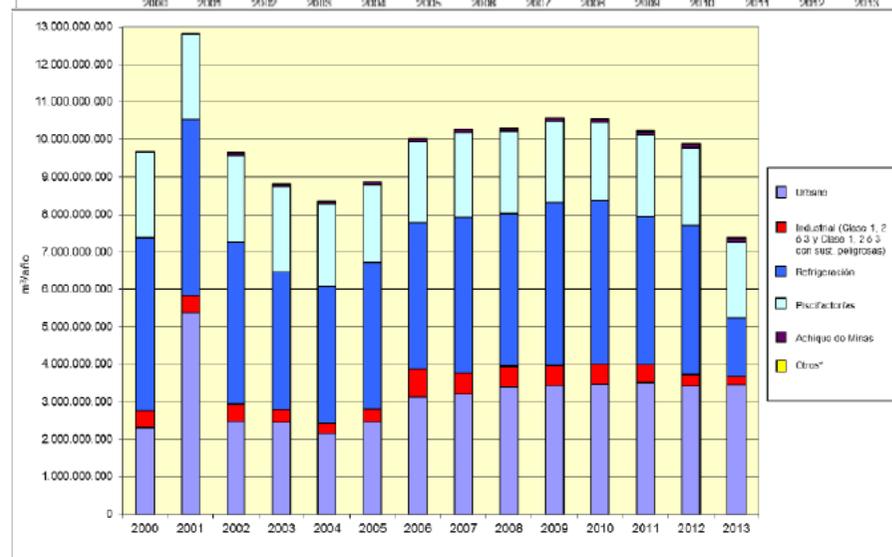
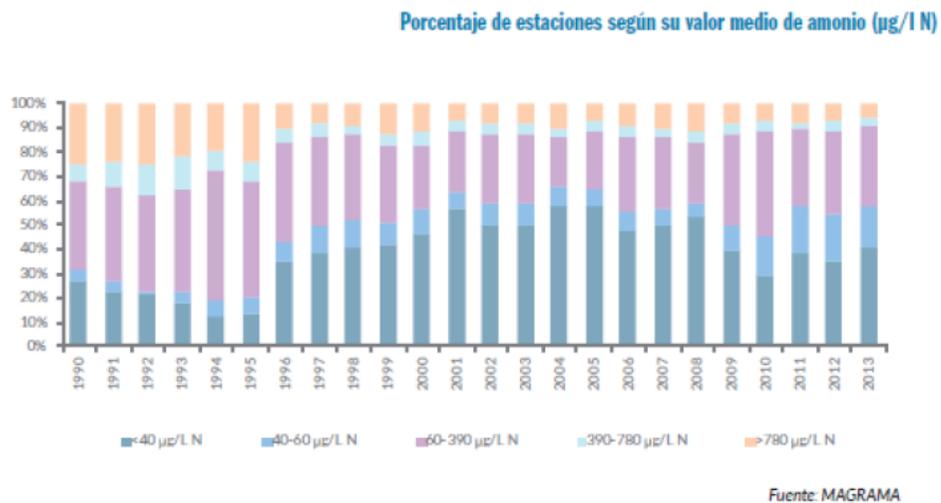
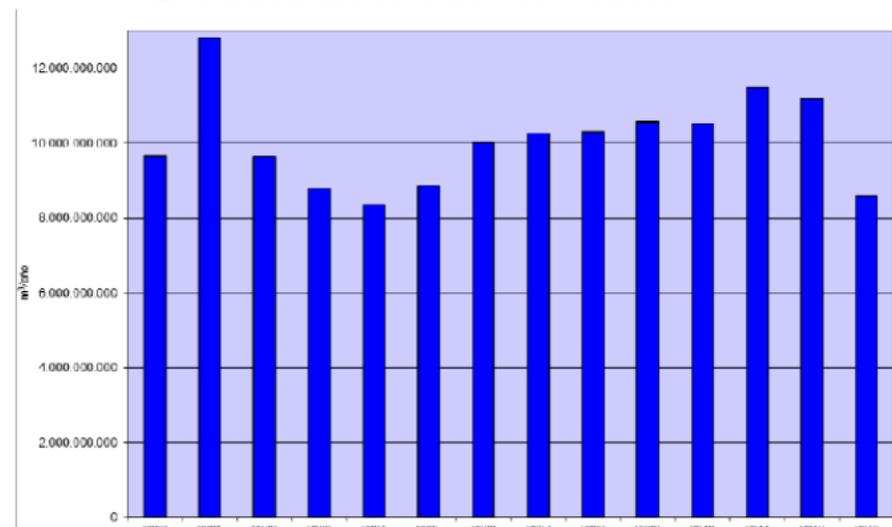
**INDUSTRIALES**  
ETSII | UPM



**¿mejora la calidad de los vertidos en España?**



### Evolución del volumen de vertidos





**INDUSTRIALES**  
ETSII | UPM



## **algunas sugerencias para mejorar disminuyendo el consumo específico de energía**

## Fuerzas motrices para aprovechar agua y energía

- Escasez de agua
- Incremento de la población
- Incremento de cultivos
- Disminución de la calidad del agua ¿vertidos inadecuados?
- Valorización de aguas residuales y residuos
- Incremento de empleos y desarrollo de mercados
- Mejorar la calidad ambiental

**Economizar agua y energía no es un problema técnico. Depende de nuestra voluntad.**

**El agua tiene que tener un precio ajustado a la función esencial que este recurso supone en nuestras vidas.**

**Las iniciativas individuales (tecnología, instalación) son valiosas pero es necesario coordinarlas (impulsar un sistema).**

**La gestión sistemática puede asegurar un esfuerzo continuado de eficiencia energética.**



Reducir el consumo de energía → Reducir costes de operación



Reducir emisiones de CO<sub>2</sub>

Favorecer el  
desarrollo  
sostenible

### Compromisos europeos

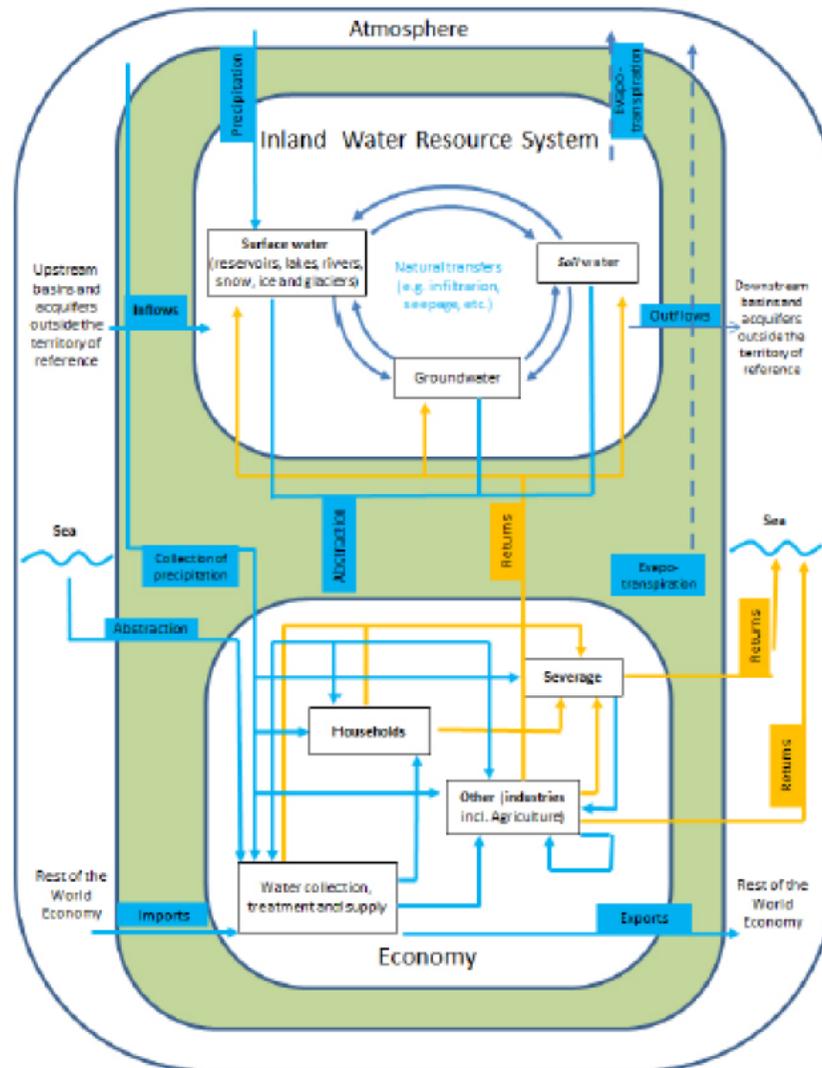
- Directiva 2012/27 sobre eficiencia energética 2020  $\begin{cases} <1.474 \cdot 10^6 \text{ tep e. primaria} \\ <1.078 \cdot 10^6 \text{ tep e. final} \end{cases}$
- Objetivos de la EIP en tecnologías de tratamiento de agua y agua residual
- Paquete de medidas sobre cambio climático y energía (objetivos 2020) y marco para 2030

Acuerdo *6th World Water Forum* (2012) → incrementar en 2020 un 20% el rendimiento energético en depuradoras urbanas respecto a valores de 1990



## Objetivos europeos:

- Compartir datos de plantas de depuración (operadores, administración municipal, asociaciones)
- Nivel de agregación: nacional, cuenca, planta
- Marco energético: balance global, solo electricidad
- Marco de tratamiento: valorización energética, agua de tormentas, vertidos industriales
- Normalización: por persona, por h-e, por m<sup>3</sup>, por carga orgánica eliminada



## Herramientas en la toma de decisiones

ACV comparando diversas alternativas  
(valorando impactos)

(p.e. *Suministro de agua a una ciudad*)

-Desalación de agua de mar

-Incremento de la explotación de agua subterránea

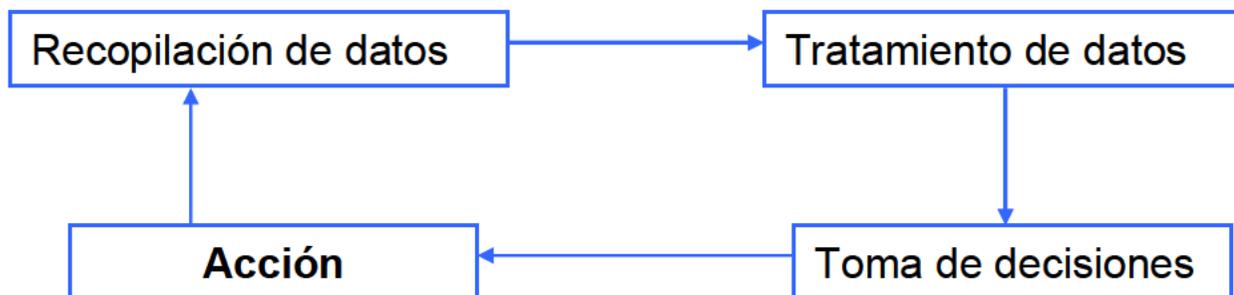
-Aprovechamiento de agua de lluvia

-Incremento de la regeneración de agua depurada

Fuente: <http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seeaw/seeawaterwebversion.pdf>

## Aspectos a considerar en la mejora de la eficiencia energética

- Motivación
- Planificación de la gestión
- Diseño flexible de las instalaciones
- Automatización
- Digestión anaeróbica y cogeneración de calor y energía eléctrica / codigestión
- Mejora de la sedimentación primaria
- Recuperación de nutrientes
- Tratamiento térmico de lodos
- Energía solar
- Energía eólica



### Bombeo

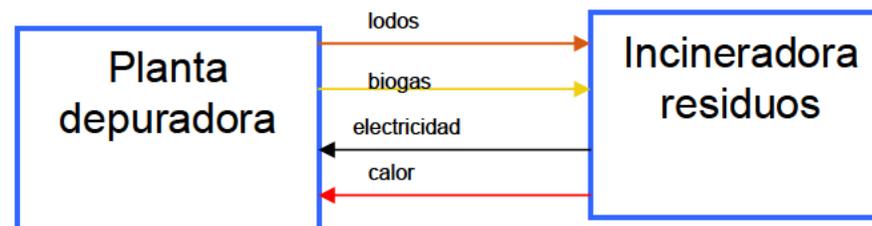
- Adecuar las bombas a los caudales
- Trabajar en condiciones de caudales y presiones variables

### Aireación

- Adecuar los compresores
- Adecuar el caudal de aire a las variaciones de carga

### Depuración anaeróbica / Estabilización lodos

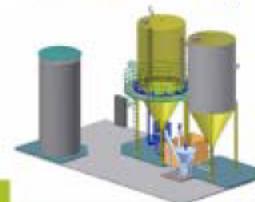
Optimizar las diferentes cargas para optimizar la producción de gas





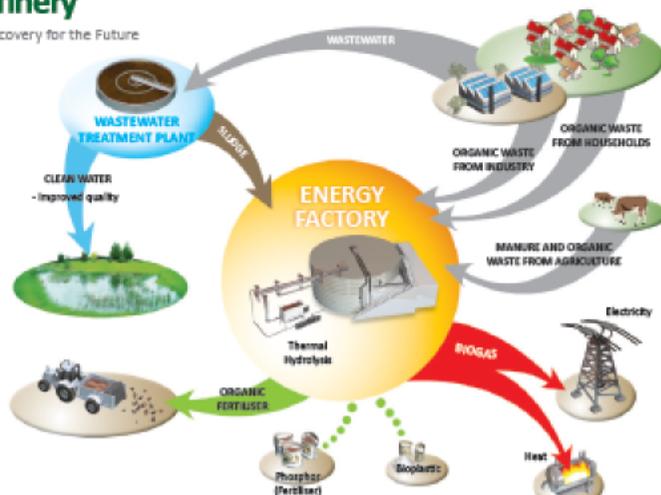
### Struvite reactor

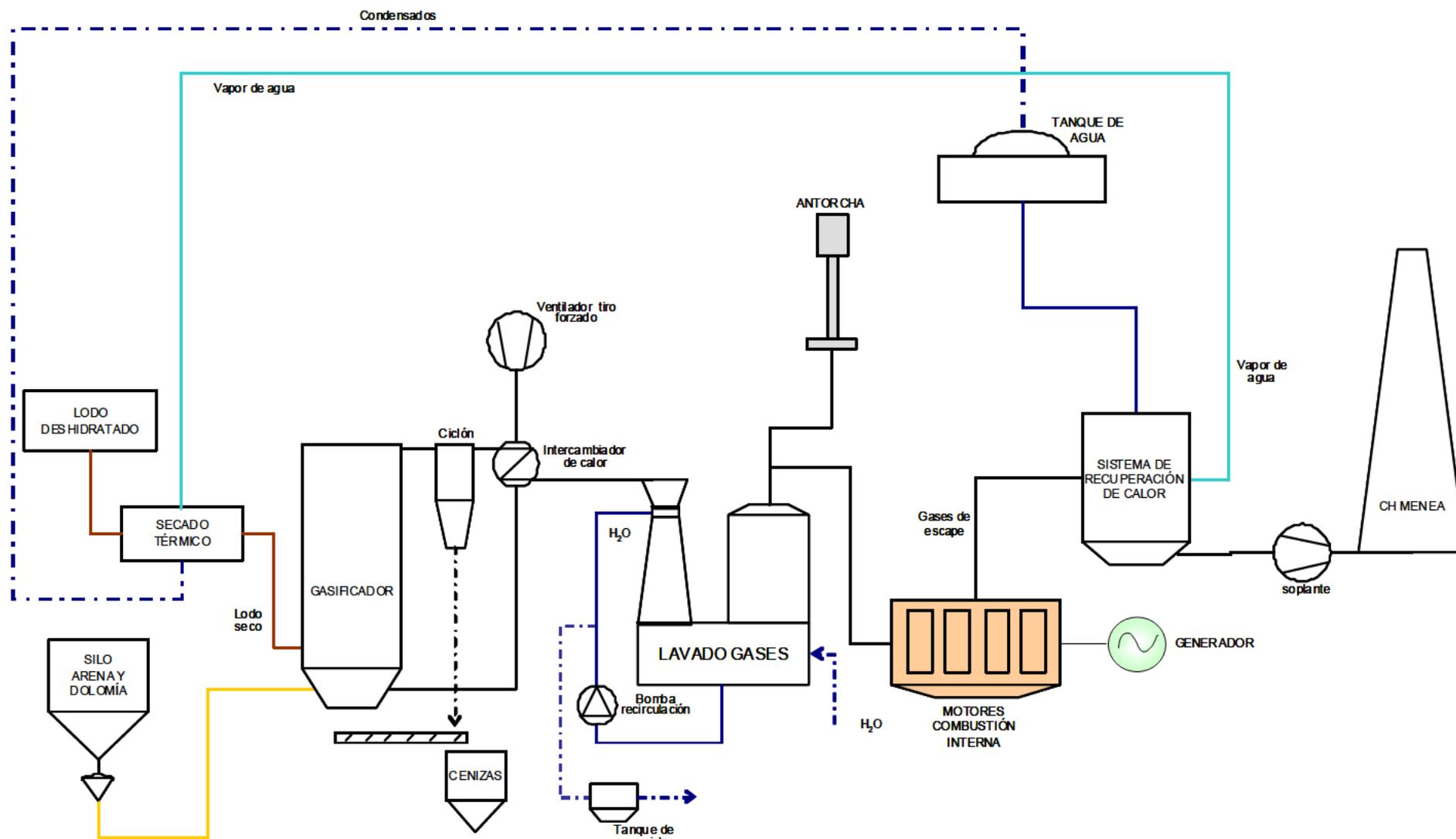
- Aeration
- Adding magnesium chloride
- Controlled crystallization process



### Billund BioRefinery

Resource Recovery for the Future







### EDAR con balsa de homogeneización

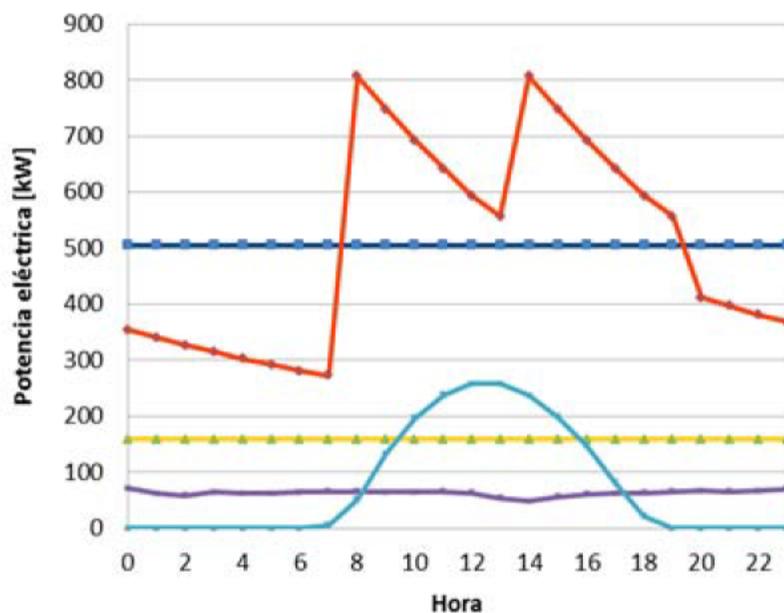
<b>Generación anual eólica</b>	552,2	MWh	12%
<b>Generación anual biogás</b>	1.393,7	MWh	32%
<b>Consumo anual de la red</b>	2.483,0	MWh	56%

<b>Generación anual fotovoltaica</b>	667,8	MWh	15%
<b>Generación anual biogás</b>	1.393,7	MWh	32%
<b>Consumo anual de la red</b>	2.366,7	MWh	53%

### EDAR sin balsa de homogeneización

<b>Generación anual eólica</b>	552,2	MWh	12%
<b>Generación anual biogás</b>	1.393,7	MWh	32%
<b>Consumo anual de la red</b>	2.502,6	MWh	56%

<b>Generación anual fotovoltaica</b>	1.619,3	MWh	35%
<b>Generación anual biogás</b>	1.393,7	MWh	30%
<b>Consumo anual de la red</b>	1.664,9	MWh	35%





## Otros planteamientos

- reducir la carga contaminante que llega a depuración mediante separación en origen:
  - ✓ aprovechar el agua de lluvia
  - ✓ reutilizar aguas grises (lavabos, duchas, bañeras,..) = baja concentración de sólidos en suspensión y materia orgánica disuelta
- aprovechar energía térmica



Fuente Aqua España, 2011



**INDUSTRIALES**  
ETSII | UPM



**¡MUCHAS GRACIAS!**