



Cátedra FACSA de innovación  
en el ciclo integral del agua

UNIVERSITAT  
JAUME•I



# El control automático en los sistemas de depuración de aguas y residuos: conceptos teóricos y experiencias prácticas

Ion Irizar

15 MARZO, 2018



tecnun  
Universidad  
de Navarra  
Escuela de Ingenieros

# ÍNDICE

- INTRODUCCIÓN AL CONTROL DE EDAR
- BASE METODOLÓGICA EN CONTROL DE EDAR
- EXPERIENCIAS PRÁCTICAS
  - Proceso de fangos activados con recirculación interna
  - Proceso SBR
  - Proceso ATAD
  - Reactores anaerobios de alta carga
- PRÓXIMOS RETOS EN CONTROL DE EDAR
- CONCLUSIONES

# INTRODUCCIÓN AL CONTROL DE EDAR

- Definiciones previas:
  - **Automatización:**
    - Sólo las actuaciones básicas o de más bajo nivel disponen de **lazos de control** (bombeos, niveles en depósitos, aireación, secuenciado de fases, etc.). Los operadores de planta son indispensables para lograr los requerimientos funcionales del proceso (calidad del efluente, consumo energético, etc.)
  - **Control Automático:**
    - El proceso incorpora lazos de control capaces de lograr los requerimientos funcionales para los que fue diseñado con mínima intervención del operador de planta. Normalmente, dentro de la arquitectura global de control, se sitúan por encima de los lazos de bajo nivel.

# INTRODUCCIÓN AL CONTROL DE EDAR

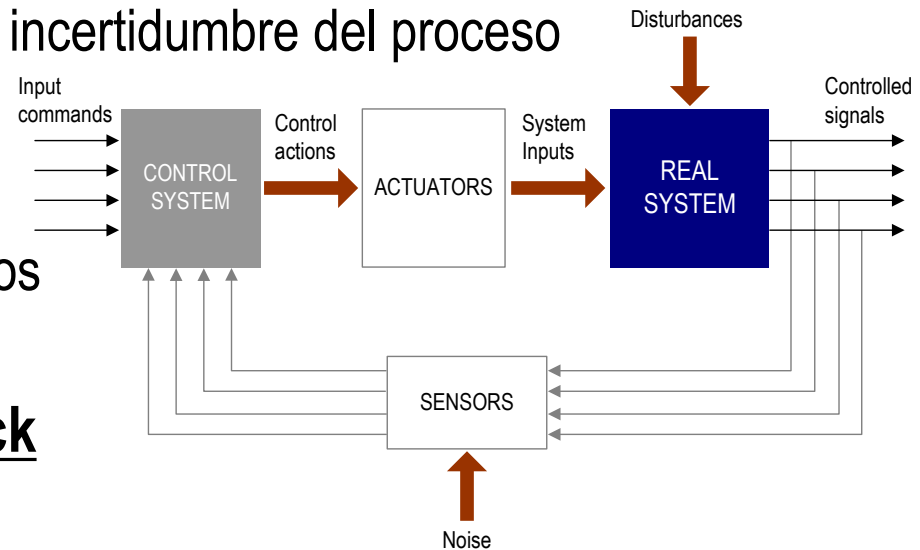
- Diseño/sintonización de controladores: generalidades

- Ventajas del **feedback**

- Atenúa la sensibilidad a la incertidumbre del proceso
- Rechaza perturbaciones no medibles
- Permite estabilizar procesos de naturaleza inestable

- Inconvenientes del **feedback**

- Más caro
  - Puede **desestabilizar** el proceso
  - Realimentación del ruido de los sensores
- Diseñar un buen sistema de control conlleva maximizar las virtudes del **feedback** y minimizar sus efectos adversos



# INTRODUCCIÓN AL CONTROL DE EDAR

- Diseño/sintonización de controladores: generalidades
  - Lo primero, plantear el problema en términos de control
  - Definición de las especificaciones de control
    - ¿Hay que seguir una referencia? Especificar la respuesta a seguimiento de referencia (errores estáticos, tiempo de establecimiento, sobre-impulso, etc.)
    - ¿Hay perturbaciones? Especificar la respuesta deseada ante dichas perturbaciones
    - Tener en cuenta las consideraciones prácticas: características de sensores y actuadores, limitaciones del hardware, etc.

# INTRODUCCIÓN AL CONTROL DE EDAR

- **Control automático de EDAR:** particularidades
  - **Expertos en control:** dominio de las técnicas de control; formación en procesos biológicos, en general, limitada
  - **Expertos en proceso:** formación sólida en los fundamentos de la depuración; conocimiento limitado en teoría de control
  - Plasmar los objetivos de control en variables medibles
  - Gran diversidad de configuraciones de EDAR  $\Rightarrow$  Soluciones de control personalizadas
  - Requisitos funcionales cada vez más exigentes: calidad del agua, calidad del fango, consumo energético, recuperación

# BASE METODOLÓGICA EN CONTROL DE EDAR

- El modelado matemático de procesos unitarios de EDAR es un área de conocimiento muy consolidada
  - Hoy, el acceso a modelos matemáticos de cualquier proceso unitario es prácticamente inmediato
  - Además, el modelado integrado de EDAR es ya una realidad
- La teoría de control se fundamenta en la disponibilidad de **modelos matemáticos**
  - No hay razón para no explotar estos modelos en el diseño de controladores automáticos

# BASE METODOLÓGICA EN CONTROL DE EDAR

- ¿Por qué el modelado es apropiado para el diseño de controladores de EDAR?
  - Las EDAR reales son procesos sometidos a grandes perturbaciones:
    - Complica el diseño del controlador directamente sobre el proceso
  - Tecnologías de tratamiento emergentes de naturaleza inestable (reactores anaerobios, procesos de nitrificación parcial, etc.):
    - La simulación se vuelve una pieza esencial para alcanzar diseños óptimos de control

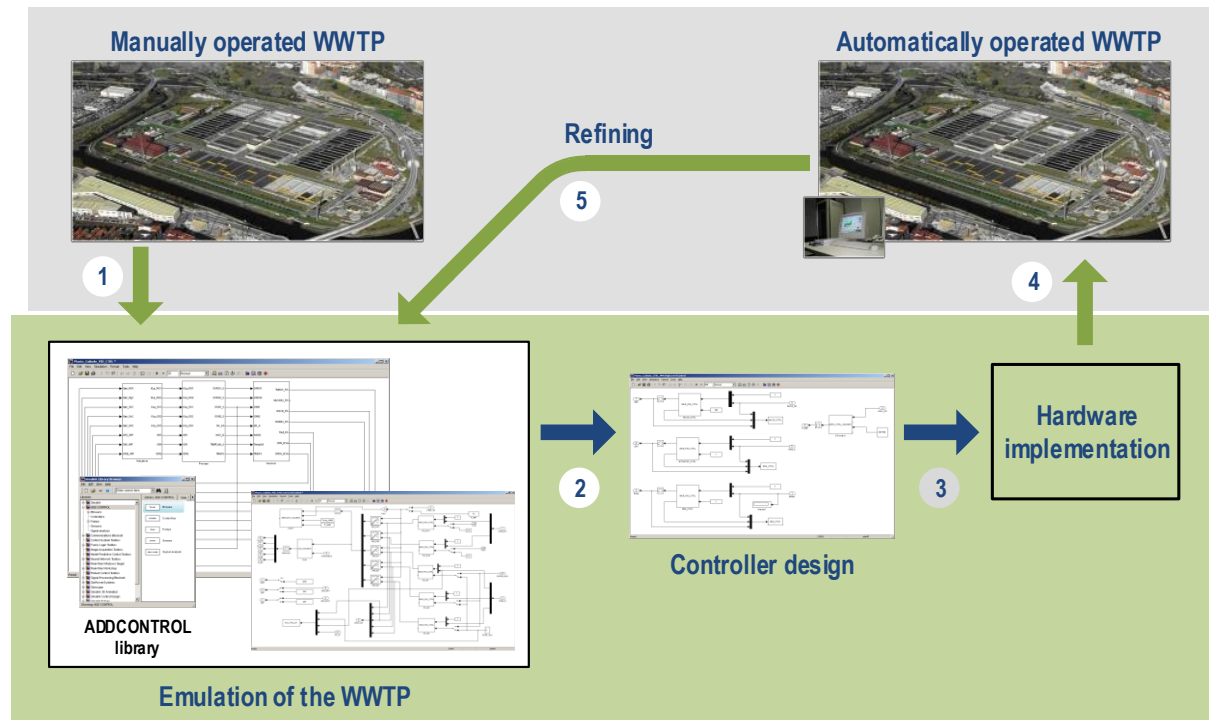


# BASE METODOLÓGICA EN CONTROL DE EDAR

- ¿Qué implica aplicar metodologías basadas en modelado y simulación?
  - **No linealidad, grandes perturbaciones**
  - **Los modelos han de ser calibrados** para cada caso específico
    - El enfoque de la metodología de simulación debe ser práctico
    - El proceso de calibración debe adaptarse a los datos disponibles y no al revés
    - Fiabilidad de los datos
    - Feedback de los operadores
  - El tiempo invertido es importante
    - El primer diseño: 1 año
    - El último: apenas 1-2 semanas

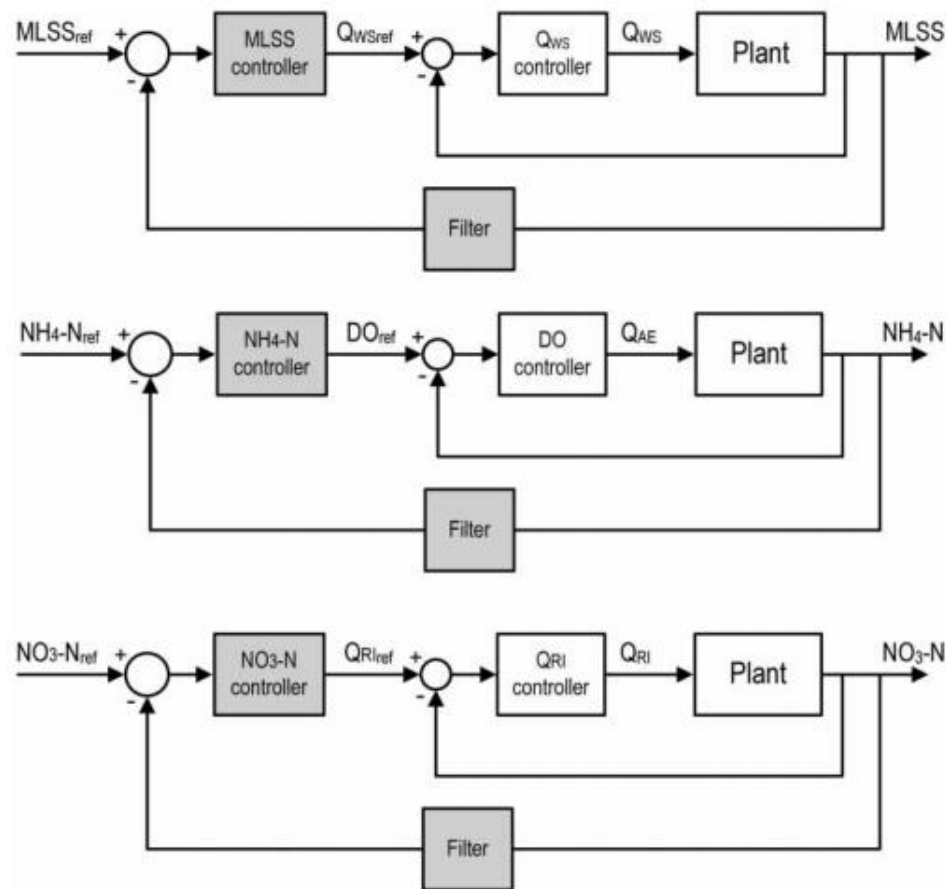
# BASE METODOLÓGICA EN CONTROL DE EDAR

- Esquema general del procedimiento de diseño de controladores por simulación:
  - 5 pasos: (1) desarrollo del simulador, diseño del controlador por simulación; (3) implementación real del algoritmo de control; (4) validación en la planta real; (5) re-ajuste



# EXPERIENCIAS PRÁCTICAS EN CONTROL

- **Procesos de fangos activados con recirculación interna**
  - Esquema de control: controlador multivariable descentralizado



# EXPERIENCIAS PRÁCTICAS EN CONTROL

- **Procesos de fangos activados con recirculación interna**
  - Las especificaciones de control sólo incluyen rechazo a perturbaciones
  - Cada lazo debe ajustarse intentando rechazar sólo aquellas perturbaciones estrictamente necesarias para cumplir los requerimientos funcionales del proceso  $\Rightarrow$  optimización energética
  - El orden de sintonización es también importante

# EXPERIENCIAS PRÁCTICAS EN CONTROL

- **Procesos de fangos activados con recirculación interna**
  - Aplicación a la EDAR de Galindo-Bilbao
    - 1.5 Mhe, 350000 m<sup>3</sup>/d, 6 líneas
    - Requerimientos de N-NH<sub>4</sub> efluente: 1 mg N/L (media diaria)
  - **Resultados cuantitativos**
    - NITef de **12-13 mg N/L a 9-10 mg N/L**
    - Consumo energético por aireación **↓13% (↓0.15 MW)**
    - **Retorno de la inversión en instrumentación: 1 año**



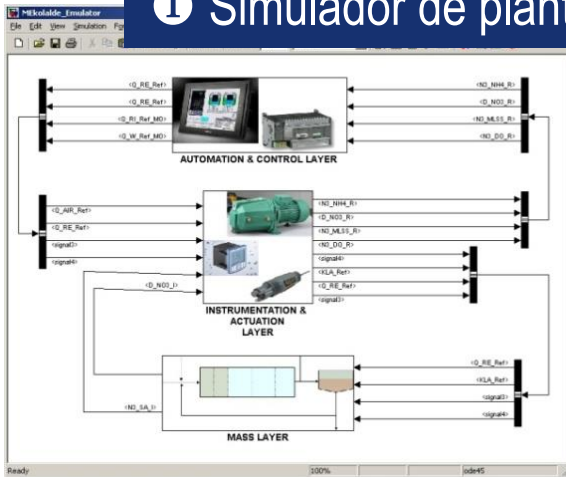
# EXPERIENCIAS PRÁCTICAS EN CONTROL

- **Procesos de fangos activados con recirculación interna**
  - Implantación en la EDAR de **Mekolalde-Bergara (30000 he)**
  - **Resultados cuantitativos**
    - NITef: ↓**20-30%**
    - Consumo energético por aireación: ↓**10-20%**
    - **Retorno de la inversión en instrumentación : 1-2 años**
  - Implantaciones posteriores en Navarrosillos, Velilla de San Antonio y Porto Alegre
  - Actualmente, implantándose en la **EDAR de Arazuri** (Pamplona)
    - Control zonas facultativas + ajuste automático de MLSSref
    - Programación directa en equipos de automatización de la EDAR (instrucciones PID del PLC)

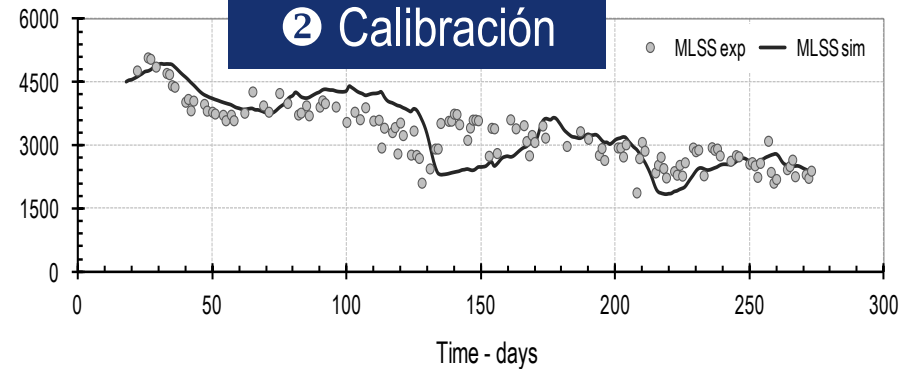
# EXPERIENCIAS PRÁCTICAS EN CONTROL

- **Procesos de fangos activados con recirculación interna**
  - Aplicación a la EDAR de Mekolalde-Bergara

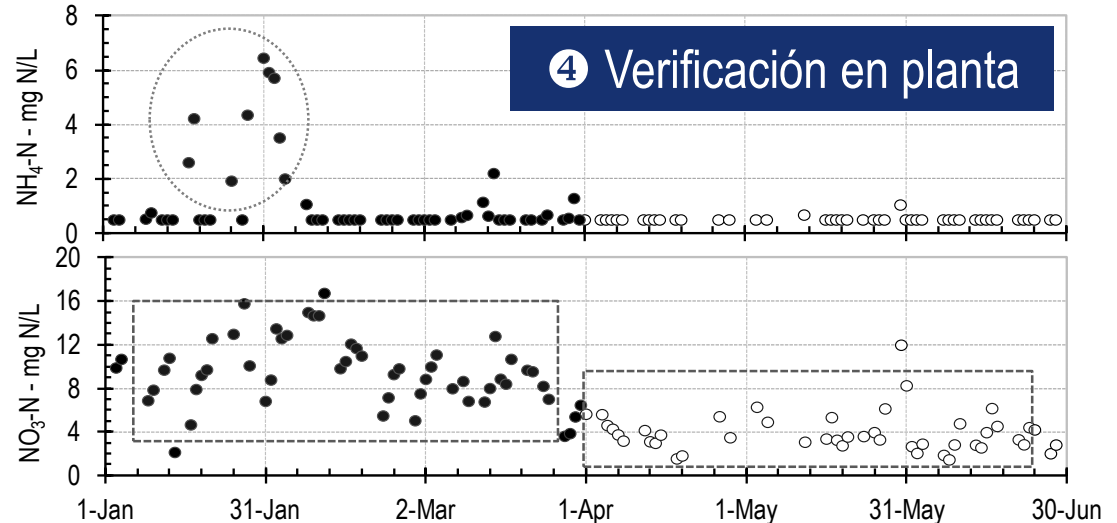
## 1 Simulador de planta



## 2 Calibración

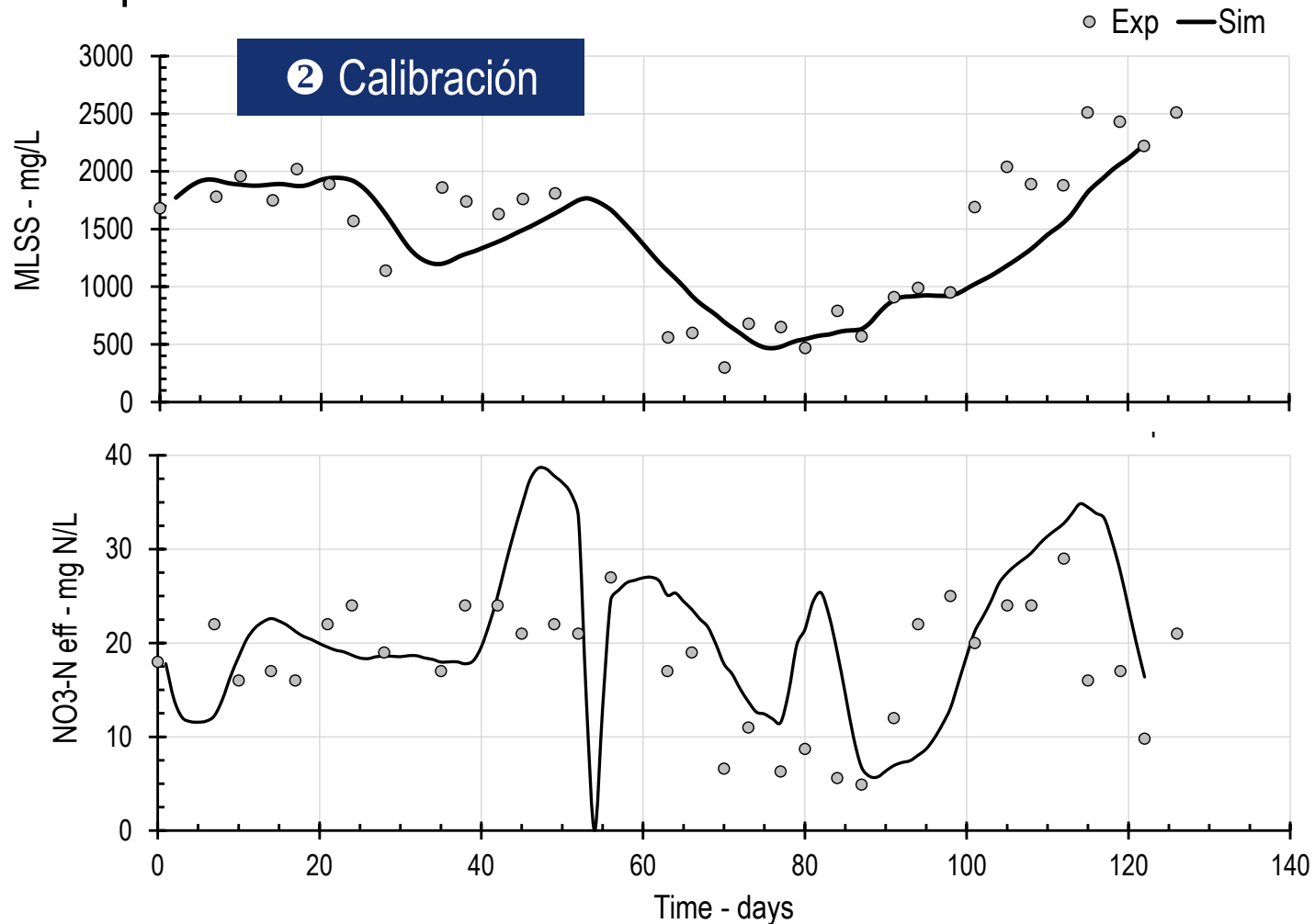


## 4 Verificación en planta



# EXPERIENCIAS PRÁCTICAS EN CONTROL

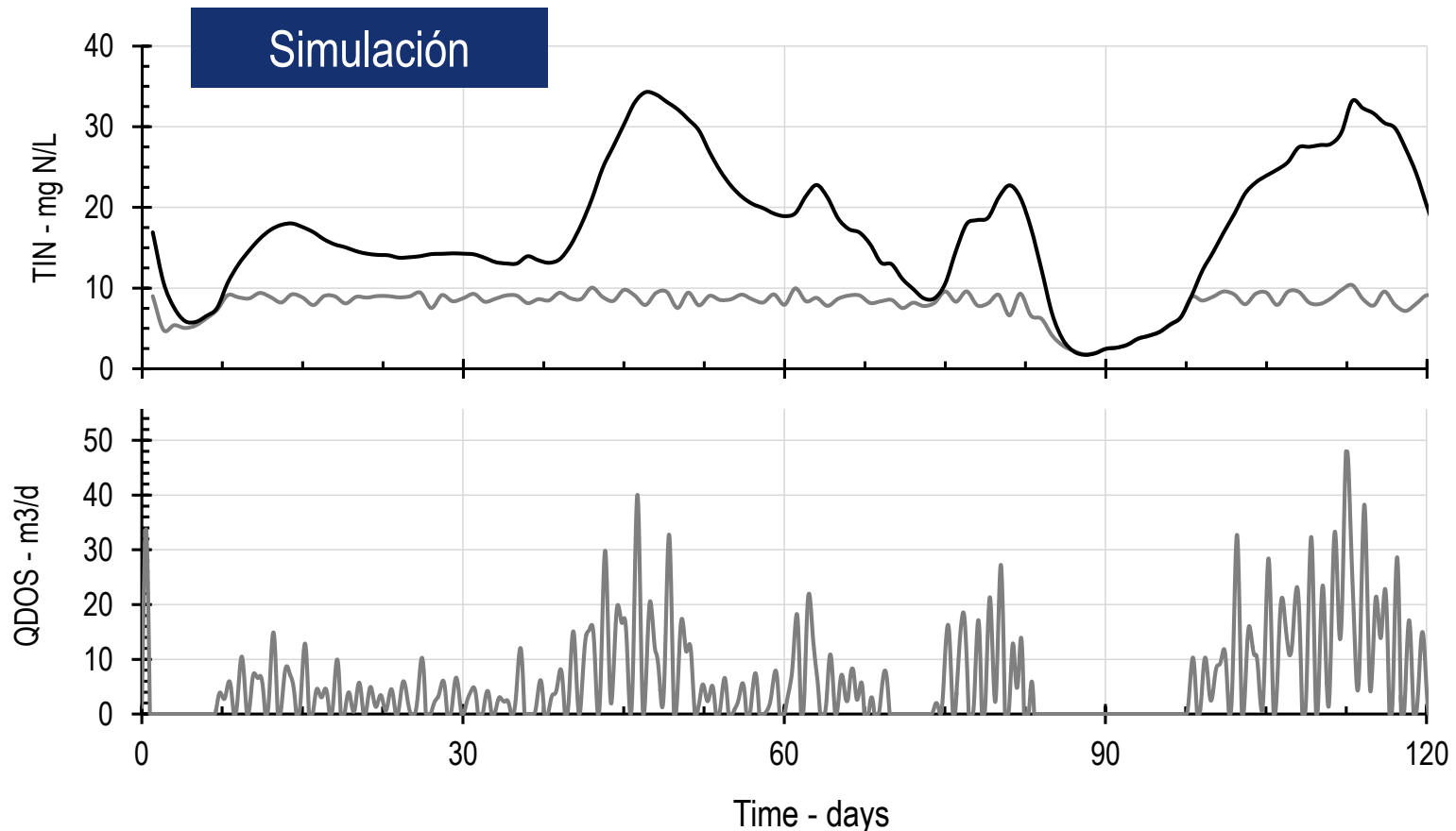
- **Procesos de fangos activados con recirculación interna**
  - Aplicación a la EDAR de Navarrosillos





# EXPERIENCIAS PRÁCTICAS EN CONTROL

- **Procesos de fangos activados con recirculación interna**
  - Aplicación a la EDAR de Navarrosillos (simulación de un controlador de dosificación de metanol – 70 ton/año metanol)

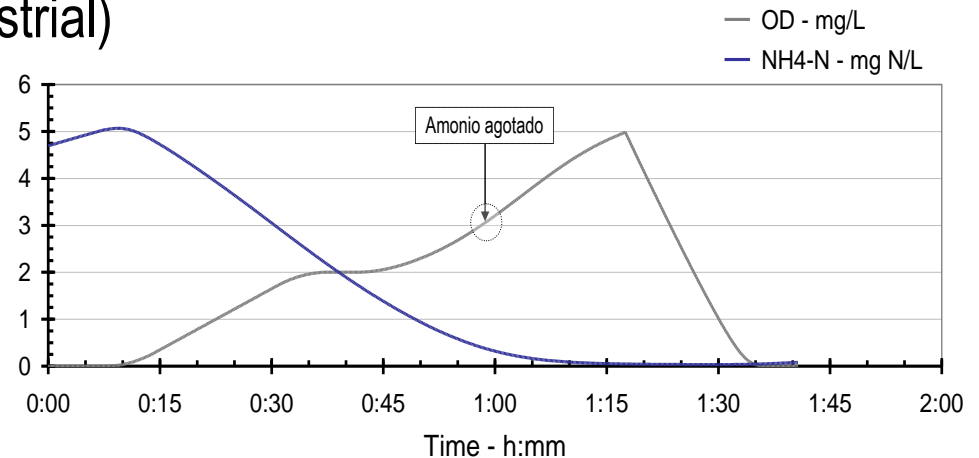


# EXPERIENCIAS PRÁCTICAS EN CONTROL

- **Control automático de procesos SBR**

- Observación indirecta del agotamiento del amonio y del nitrato a partir del OD y del ORP
- Basado en lo anterior, existen desarrollos de control que ajustan automáticamente la duración de las fases aireadas y no aireadas. Beneficios:
  - Ahorro en aireación
  - Ahorro en dosificaciones de metanol (agua industrial)

- Rampa de OD
- Sintonización por simulación



# EXPERIENCIAS PRÁCTICAS EN CONTROL

- **Control de la aireación en la tecnología ATAD**
  - Digestión aerobia termófila auto-sostenida
  - Objetivos de control:
    - Estabilizar el fango
    - Higienizar el fango (Temperatura  $> 55$  durante 20 horas)
    - Minimizar el consumo de aire
  - Proceso operado en modo “semi-batch”
  - Sensores
    - Nivel de fango, ORP y Temperatura
    - No hay una medida directa del grado de estabilización del fango



# EXPERIENCIAS PRÁCTICAS EN CONTROL

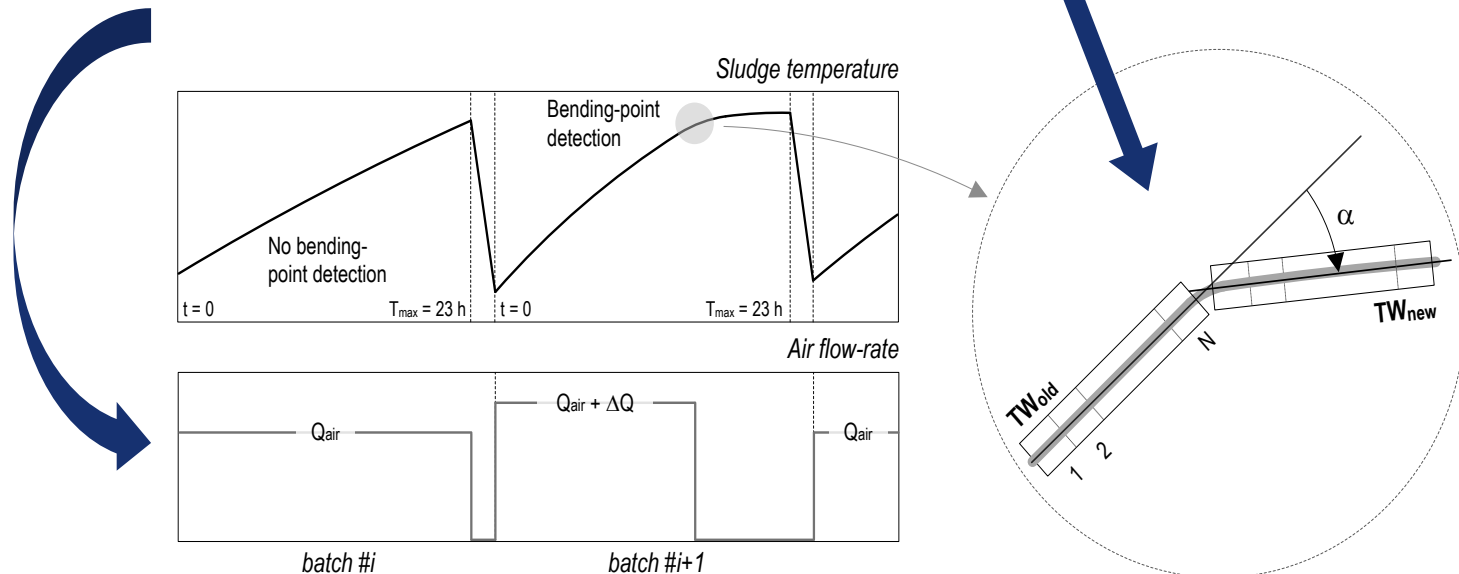
- **Control de la aireación en la tecnología**

- Simulación del ATAD

- El agotamiento de la DQO biodegradable se manifiesta en la señal temperatura

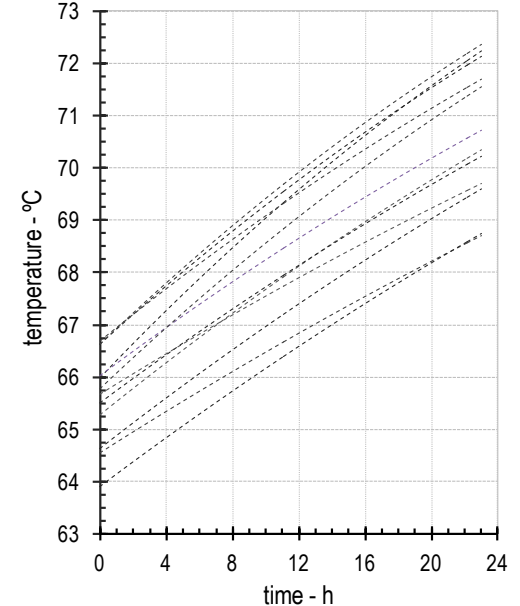
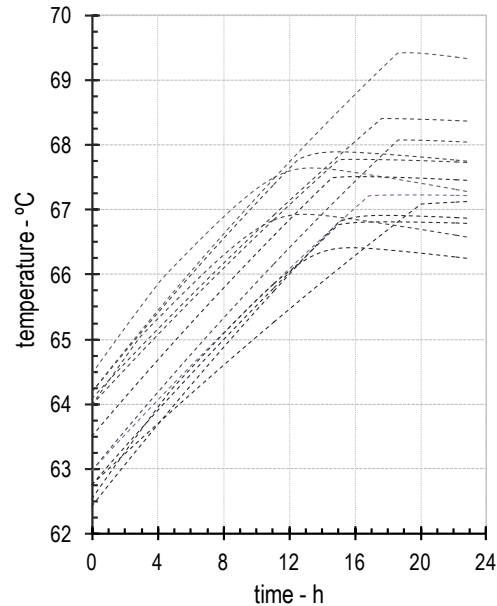
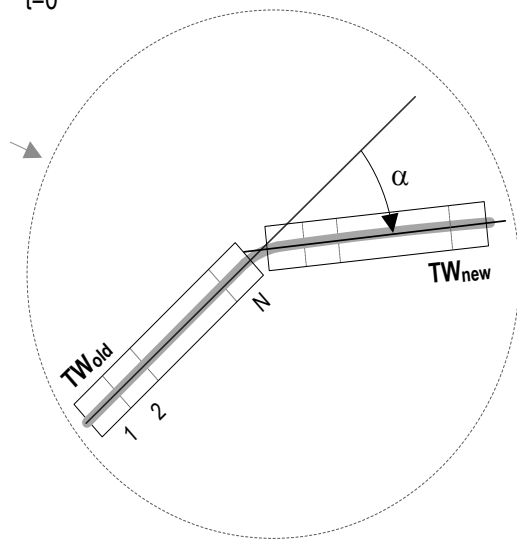
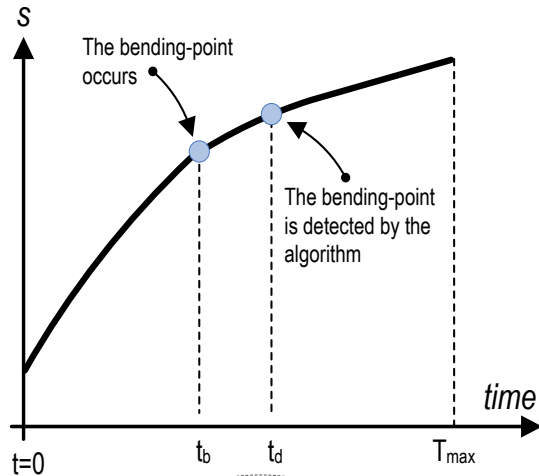
- Diseño del controlador:

- Algoritmo de detección automática del cambio de pendiente + ley de adaptación del caudal de aire



# EXPERIENCIAS PRÁCTICAS EN CONTROL

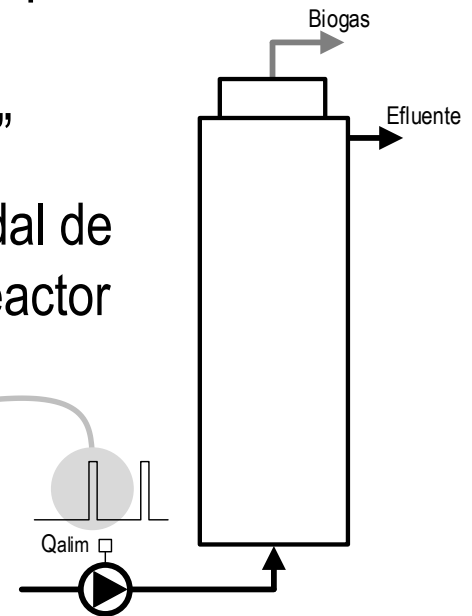
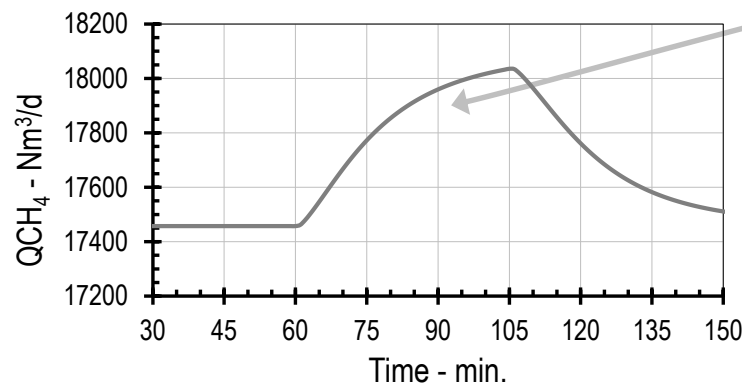
- **Control de la aireación en la tecnología ATAD**
  - Sintonización robusta de los parámetros del algoritmo



# EXPERIENCIAS PRÁCTICAS EN CONTROL

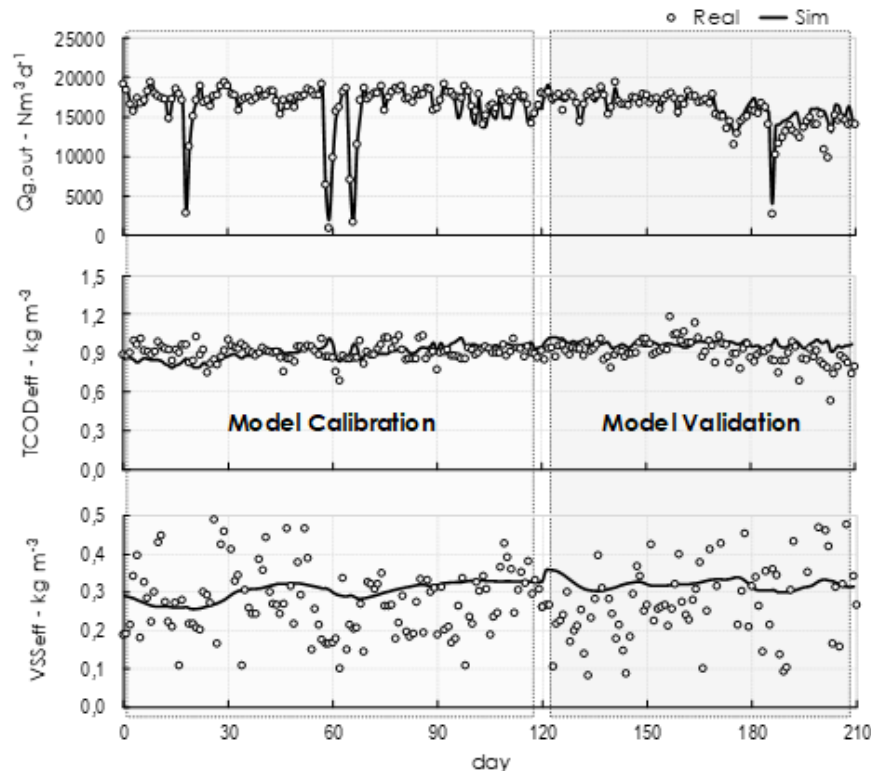
- **Control de reactores anaerobios de alta carga**

- La acumulación de AGV parece ser el indicador más directo de riesgo de inestabilidad
- Objetivo de control: maximizar una variable de proceso (producción de metano)
- Soluciones de control tipo “extremum-seeking”
  - Aplican excitaciones controladas sobre el caudal de alimentación para diagnosticar el estado del reactor



# EXPERIENCIAS PRÁCTICAS EN CONTROL

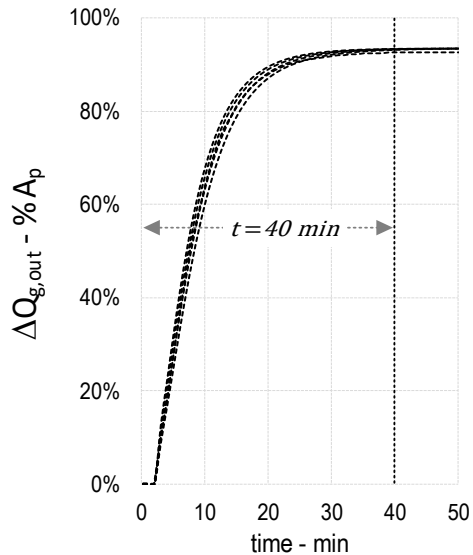
- **Control de reactores anaerobios de alta carga**
  - Aplicación a un reactor IC de la papelera Saica
    - La simulación se utilizó para caracterizar el pulso y para determinar KPIs asociados con el grado de estabilidad del reactor



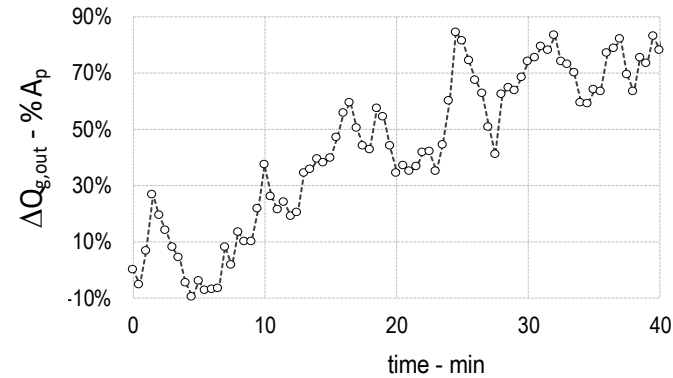
# EXPERIENCIAS PRÁCTICAS EN CONTROL

- **Control de reactores anaerobios de alta carga**
  - Aplicación a un reactor IC de la papelera Saica

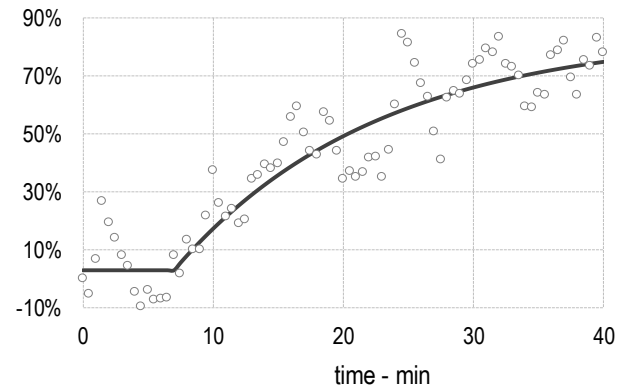
## Respuesta simulada



## Respuesta real bruta



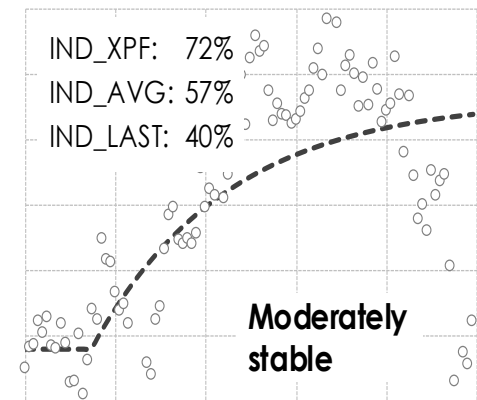
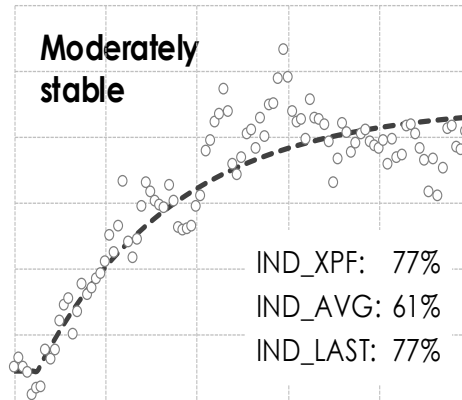
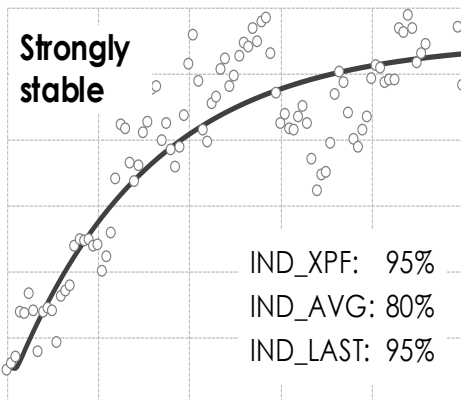
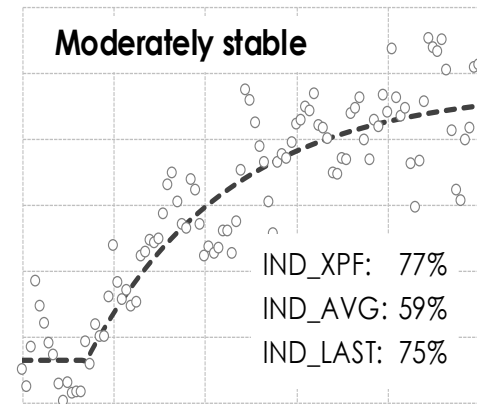
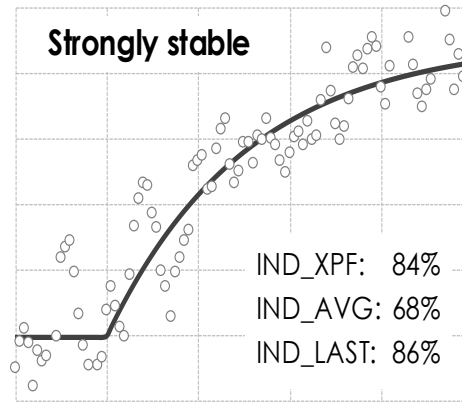
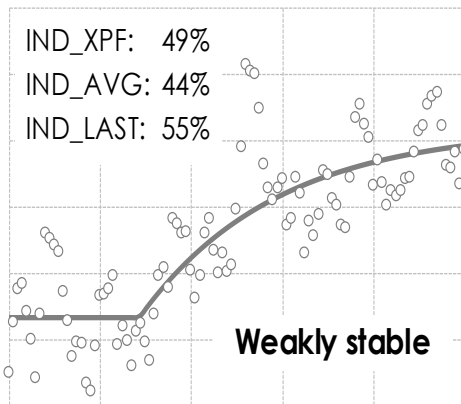
## Respuesta real procesada





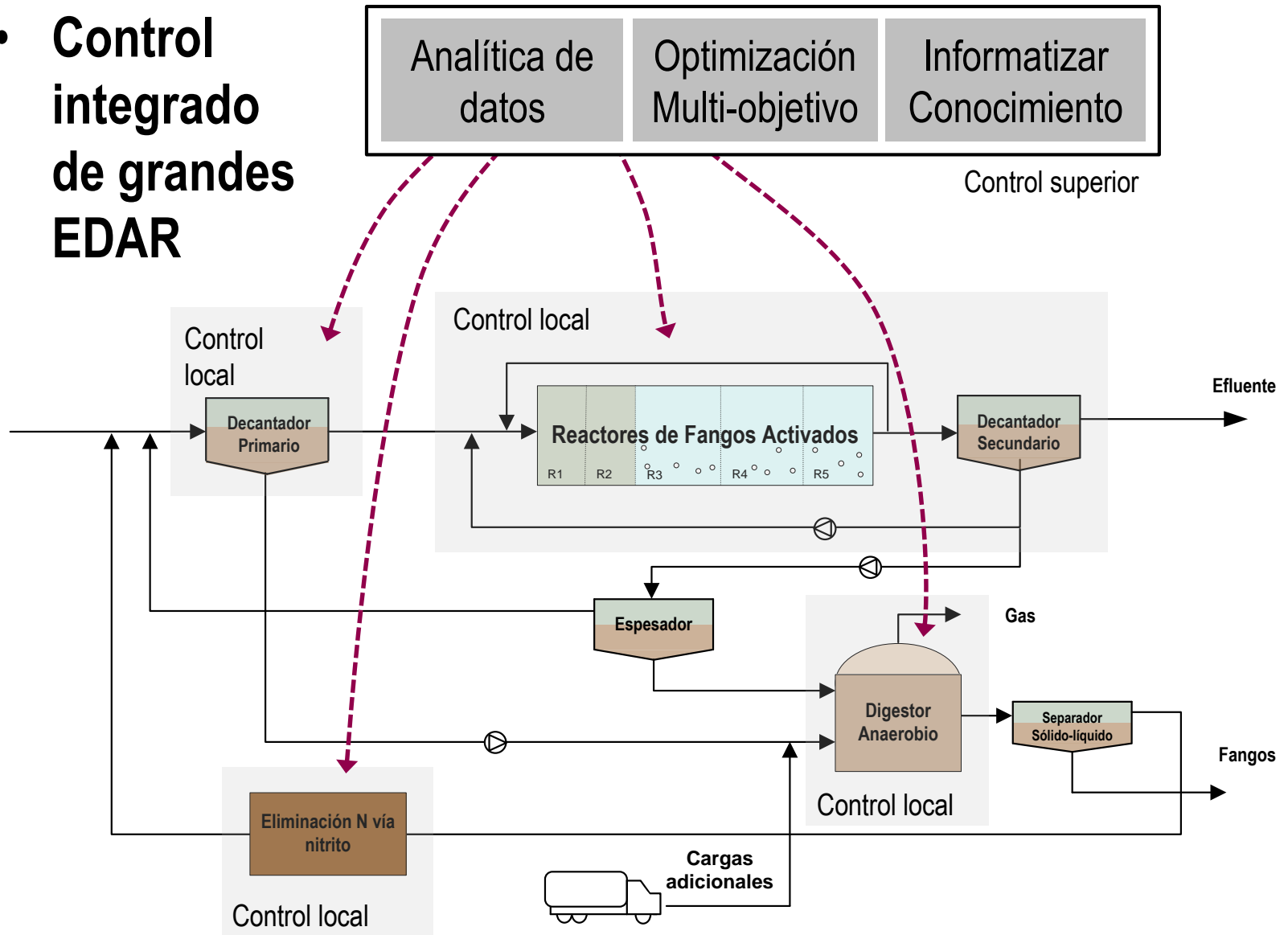
# EXPERIENCIAS PRÁCTICAS EN CONTROL

- **Control de reactores anaerobios de alta carga**
  - Aplicación a un reactor IC de la papelera Saica



# PRÓXIMOS RETOS EN CONTROL DE EDAR

- Control integrado de grandes EDAR



# PRÓXIMOS RETOS EN CONTROL DE EDAR

- **Gestión distribuida de EDAR en zonas rurales** (PROYECTO Interreg Sudoe **CIRCRURAL4.0**, coordinado por Ceit)
  - Objetivo general: implantar modelos de economía circular en la gestión del agua residual y de los residuos agroindustriales en entornos rurales
  - Objetivo específico: desarrollar controladores automáticos específicos para diques de oxidación con el fin de permitir la recuperación de nitrógeno y fósforo
  - Aplicación práctica en Badajoz, Portugal y sur de Francia

# CONCLUSIONES

- Con la consolidación de tecnologías de tratamiento emergentes el control automático ganará protagonismo
- Las metodologías de diseño de controladores en base a simulación están llamadas a imponerse
  - Su enfoque debe ser eminentemente práctico
  - Salto directo de la simulación al proceso real sin pasar por validaciones piloto
  - El control automático debe replantearse como parte intrínseca al diseño de las tecnologías de tratamiento
- El control automático es una herramienta para el operador no para la planta



Cátedra FACSA de innovación  
en el ciclo integral del agua

UNIVERSITAT  
JAUME·I



UNIVERSITAT  
JAUME·I

**Facsa**<sup>F</sup>  
ciclo integral del agua



**Ion Irizar**



[iirizar@ceit.es](mailto:iirizar@ceit.es)



943 21 28 00

**ceit**

IK4 Research Alliance

