



II Ciclo de 20 MasterClass

AGUASRESIDUALES.INFO

MasterClass 14



“Recuperación de fertilizantes en las EDAR”

Patrocinada por:

DAM

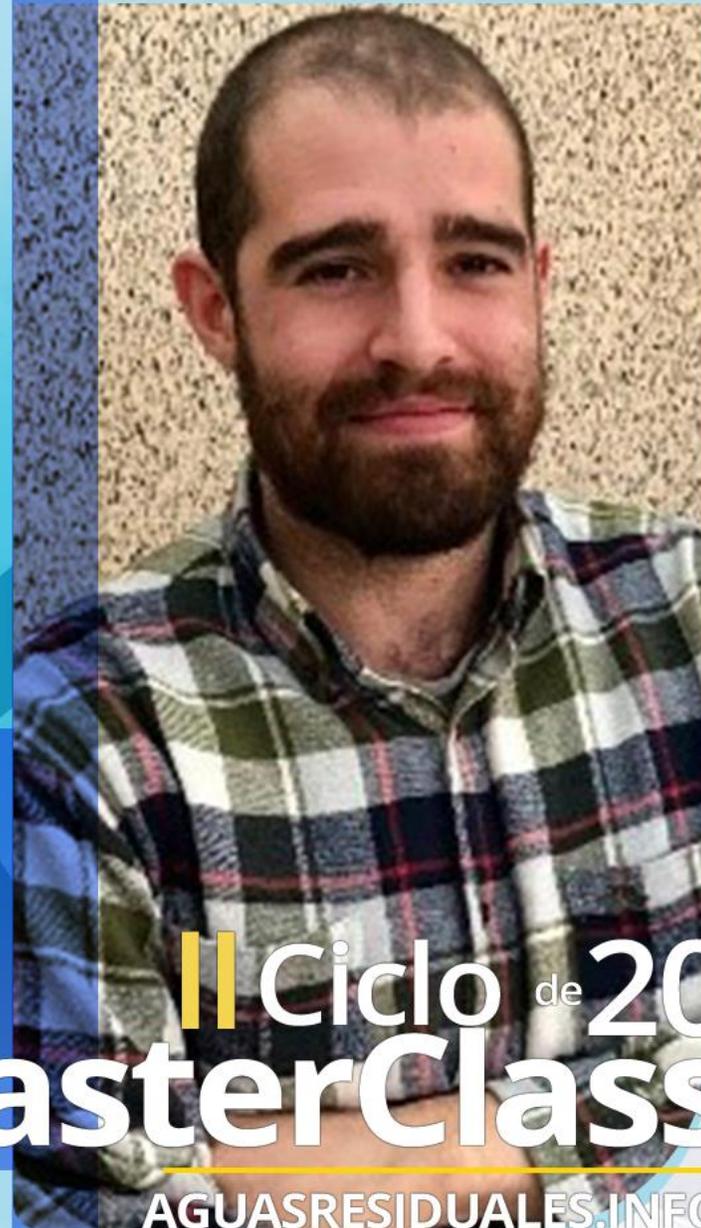
Depuración de Aguas
del Mediterráneo

Beñat Elduayen

Investigador Postdoctoral del CEIT

Ingeniero Químico

Máster en Energy Supply Low Carbon
Future



II Ciclo de 20
MasterClass

AGUASRESIDUALES.INFO

Presentación

- **Beñat Elduayen Echave (belduayen@ceit.es)**
 - **Dr. Ingeniería Aplicada (Universidad de Navarra) |** Ingeniero Químico (UPV-EHU) + máster (Cranfield University, UK).
 - **Investigador en Ceit-BRTA:** modelado y simulación de procesos físico-químicos en aguas.
 - **Profesor colaborador** en la asignatura de Tecnologías del Medio Ambiente en Tecnun (Universidad de Navarra).

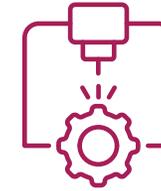


Presentación

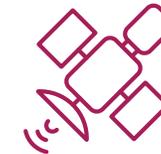
- **Ceit-BRTA**
 - Centro de investigación privado en San Sebastián, creado por la Universidad de Navarra en 1982.
 - Centro multidisciplinar– 220 personas – 100 doctores.
 - 24.5 millones de euros de presupuesto – 50% financiación empresa.



Transporte Sostenible



Fabricación Avanzada



Digitalización



Economía Circular

Presentación

- **Ceit-BRTA**
 - **Grupo de Agua y Residuos:** Más de 30 años de experiencia en desarrollo y optimización de tecnologías avanzadas para el tratamiento y la recuperación de compuestos de aguas residuales y residuos orgánicos.
 - **Combinación de estudios experimentales y de simulación.**





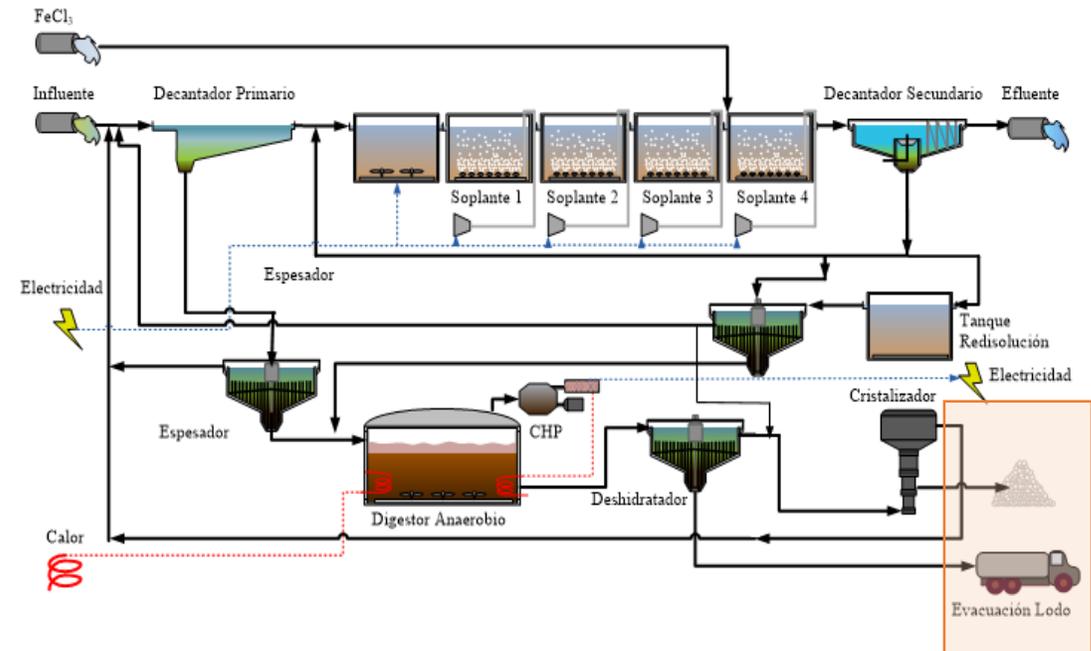
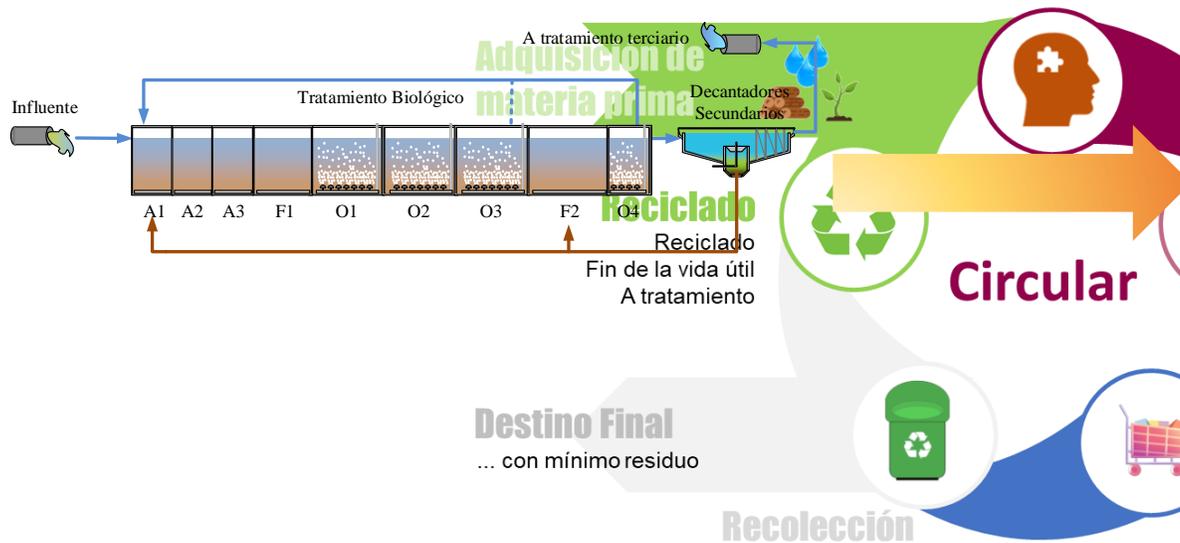
1. Introducción
2. Precipitación de estruvita
3. Herramientas de simulación
4. Proyecto Magnyfos
5. Conclusiones



- 1. Introducción**
2. Precipitación de estruvita
3. Herramientas de simulación
4. Proyecto Magnyfos
5. Conclusiones

1. Introducción

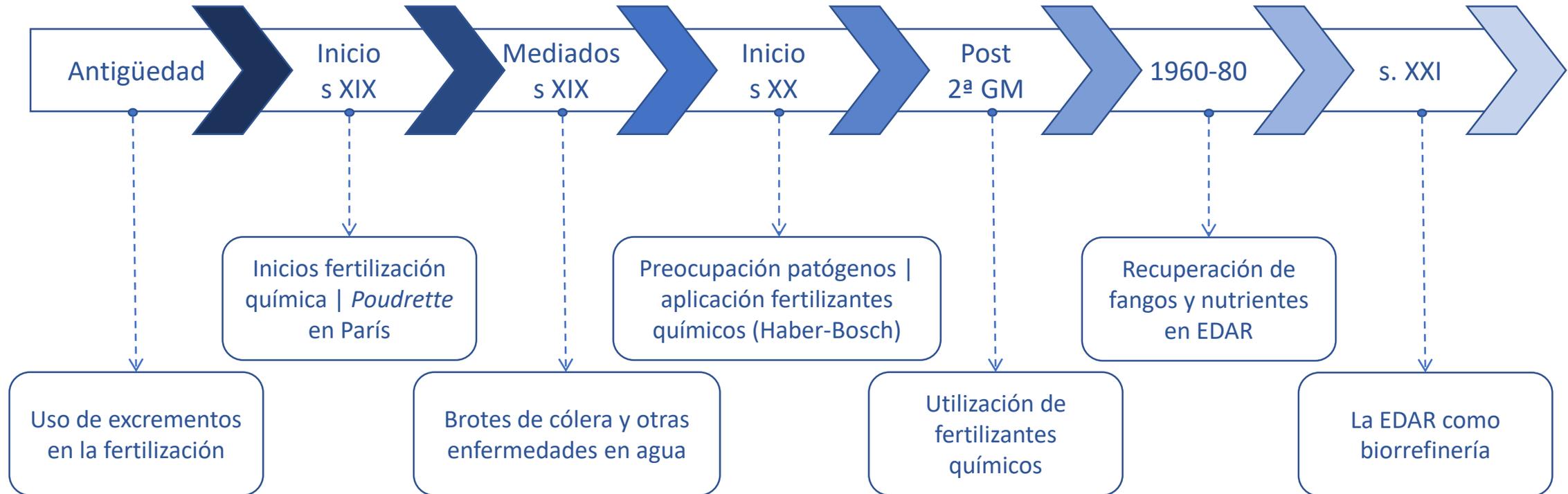
- De economía lineal a circular, en aguas residuales también.
 - La EDAR como biorrefinería.



Dejamos de ver el agua residual como un problema y la empezamos a ver como fuente de materia prima de la que recuperar productos. “ La EDAR como bio-refinería”.

1. Introducción

- De economía lineal a circular, en aguas residuales también.
 - Utilización de agua residual y desarrollo de fertilizantes – perspectiva histórica.



1. Introducción

- **Fertilizantes recuperables en EDAR: fango**
 - Fango (caudal de 1% del agua que llega a la EDAR) – biosólido que contiene materia orgánica, nutrientes y agua (95% al extraerse).
 - Residuo (código LER) – susceptible de uso.
 - El fango se modifica en la EDAR:
 - Espesamiento – reducción del volumen.
 - Estabilización – reducción de patógenos, sólidos volátiles, olores y evitar vectores de enfermedades.
 - Deshidratación – reducir humedad al 80%.
 - Métodos de estabilización – digestión (anaerobia/aerobia) o aireación prolongada.



Asensi, aguasresiduales.info, 2020

1. Introducción

- **Fertilizantes recuperables en EDAR: fango**
 - Usos – agrícola, combustible en cementera, valorización energética, materiales cerámicos, vertedero.
 - Para usarlo como fertilizante es recomendable estabilizar e higienizar – normativa compleja, diferente según la comunidad autónoma.
 - La digestión anaerobia y aerobia convencional estabilizan el fango – fango tipo B (U.S. E.P.A.).
 - Higienización, asociada a condiciones termófilas – fango tipo A (U.S. E.P.A.).
 - Planta de nueva construcción en EDAR de Tudela (Navarra).

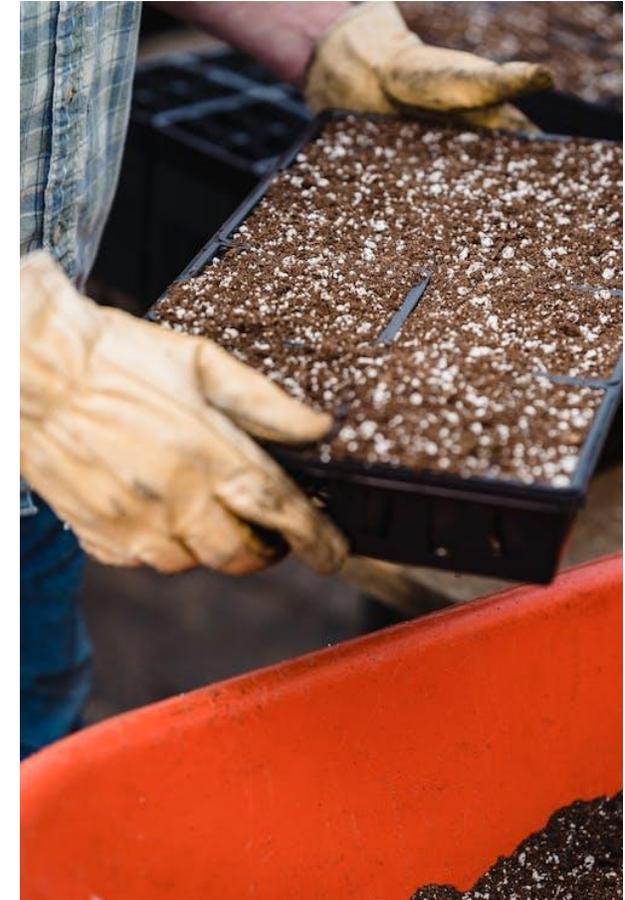
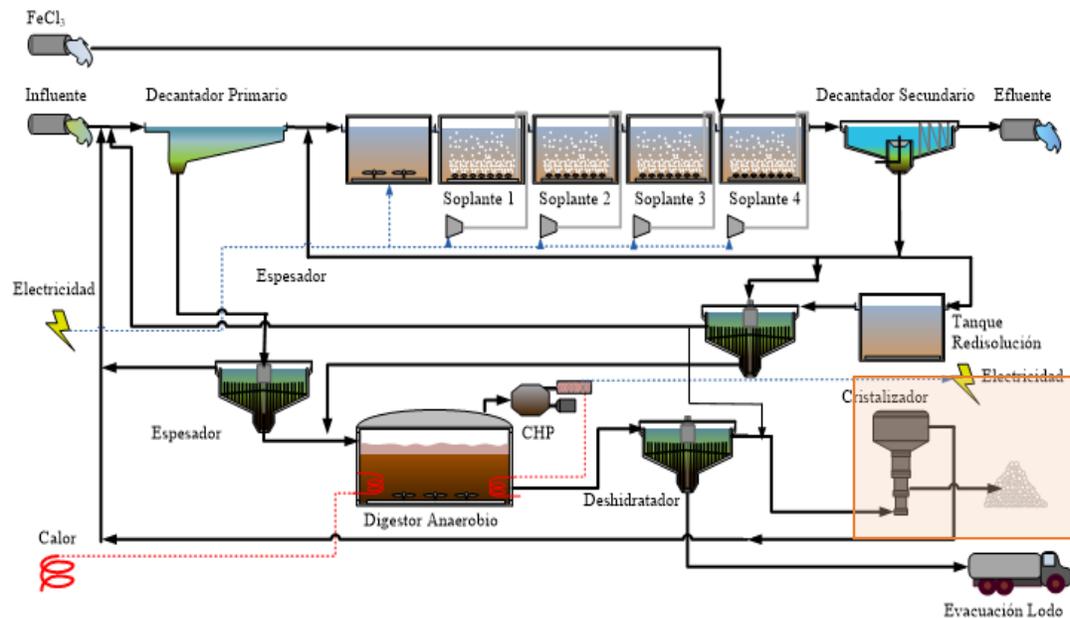


Proyecto THERMOGAS:

- “Estudiar, optimizar y analizar en entorno real la viabilidad técnica de la Digestión Anaerobia Termófila de fango para recuperar nutrientes, producir energía e higienizar de manera eficaz y segura”.
- Combinar estudios microbiológicos (patógenos y poblaciones microbianas) con modelado matemático y simulación.

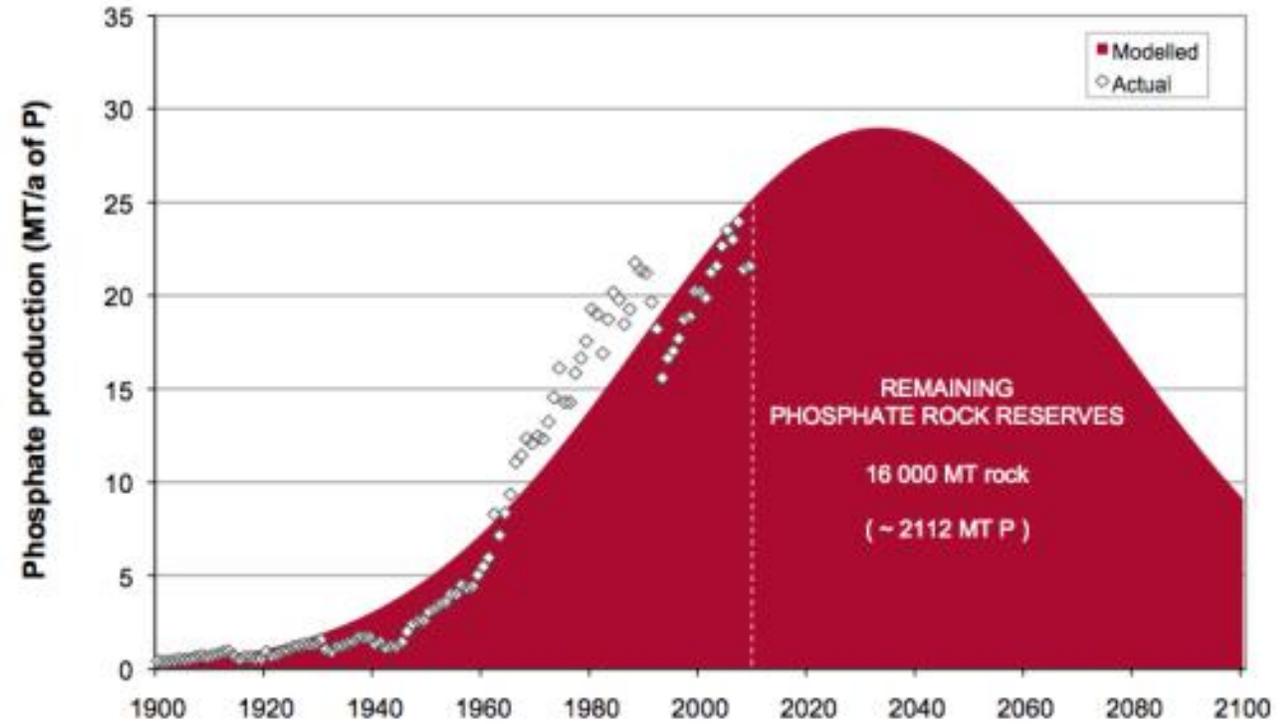
1. Introducción

- **Fertilizantes recuperables en EDAR: fertilizantes minerales**
 - Fertilizantes de nitrógeno y fósforo son recuperables en las EDAR.
 - Ejemplos de sales de nitrógeno: nitrato de amonio o sulfato de amonio.
 - Ejemplos de sales de fósforo: estruvita o hidroxapatita.



1. Introducción

- **Problemática triple del fósforo**
 1. Escasez.
 2. Problemas operacionales.
 3. Eutrofización.

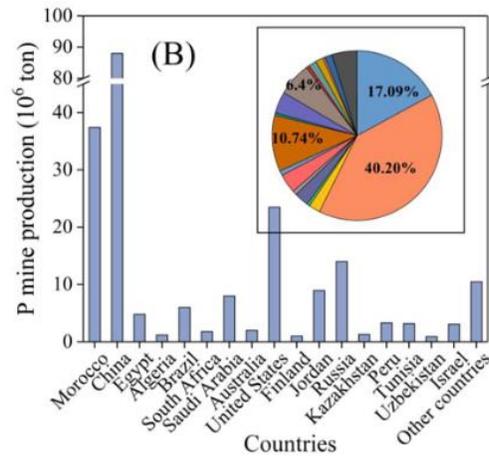
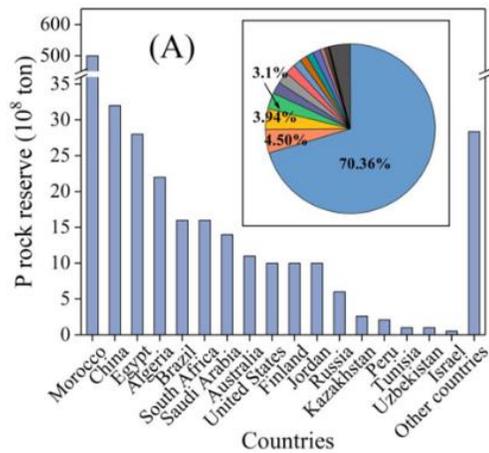


Cordell and White, *Sustainability*, 2011

1. Introducción

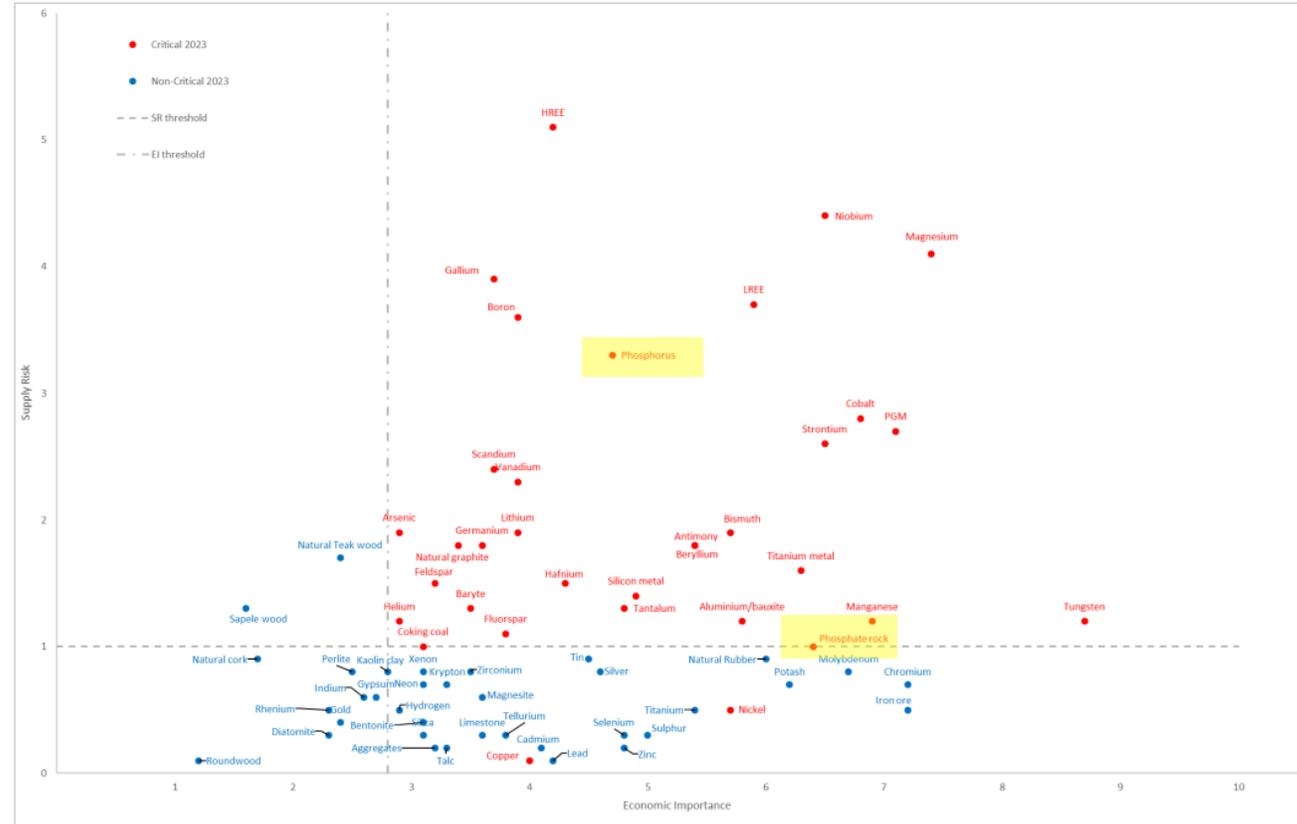
• Problemática triple del fósforo

1. Escasez.
2. Problemas operacionales.
3. Eutrofización.



Zhu et al., Chemical Engineering Journal, 2023

Figure 2: Criticality assessment results (individual materials and grouped HREEs, LRREs and PGMs)



Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 Final Report

1. Introducción

- **Problemática triple del fósforo**
 1. Escasez.
 2. Problemas operacionales.
 3. Eutrofización.



Fattah, *International Journal of Environmental Science and Development*, 2012

1. Introducción

- **Problemática triple del fósforo**
 1. Escasez.
 2. Problemas operacionales.
 3. **Eutrofización.**



CIENCIA | ACTUALIDAD

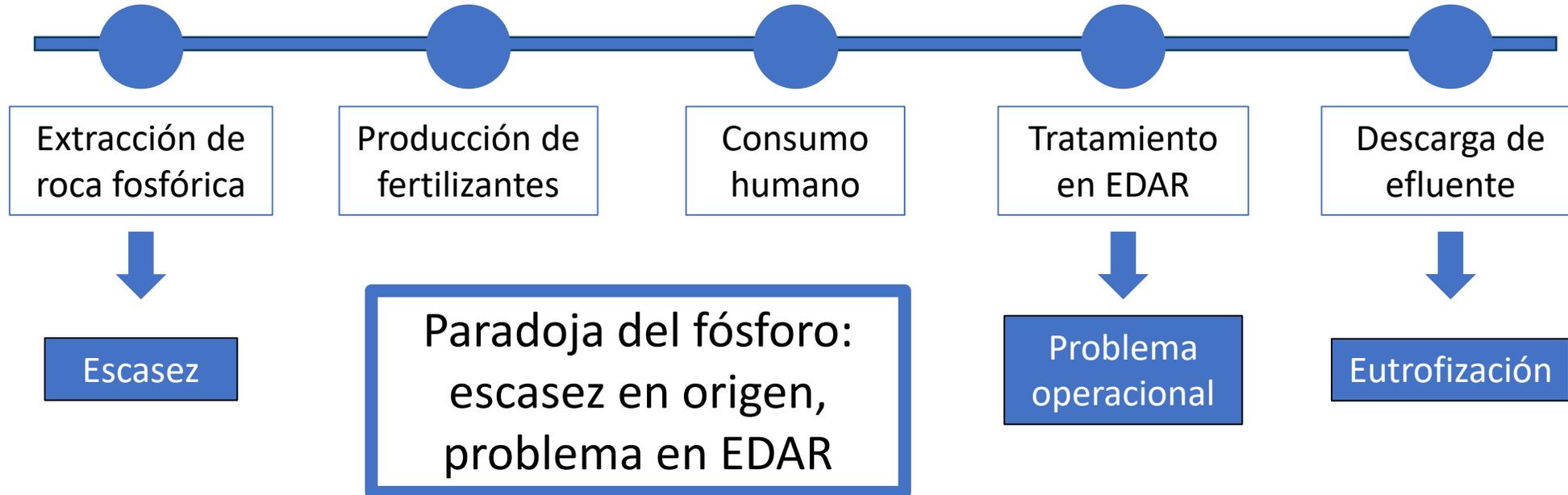
El desastre del Mar Menor, historia de un colapso ambiental que pudo haberse evitado

Parte de los abonos utilizados en los cultivos cercanos al Mar Menor terminan por distintas vías en la laguna, lo que provoca la eutrofización de sus aguas y desemboca en la falta de oxígeno en el agua. Desde hace años este ecosistema está en peligro constante, produciéndose cada vez más a menudo crisis anóxicas y mortandades masivas de peces y todo tipo de invertebrados marinos.

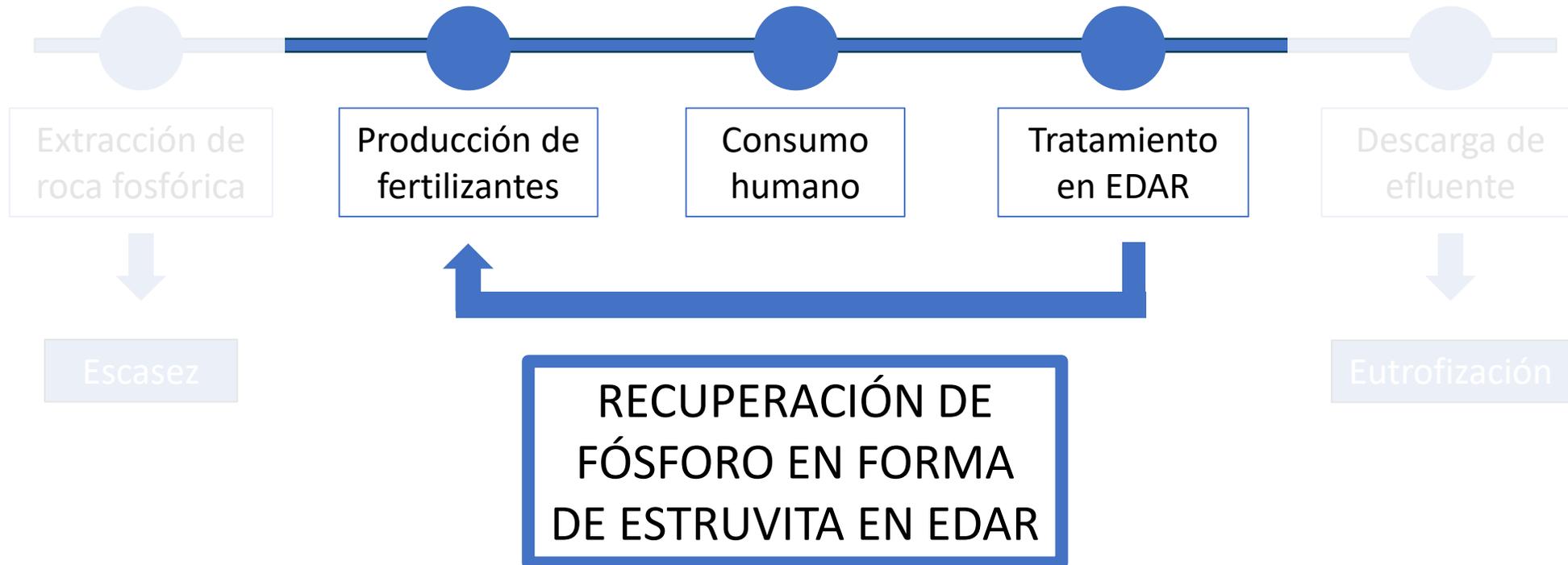
Actualizado a 24 de agosto de 2021, 13:06

Guardar  Compartir 

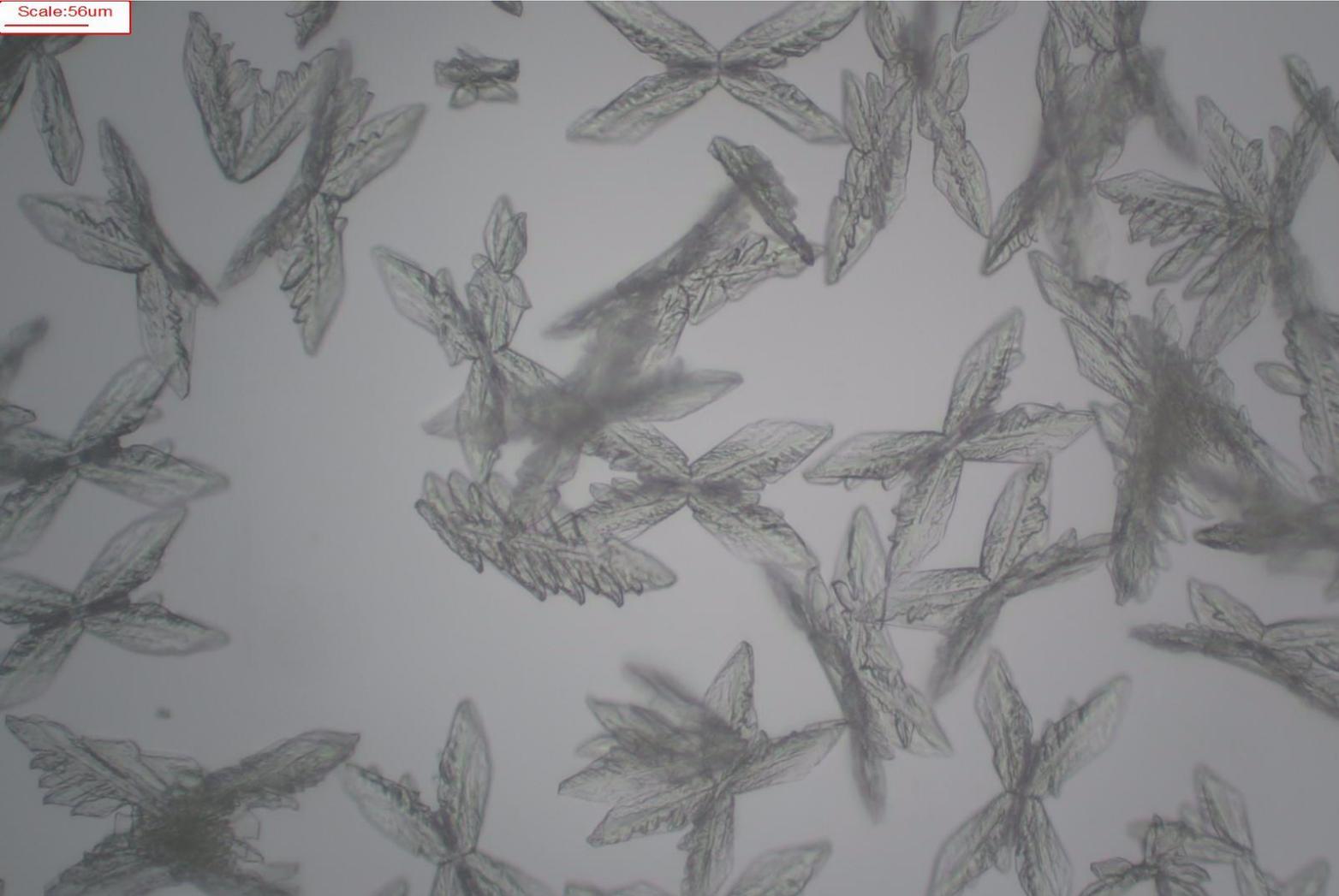
1. Introducción



1. Introducción



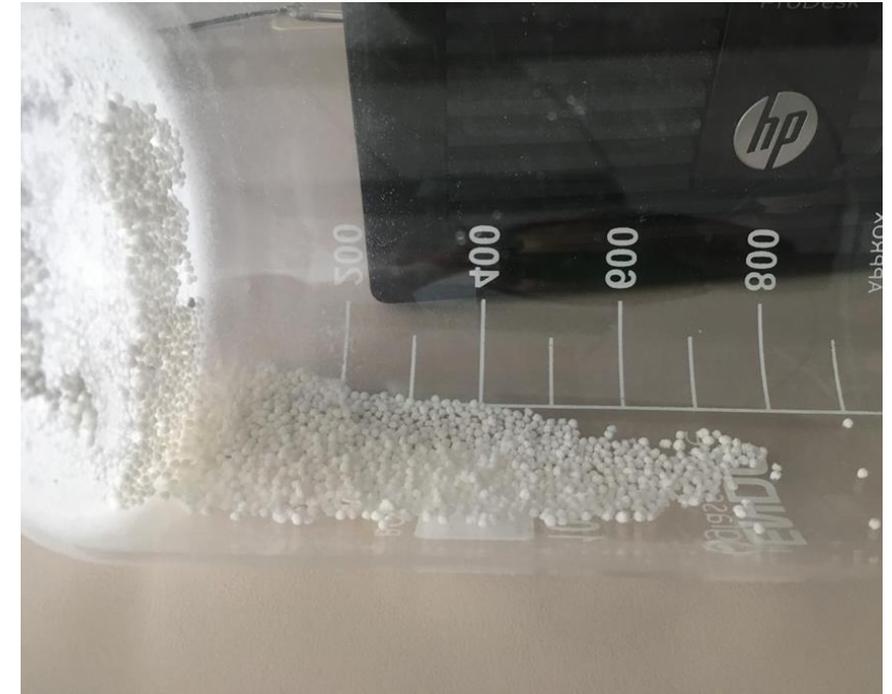
Scale: 56um



1. Introducción
- 2. Precipitación de estruvita**
3. Herramientas de simulación
4. Proyecto Magnyfos
5. Conclusiones

2. Precipitación de estruvita

- ¿Qué es la estruvita?
 - La estruvita es una sal que se puede recuperar en las EDAR.
 - Las aguas residuales pueden contener gran cantidad de fósforo y nitrógeno.
 - Es necesario añadir reactivos (magnesio, sosa) para producir la precipitación.



2. Precipitación de estruvita

- **Visión general**
 - En Europa, 227 kt P acaban en los fangos de depuradora al año.
 - 74 kt/año se pierden en los efluentes de la EDAR.
 - Más de 30 tecnologías para recuperar P en EDAR.
 - Existen unas 100 EDAR en el mundo que recuperan estruvita a nivel industrial – técnicamente factible.
 - El mayor productor es Chicago Stickney WWTP – recupera 9000 tn/año.
 - En España la pionera es la EDAR SUR de Madrid – 484 tn en el año 2019.



2. Precipitación de estruvita

- **Fundamentos de la precipitación**

Escala laboratorio

Planta piloto

Piloto semi-industrial



2. Precipitación de estruvita

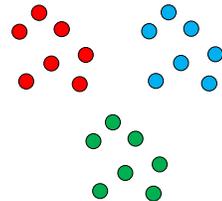
- **Fundamentos de la precipitación**
 - La precipitación ocurre mediante mecanismos: nucleación, crecimiento y agregación.
 - El tamaño de partícula obtenido dependerá de cómo de relevantes son estos mecanismos.
 - El tamaño de partícula es importante para la separación del sólido y su uso como fertilizante.

● Magnesium

● Ammonium

● Phosphate

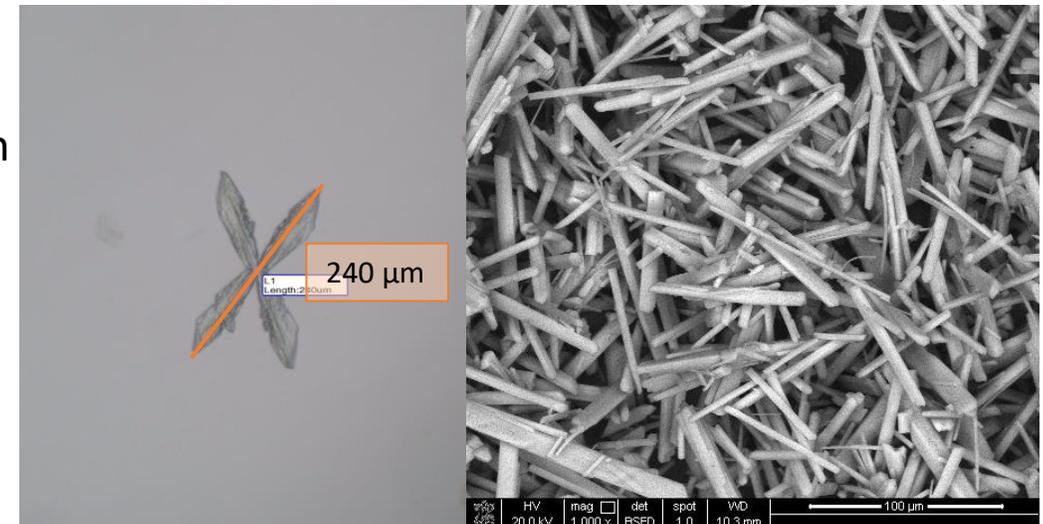
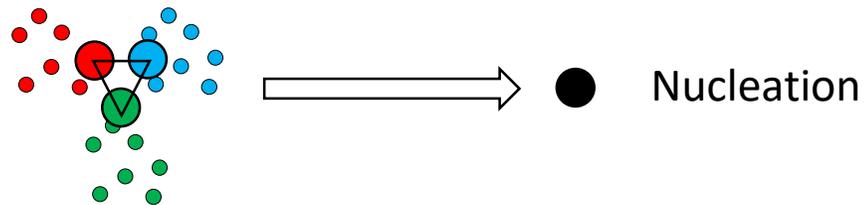
● Struvite



2. Precipitación de estruvita

- **Fundamentos de la precipitación**
 - La precipitación ocurre mediante mecanismos: nucleación, crecimiento y agregación.
 - El tamaño de partícula obtenido dependerá de cómo de relevantes son estos mecanismos.
 - El tamaño de partícula es importante para la separación del sólido y su uso como fertilizante.

- Magnesium
- Ammonium
- Phosphate
- Struvite



100 μm

2. Precipitación de estruvita

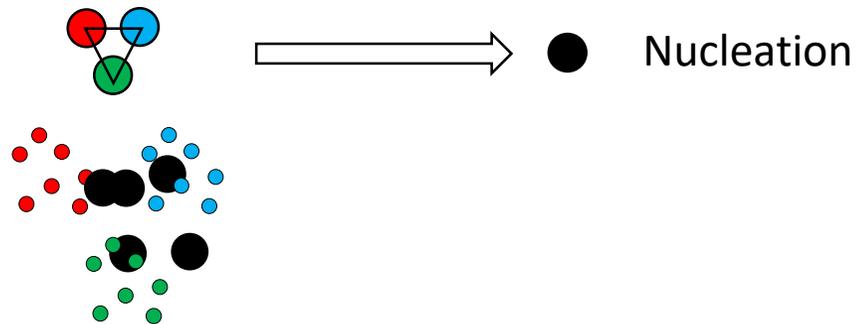
- **Fundamentos de la precipitación**
 - La precipitación ocurre mediante mecanismos: nucleación, crecimiento y agregación.
 - El tamaño de partícula obtenido dependerá de cómo de relevantes son estos mecanismos.
 - El tamaño de partícula es importante para la separación del sólido y su uso como fertilizante.

● Magnesium

● Ammonium

● Phosphate

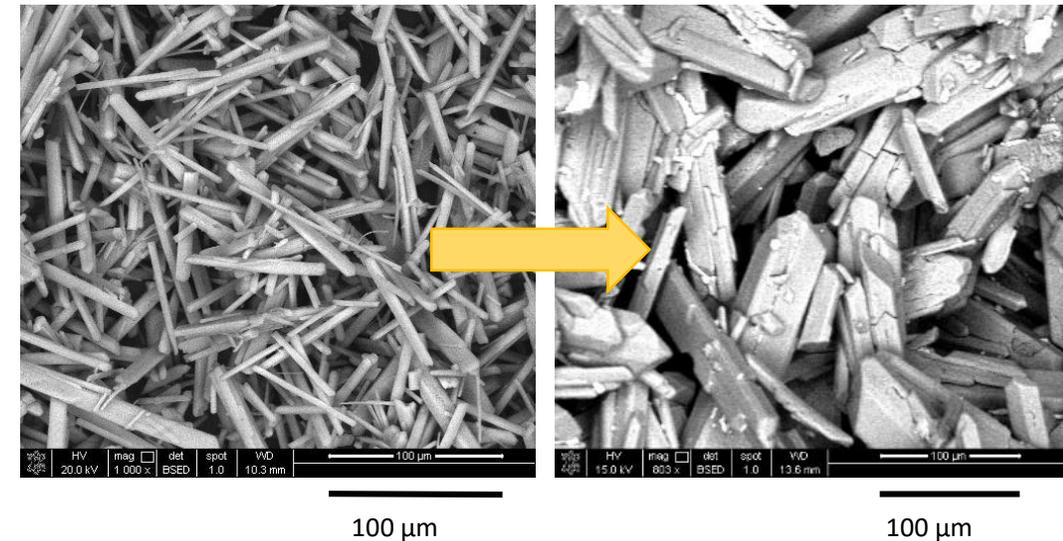
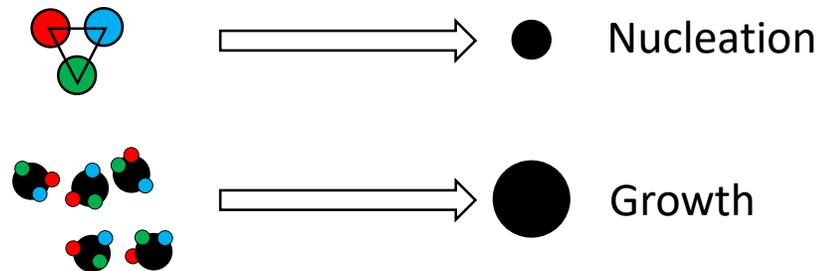
● Struvite



2. Precipitación de estruvita

- **Fundamentos de la precipitación**
 - La precipitación ocurre mediante mecanismos: nucleación, crecimiento y agregación.
 - El tamaño de partícula obtenido dependerá de cómo de relevantes son estos mecanismos.
 - El tamaño de partícula es importante para la separación del sólido y su uso como fertilizante.

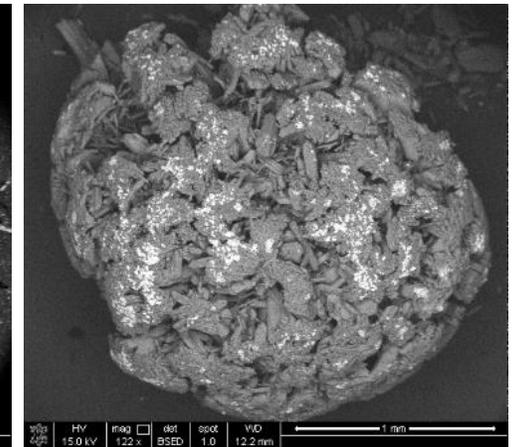
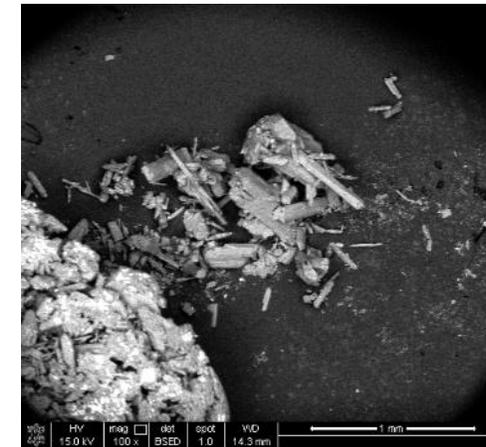
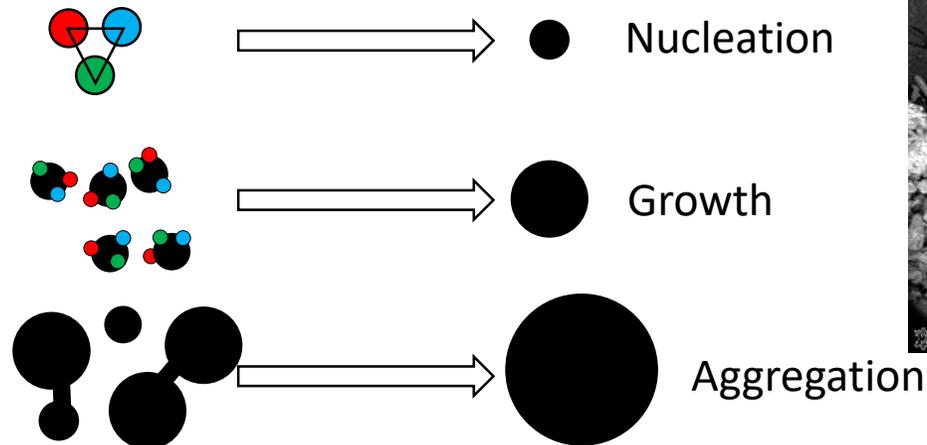
- Magnesium
- Ammonium
- Phosphate
- Struvite

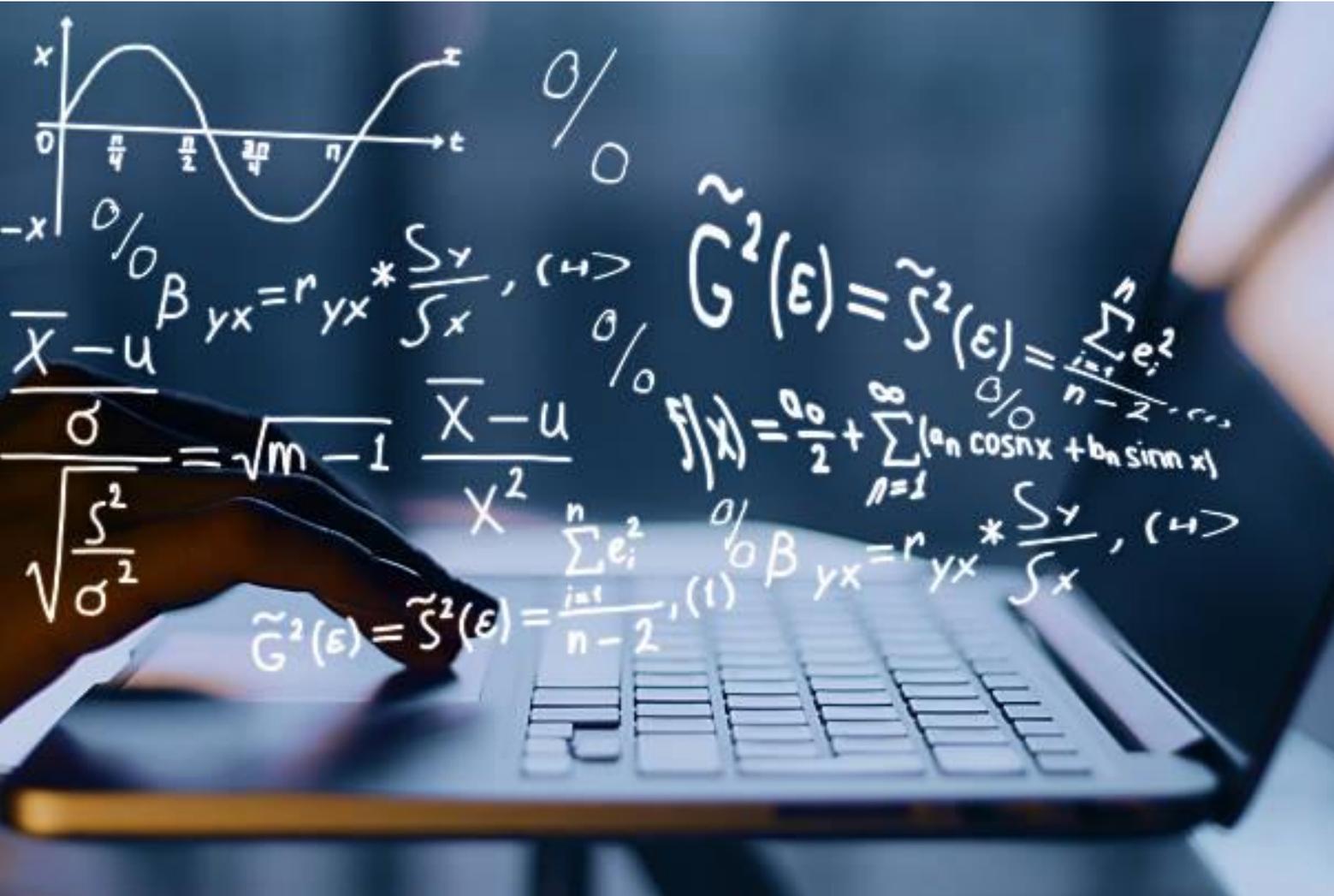


2. Precipitación de estruvita

- **Fundamentos de la precipitación**
 - La precipitación ocurre mediante mecanismos: nucleación, crecimiento y agregación.
 - El tamaño de partícula obtenido dependerá de cómo de relevantes son estos mecanismos.
 - El tamaño de partícula es importante para la separación del sólido y su uso como fertilizante.

- Magnesium
- Ammonium
- Phosphate
- Struvite





1. Introducción
2. Precipitación de estruvita
- 3. Herramientas de simulación**
4. Proyecto Magnyfos
5. Conclusiones

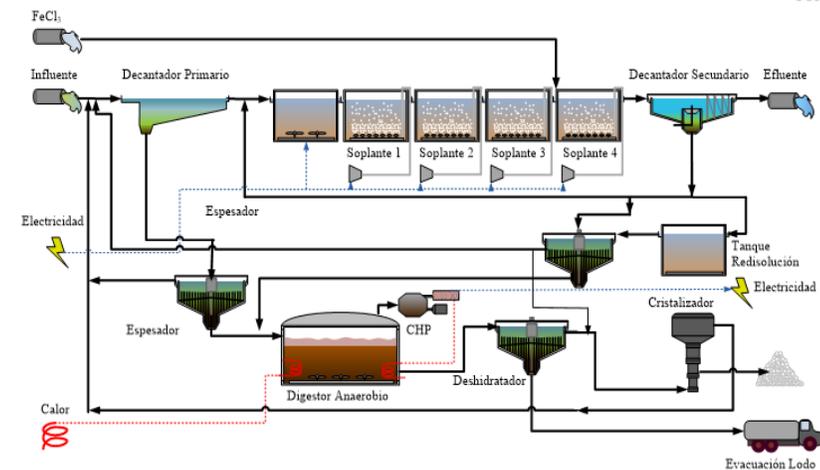
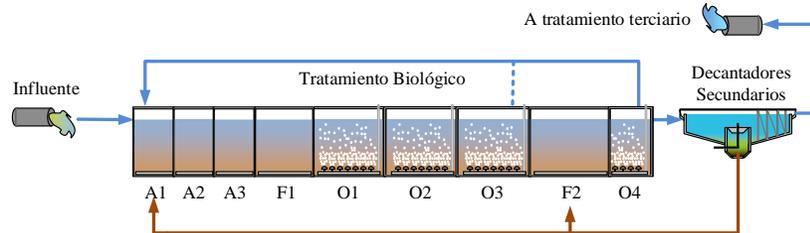
3. Herramientas de simulación

- **El tipo de modelo matemático depende de las necesidades**
 - Plant Wide Model
 - CFD
 - PBM



3. Herramientas de simulación

- **Plant Wide Model (PWM)**
 - Si la EDAR se entiende como una biorrefinería – **no es suficiente simular únicamente la línea de aguas.**
 - El modelado PWM permite simular la línea de aguas y fangos de manera conjunta.



- PWM permite:
 - Análisis técnico-económico | Control y automatización | Exploración de escenarios de operación | Diseño, dimensionamiento y optimización.

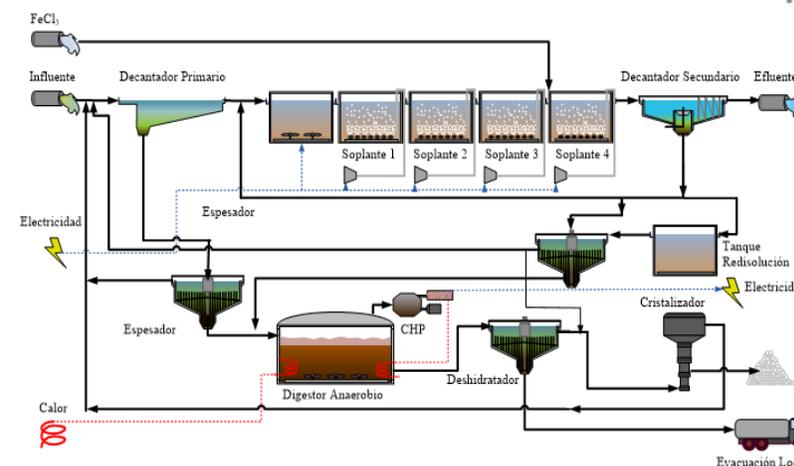
3. Herramientas de simulación

- **Plant Wide Model (PWM)**
 - Si se quiere recuperar fósforo en una EDAR, es necesario:
 1. Determinar el efecto en la EDAR de instalar un recuperador de estruvita en la configuración actual.
 2. Realizar análisis de escenarios de operación de la EDAR para mejorar la recuperación de estruvita.

La EDAR Sur de Madrid tiene el primer recuperador de estruvita a escala real de España.

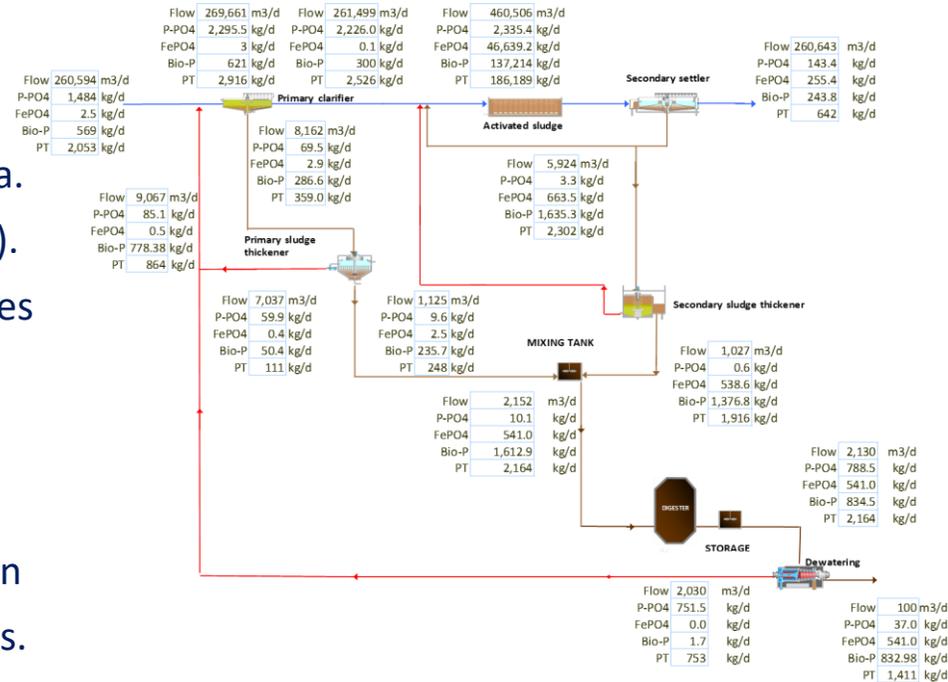


Ceit-BRTA realizó un estudio de simulación para conocer el efecto de colocar el precipitador.



3. Herramientas de simulación

- **Plant Wide Model (PWM)**
 - Se construyó un modelo con:
 - Degradación aerobia, anóxica y anaerobia.
 - Eliminación de N y P (química y biológica).
 - Procesos de stripping y disolución de gases (O_2 , N_2 , CH_4 , CO_2 y NH_3)
 - Precipitación y redisolución de $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ y $FePO_4$.
 - Se realizó un mapeo del fósforo en la EDAR y un análisis de costes para distintas configuraciones.



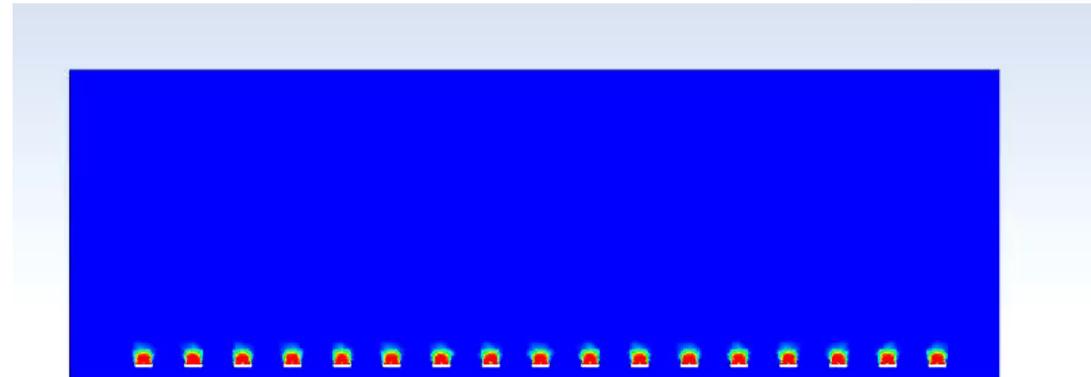
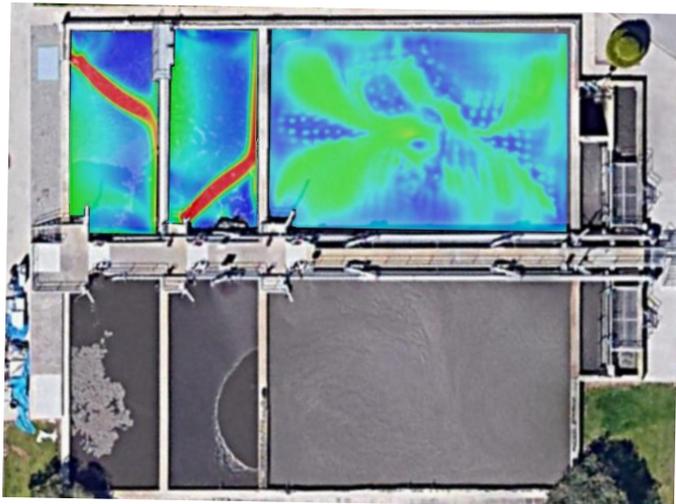
Model-based optimization of phosphorus management strategies in Sur WWTP, Madrid

I. Lizarralde ^{a,*}, T. Fernández-Arévalo ^a, A. Manas ^b, E. Ayesa ^a, P. Grau ^a

^a Ceit and Tecnun (University of Navarra) Manuel de Lardizabal 15, 20018, San Sebastián, Spain
^b Veolia Water Systems Iberica, c/ Electrodo 52, 28521, Rivas Vaciamadrid, Spain

3. Herramientas de simulación

- **Simulaciones CFD**
 - En Ceit-BRTA se están haciendo simulaciones multifásicas que permiten:
 - Diseño y optimización de tecnologías.
 - Escalado de procesos – procesos multifase.
 - Campo de velocidades – eficiencia del mezclado.
 - Distribución de elementos (burbujas, partículas) en el reactor.



3. Herramientas de simulación

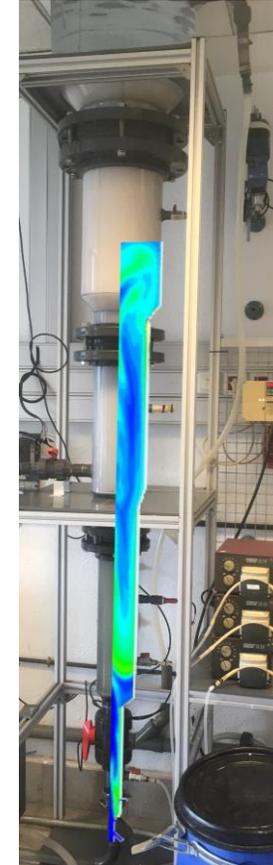
- **Simulaciones CFD**
 - Para la recuperación de estruvita es una herramienta que ayuda en:
 1. Distinguir zonas muertas en el reactor – posible mejora en el diseño.
 2. Establecer caudales de recirculación óptimos:
 - Capaces de mantener el sólido suspendido.
 - Evitar que el sólido más fino se vea arrastrado hacia afuera.


GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD

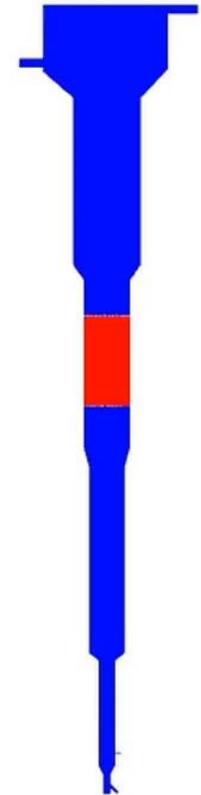
Número de expediente: CTM2015-70794-R
Programa: Programa Estatal de I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad

 **tecnun**
Universidad de Navarra

 **ceit** MEMBER OF BASQUE RESEARCH & TECHNOLOGY ALLIANCE

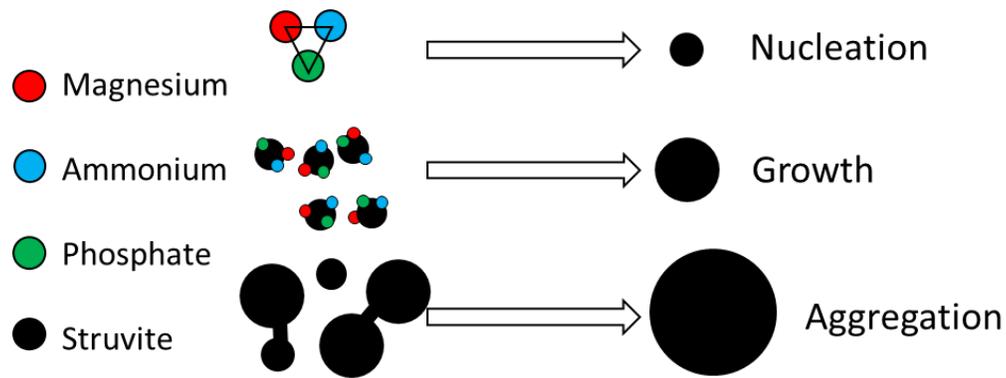


Depuración de Aguas del Mediterráneo



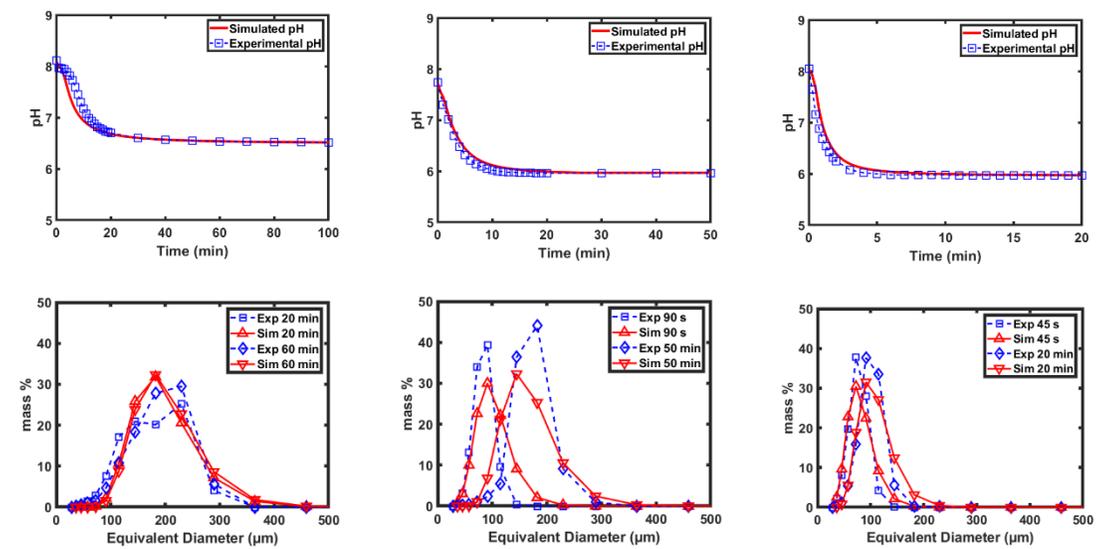
3. Herramientas de simulación

- **Modelos de balance poblacional (PBM)**
 - Simulación de la distribución de tamaño de cristales, flóculos, burbujas, etc. en un sistema.
 - Permite predecir la distribución de tamaños de estruvita.



pH evolution

PSD



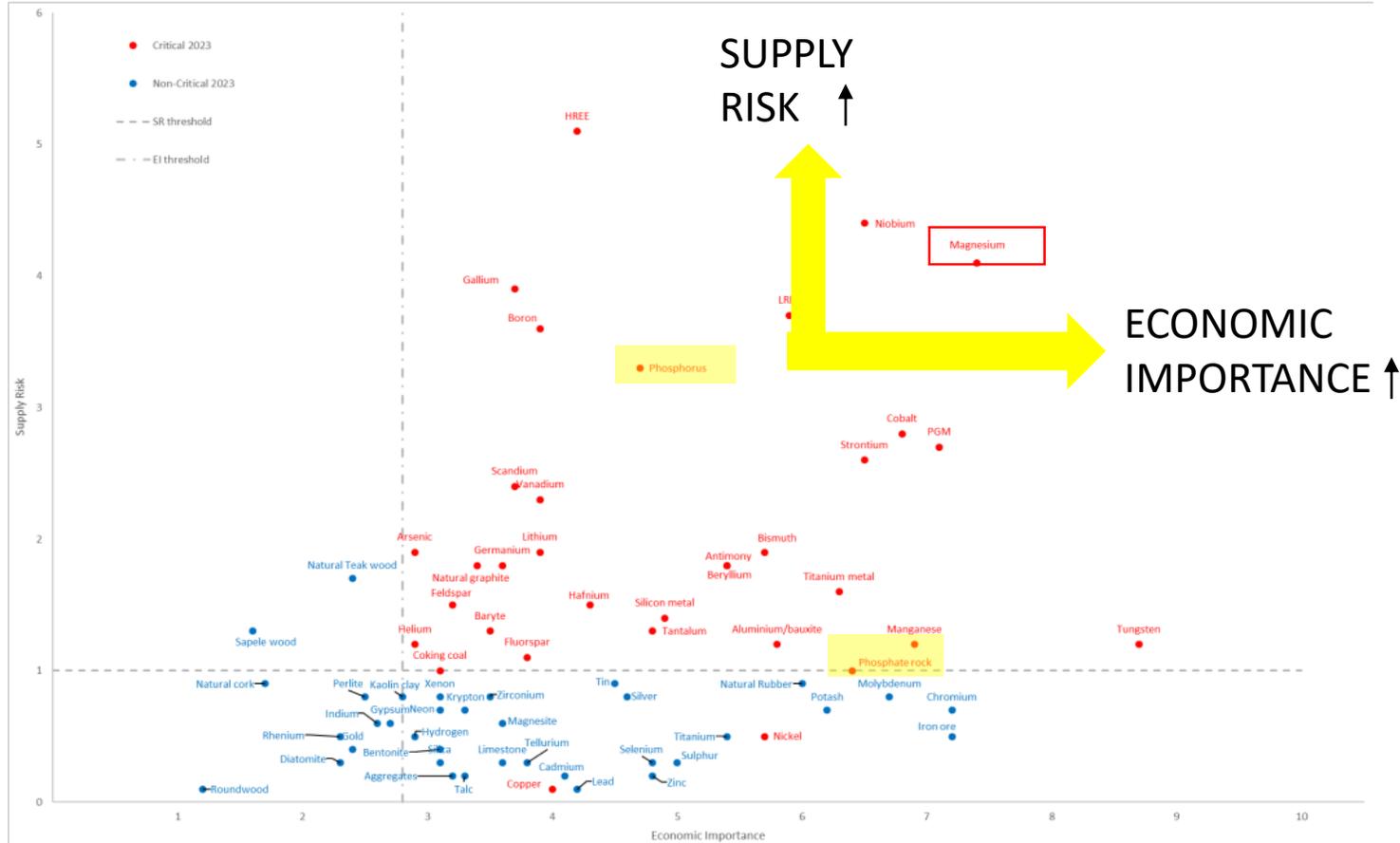
Número de expediente: CTM2015-70794-R
 Programa: Programa Estatal de I+D+I Orientada a los Retos de la Sociedad



1. Introducción
2. Precipitación de estruvita
3. Herramientas de simulación
- 4. Proyecto Magnyfos**
5. Conclusiones

4. Casos de estudio: MAGNYFOS

Figure 2: Criticality assessment results (individual materials and grouped HREEs, LRREs and PGMs)



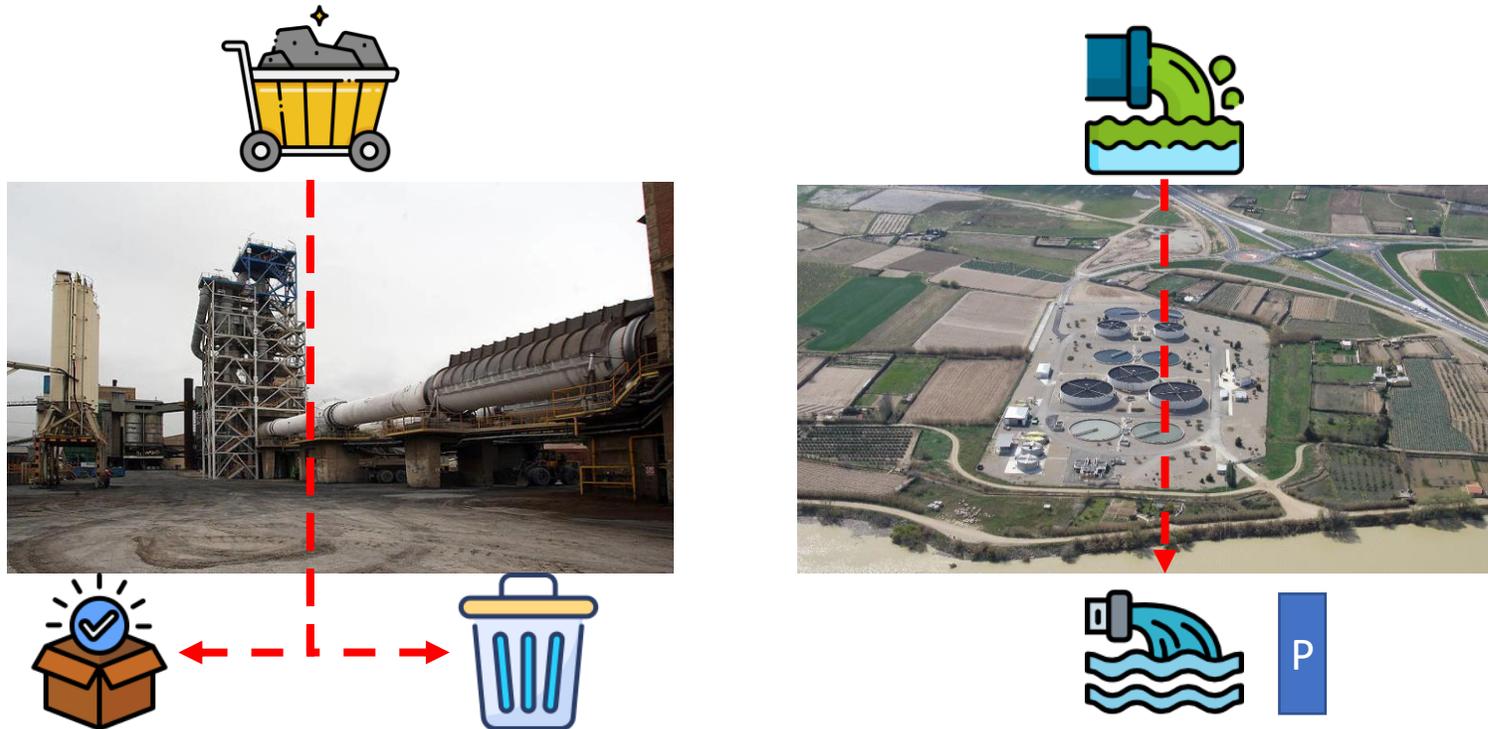
MAGNYFOS



Convocatoria Retos
 Colaboración: Magnyfos
 (RTC2019- 007257-5)

4. MAGNYFOS

Desarrollar una tecnología eficiente para recuperar P en EDAR.
Utilizar un subproducto industrial como fuente de magnesio.



MasterClass
patrocinada por:



Depuración de Aguas
del Mediterráneo



MAGNYFOS



Convocatoria Retos
Colaboración: Magnyfos
(RTC2019- 007257-5)

4. MAGNYFOS

Desarrollar una tecnología eficiente para recuperar P en EDAR.
Utilizar un subproducto industrial como fuente de magnesio.



MasterClass
patrocinada por:



Depuración de Aguas
del Mediterráneo



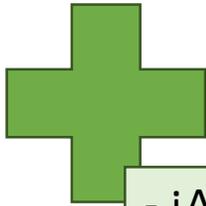
MAGNYFOS



Convocatoria Retos
Colaboración: Magnyfos
(RTC2019- 007257-5)

4. MAGNYFOS

Desarrollar una tecnología eficiente para recuperar P en EDAR.
Utilizar un subproducto industrial como fuente de magnesio.



- ¡Ayuda cerrar el ciclo del P y del Mg!
- Menor coste de reactivos (Mg y NaOH).



- Producto obtenido será menos puro.
- Desconocimiento del proceso.

La EDAR se convierte en un lugar que da salida a residuos industriales, trata aguas residuales y recupera elementos de interés.

MasterClass
patrocinada por:



Depuración de Aguas del Mediterráneo



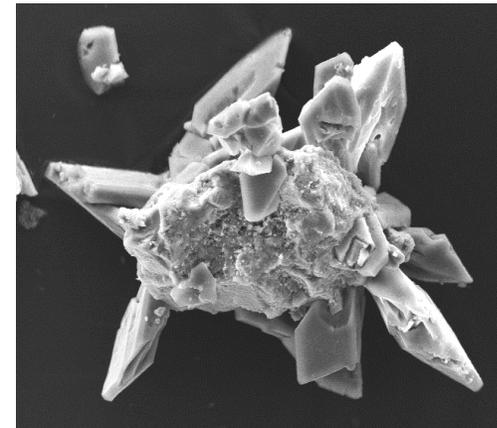
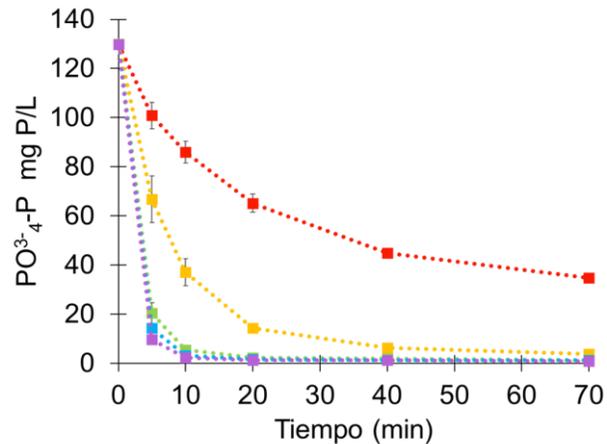
MAGNYFOS



Convocatoria Retos
Colaboración: Magnyfos
(RTC2019- 007257-5)

4. MAGNYFOS

- **Experimentación a escala laboratorio**
 - Ensayos de disolución del subproducto de magnesio y precipitación de estruvita.
 - Selección de condiciones operacionales adecuadas.
 - Identificación de fases sólidas.



Depuración de Aguas
del Mediterráneo



MAGNYFOS



Convocatoria Retos
Colaboración: Magnyfos
(RTC2019- 007257-5)

4. MAGNYFOS

- **Experimentación a escala piloto**
 - Plantas piloto instaladas en la EDAR de Tudela.



MasterClass
patrocinada por:



Depuración de Aguas
del Mediterráneo



MAGNYFOS

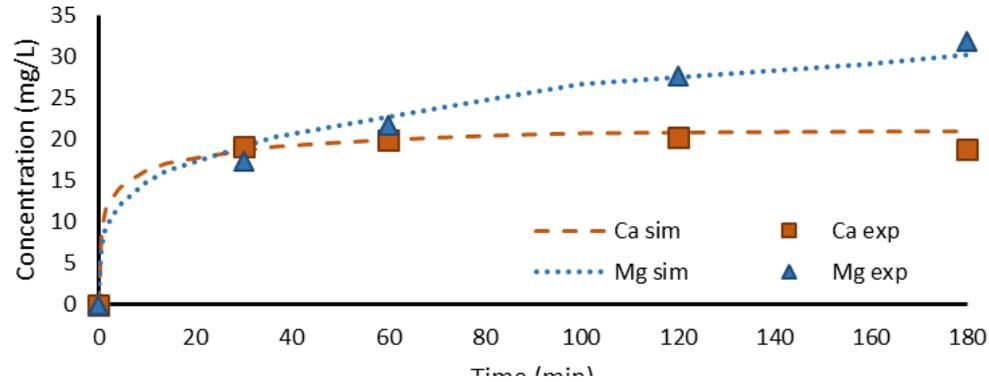


Convocatoria Retos
Colaboración: Magnyfos
(RTC2019- 007257-5)

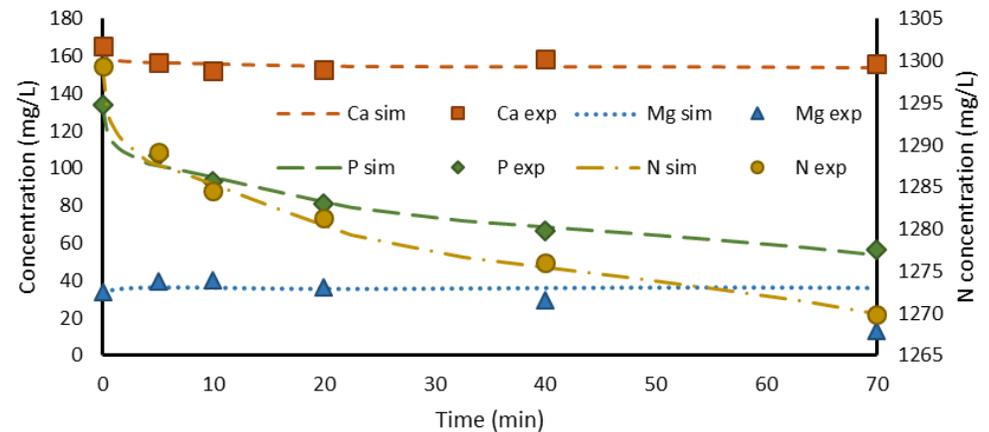
4. MAGNYFOS

- **Desarrollo de herramientas de simulación**
 - Simulaciones de calidad de aguas.

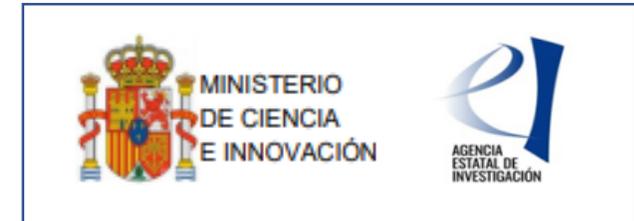
Disolución



Precipitación



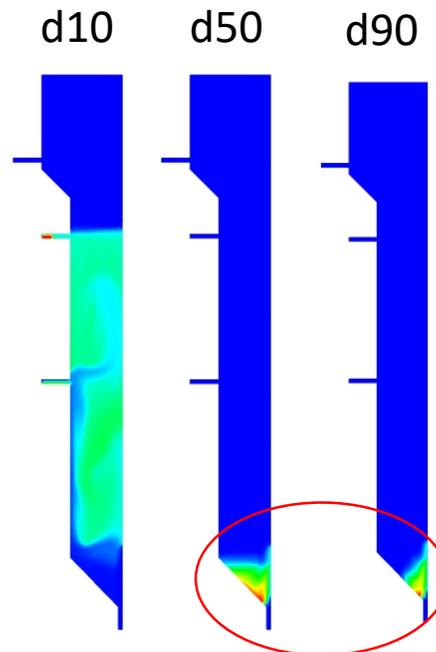
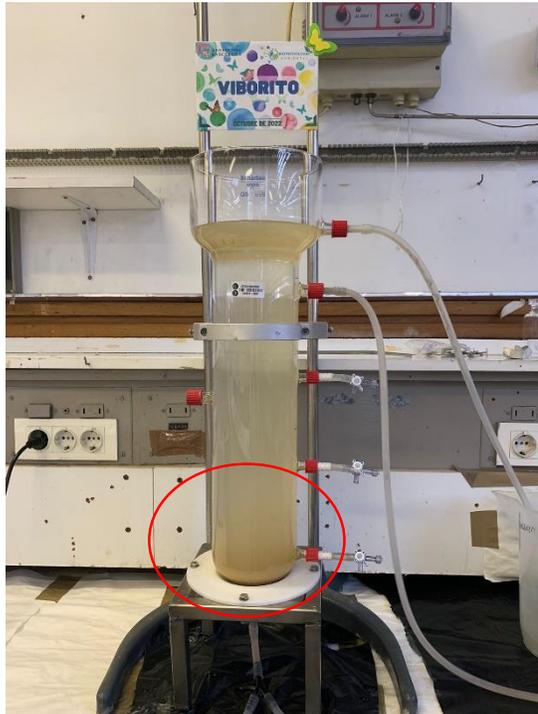
Depuración de Aguas
 del Mediterráneo



Convocatoria Retos
 Colaboración: Magnyfos
 (RTC2019- 007257-5)

4. MAGNYFOS

- **Desarrollo de herramientas de simulación**
 - Simulaciones de CFD.
 - Caudal de recirculación bajo.



d10: 6 microns
d50: 30 microns
d90: 65 microns



Depuración de Aguas
del Mediterráneo



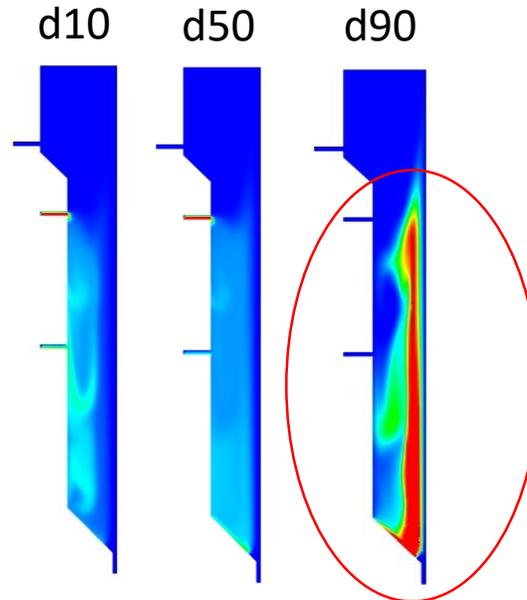
MAGNYFOS



Convocatoria Retos
Colaboración: Magnyfos
(RTC2019- 007257-5)

4. MAGNYFOS

- **Desarrollo de herramientas de simulación**
 - Simulaciones de CFD.
 - Caudal de recirculación bajo.



d10: 6 microns
d50: 30 microns
d90: 65 microns

MasterClass
patrocinada por:



Depuración de Aguas
del Mediterráneo



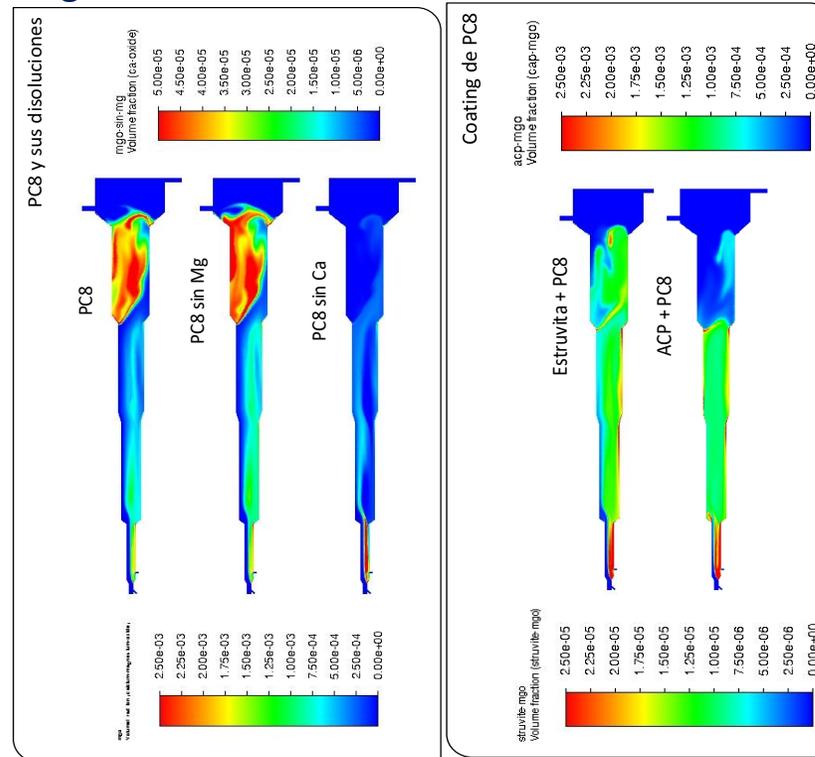
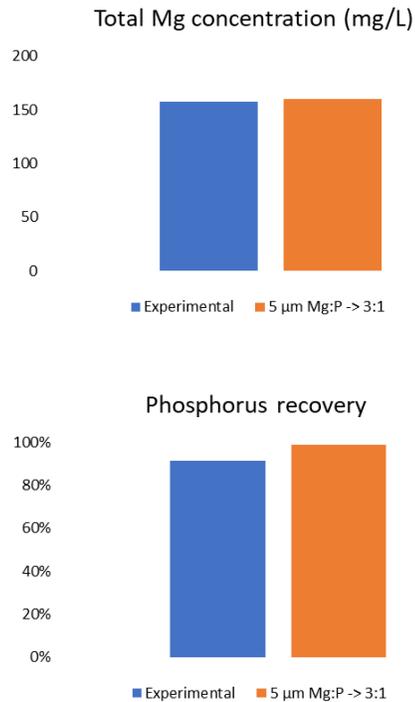
MAGNYFOS



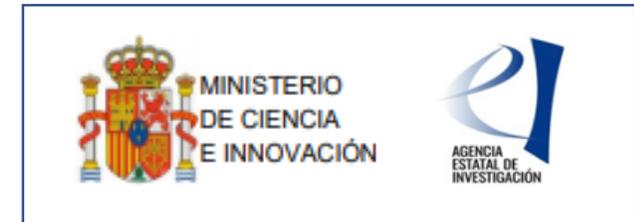
Convocatoria Retos
Colaboración: Magnyfos
(RTC2019- 007257-5)

4. MAGNYFOS

- **Desarrollo de herramientas de simulación**
 - Simulaciones de CFD y calidad de agua combinada.



Depuración de Aguas del Mediterráneo



Convocatoria Retos
 Colaboración: Magnyfos
 (RTC2019- 007257-5)



1. Introducción
2. Precipitación de estruvita
3. Herramientas de simulación
4. Proyecto Magnyfos
- 5. Conclusiones**

5. Conclusiones

- **Principales conclusiones de la MasterClass**
 - Se pueden **recuperar fertilizantes** de la EDAR en forma de fango o fertilizantes minerales.
 - La **estruvita** nos puede ayudar a combatir la escasez de fósforo.
 - Las **herramientas de simulación** ayudan al diseño, optimización y control de tecnologías y EDARs.
 - Hay **líneas de futuro** interesantes en la recuperación de fertilizantes en aguas residuales como:
 - La simbiosis urbana-industrial tanto para las fuentes alternativas de magnesio como para la corriente a la que aplicar la recuperación de fósforo.
 - Gestión más eficiente del fósforo en la EDAR.

**Gracias por vuestra
atención.**



II Ciclo de 20 MasterClass

AGUASRESIDUALES.INFO