

# Exploración por simulación de la eliminación biológica de P y recuperación de estruvita en EDAR urbanas

Eduardo Ayesa

- Director de la División de Agua y Salud de Ceit-IK4
- Profesor de TECNUN (Universidad de Navarra)



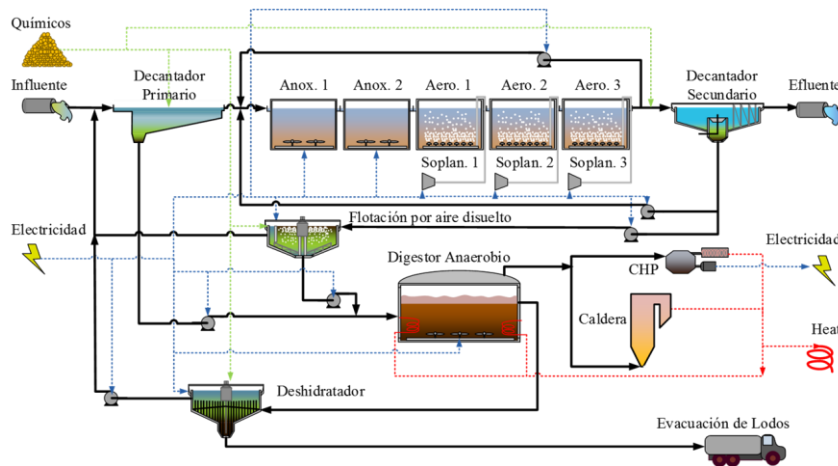
Centro tecnológico



Consultoría Spin-off de Ceit-IK4

# Introducción

1. Las modernas EDAR son sistemas de tratamiento cada vez más flexibles y eficientes, pero también más **complejos**
  - Múltiples procesos físicos, químicos y biológicos **interrelacionados** entre sí
  - **Procesos dinámicos** con diferentes tiempos de respuesta
  - Los **criterios tradicionales de diseño y operación** (rígida) son insuficientes
  - Las **herramientas de simulación** son muy apropiadas para optimizar las EDAR



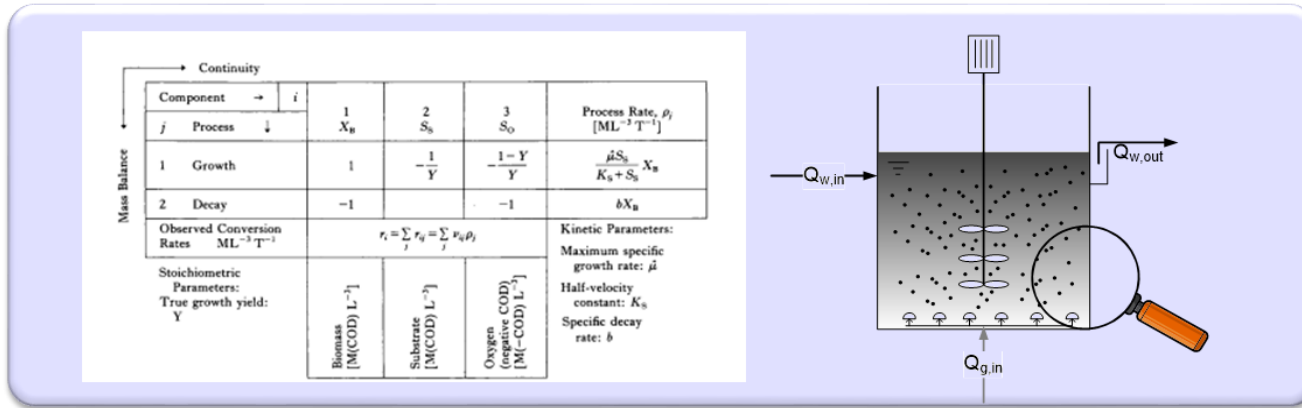
# Introducción

## 2. Los simuladores de EDAR son ya una **tecnología madura**

- En continua **evolución y contrastación** desde los años 80
- Los nuevos modelos permiten **estudios globales** de toda la planta teniendo en cuenta las interrelaciones entre las líneas de agua y de fangos

# Introducción

## 2. Los simuladores de EDAR son ya una tecnología madura



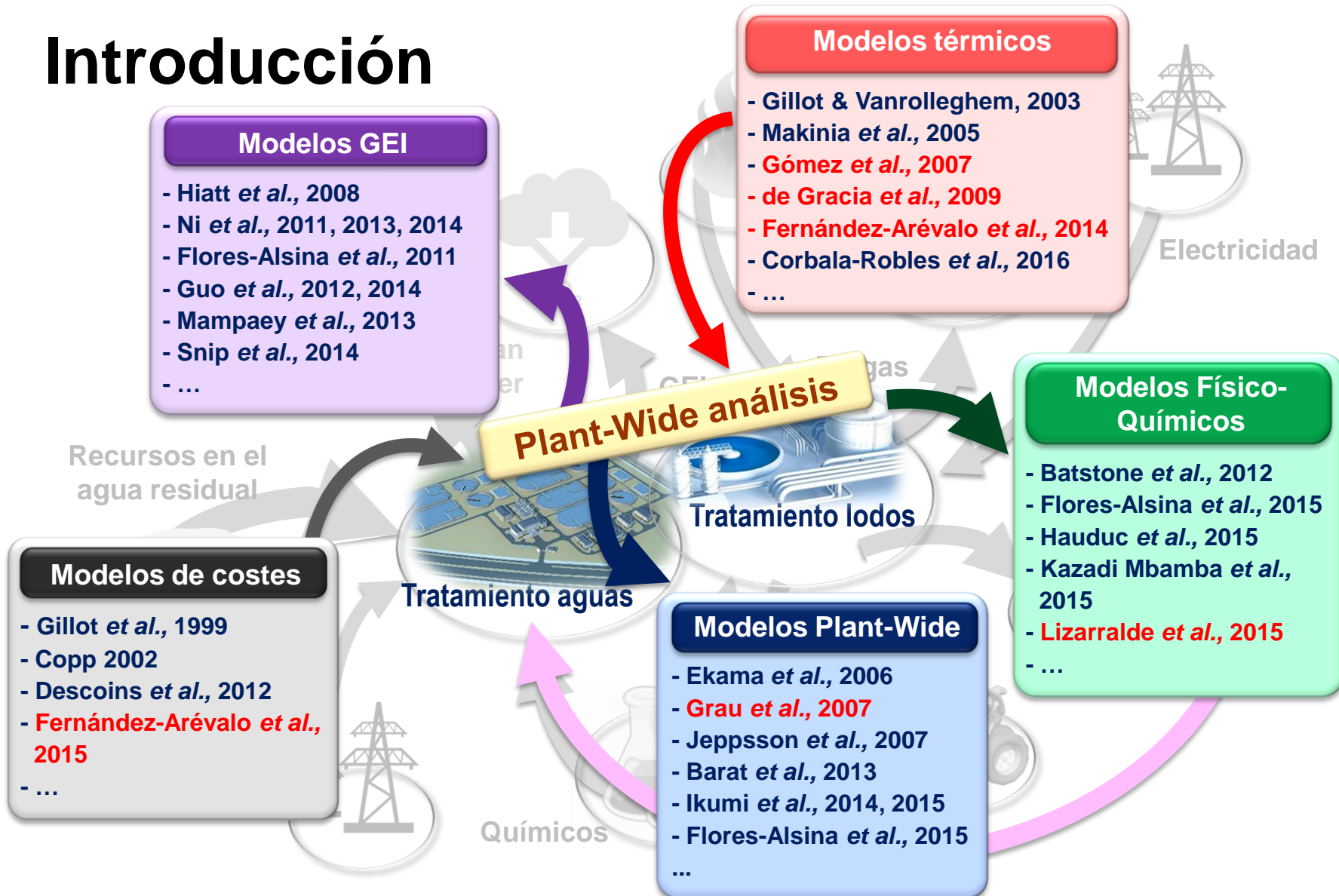
C	N	
C	N	
C	N	P
C	N	P
C	N	P
C	N	P
C	N	
C	N	
C	N	P
C	N	
C	N	P

$P_{\text{Chem}}$   
 $P_{\text{Chem}}$

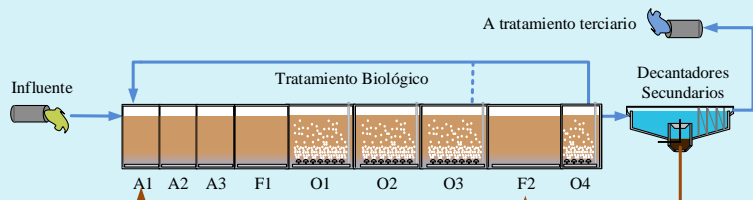
Línea aguas
Línea aguas
Línea aguas
Línea aguas
Línea aguas
Línea aguas
Línea aguas
Línea aguas
Línea aguas
Línea fangos
Línea aguas

1980	UCTOLD Dold <i>et al.</i>
1987	ASM1 Henze <i>et al.</i>
1989	UCTPHO Wentzel <i>et al.</i>
1992	ASM2 Henze <i>et al.</i>
1995	ASM2d Henze <i>et al.</i>
1997	B&D Barker <i>et al.</i>
1999	ASM3 Henze <i>et al.</i>
2001	ASM3-bioP Rieger <i>et al.</i>
2002	ADM1 Batstone <i>et al.</i>
2004	TUDP Meijer
...	...

# Introducción

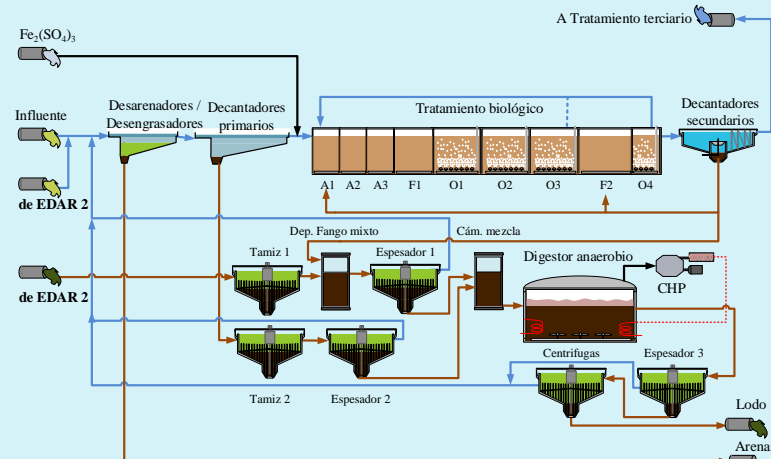


# Introducción



Del análisis local...

A las soluciones globales

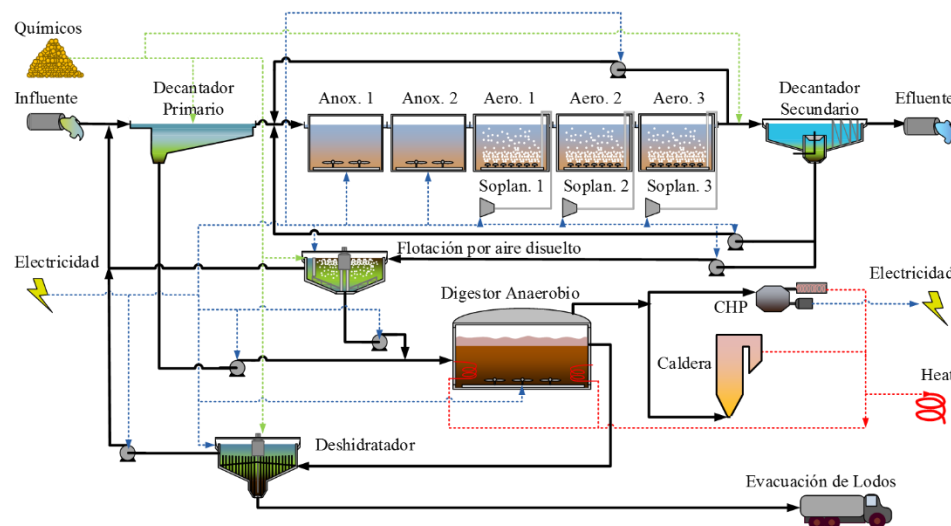
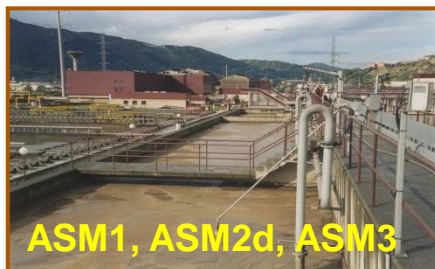


De la calidad efluente...



# Modelado matemático de las EDAR

## Problemática de la Simulación integral



- Diferentes niveles de descripción e hipótesis
- Limitaciones de compatibilidad entre componentes
  - Nitrógeno orgánico en ASM1 y ASM2, ADM1
  - Sustrato carbonoso en ASM1, ASM2 y ADM1
  - Sólidos Suspendidos Totales (SST) y DQO
  - Alcalinidad en ASM1 y ASM2 y predicción de pH en ADM1

Dificultad para realizar de manera sencilla y rigurosa un modelo global

# Modelado matemático de las EDAR

## Problemática de la Simulación integral



**Transformadores** específicos entre los modelos estándar

- ASM1-ADM1 (Copp et al., 2003), Interfaces CBIM (Vanrolleghem et al., 2005)
- No siempre garantizan la continuidad de masa elemental
- Su diseño y utilización en cualquier escenario de simulación estacionario o dinámico requiere un conocimiento avanzado

### Modelo Único General

- Componentes y transformaciones necesarias para reproducir todos los procesos en una EDAR avanzada
- Biowin (Jones and Tákacs, 2004), BNRM1 (Seco et al., 2004)
- No posee flexibilidad para adaptarse al caso de estudio
- Continua ampliación del modelo



# Metodología PWM de Ceit-IK4

## Objetivos de la metodología PWM de Ceit-IK4 (entre 2004 y 2017)

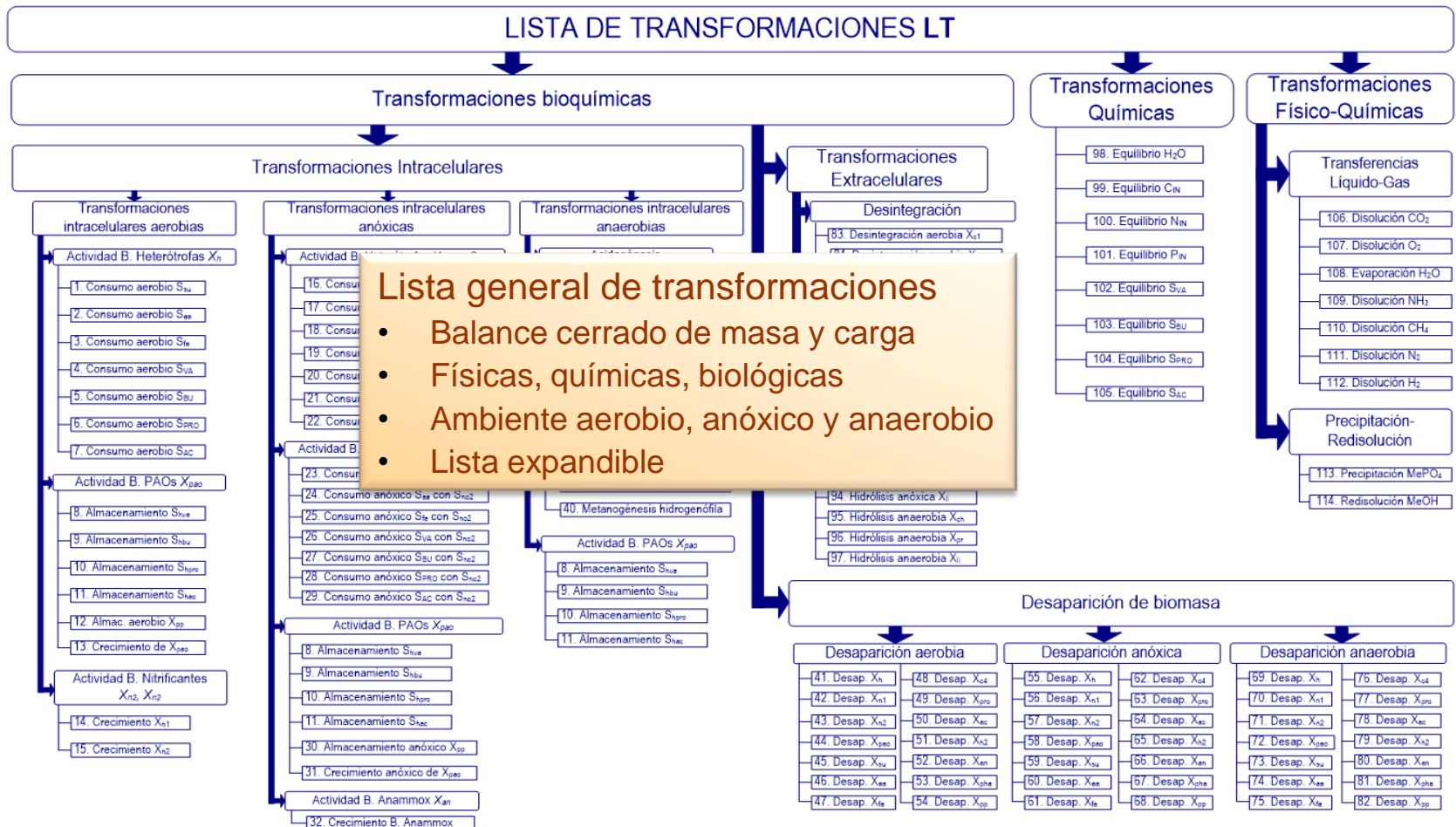
- Síntesis de conocimiento y experiencia (más de 20 tesis doctorales en modelado de EDAR)
- Modelos de procesos unitarios **compatibles** y directamente **conectables** entre sí.
- De complejidad **adaptable** a las necesidades de cada caso de estudio
- Predicciones similares a los **modelos estándar** (ASM1, ASM2d, ASM3, ADM1, etc.)
- Librería de modelos flexible y **expandible** para incorporar nuevas tecnologías y modelos

## Procedimiento

- Lista **ampliable** de **transformaciones** físicas, químicas, biológicas en condiciones aerobias, anóxicas, anaerobias
- Selección de la categoría (**vector de componentes**) necesaria para cada caso de estudio
- Vector de componentes único en toda la planta y para todos los procesos

# Metodología PWM de Ceit-IK4

## Lista de transformaciones

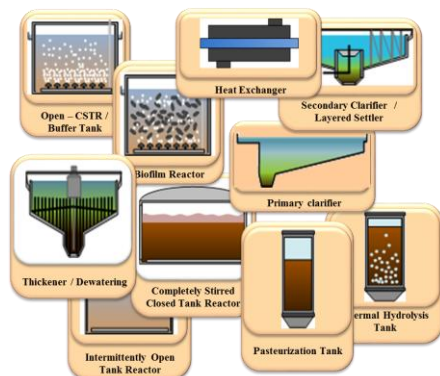


### Lista general de transformaciones

- Balance cerrado de masa y carga
- Físicas, químicas, biológicas
- Ambiente aerobio, anóxico y anaerobio
- Lista expandible

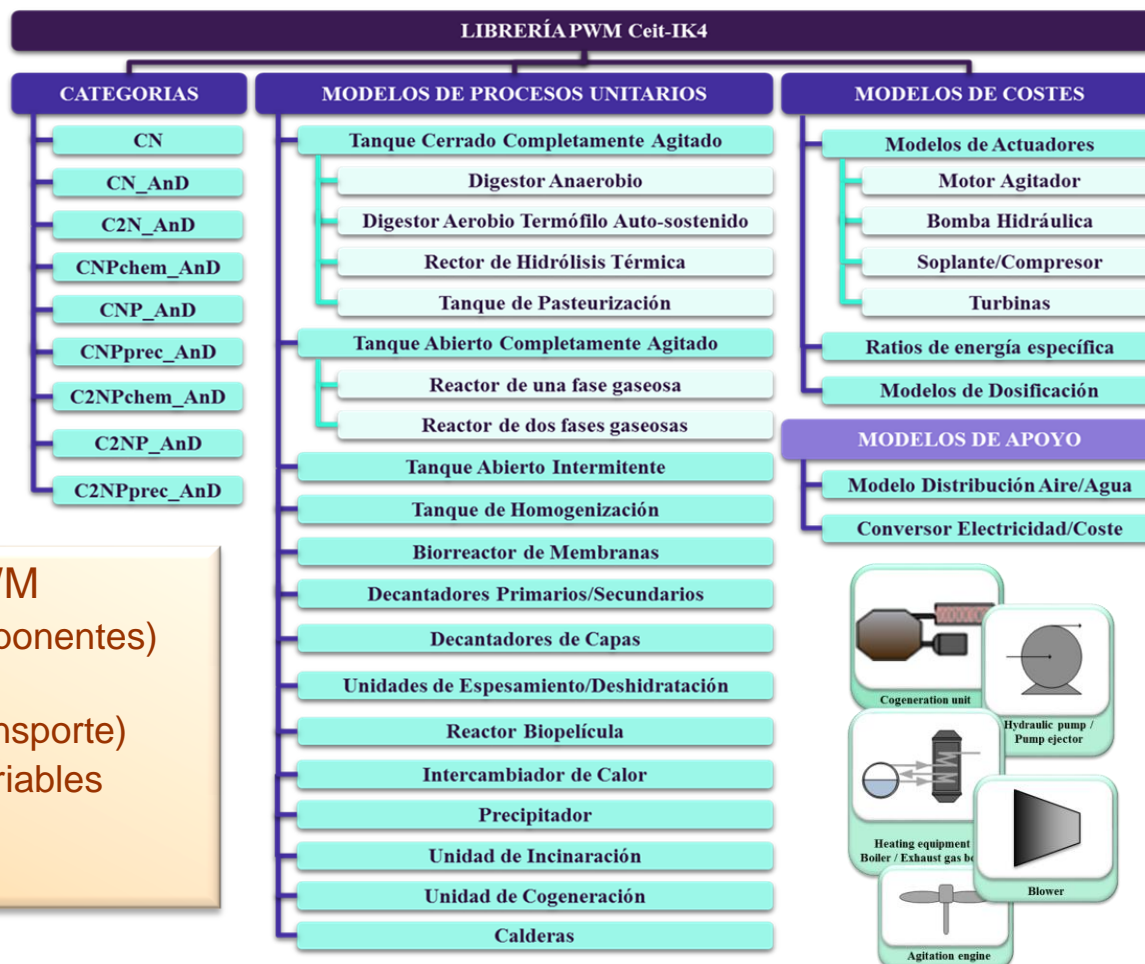
# Metodología PWM de Ceit-IK4

## Librería de modelos



### Librería de modelos PWM

- Categorías (vector componentes)
- Procesos Unitarios (transformaciones + transporte)
- Costes (asociados a variables manipulables)
- Lista expandible



# Metodología PWM de Ceit-IK4

## Fundamentos

Totalmente documentada en publicaciones en Water Research (entre 2007 y 2017)

1. P. Grau, M. de Gracia, P. Vanrolleghem and E. Ayesa (2007). A new Plant-wide modelling methodology for WWTPs. *Water Research* **41**, No. 19, pp. 4357-4372.
2. M. de Gracia, P. Grau, E. Huete, J. Gómez, J.L. García-Heras and E. Ayesa (2009). New generic mathematical model for WWTP sludge digesters operating under aerobic and anaerobic conditions: model building and experimental verification. *Water Research* **43**, pp. 4626-4642.
3. T. Fernández-Arévalo, I. Lizarralde, P. Grau and E. Ayesa (2014). New systematic methodology for incorporating dynamic thermal modelling in multi-phase biochemical reactors. *Water Research* **60**, pp. 141-155.
4. I. Lizarralde, T. Fernández-Arévalo, C. Brouckaert, P. Vanrolleghem, D.S. Ikumi, G. A. Ekama, E. Ayesa and P. Grau (2015). A new general methodology for incorporating physico-chemical transformations into multi-phase wastewater treatment process models. *Water Research* **74**, pp. 239-256.
5. T. Fernández-Arévalo, I. Lizarralde, F. Fdz-Polanco, S.I. Pérez-Elvira, J.M. Garrido, S. Puig, M. Poch, P. Grau and E. Ayesa (2017). Quantitative assessment of energy and resource recovery in wastewater treatment plants based on plant-wide simulations. *Water Research* **118**, pp. 272-288



EDAR BENDINAT



EDAR CARTUJA



EDAR PAGUERA



EDAR PALMA 2



EDAR SUR



EDAR PALMA 1



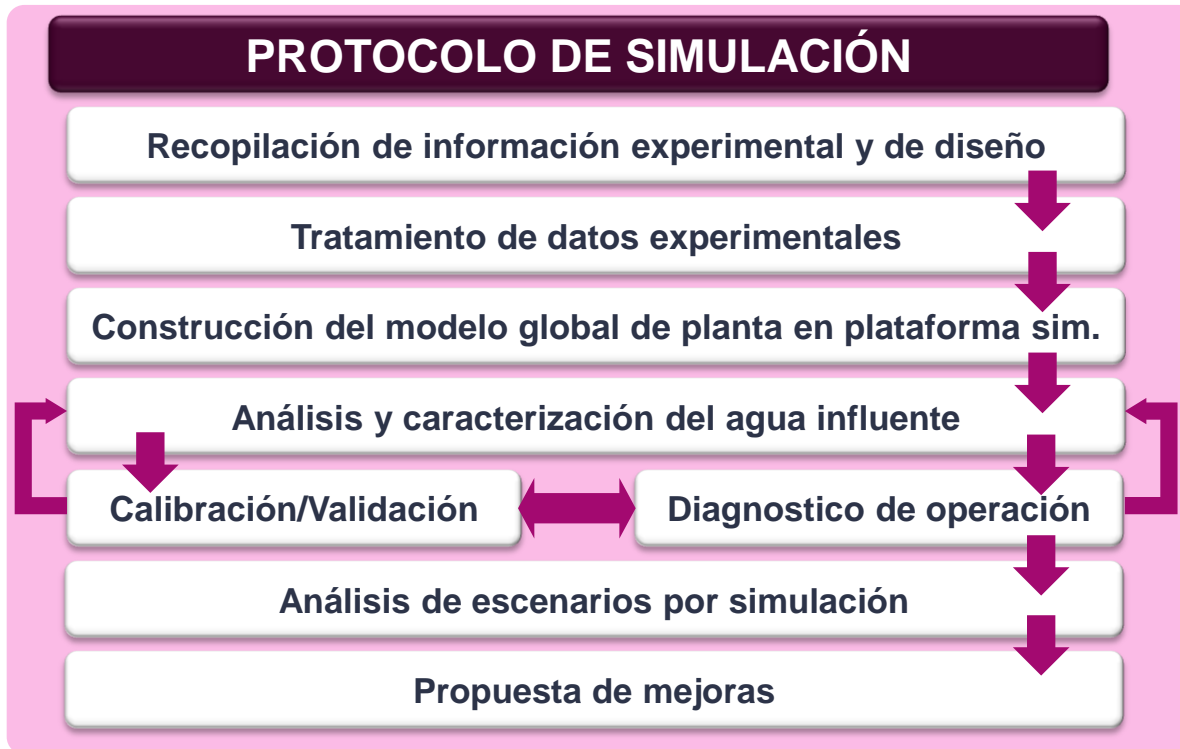
EDAR GALINDO



EDAR ARAZURI

# Simulación de EDAR

## Protocolo



Herramienta para la detección de datos

Herramientas para la caracterización del influente y para la reconstrucción de datos

Caracterización del agua		Caracterización del agua		Caracterización del agua	
PH	8.2	PH	8.2	PH	8.2
Ca	100	Ca	100	Ca	100
Mg	50	Mg	50	Mg	50
Na	10	Na	10	Na	10
Cl	10	Cl	10	Cl	10
SO4	10	SO4	10	SO4	10
NO3	10	NO3	10	NO3	10
NO2	10	NO2	10	NO2	10
CO3	10	CO3	10	CO3	10
HCO3	10	HCO3	10	HCO3	10
SiO2	10	SiO2	10	SiO2	10
Fe	10	Fe	10	Fe	10
Mn	10	Mn	10	Mn	10
Zn	10	Zn	10	Zn	10
Cu	10	Cu	10	Cu	10
Pb	10	Pb	10	Pb	10
Cr	10	Cr	10	Cr	10
Ni	10	Ni	10	Ni	10
Mo	10	Mo	10	Mo	10
B	10	B	10	B	10
F	10	F	10	F	10
As	10	As	10	As	10
Sb	10	Sb	10	Sb	10
Se	10	Se	10	Se	10
Hg	10	Hg	10	Hg	10
Cd	10	Cd	10	Cd	10
Mn	10	Mn	10	Mn	10
Co	10	Co	10	Co	10
Ni	10	Ni	10	Ni	10
Cu	10	Cu	10	Cu	10
Zn	10	Zn	10	Zn	10
Pb	10	Pb	10	Pb	10
Cr	10	Cr	10	Cr	10
Ni	10	Ni	10	Ni	10
Mo	10	Mo	10	Mo	10
B	10	B	10	B	10
F	10	F	10	F	10
As	10	As	10	As	10
Sb	10	Sb	10	Sb	10
Se	10	Se	10	Se	10
Hg	10	Hg	10	Hg	10
Cd	10	Cd	10	Cd	10

# Ejemplos ilustrativos

## Optimización de la EDAR de Palma

El estudio fue llevado a cabo para la empresa municipal de aguas y alcantarillado de Palma de Mallorca (EMAYA)



### OBJETIVO

1. Diagnóstico de las EDARs
2. Optimización de la operación
3. Análisis y priorización de mejoras en la EDAR



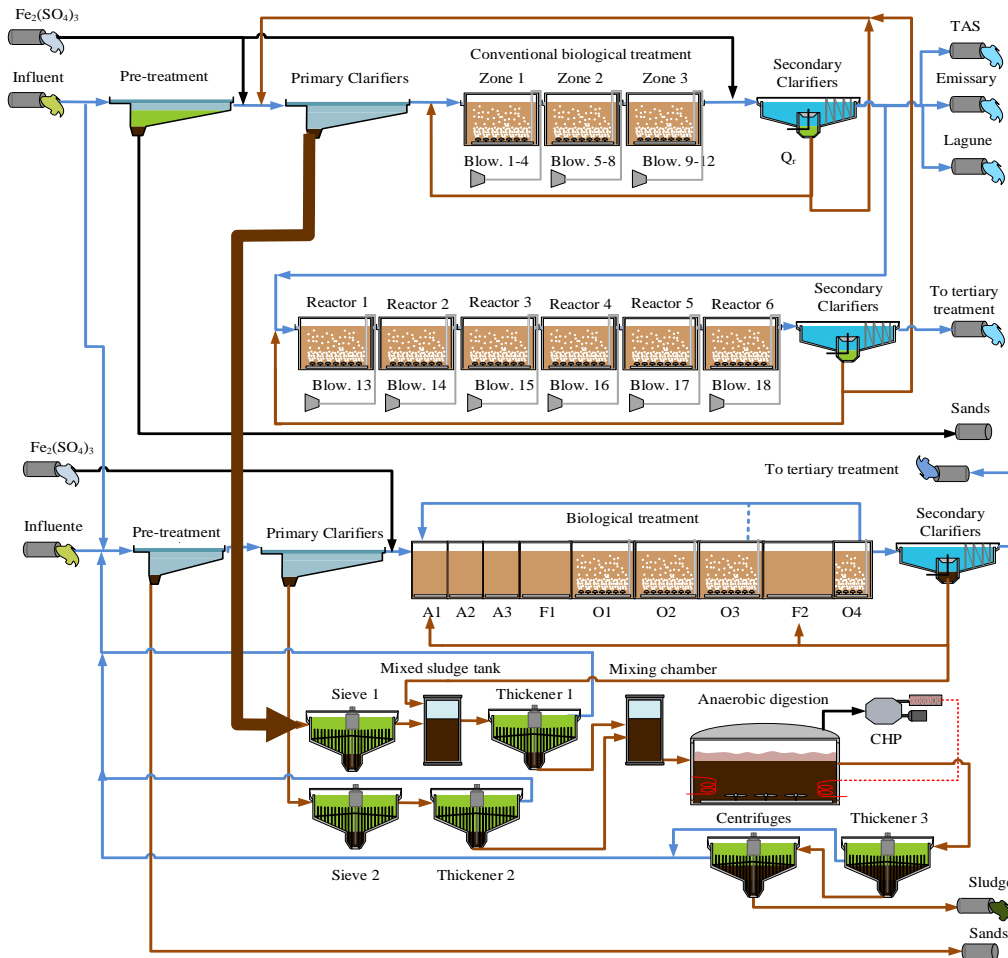
EDAR PALMA 2



EDAR PALMA 1

# Ejemplos ilustrativos

## Optimización de la EDAR de Palma



### EDAR Palma 2

- 350.000 pe
- Eliminación de DQO y Nitrificación

Modelo "integral" de dos EDAR conectadas

### EDAR Palma 1

- 460.000 pe
- Eliminación biológica de DQO/N y eliminación química de P



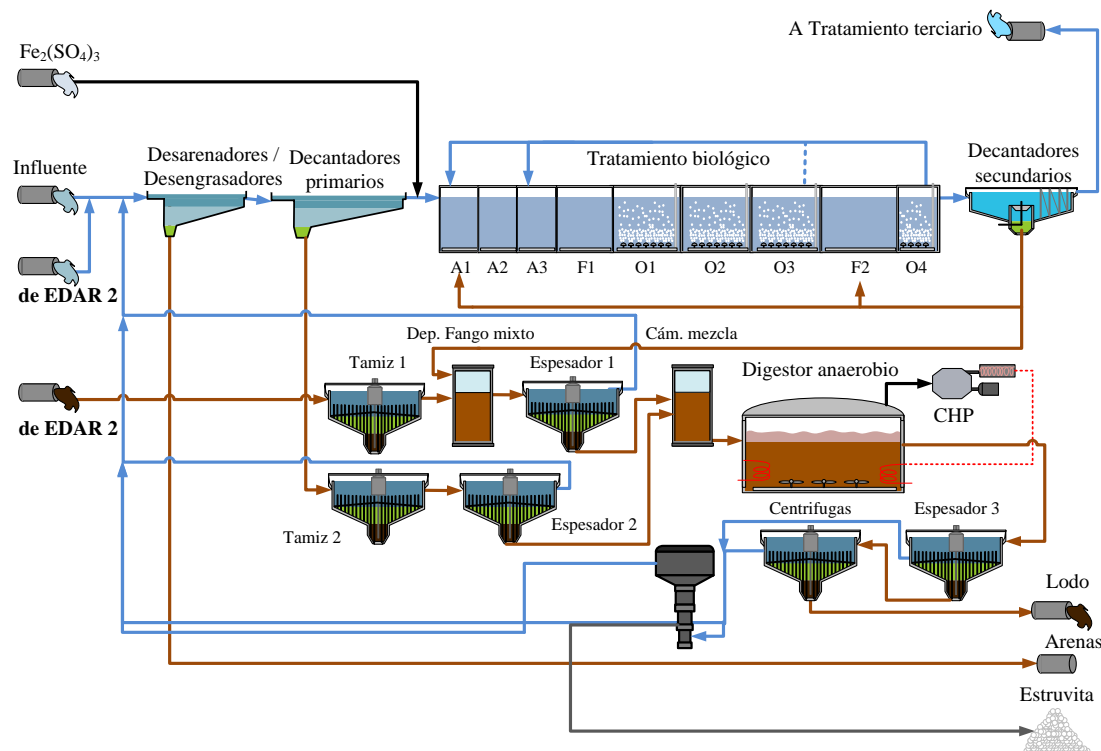
# Ejemplos ilustrativos

## Optimización de la EDAR de Palma

### OBJETIVO

**Análisis tecno/económico de las alternativas para la recuperación/eliminación de P**

1. DN con Dosificación de  $\text{Fe}^{+3}$  (dosificación actual)
2.  $\text{A}^2\text{O}$
3.  $\text{A}^2\text{O}$  + precipitación simultánea de P (70 % de la dosificación actual)
4.  $\text{A}^2\text{O}$  con precipitación de estruvita



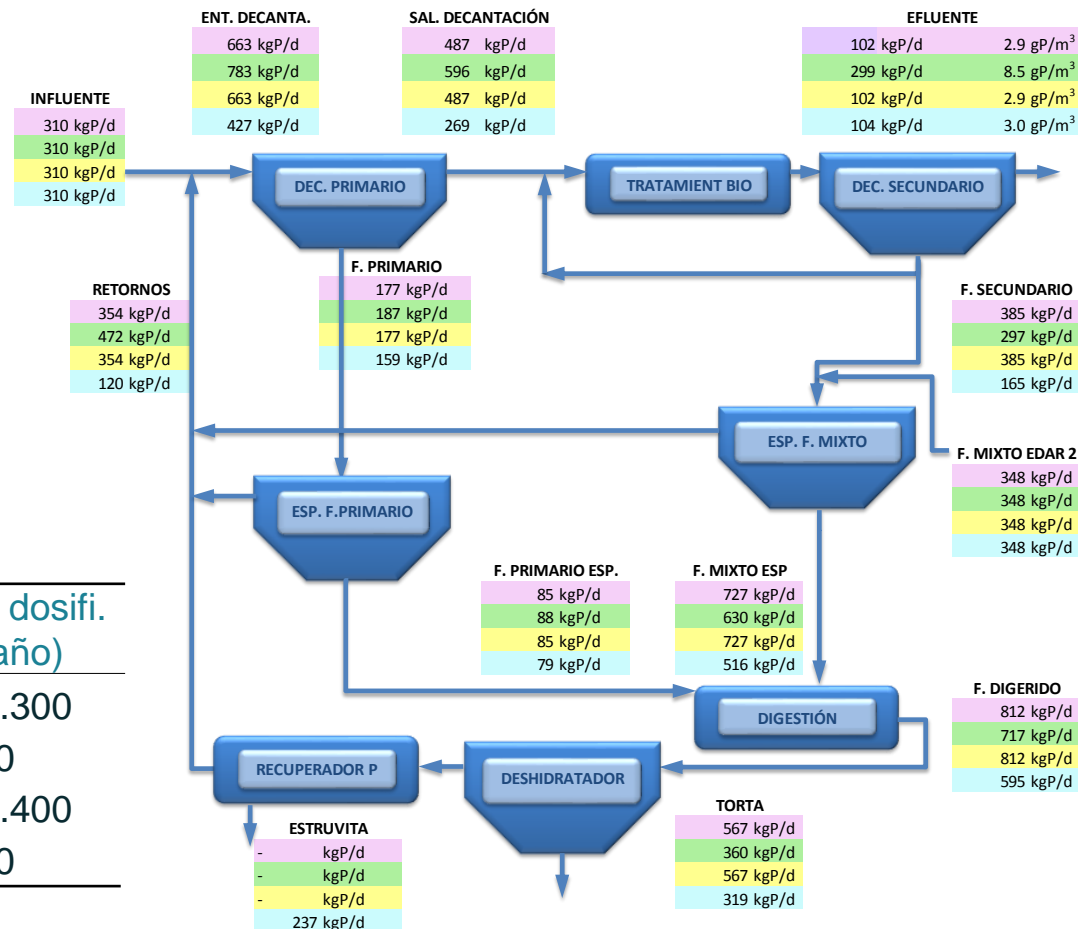
# Ejemplos ilustrativos

## Optimización de la EDAR de Palma

### OBJETIVO

#### Análisis tecno/económico de las alternativas para la recuperación/eliminación de P

1. DN con Dosificación de  $\text{Fe}^{+3}$  (dosificación actual)
2.  $\text{A}^2\text{O}$
3.  $\text{A}^2\text{O}$  + precipitación simultánea de P (70 % de la dosificación actual)
4.  $\text{A}^2\text{O}$  con precipitación de estruvita



	$P_T$ efluente (gP/m <sup>3</sup> )	Ahorro dosific. (Alt 1)	Coste dosifi. (€/año)
<b>Alt. 1</b>	2,9	-	326.300
<b>Alt. 2</b>	8,5	100%	0
<b>Alt. 3</b>	2,9	30%	228.400
<b>Alt. 4</b>	3,0	100%	0

# Ejemplos ilustrativos

Maximización de la producción de estruvita en la EDAR Sur (Madrid)

El estudio fue llevado a cabo para la empresa Veolia Water Ibérica



## OBJETIVO

Maximizar la producción de estruvita mediante la simulación de diferentes configuraciones de planta

### Características de la Planta

- 3.000.000 pe
- **6 líneas paralelas que reciben un caudal total de 260.000 m<sup>3</sup>/d**
- Diseñada para la eliminación biológica de C y la eliminación biológica + química del P
- Digestión anaerobia



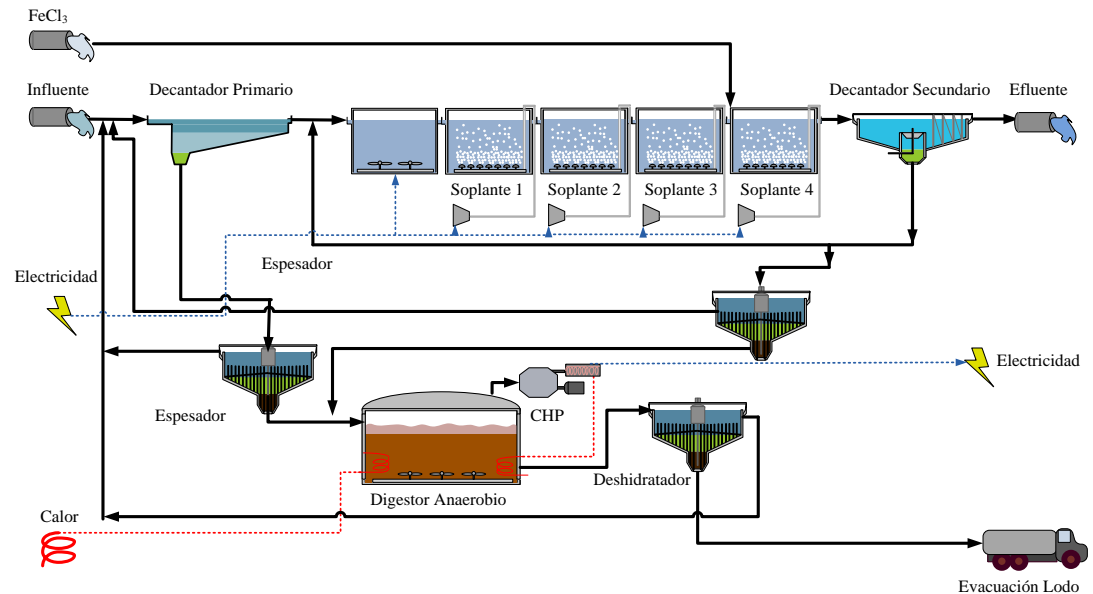
# Ejemplos ilustrativos

Maximización de la producción de estruvita en la EDAR Sur (Madrid)

## OBJETIVO

Maximizar la producción de estruvita mediante la simulación de diferentes configuraciones de planta

1. Configuración de planta actual (AO)



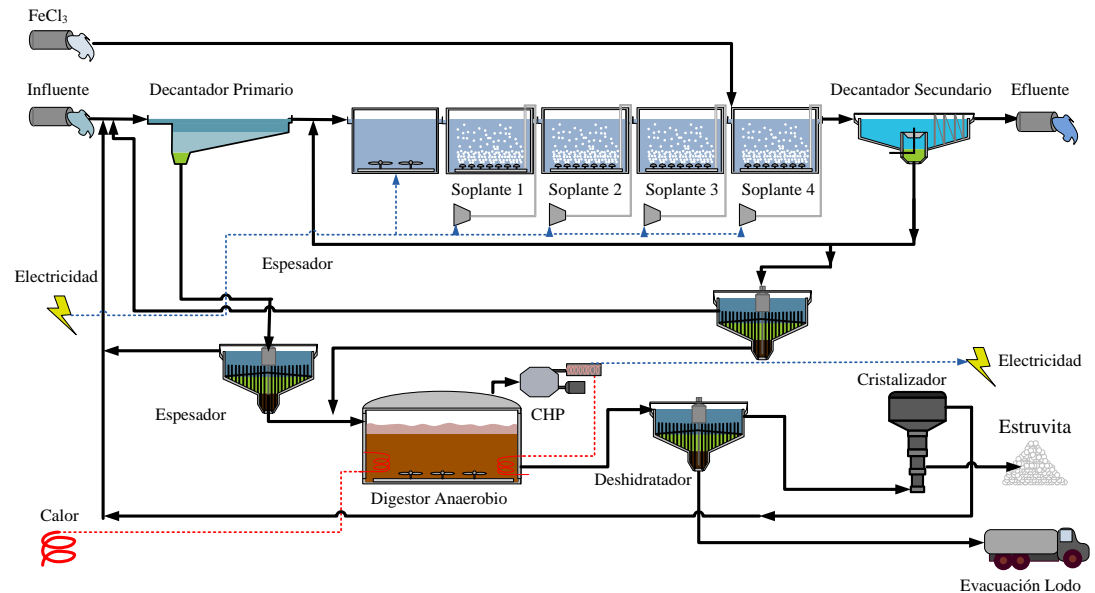
# Ejemplos ilustrativos

Maximización de la producción de estruvita en la EDAR Sur (Madrid)

## OBJETIVO

Maximizar la producción de estruvita mediante la simulación de diferentes configuraciones de planta

1. Configuración de planta actual (AO)
2. AO + Cristalizador



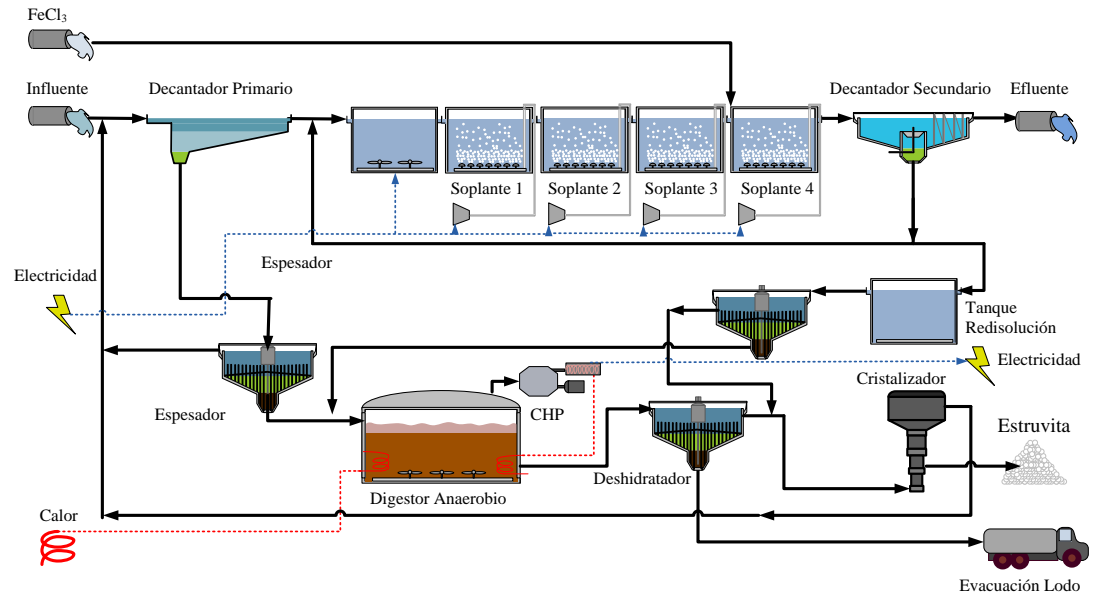
# Ejemplos ilustrativos

## Maximización de la producción de estruvita en la EDAR Sur (Madrid)

### OBJETIVO

Maximizar la producción de estruvita mediante la simulación de diferentes configuraciones de planta

1. Configuración de planta actual (AO)
2. AO + Cristalizador
3. AO + Cristalizador + Tanque de redisolución de fósforo



	Escenario A	Escenario B	Escenario C
Producción de estruvita (t/año)	---	1499 (100%)	1488 (-0,73%)
Dosificación $MgCl_2$ (t/año)	---	763 (100%)	545 (-28,6%)
Dosificación $NaOH$ (t/año)	---	450 (100%)	445 (-1,1%)
Precipitación natural estruvita (t/año)	139 (100%)	105 (-24,2%)	47 (-66,31%)
Producción de fango (t/año)	16490 (100%)	15400 (-6,6%)	14864 (-9,8%)
Dosificación de $FeCl_3$ (t/año)	4742 (100%)	2371 (-50%)	2371 (-50%)

# Conclusiones

1. Los simuladores de EDAR son ya una **tecnología madura** y capaz de ser aplicados a casos de estudio de plantas reales
2. Los simuladores dinámicos de EDAR son **herramientas muy útiles** para optimizar la **operación** de las EDAR
  - **Explorar y comparar** el comportamiento **integral** de la planta en diferentes escenarios de operación
  - Analizar comparativamente diferentes configuraciones de planta, mejoras y remodelaciones, priorizando las **inversiones**
  - Ej.: Analizar el potencial de una EDAR para eliminar **P biológicamente** y recuperar **estruvita**
3. Para ser realmente útiles, requieren de un cierto **conocimiento** de la herramienta y un **procedimiento** riguroso de aplicación