



Sesión

"Mejora de la eficiencia energética en la EDAR a través del control online de un gemelo digital híbrido, proyecto DTCONEDAR"

Ponentes:

Alba Ezquerro (ZINNAE)
Rosario Arnau (HYDRENS)

MEMBRESÍA

de 
AGUASRESIDUALES.INFO

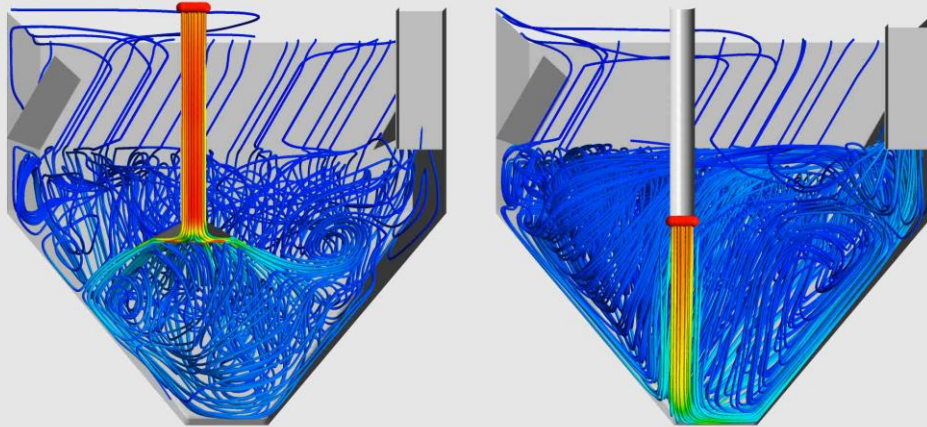

HYDRENS

Consultora especializada en el ciclo integral del agua que ofrece trabajos innovadores de diagnóstico fluidodinámico para mejorar la eficiencia de los procesos.

Desarrolla su actividad en 3 líneas principales:



Simulación computacional
de fluidos (CFD)



Medidas experimentales
(Instrumentación)



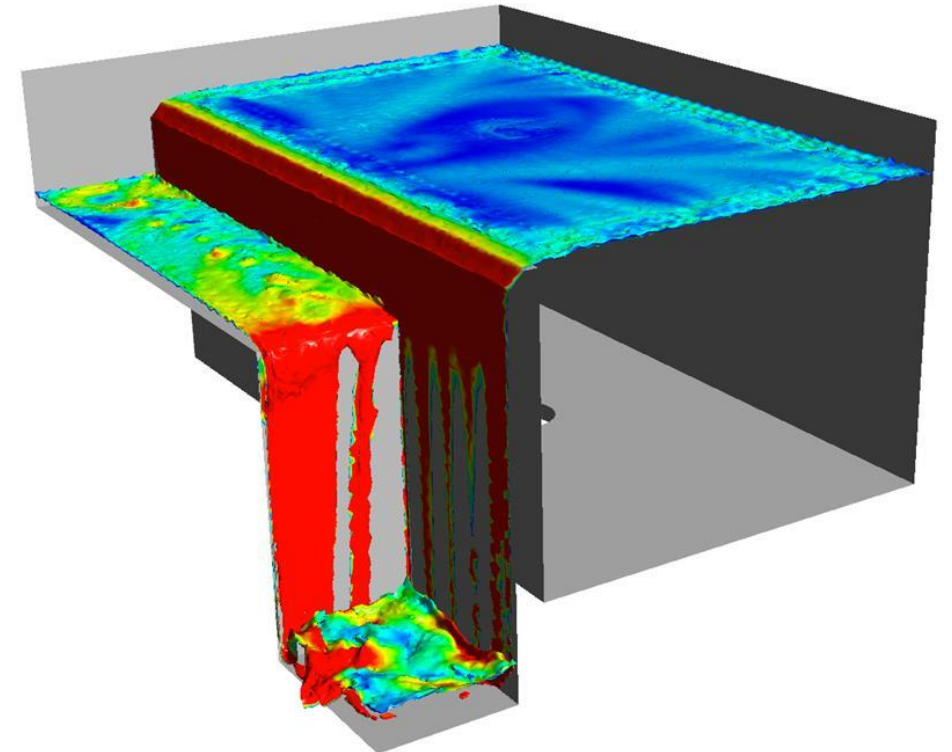
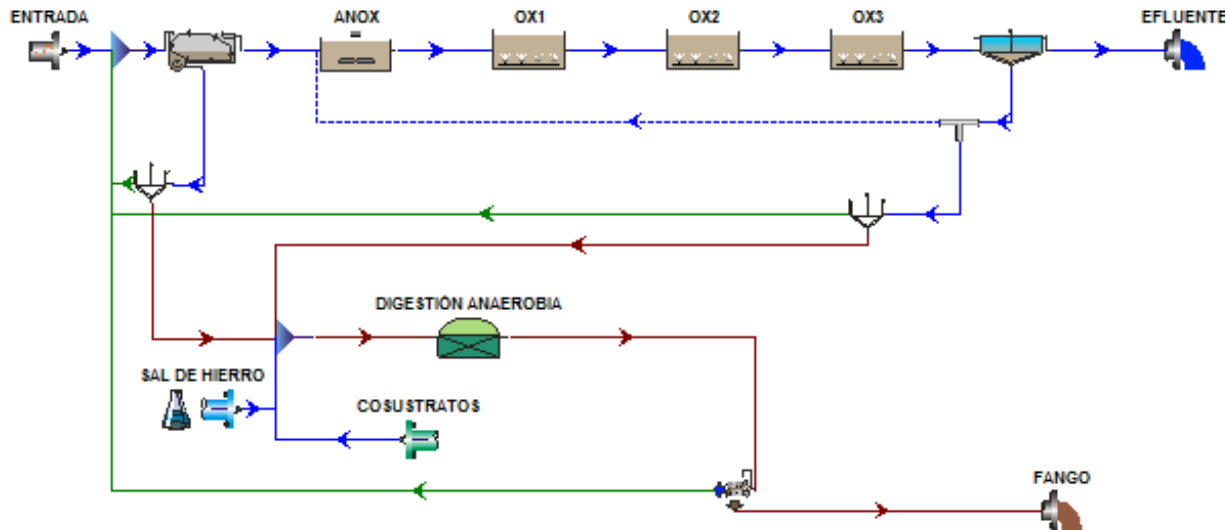
Modelización de procesos
(Simulación)

[Link WEB](#)

Gemelos Digitales: Definición

“While we see many definitions of “Digital Twin,” LMS Research keeps it simple: A Digital Twin is an executable virtual model of a physical thing or system.”

Un gemelo digital es un modelo virtual ejecutable de un ente o sistema físico.



Gemelos Digitales: Definición

Un gemelo digital es una representación virtual de un objeto o sistema físico que se actualiza con datos en tiempo real. Este modelo virtual refleja con precisión su contraparte física, permitiendo la ejecución de simulaciones y el estudio de problemas de rendimiento. Los gemelos digitales utilizan tecnologías como la simulación, machine learning y el razonamiento para facilitar la toma de decisiones. Los datos recopilados a través de sensores se procesan y aplican al gemelo digital, generando información valiosa que se puede aplicar de nuevo al objeto físico original¹².

Un gemelo digital es una representación virtual de un objeto o sistema físico que se actualiza con datos en tiempo real y permite simular, analizar y optimizar su funcionamiento. Un gemelo digital se compone de tres elementos: el objeto o sistema físico, el modelo digital y la conexión entre ambos. Los gemelos digitales se utilizan en diversos sectores, como la industria, la logística, la construcción o la automoción, para mejorar la eficiencia, la calidad y la innovación de los productos y procesos¹²³⁴

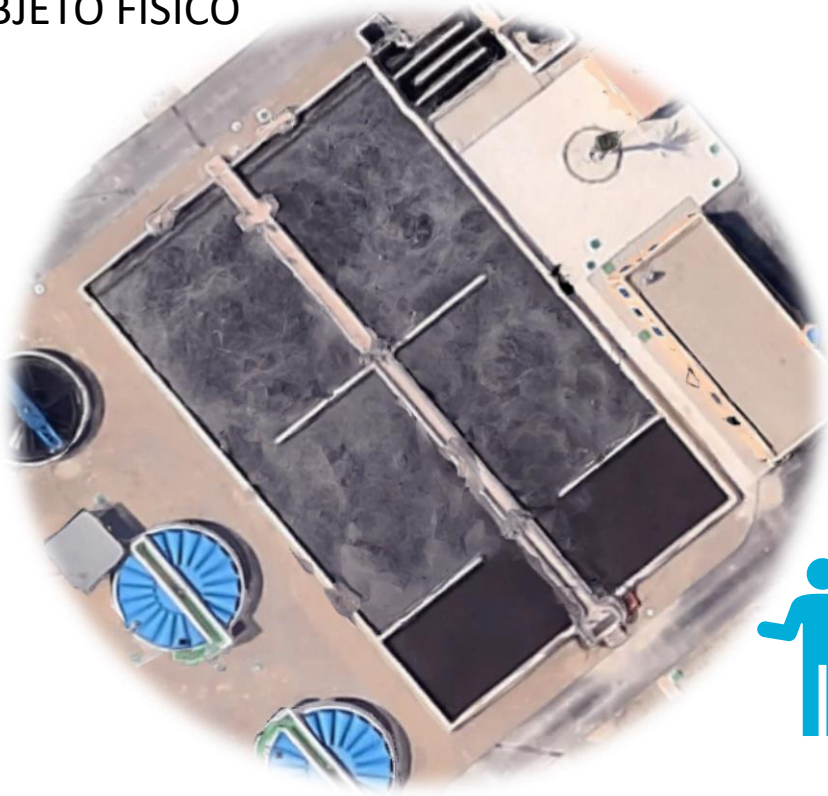
“an integrated multiphysics, multiscale, probabilistic simulation of an as-built system, enabled by Digital Thread, that uses the best available models, sensors, simulation, and input data to mirror and predict activities/performance over the life of its corresponding physical twin.”

“a physics-based dynamic computer representation of a physical system that exploits distributed sensing, data management, and virtual-to-augmented reality technologies to monitor the object, and to share and update discrete data dynamically”

<https://doi.org/10.1186/s40323-020-00147-4c>

Gemelos Digitales: Sector del Agua

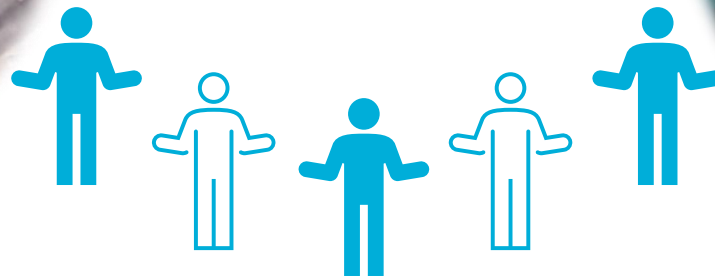
OBJETO FÍSICO



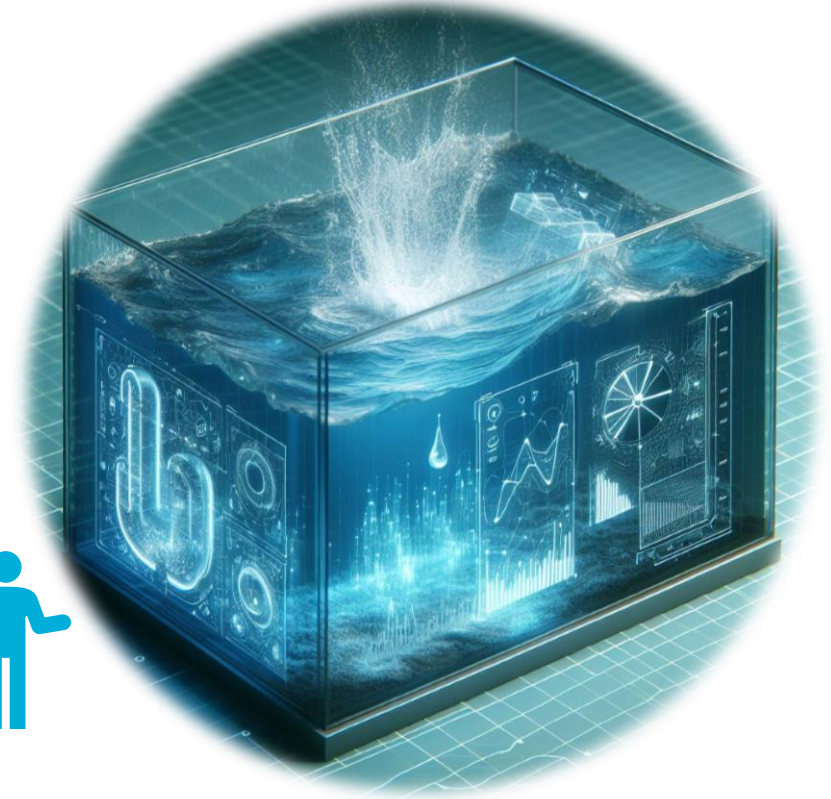
INTERCAMBIO DE
INFORMACIÓN (auto y
auto/manual)



Sensores/Sondas
Datos experimentales



MODELO DIGITAL

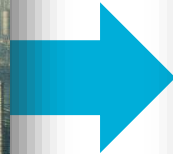


Generado con Copilot

Gemelos Digitales: Sector del Agua



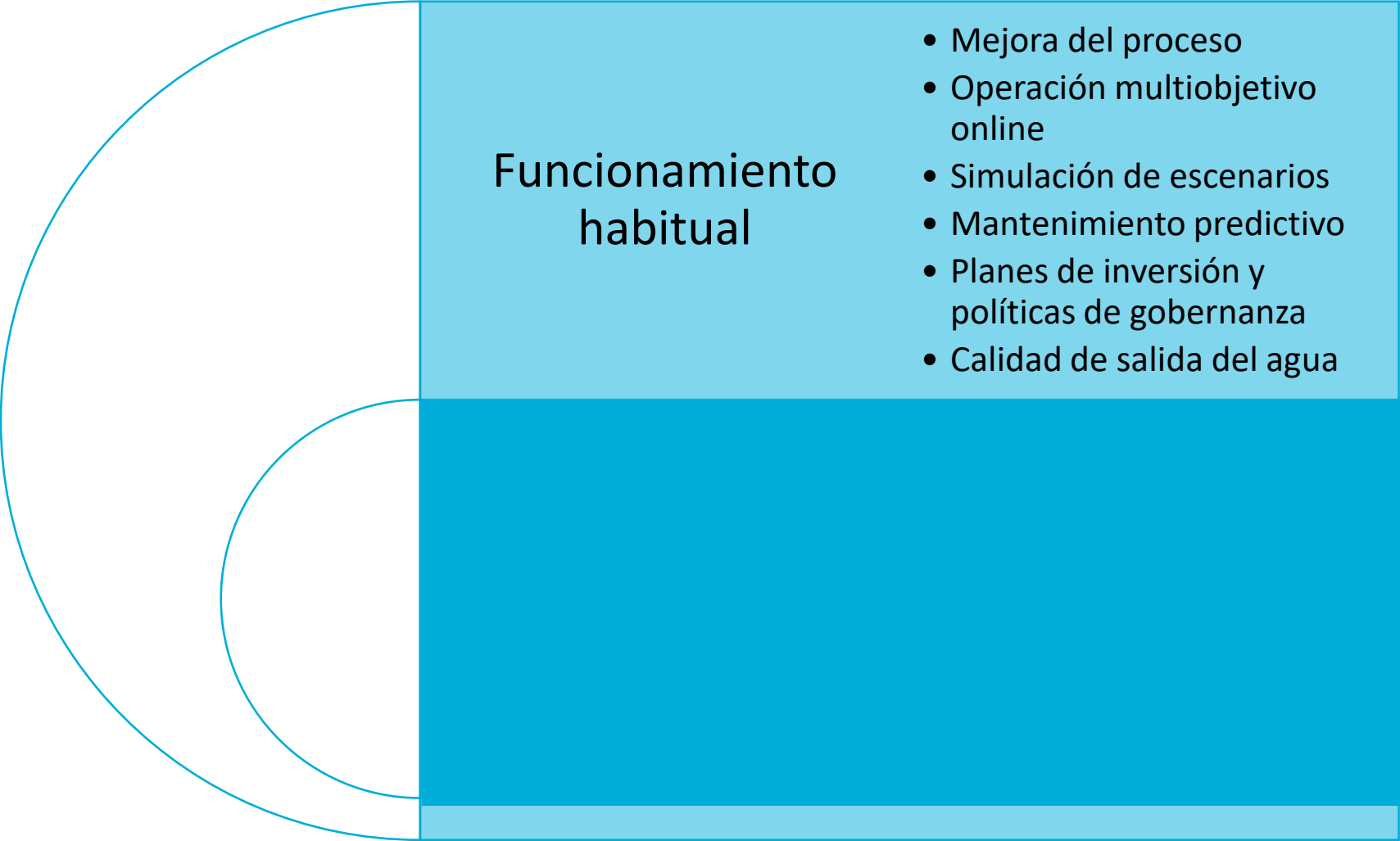
Generado con Copilot: **Sent by you:**
Genera una imagen que represente una industria sin agua



Generado con Copilot: **Sent by you:**
Genera una imagen que represente la industria del agua

- Utilizado sin suficiente consenso
- Recurrentemente de forma errónea (diseño)
- Sin una comprensión profunda de los **desafíos**
- De forma intuitiva, sin estudiar necesidades de desarrollo futuras
- Más aplicado en **Potables**
- En EDAR, ha recaído en la comunidad de modelado tradicional

Gemelos Digitales: Sector del Agua



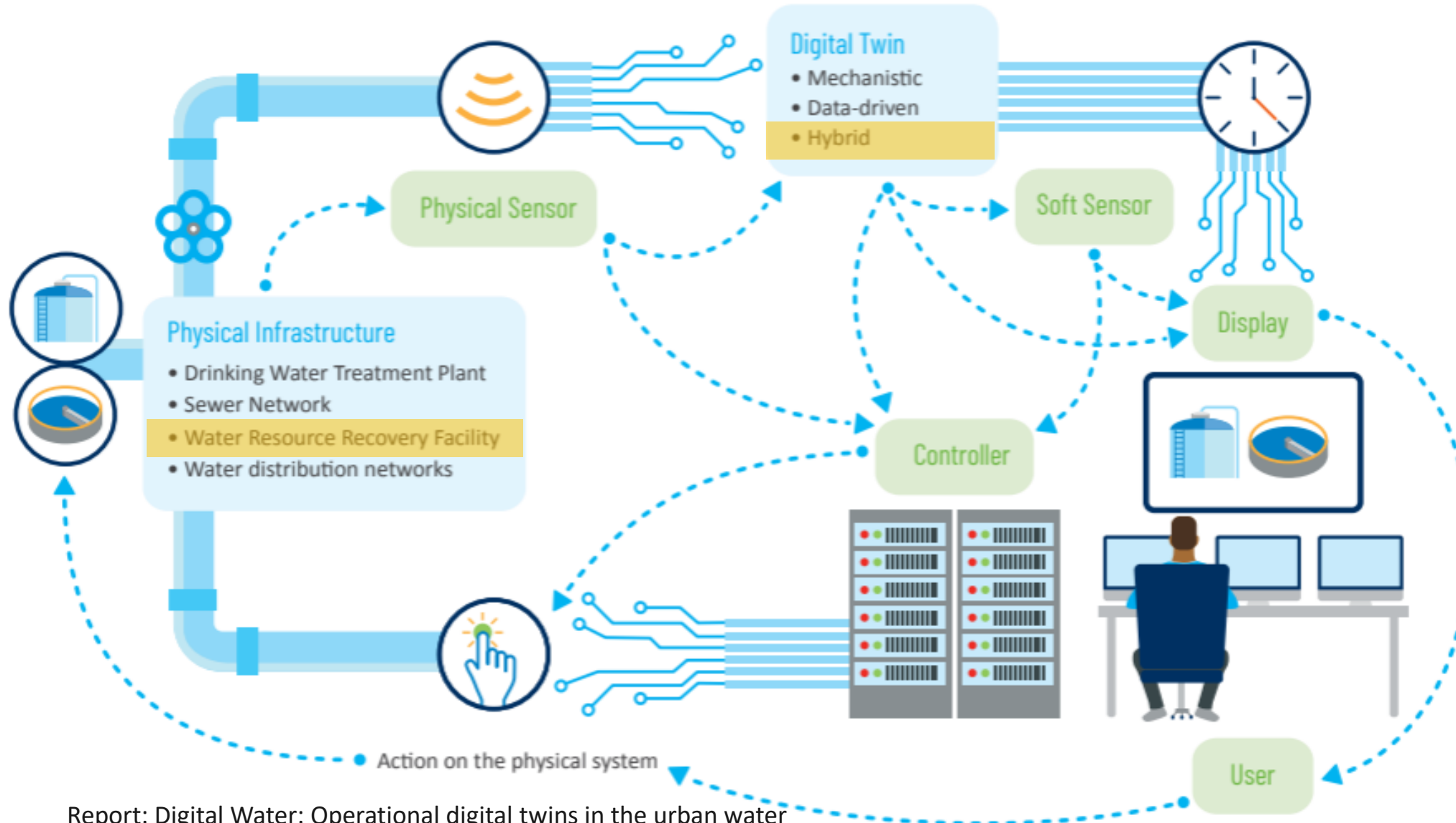
Funcionamiento habitual

- Mejora del proceso
- Operación multiobjetivo online
- Simulación de escenarios
- Mantenimiento predictivo
- Planes de inversión y políticas de gobernanza
- Calidad de salida del agua

SAD y SAT

- Actualizada
- Más que un simulador

Gemelos Digitales: Sector del Agua



Report: Digital Water: Operational digital twins in the urban water sector 2021 Valverde, B. et al.

Gemelos Digitales: Tipologías de modelo para un GD

Mecanicistas

Más utilizados en EDAR

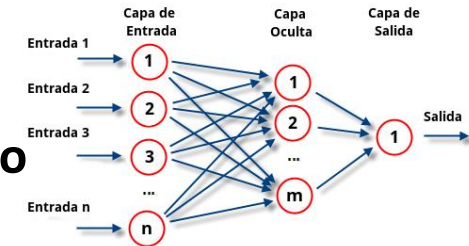
- ASM, ADM, BSM
 - Sedimentación
 - Desinfección
 - CFD, Etc.
- $$\mu = \mu_{max} \frac{S}{S + K_s}$$
- $$V_s = V_0 e^{-r_H X}$$
- $$\frac{dN}{dt} = -k_\mu \cdot C^n \cdot N$$

- Uso de leyes o principios físicos
- Necesidad de pocos datos
- Extrapolable a diferentes escenarios
- Necesidad de un simulador
- Mayor tiempo / potencia cálculo
- Complejidad en la implementación

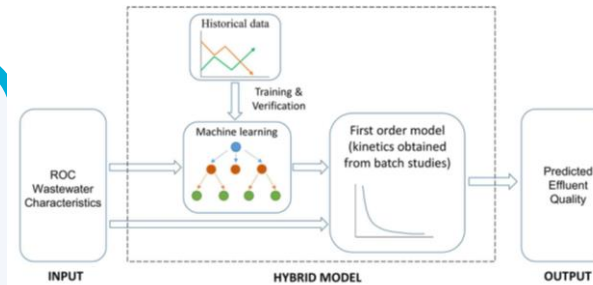
Basados en datos

Menos utilizados EDAR

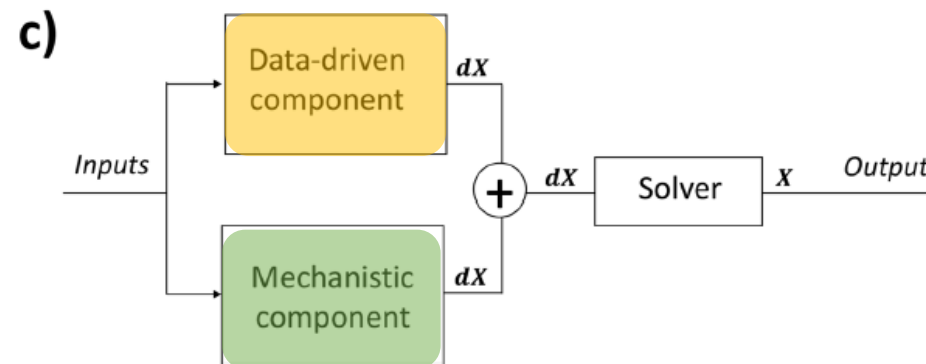
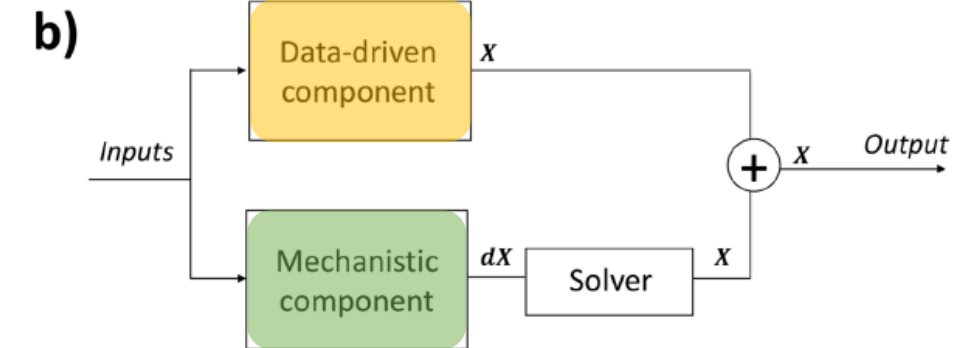
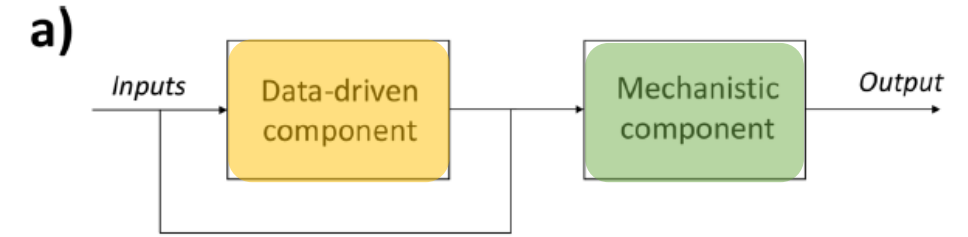
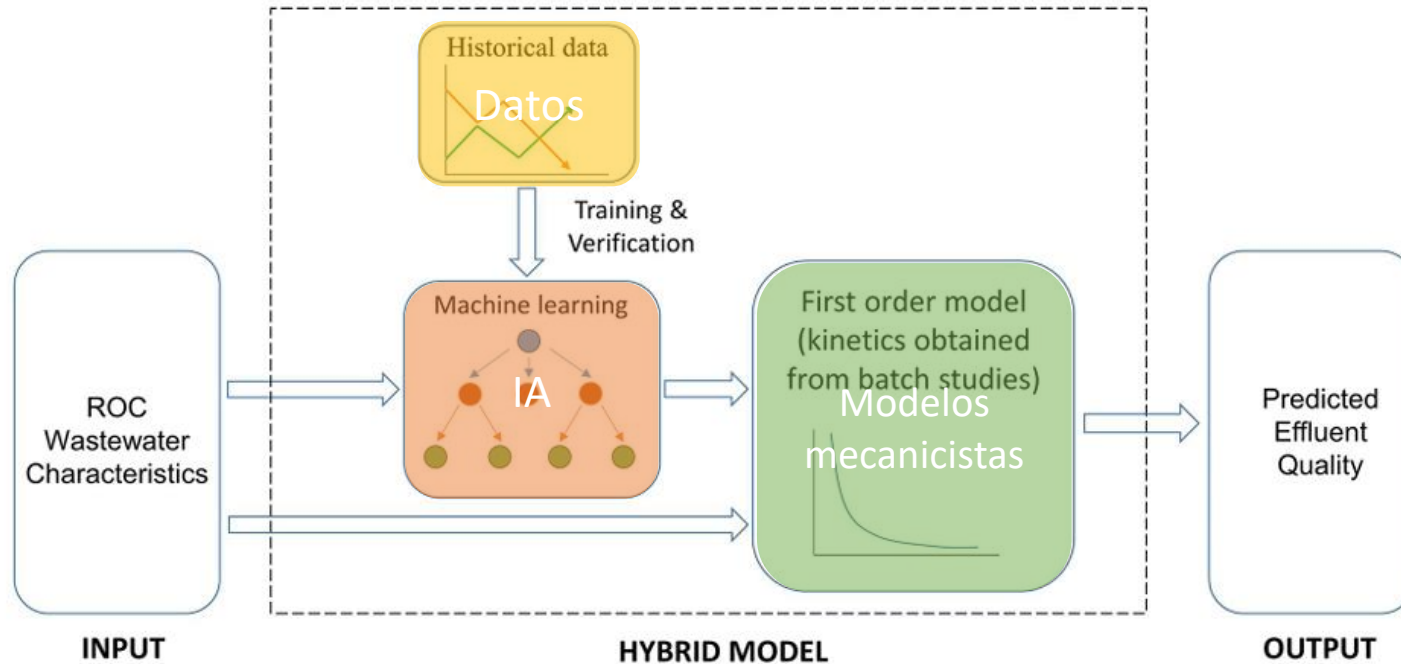
- Lógica borrosa
- Inteligencia Artificial
- Aprendizaje profundo
- Etc.



- Buscar patrones de comportamiento
- Necesidad gran cantidad de datos
- Modelos de caja negra
- Comprensión limitada
- Extrapolación poco fiable
- Fácil implementación



Gemelos Digitales: Modelos híbridos

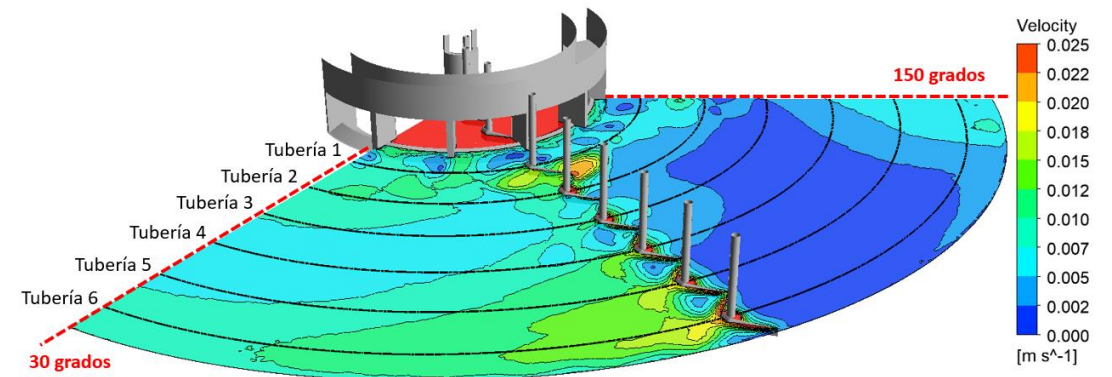
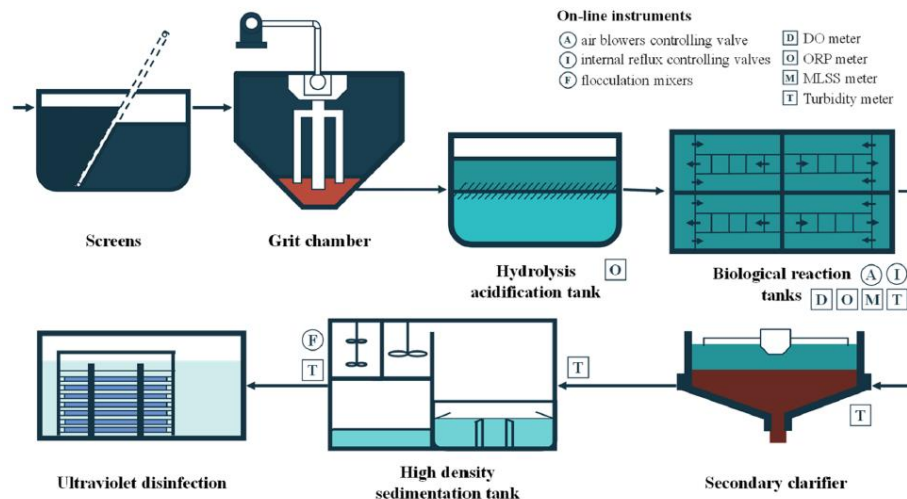


Quaghebeur, W., Torfs, E., De Baets, B., & Nopens, I. (2022). Hybrid differential equations: integrating mechanistic and data-driven techniques for modelling of water systems. *Water Research*, 213, 118166.

Gemelos Digitales: Sector del Agua

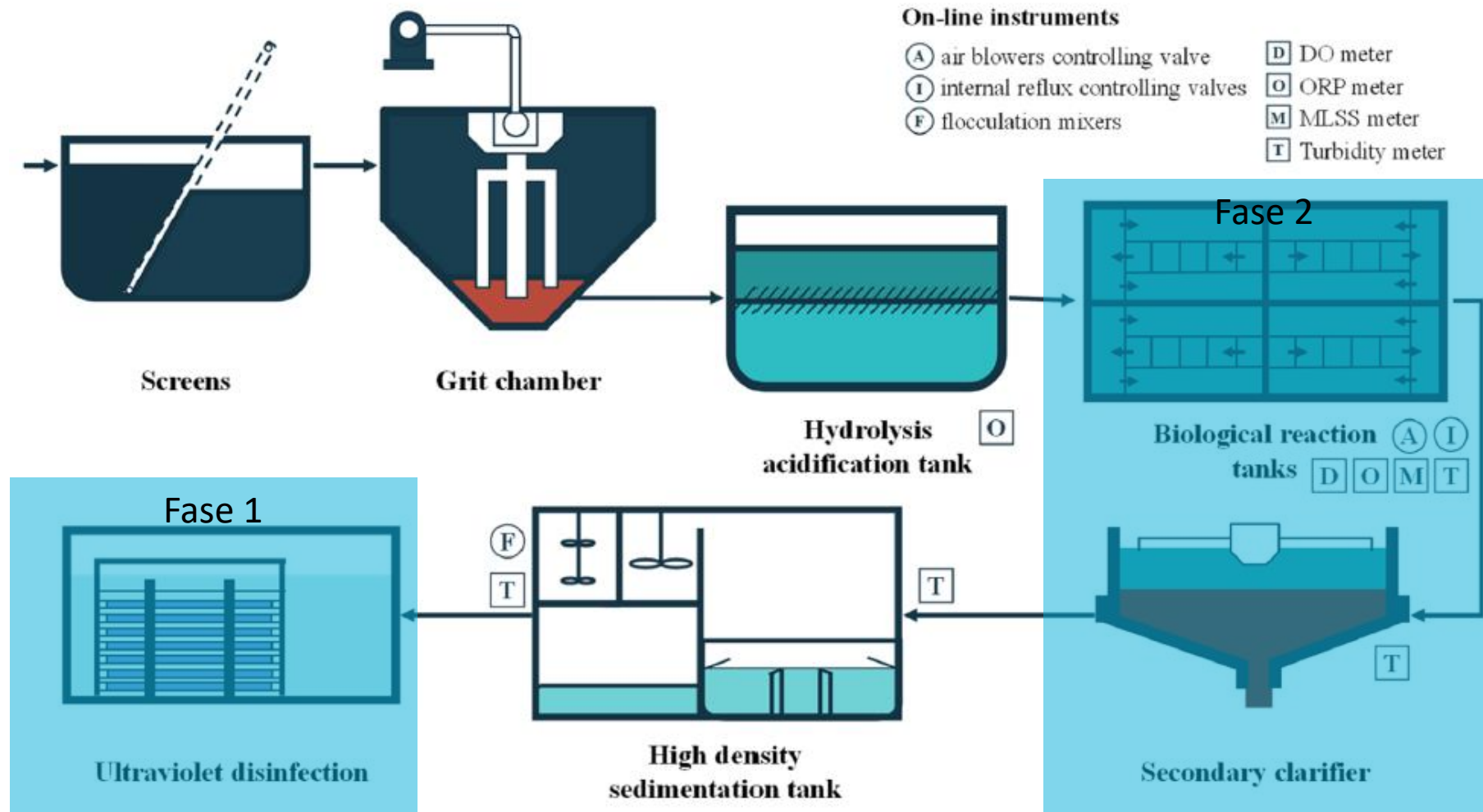
¿Necesitamos un gemelo digital? Requerimientos

- Cuando tengo un sistema que cambia continuamente en el tiempo
- Cuando puedo capturar esos datos
- Generar datos directamente equivalentes a medidas experimentales
- Modelos digitales por partes (concepto de fábrica)

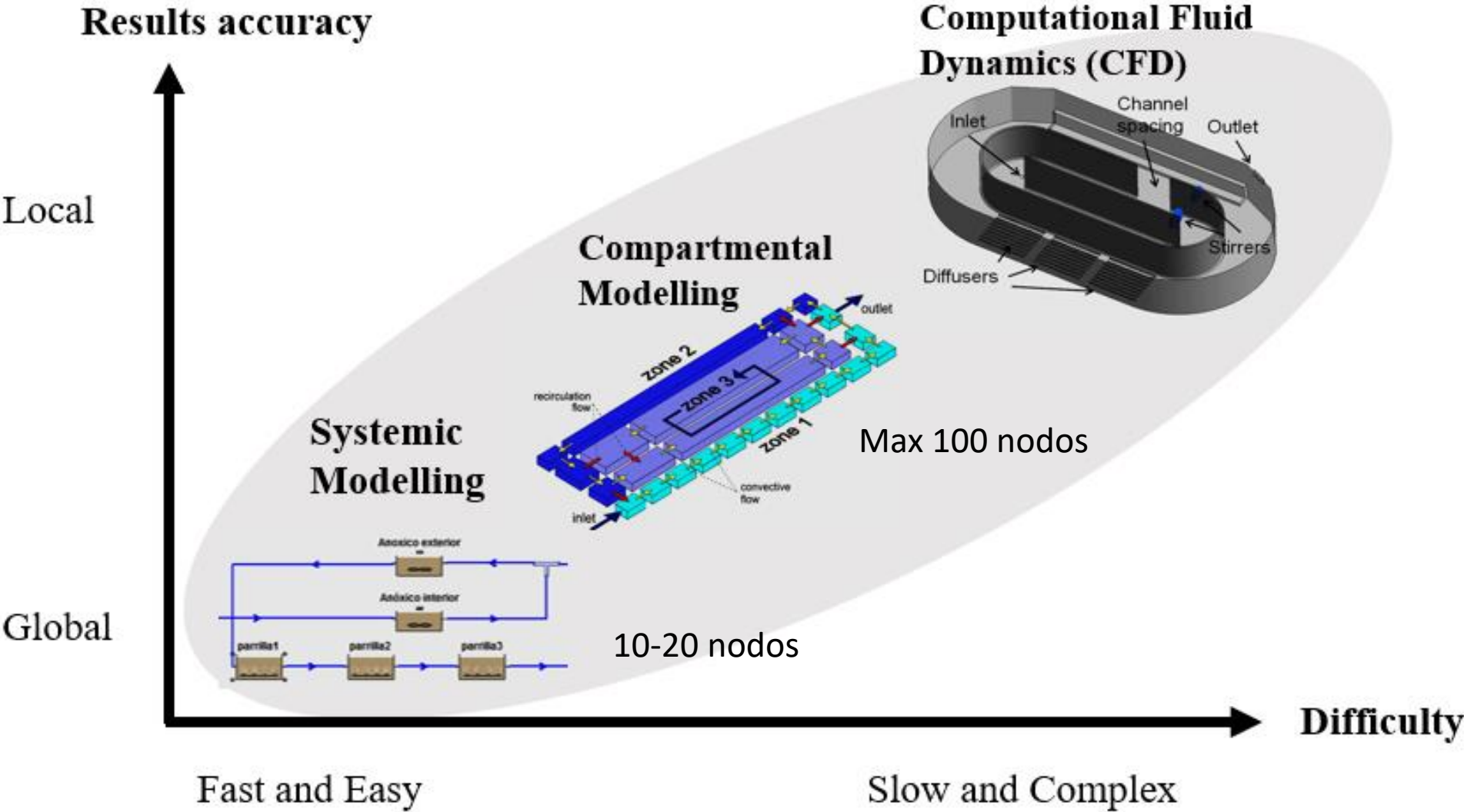


Objetivos

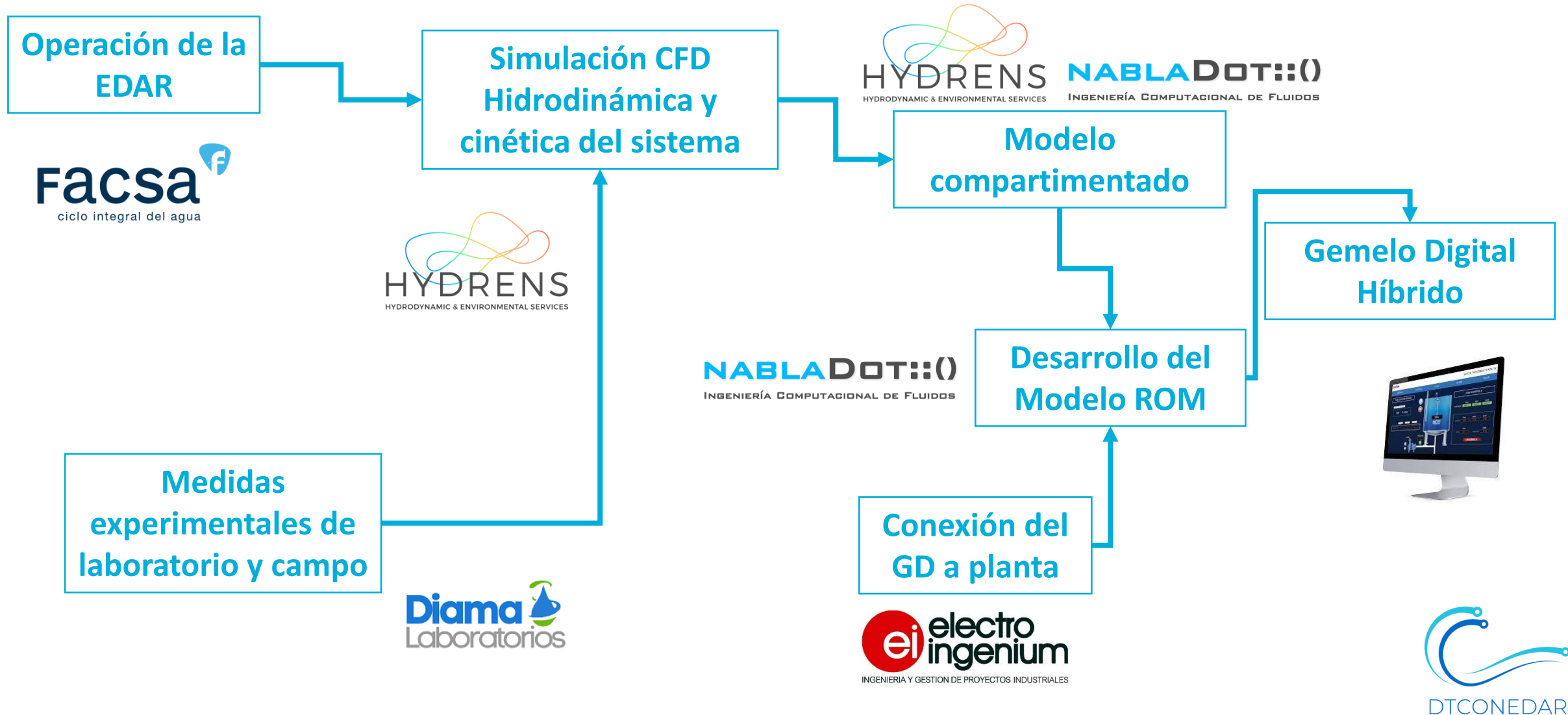
- Unidades de proceso
- Cálculo en tiempo real



DTCONEDAR: Metodología



DTCONEDAR: Metodología

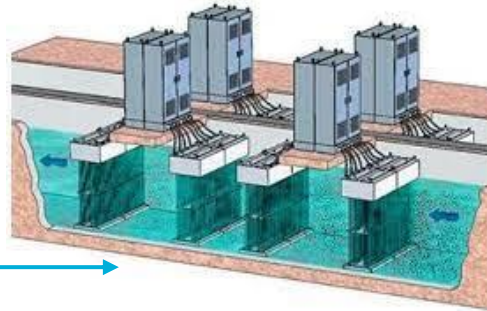


DTCONEDAR Fase 1: Metodología

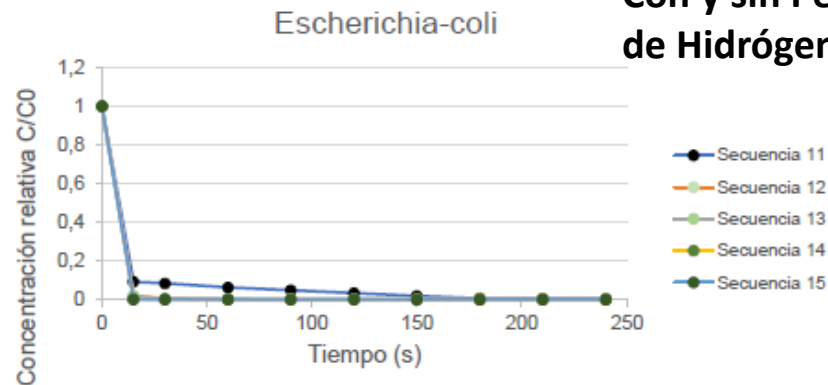
Optimizar el sistema de desinfección UV de la EDAR.



Simulación CFD hidrodinámica, radiativa y cinética del Sistema

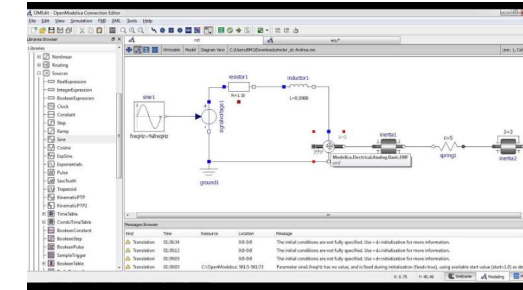


Con y sin Peróxido de Hidrógeno.



Caracterizar las cinéticas de degradación de patógenos.

Agilizar el procedimiento de cálculo = Modelo ROM



Llevar señales de Sondas y caudalímetros

Gemelo Digital Híbrido

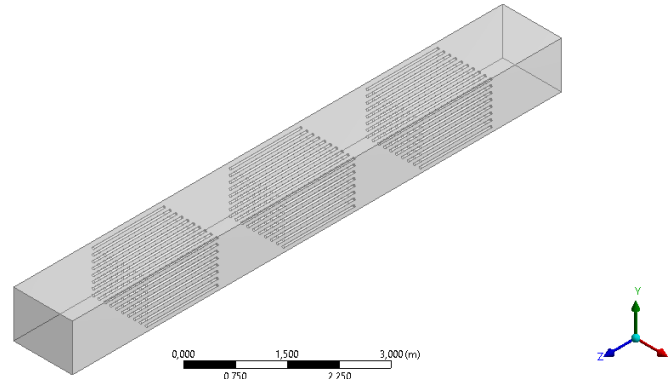
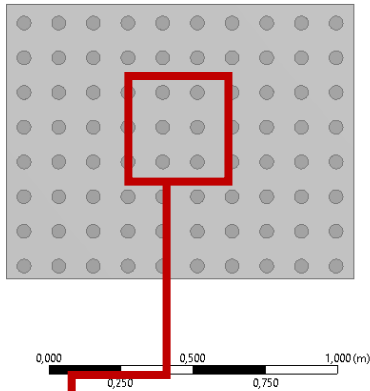


Visualización del Rendimiento del Sistema en SCADA: Sistema predictivo = Optimización de la etapa + Control de Riesgos.

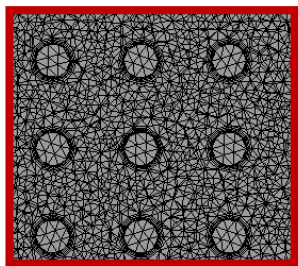
DTCONEDAR Fase 1: PT2 Simulación de proceso

Representación Virtual de los procesos que se desarrollan a nivel real: Mediante CFD

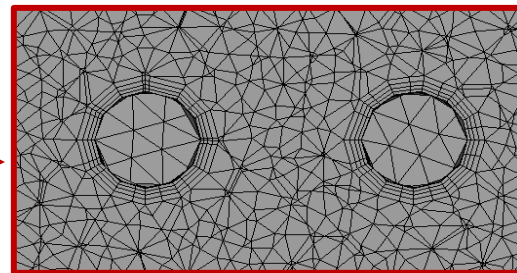
1. Geometría



2. Mallado



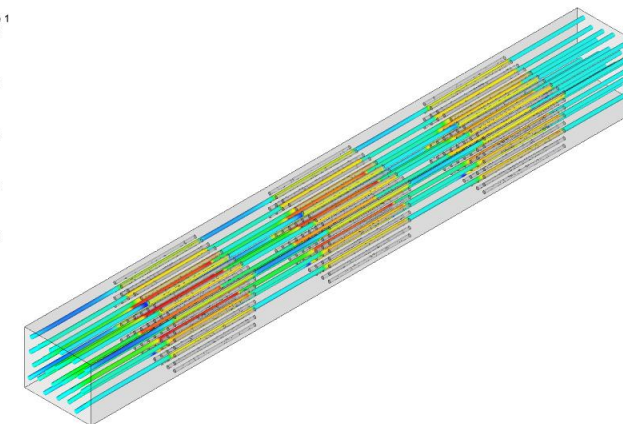
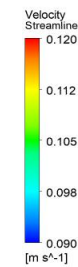
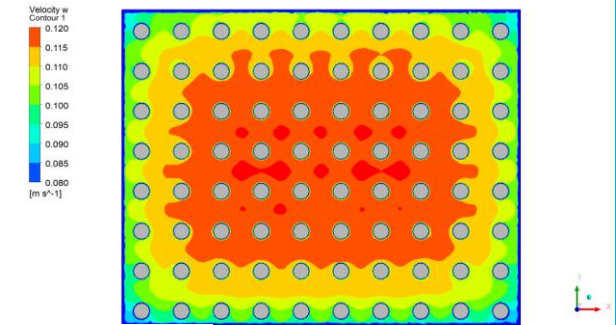
8 M Nodos



3. Condiciones de contorno

- Hidrodinámica
- Radiación
- Desinfección

4. Resultados



DTCONEDAR Fase 1: PT3 Medidas experimentales

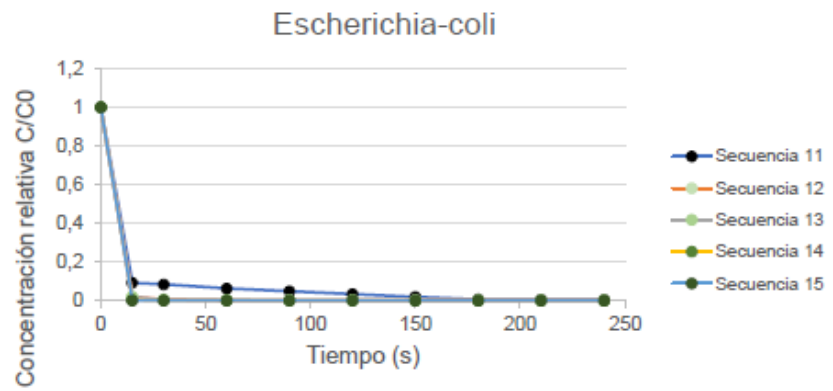


Ha realizado los ensayos de laboratorio para desarrollar el modelo de simulación, calibrarlo, validarlo a escala real y llevar el seguimiento del rendimiento de desinfección a través del control analítico de la calidad del agua en EDAR. También se ha definido la velocidad de desinfección de patógenos para diferentes dosis de radiación UV y H2O2.



Secuencia	Intensidad luz UV (W/L)	Concentración H ₂ O ₂ (mL/L)
PRIMERA TANDA (17/01/2023)		
1	2	0
2	2	0,1
3	2	0,5
4	2	2
5	2	10
SEGUNDA TANDA (13/02/2023)		
6	2	0,01
7	2	0,03
8	2	0,05
9	2	0,07
10	2	0,09

- Ensayos con:
- Coliformes totales
 - Escherichia coli
 - Clostridium perfringens

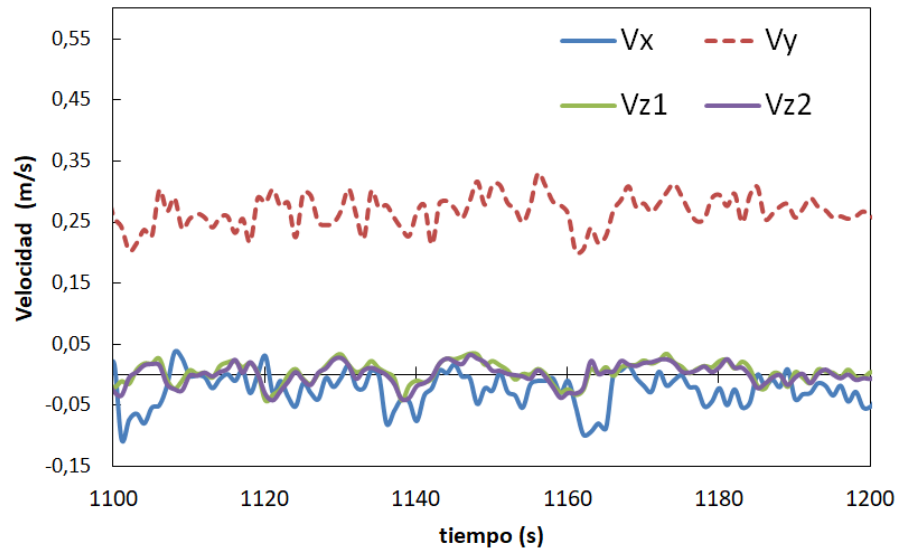


DTCONEDAR Fase 1: PT3 Medidas experimentales

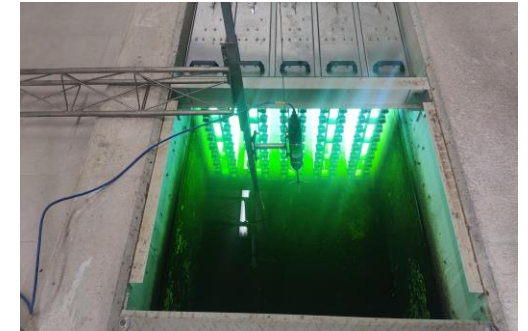
¿Reproduce la realidad nuestro modelo? Se necesita calibrar



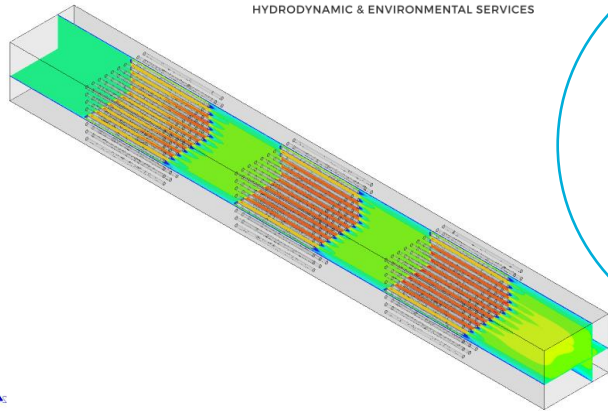
Escaneo de la sonda Vectrino para la medida de velocidades



Flujo direccionado



DTCONEDAR Fase 1: PT4 Desarrollo del Gemelo Digital



CFD+reacciones

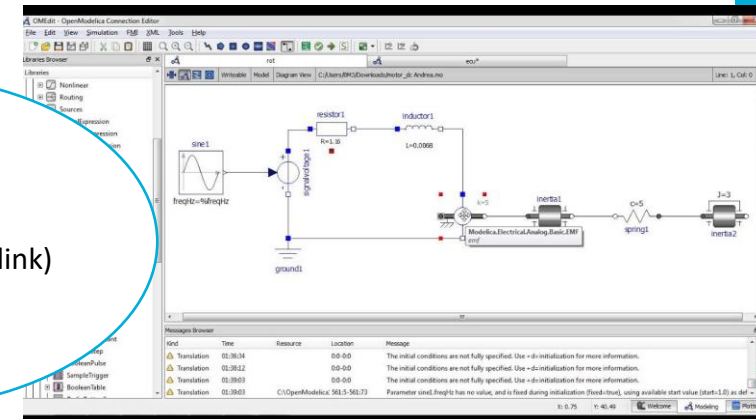
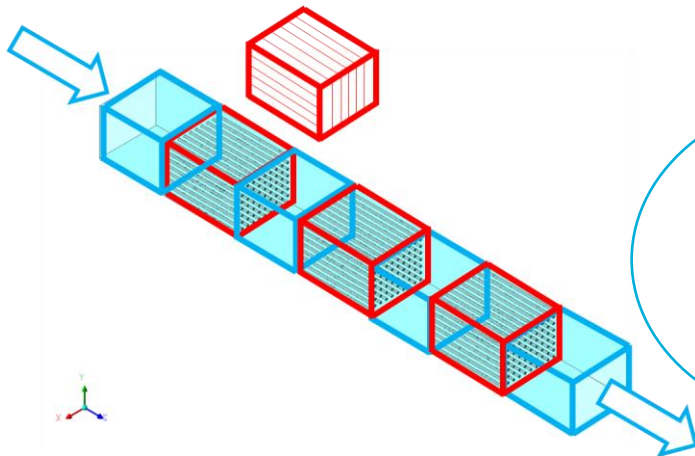
Integrarlo en el GD



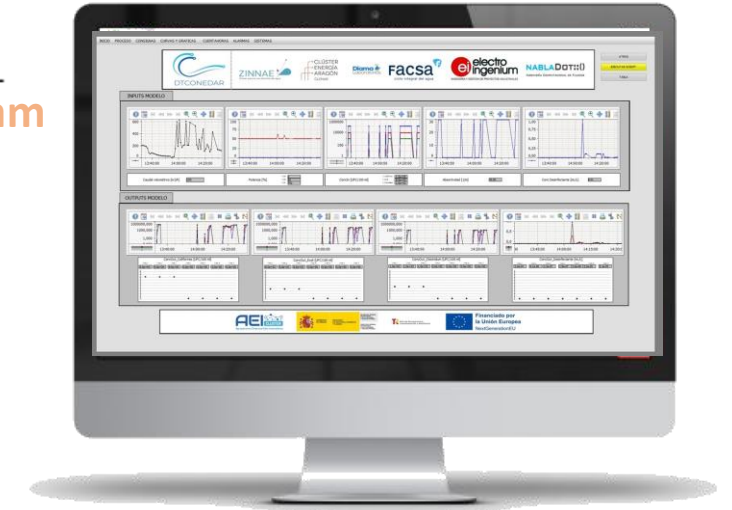
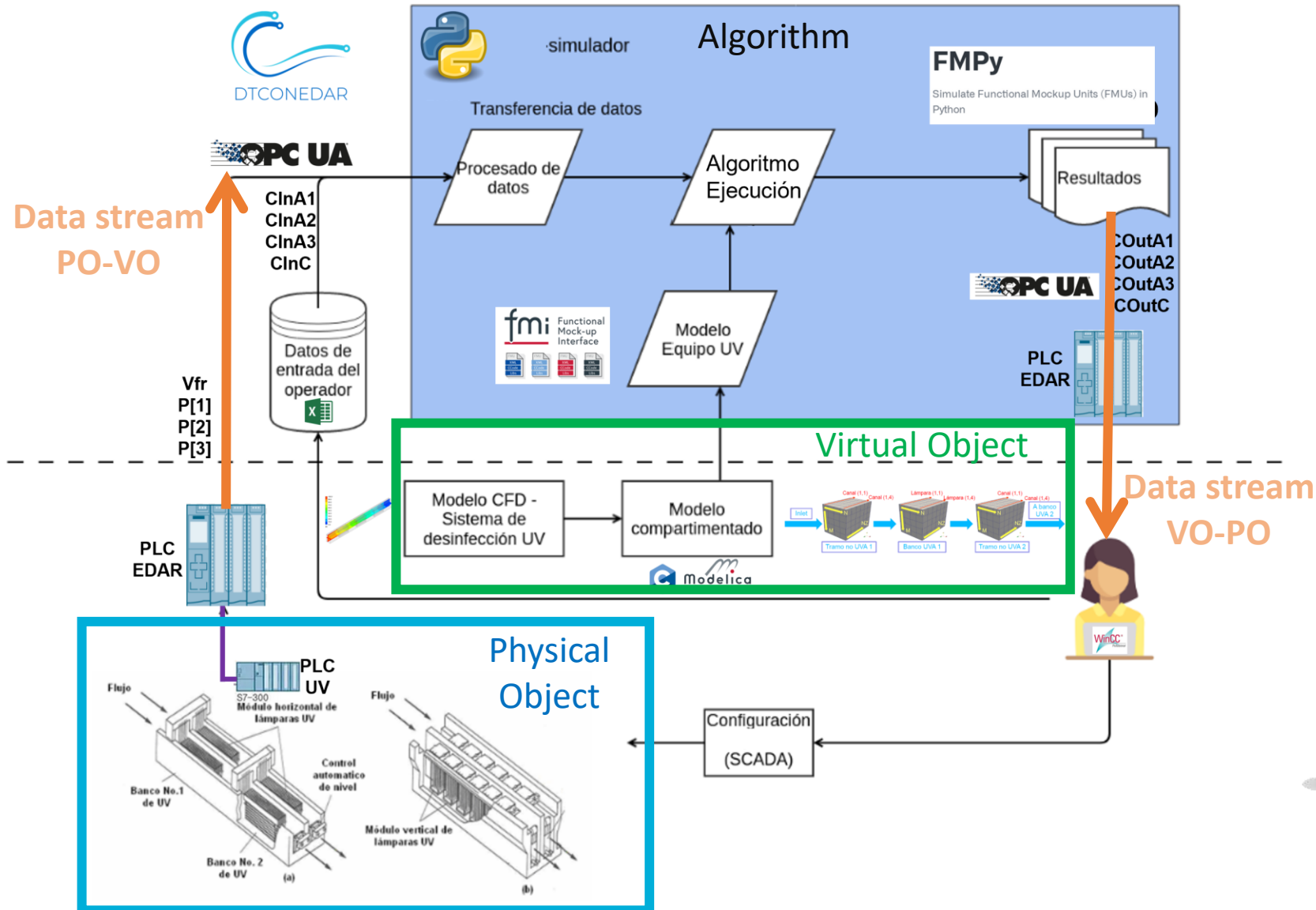
NABLA DOT::()
INGENIERÍA COMPUTACIONAL DE FLUIDOS

Modelo
compartimentado

Modelo ROM
(OpenModelica/Simulink)



DTCONEDAR Fase 1: PT5 Configuración y conexión del GD



DTCONEDAR Fase 1: Solución en el tratamiento terciario

INICIO

PROCESO

CONSIGNAS

CURVAS Y GRAFICAS

CUENTAHORAS

ALARMAS

SISTEMAS

ENTRADA AGUA BRUTA

HOMOGENEIZACION

TRATAMIENTO BIOLOGICO

DESHIDRATACION FANGOS

SALIDA AGUA TRATADA

ULTRAVIOLETA

MULTIGRAFICA



Cluster para el uso eficiente del agua



CLÚSTER ENERGÍA ARAGÓN
CLENAR



Diana Laboratorios



Facsa
ciclo integral del agua



ei electro ingenium
INGENIERIA Y GESTION DE PROYECTOS INDUSTRIALES



NABLA DOT
INGENIERÍA COMPUTACIONAL DE FLUIDOS

ATRÁS

EJECUTAR SCRIPT

GRÁFICAS

Gráficas GEMELO DIGITAL

Tabla GEMELO DIGITAL

Tabla Datos Ultravioleta

Columna de tiempo

Total Flow Rate

Power_A_Ch1

Power_B_Ch1

Power_C_Ch1

ConcInA1

ConcInA2

ConcInA3

Absortividad

1323	5/05/2023 11:54:04	1365,61059570313	50	50	750	100000	8000	1000	30
1324	5/05/2023 11:55:04	1161,93774414063	50	50	750	100000	8000	1000	30
1325	5/05/2023 11:56:04	1129,05126953125	50	50	750	100000	8000	1000	30
1326	5/05/2023 11:57:04	1284,65478515625	50	50	750	100000	8000	1000	30
1327	5/05/2023 11:58:04	1016,44573974609	50	50	750	100000	8000	1000	30
1328	5/05/2023 11:59:04	923,583129882813	50	50	750	100000	8000	1000	30
1329	5/05/2023 12:00:04	500,802886962891	50	50	750	100000	8000	1000	30
1330	5/05/2023 12:01:04	458,533081054688	50	50	750	100000	8000	1000	30
1331	5/05/2023 12:02:04	393,965209960938	50	50	750	100000	8000	1000	30
1332	5/05/2023 12:03:04	337,065551757813	50	50	750	100000	8000	1000	30
1333	5/05/2023 12:04:04	189,310272216797	50	50	750	100000	8000	1000	30
1334	5/05/2023 12:05:04	196,449264526367	50	50	750	100000	8000	1000	30
1335	5/05/2023 12:06:04	189,008453369141	50	50	750	100000	8000	1000	30
1336	5/05/2023 12:07:04	177,661712646484	50	50	750	100000	8000	1000	30
1337	5/05/2023 12:08:04	162,908279418945	50	50	750	100000	8000	1000	30
1338	5/05/2023 12:09:04	153,082550048828	50	50	750	100000	8000	1000	30
1339	5/05/2023 12:10:04	143,557907104492	50	50	750	100000	8000	1000	30
1340	5/05/2023 12:11:04	133,212615966797	50	50	750	100000	8000	1000	30
1341	5/05/2023 12:12:04	130,332244873047	50	50	750	100000	8000	1000	30
1342	5/05/2023 12:13:04	132,298980712891	50	50	750	100000	8000	1000	30
1343	5/05/2023 12:14:04	137,465621948242	50	50	750	100000	8000	1000	30
1344	5/05/2023 12:15:04	145,270202636719	50	50	750	100000	8000	1000	30
1345	5/05/2023 12:16:04	540,677429199219	50	50	750	100000	8000	1000	30
1346	5/05/2023 12:17:04	718,875366210938	50	50	750	100000	8000	1000	30
1347	5/05/2023 12:18:04	332,775451660156	50	50	750	100000	8000	1000	30
1348	5/05/2023 12:19:04	391,904479980469	50	50	750	100000	8000	1000	30
1349	5/05/2023 12:20:04	378,688781738281	50	50	750	100000	8000	1000	30
1350	5/05/2023 12:21:04	288,551086425781	50	50	750	100000	8000	1000	30
1351	5/05/2023 12:22:04	477,234252929688	50	50	750	100000	8000	1000	30

Listo

Fila 1351

12:22:32



Agencia Española de Innovación y Tecnología

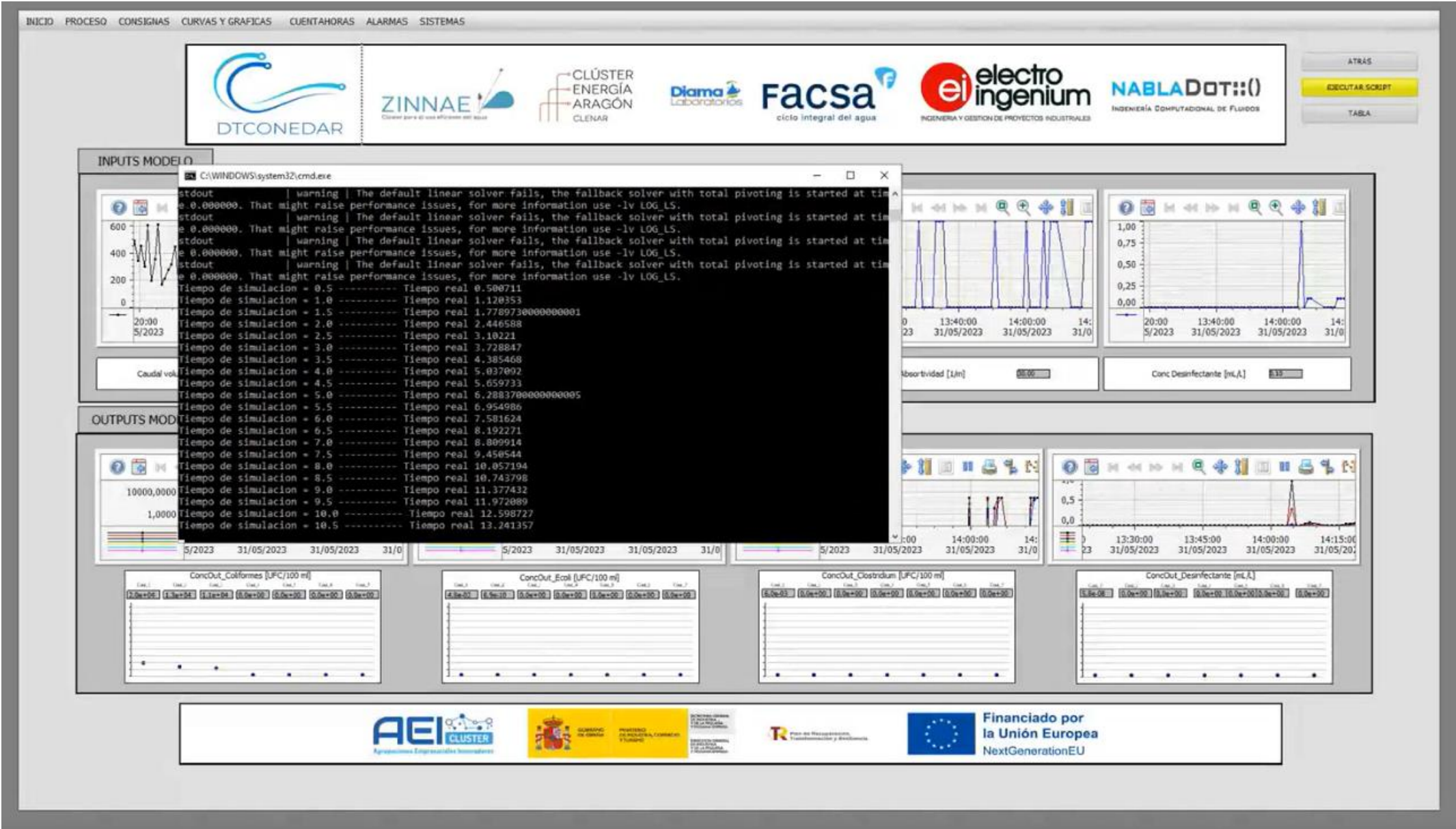


GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO

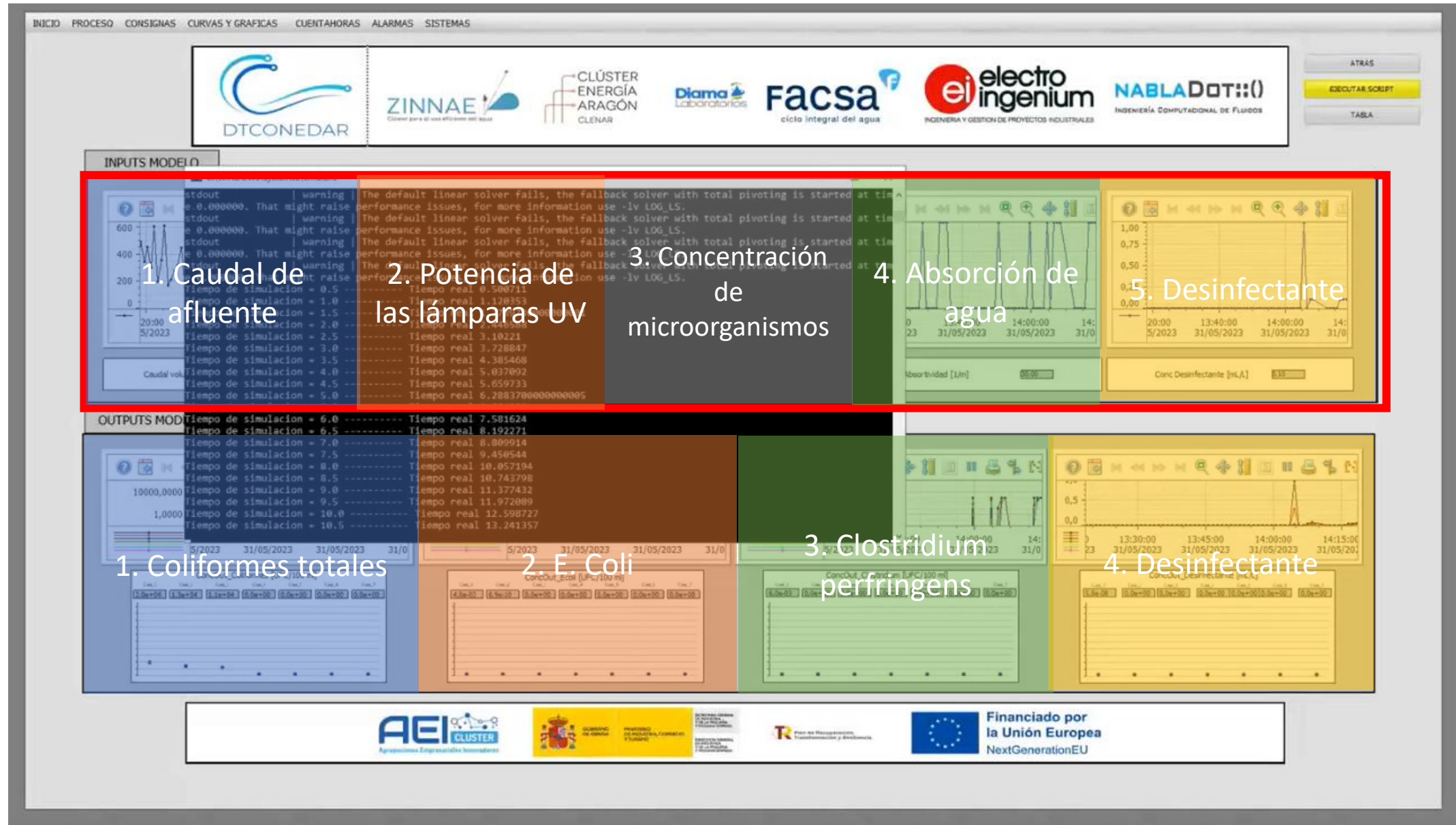


Financiado por la Unión Europea
NextGenerationEU

DTCONEDAR Fase 1: Solución en el tratamiento terciario



DTCONEDAR Fase 1: Solución en el tratamiento terciario



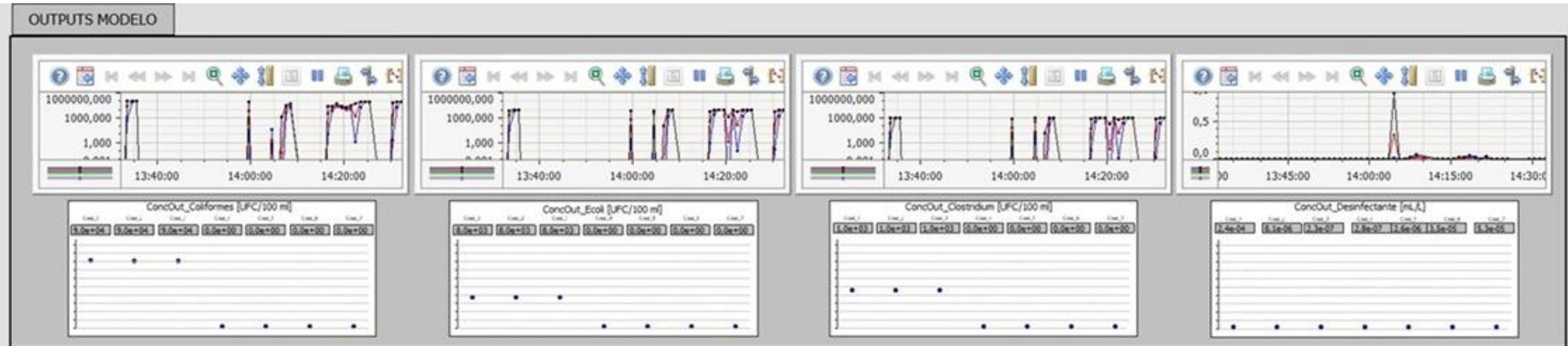
DTCONEDAR Fase 1: Solución en el tratamiento terciario – Datos de salida

Evolución de la concentración de desinfectante y microorganismos a lo largo del canal:

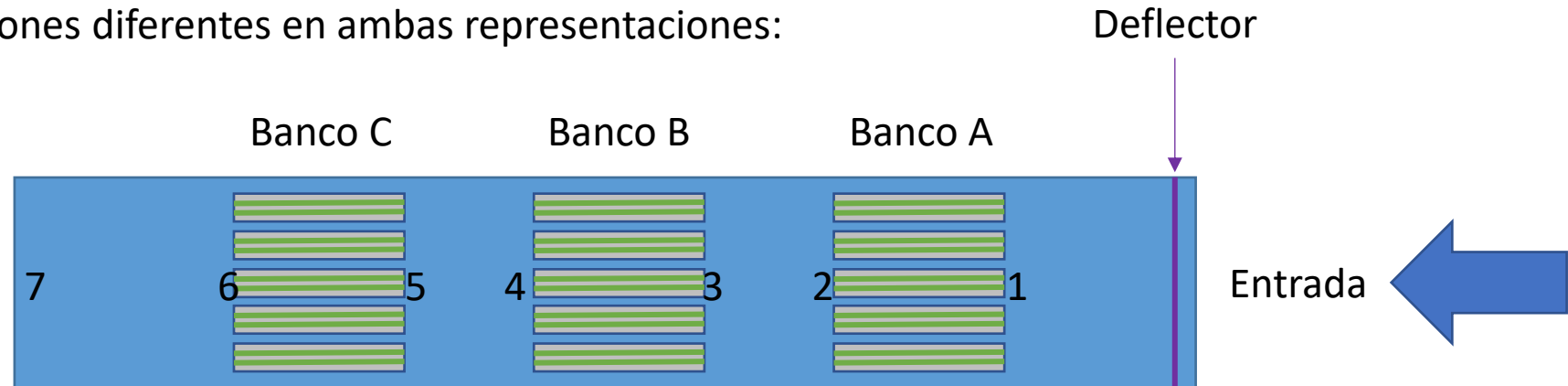
1. Evolución en el tiempo
2. Evolución longitudinal en el último tiempo de la simulación

1. Evolución en el tiempo

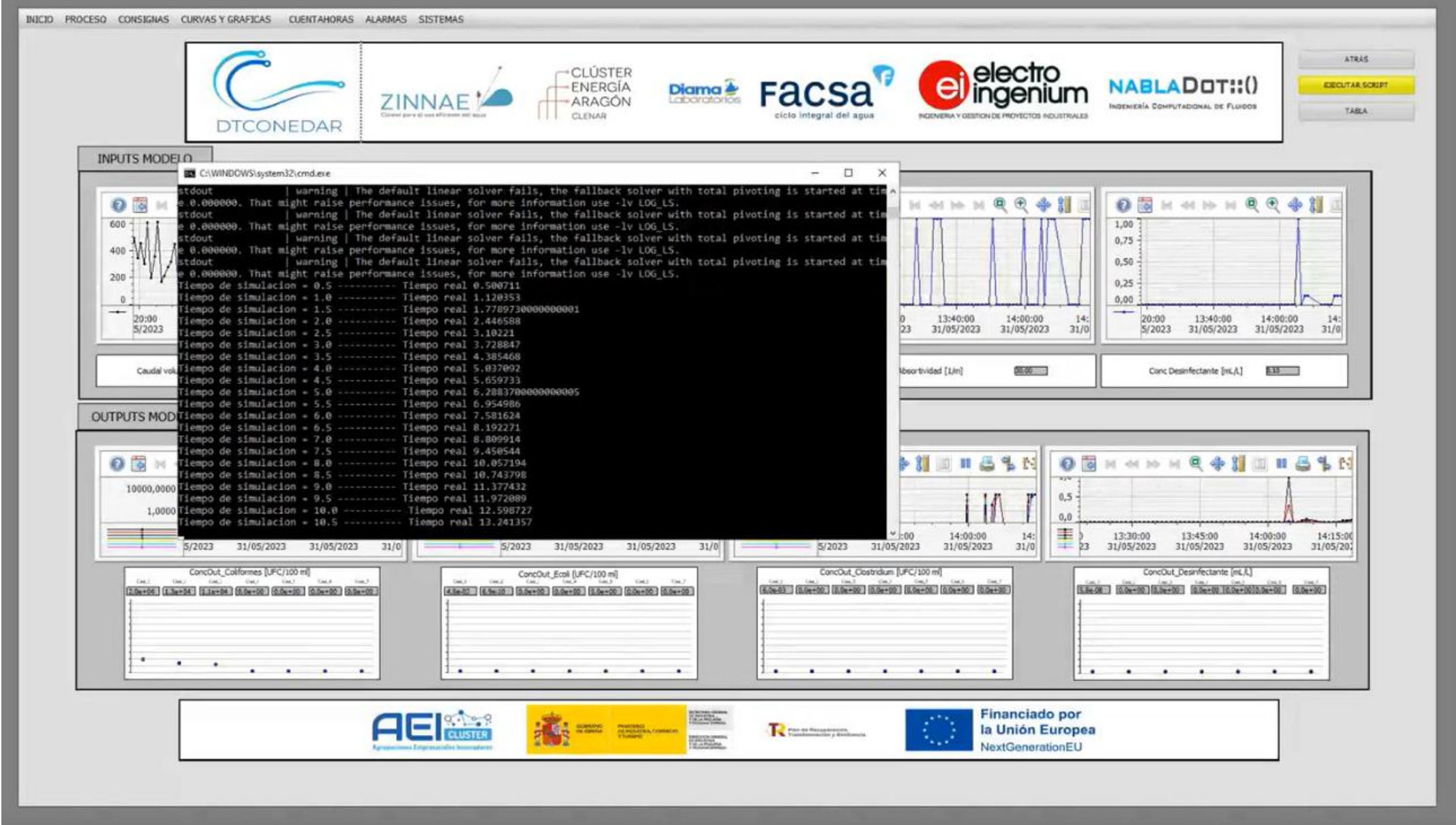
2. Evolución longitudinal



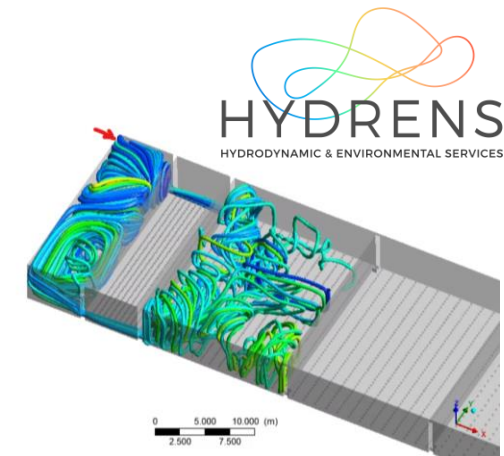
Hay 7 ubicaciones diferentes en ambas representaciones:



DTCONEDAR Fase 1: Solución en tiempo real

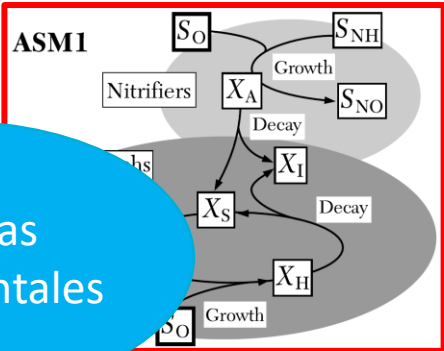
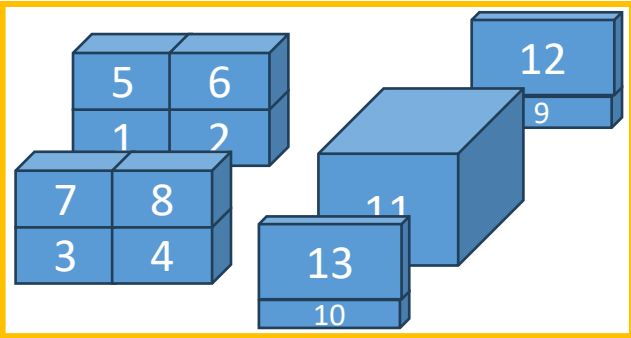
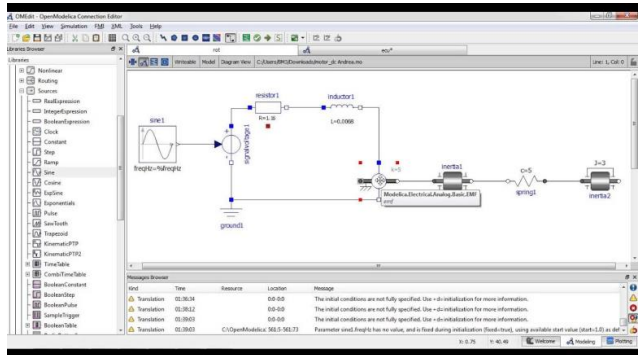


DTCONEDAR Fase 2: Metodología



CFD
(hidrodinámica
bajo distintos
escenarios)

Integrarlo en el
gemelo digital
(FMU
OpenModelica)



Medidas
experimentales

+

Modelo
compartimentado

=



DTCONEDAR Fase 3: Metodología

configuracion_dtconedar_f2_restapi.ods - OpenOffice Calc

Archivo Editar Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana Ayuda

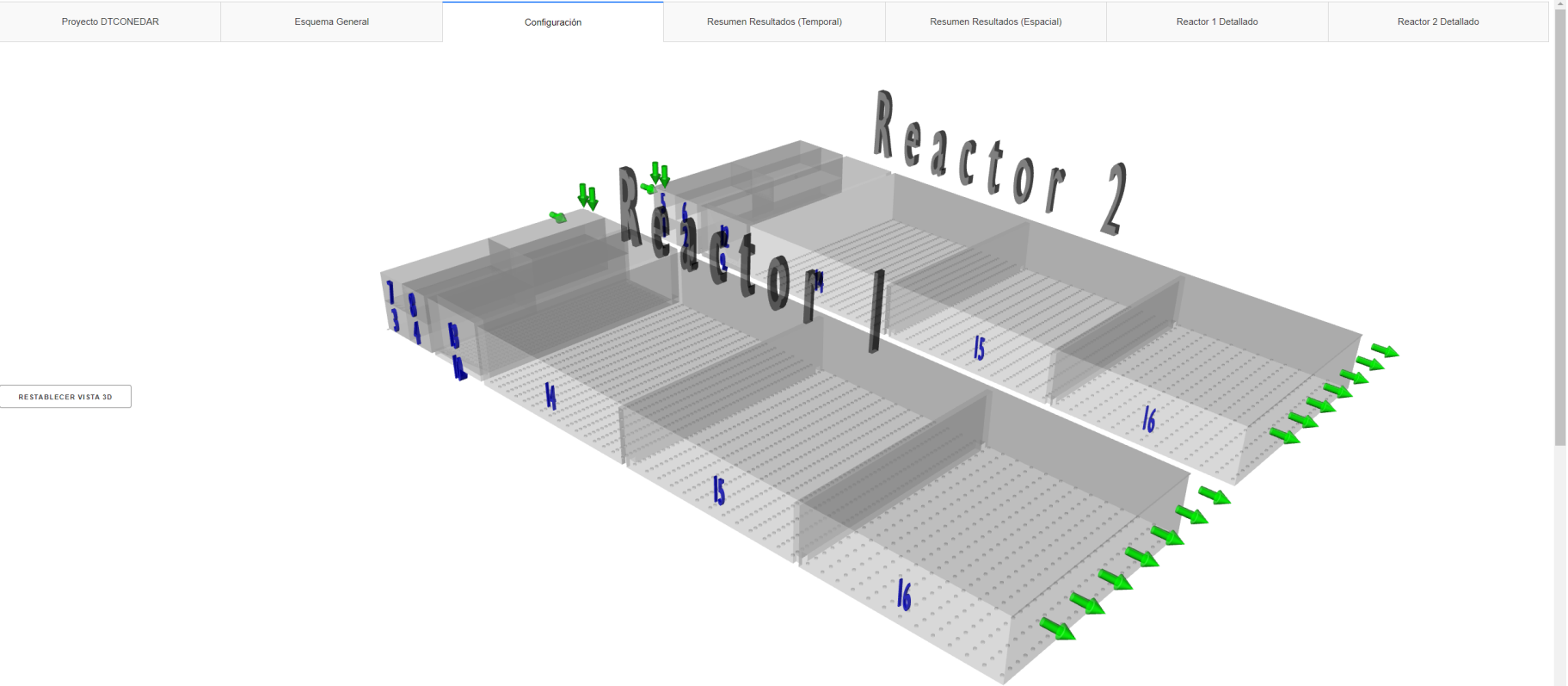
Aptos Narrow 11 N C S

J1048576

	A	B	C	D	
1	name	causality	reference	start_value	description
691	DT	parameter	720	10	[s] // Time step size
692	K_NH	parameter	721	1	[g NH3-N m ⁻³] //
693	K_NHH	parameter	722	0.05	[g N2 m ⁻³] // Half
694	K_NO	parameter	723	0.5	[g NO3-N m ⁻³] //
695	K_OA	parameter	724	0.4	[g O2 m ⁻³] // Half
696	K_OH	parameter	725	0.2	[g O2 m ⁻³] // Half
697	K_S	parameter	726	20	[g COD m ⁻³] // H
698	K_X	parameter	727	0.03	[g slowly biodegrada
699	Vbottom	parameter	728	387.8673	[m3] // Volume of sett
700	Vtop	parameter	729	387.8673	[m3] // Volume of sett
701	b_A	parameter	730	0.15	[day ⁻¹] // Kinetic c
702	b_H	parameter	731	0.62	[day ⁻¹] // Kinetic c
703	eta_q	parameter	732	0.32	[] // Reduction factor
704	eta_h	parameter	733	0.4	[] // Correction factor
705	eta_settle	parameter	734	0.998	[] // Efficiency factor
706	k_a	parameter	735	0.08	[m ⁻³ COD (g * day)
707	k_h	parameter	736	3	[g slowly biodegrada
708	mu_A	parameter	737	0.8	[day ⁻¹] // Maximu
709	mu_H	parameter	738	6	[day ⁻¹] // Maximu

inputs / config / plot_variables / tabla_dash /

Hoja 1 / 4



DTCONEDAR Conclusiones

- **GD de DTCONEDAR:** por unidades de proceso conectados en planta, actualizados con datos reales y de respuesta rápida, para proporcionar información en tiempo real y controlar la planta.
- **Sus ventajas:**
 - **Información Proporcionada:** ofrecen datos sobre **hidrodinámica, radiación y calidad del agua**, ayudando a los operadores a tomar decisiones para cumplir con la normativa.
 - **Softsensors:** consideran diferentes tipos de patógenos y especies de calidad del agua (por ej. Sensores E.Coli no disponibles en la planta).
- La **metodología** aplicada es correcta y puede extenderse a otras instalaciones y unidades de proceso.
- **Aprendizajes sobre GD:**
 - Necesidades de GD:
 - Gran cantidad de variables de estado de las que no tenemos histórico de datos
 - Actualización SCADA
 - Actualización periféricos (Windows 98 y XP)
 - Aumentar capacidad almacenamiento de datos (los datos se generan pero no se guardan)
 - Desarrollo de sondas y su instalación en EDAR
 - Avance en el conocimiento sobre GD y desarrollo de otras soluciones (por ej. acelerar el cálculo de la hidrodinámica).

Gracias