



BUSINESS AS UNUSUAL

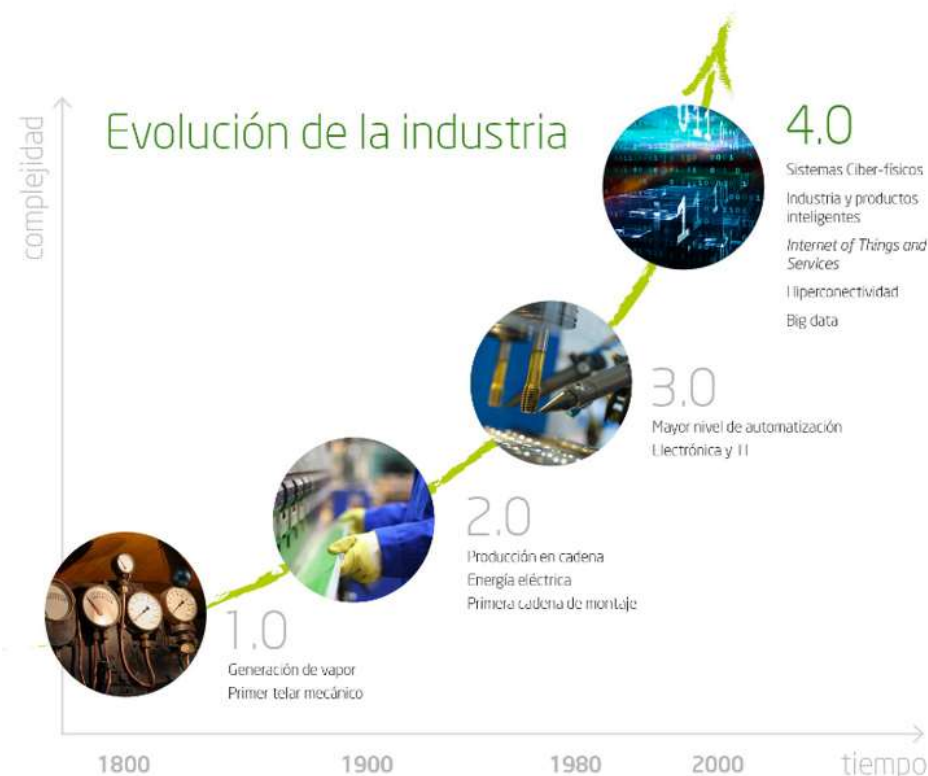
# Hacia el Agua 4.0

## ¿Qué es el AGUA 4.0?

WATER 4.0, según **German Water Industry**, es colocar la digitalización y la automatización en el centro de una estrategia para la gestión eficiente del agua, flexible y competitiva del agua.

WATER 4.0 incorpora las mismas características y términos principales de la revolución industrial Industrie 4.0, como "redes de maquinaria, procesos, sistemas de almacenamiento y recursos", "redes inteligentes de usuarios del agua (agricultura, industria y hogares)", "Internet de las cosas y los servicios". Esto permite la creación de una infraestructura de agua sostenible con el medio ambiente y el circuito del agua y sigue un enfoque holístico a lo largo de la cadena de valor.

WATER 4.0 no es una tecnología concreta. No existe una definición estricta en términos de ciencias naturales. **WATER 4.0 es la interacción de tecnologías de red innovadoras, actuales y futuras con el agua como recurso natural, producto o recurso industrial con el objetivo de una gestión sostenible, uso y reducción de riesgos, al mismo tiempo que se toman los intereses de todos los usuarios directos e indirectos. y las partes interesadas en consideración.**



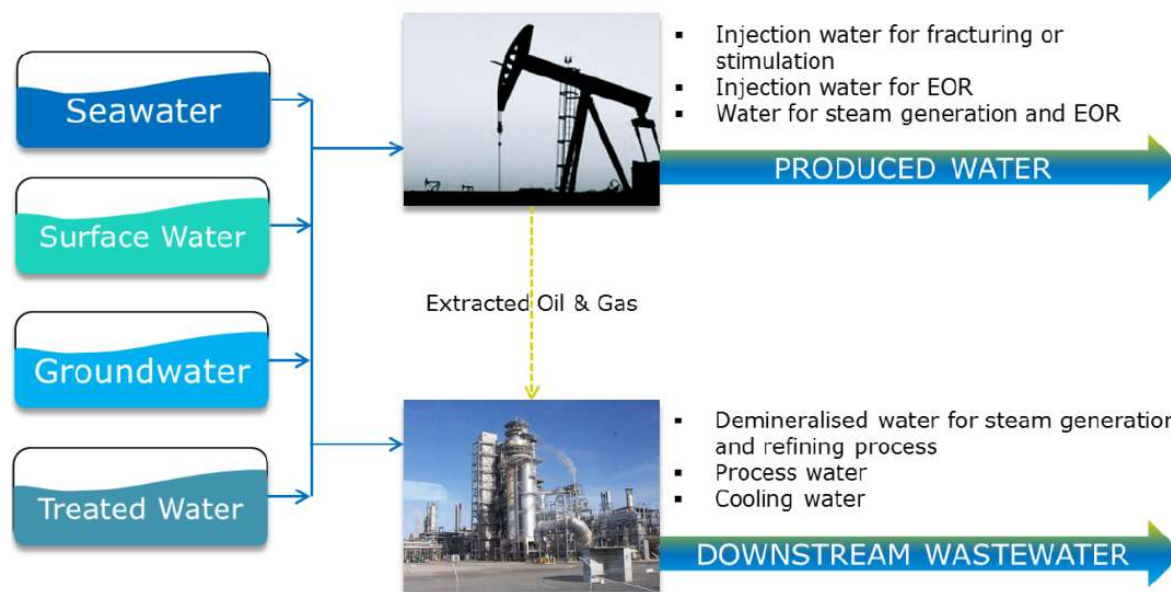
Fuente: Elaboración propia en base a Zukunftsprojekt Industrie 4.0



Sistema de Soporte de Decisiones para la optimización de la configuración y funcionamiento de una planta de tratamiento de agua residual multi-proceso de una refinería de petróleo y gas

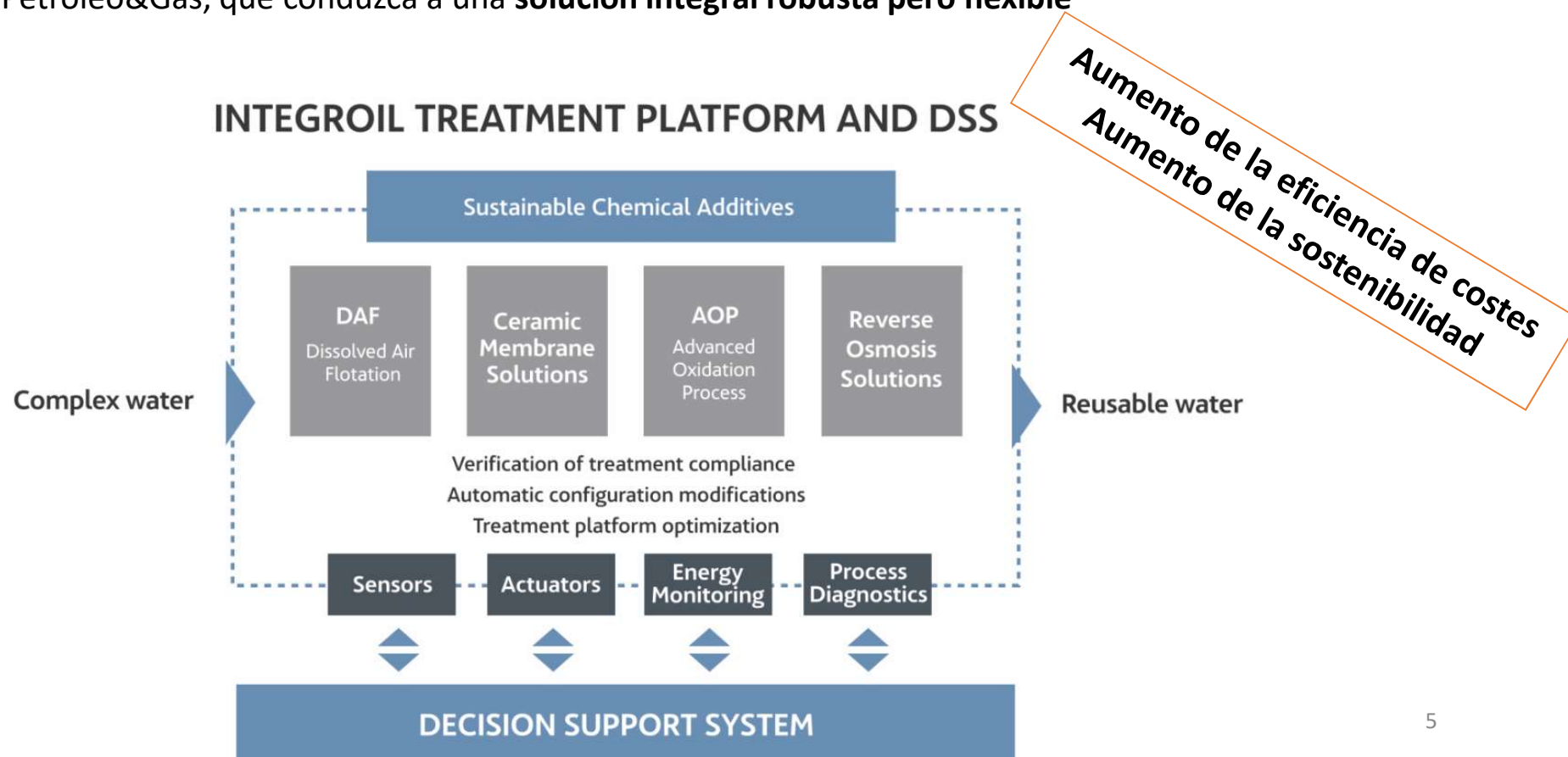
## Retos relacionados con el agua residual de Petróleo&Gas:

- ❖ **Grandes cantidades de agua** son utilizadas para extracción de petróleo y refinería ➡ se producen grandes cantidades de agua residual
- ❖ **Variabilidad** de composición extremadamente alta ➡ difícil definir un proceso de tratamiento  nico
- ❖ Composición **compleja** del agua ➡ difícil de tratar mediante opciones de tratamiento estándar



## OBJETIVO PRINCIPAL DEL PROYECTO INTEGROIL

Implementar un sistema de soporte de decisiones inteligentes para optimizar el uso de cinco diferentes tecnologías de tratamiento aplicadas al agua residual de Petróleo&Gas, que conduzca a una **solución integral robusta pero flexible**



## MATERIAL & MÉTODOS – planta piloto



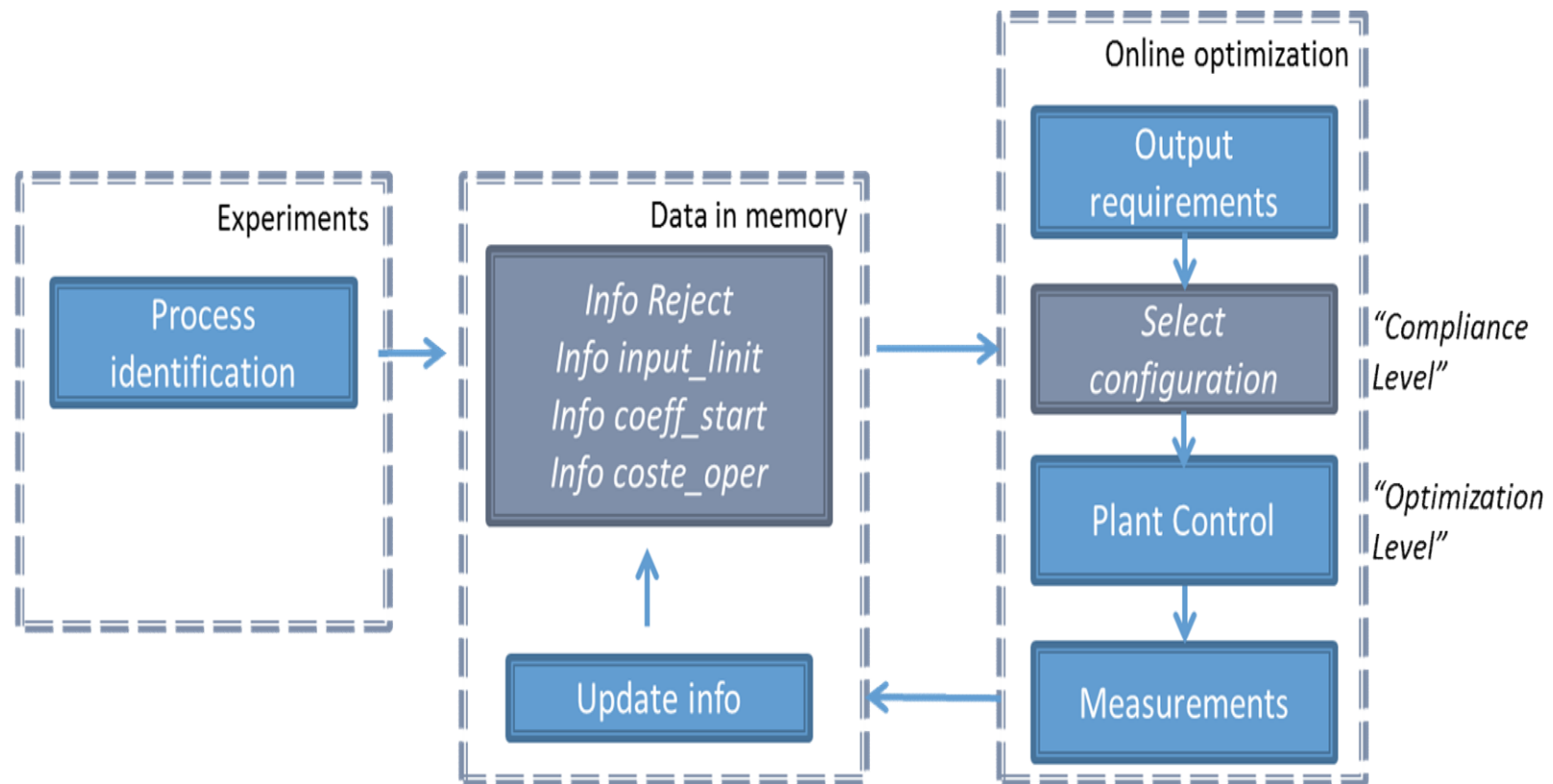
### Diseño y construcción de planta piloto:

- 5 diferentes tecnologías:  
DAF, UF, AOP, CWAQ, RO
- Diseño compacto y modular
- Control local & centralizado PLC
- Control de plataforma en la nube



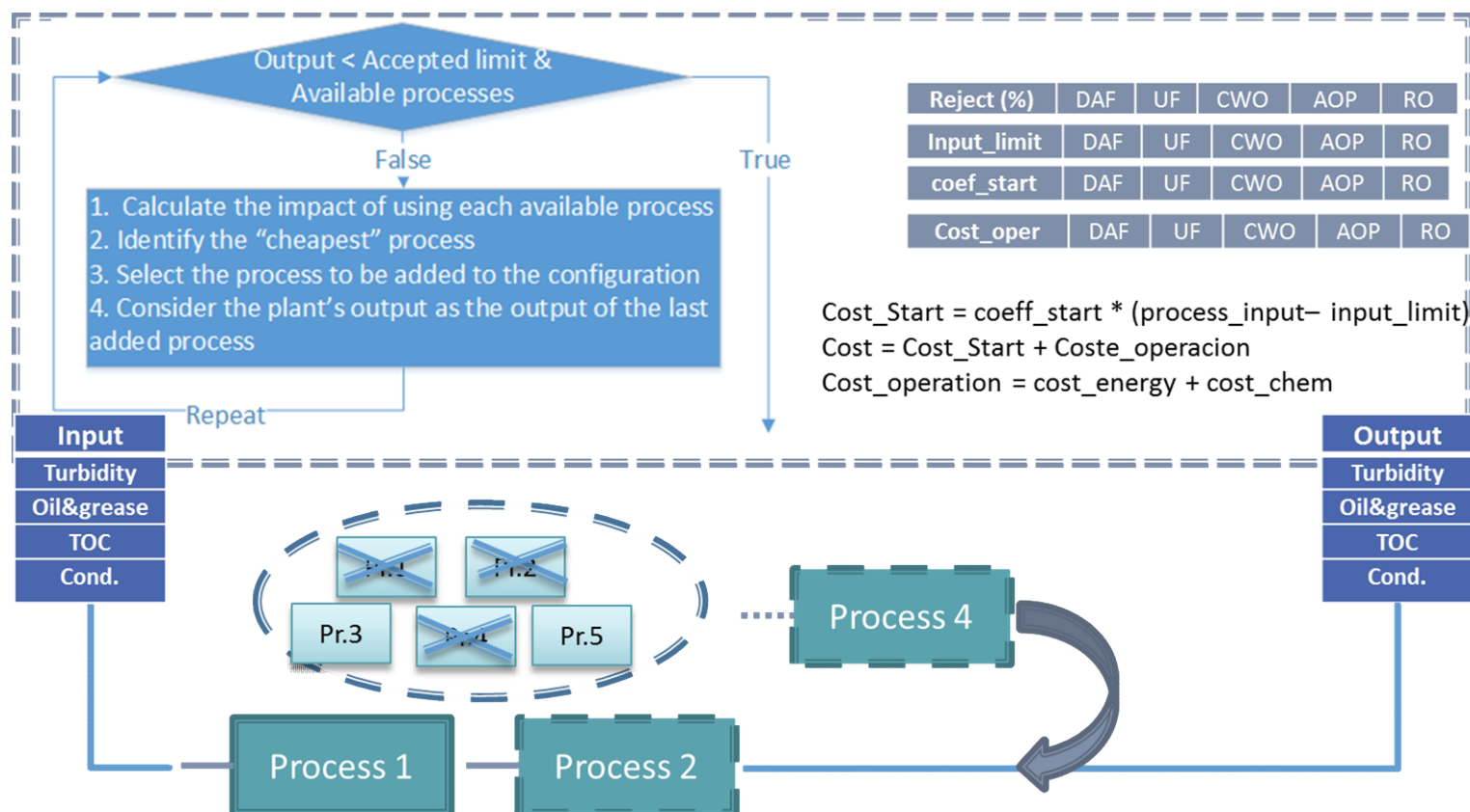
# SISTEMA DE SOPORTE DE DECISIONES (DSS)

## Algoritmo de reconfiguración – descripción



# SISTEMA DE SOPORTE DE DECISIONES (DSS)

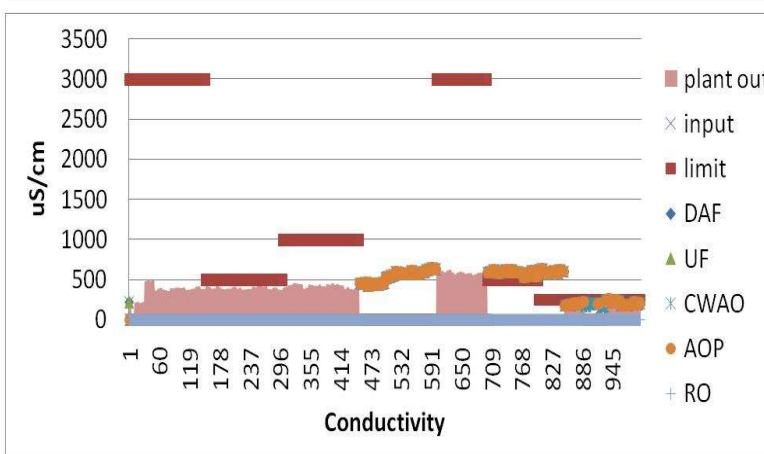
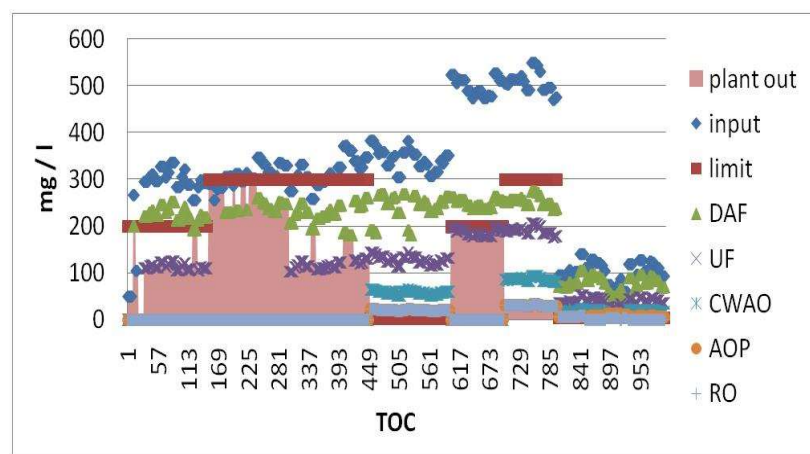
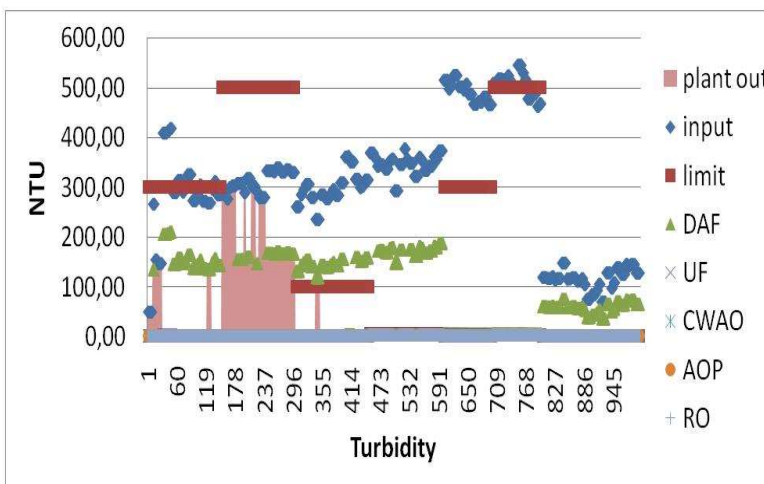
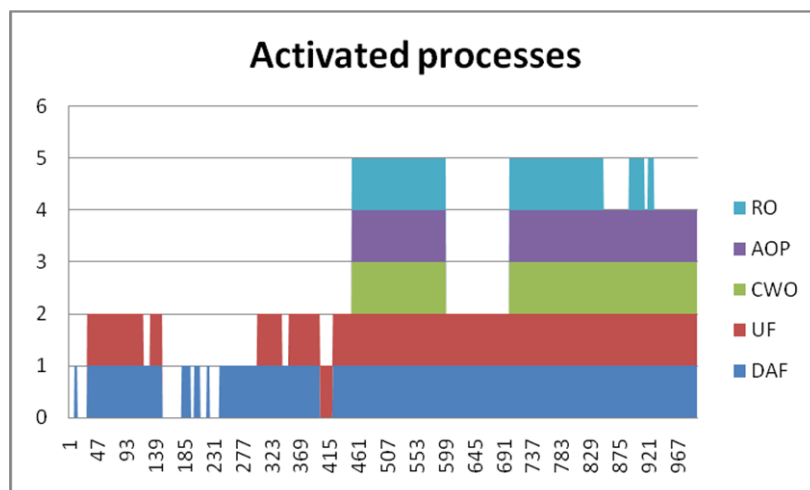
## Algoritmo de reconfiguración – descripción





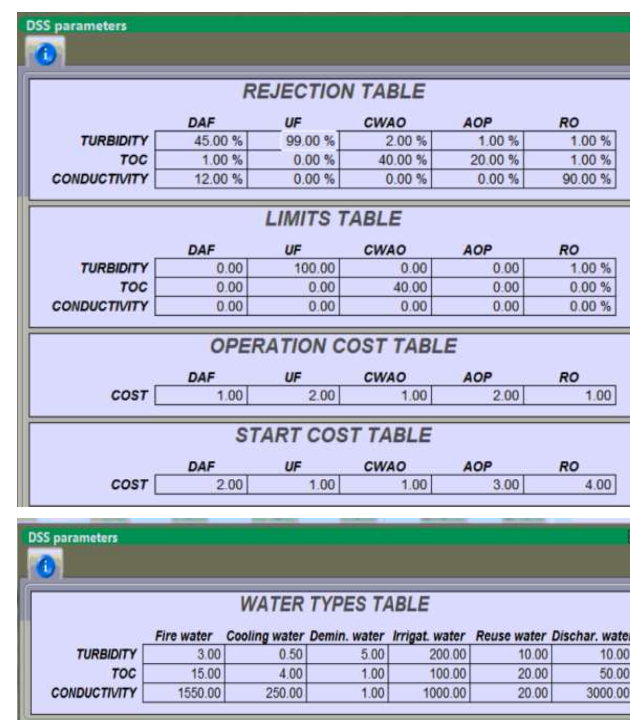
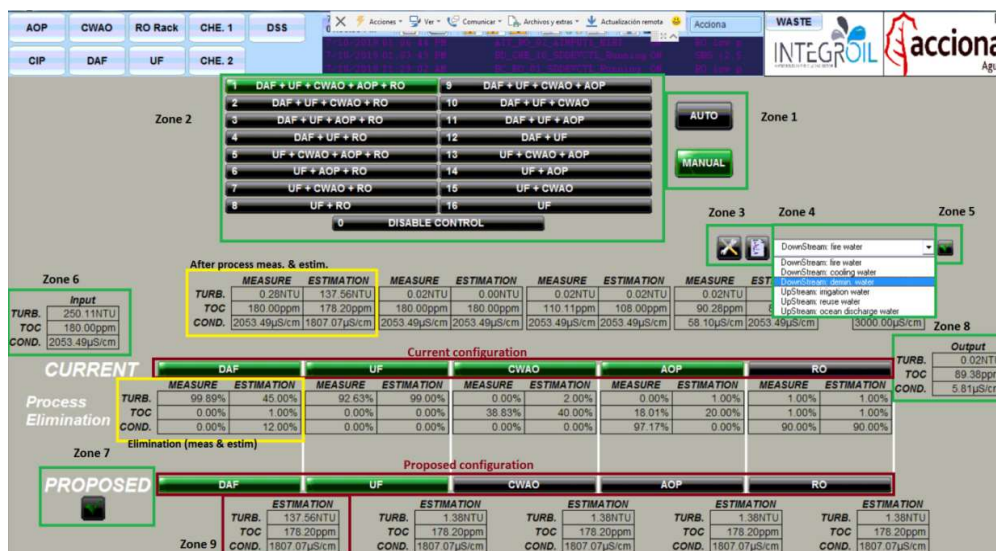
# SISTEMA DE SOPORTE DE DECISIONES (DSS)

## Algoritmo de reconfiguración – resultados de simulación



# SISTEMA DE SOPORTE DE DECISIONES (DSS)

## Algoritmo de reconfiguración - PLC & SCADA



El algoritmo de reconfiguración se basa en:

- la pantalla de configuración de parámetros del proceso
- la pantalla de características de la aplicación del agua

El DSS ha sido calibrado para estos parámetros en base a experimentos de laboratorio anteriores y al período de demostración de funcionamiento (upstream, extracción de crudo, y downstream, refinado de crudo)

# Machine learning

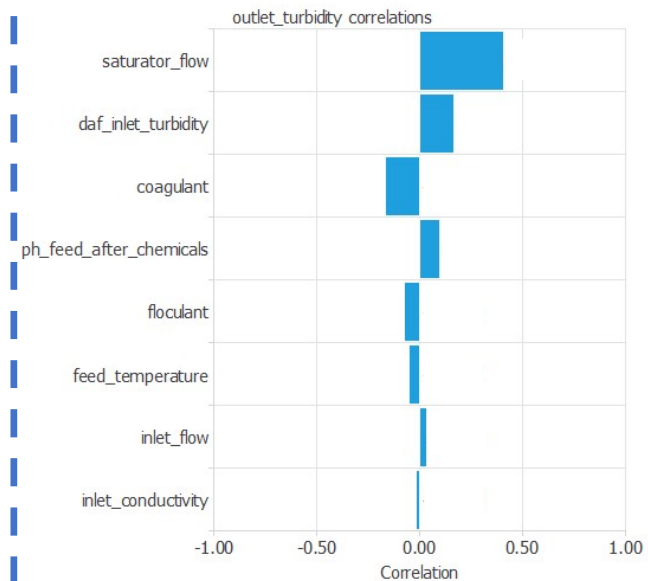
## Predictive model for DAF process

### Operational data treatment

|                         | Minimum | Maximum | Mean  | Deviation |
|-------------------------|---------|---------|-------|-----------|
| inlet_flow              | 1.44    | 2.76    | 2.33  | 0.53      |
| saturator_flow          | 0.04    | 0.45    | 0.16  | 0.11      |
| ph_feed_after_chemicals | 6.00    | 8.95    | 7.51  | 0.58      |
| feed_temperature        | 16.76   | 36.65   | 27.12 | 3.37      |
| daf_inlet_turbidity     | 5.01    | 249.80  | 89.28 | 35.19     |
| inlet_conductivity      | 0.52    | 5.00    | 1.88  | 0.63      |
| coagulant               | 0.00    | 215.24  | 83.15 | 35.99     |
| floculant               | 0.00    | 9.00    | 1.31  | 1.71      |
| outlet_turbidity        | 0.00    | 74.65   | 14.16 | 14.27     |



### Effect of each operational parameter on target parameter (outlet turbidity)



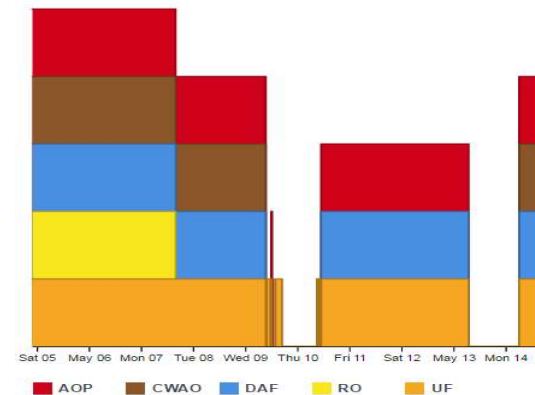
### Predictive equations and model accuracy assessment

# SISTEMA DE SOPORTE DE DECISIONES (DSS)

## Algoritmo de reconfiguración – resultados de funcionamiento

Supervisión del funcionamiento de la planta DSS:

- **Descripción y estado** de la planta piloto
- **Señales en línea** del funcionamiento de la planta piloto
- Aplicaciones adicionales para datos históricos y en tiempo real:
  - **Visualizaciones avanzadas**
  - **Modelos** de estimación (regresión) de aprendizaje automático



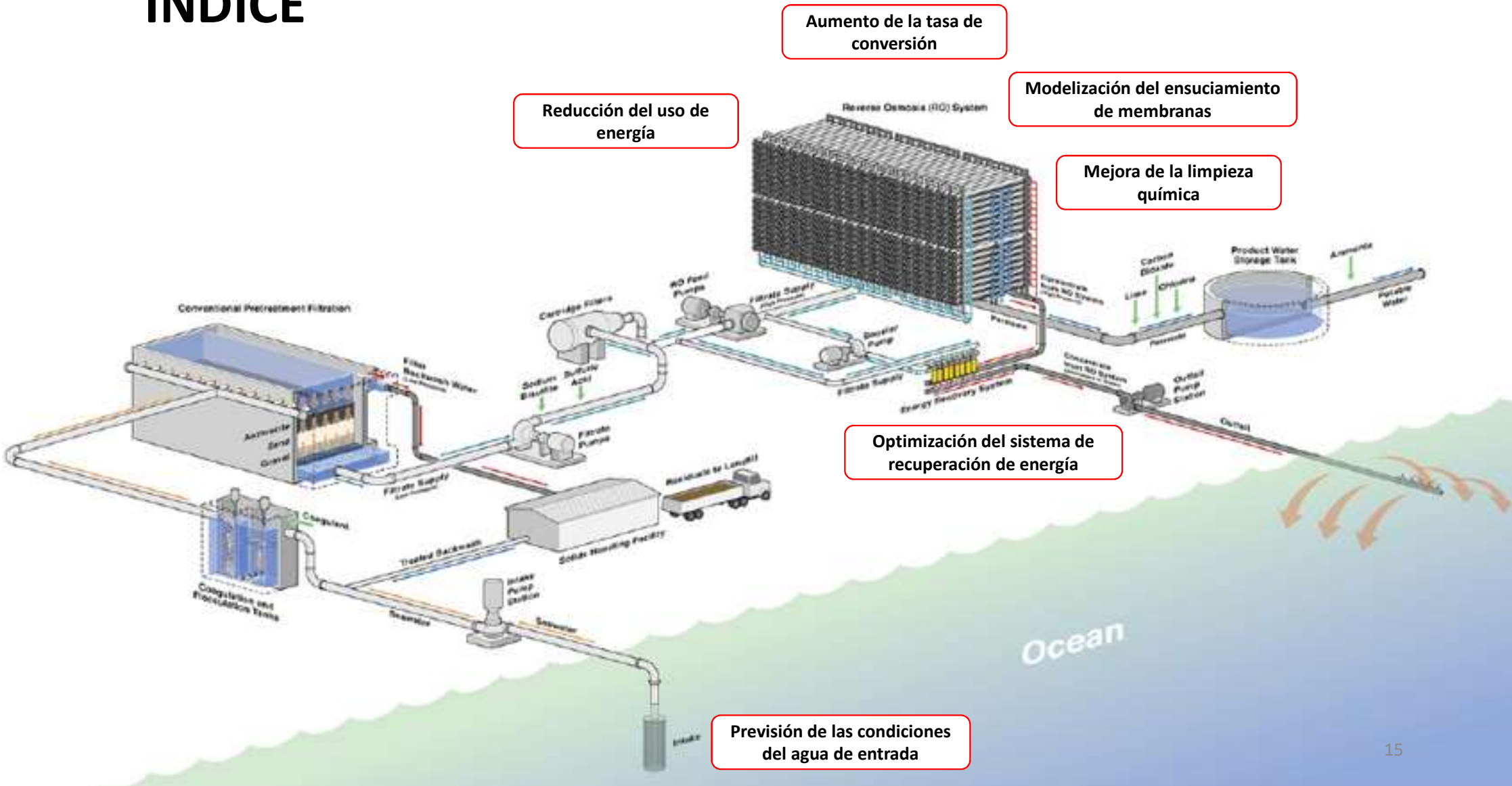
## CONCLUSIONES

- La parte del algoritmo de reconfiguración del DSS presenta **flexibilidad de ampliación**: se pueden añadir nuevos procesos al algoritmo general con la adición de nuevas columnas a las mesas de parámetros existentes
- La solución del algoritmo de reconfiguración **debe adaptarse** a las limitaciones físicas de la planta
- El código PLC **debe incluir las secuencias capaces de operar las transiciones** de los elementos físicos implicados: válvulas, estado de arranque/parada/disponibilidad de los procesos
- El sistema de soporte de decisiones inteligentes puede adaptarse a **otras aguas residuales industriales complejas**

# Modelos de inteligencia artificial en las desaladoras



# ÍNDICE



Aumento de la tasa de conversión

Reducción del uso de energía

Modelización del ensuciamiento de membranas

Mejora de la limpieza química

Optimización del sistema de recuperación de energía

Previsión de las condiciones del agua de entrada

# AUMENTO DE LA TASA DE CONVERSIÓN

El objetivo es aumentar la tasa de conversión en los bastidores de ósmosis mediante el ajuste de los parámetros de proceso y dependiendo de las condiciones del agua



Detectar posibles  
anomalías



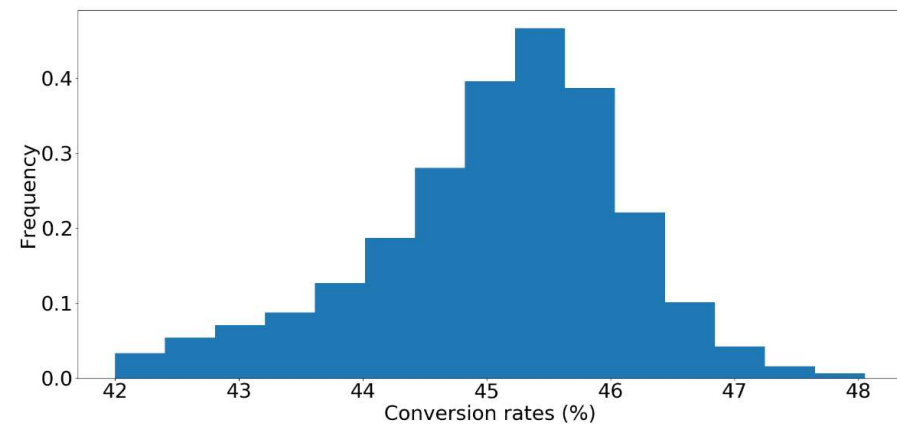
Aumentar la eficiencia  
del proceso

FOUKA SWRO

# Analítica descriptiva

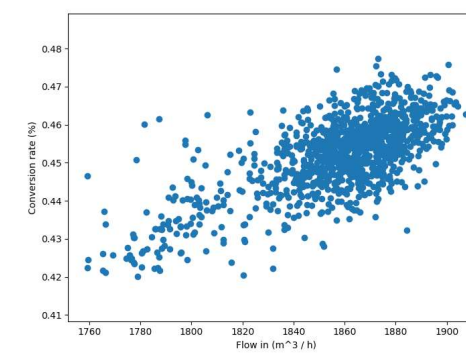
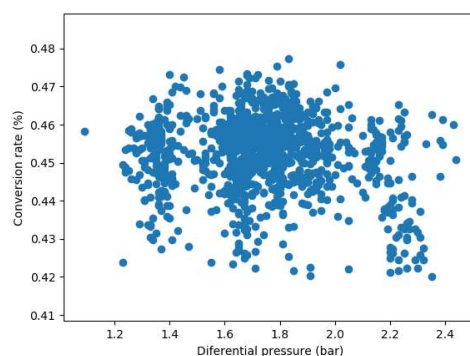
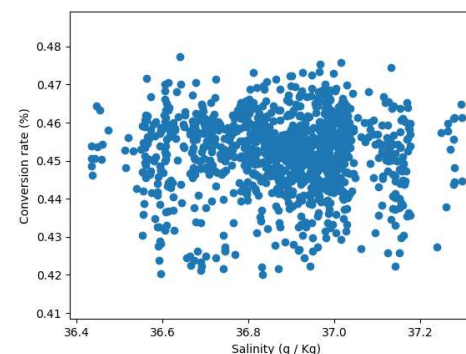
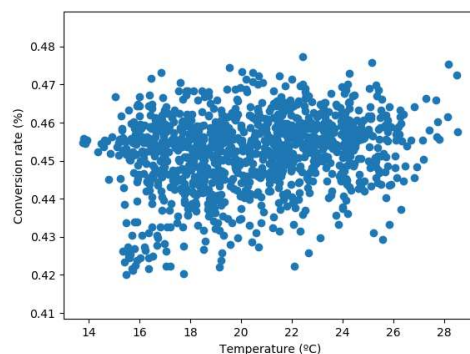
Se construye un modelo de tasa de conversión en el bastidor de ósmosis en función de las condiciones del agua y parámetros de proceso

**45,1%**  
Tasa de conversión  
media



La tasa de conversión fluctúa entre 44.5 % y 45.7 %

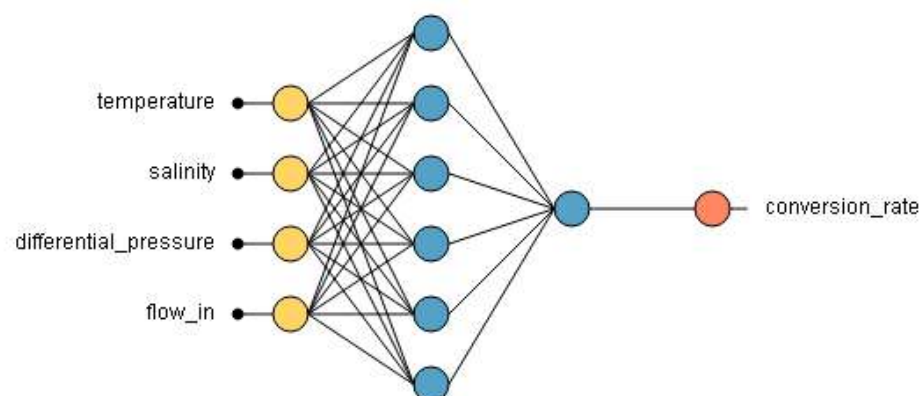
# Factores más influyentes



La tasa de conversión aumenta con el caudal entrante y disminuye con la presión diferencial

# Modelo de tasa de conversión

Se construye un modelo de tasa de conversión en el bastidor de ósmosis en función de las condiciones del agua y parámetros de proceso

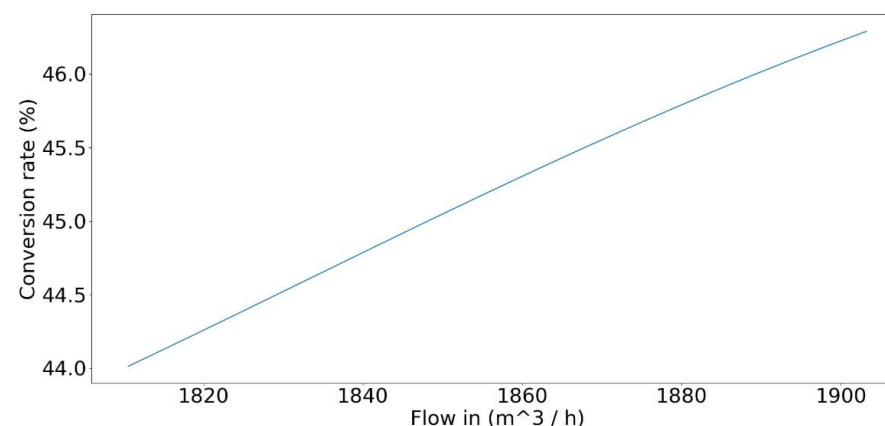


La temperatura y la salinidad son variables de límite, la presión diferencial es una variable de estado y el caudal entrante es una variable de control

# Prescripciones del proceso

Para una temperatura y salinidad del agua dadas, y una presión diferencial en el bastidor dada, el caudal entrante puede cambiarse para buscar la máxima tasa de conversión

| Variable             | Valor     |
|----------------------|-----------|
| Temperatura:         | 20.30 C   |
| Salinidad:           | 36.88 PSU |
| Presión diferencial: | 1.73 bar  |



En general, cuanto mayor sea el caudal, mayor es la conversión

## OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA

El objetivo es ajustar el sistema de recuperación de energía para aumentar su eficiencia



Aumentar la  
eficiencia del  
sistema

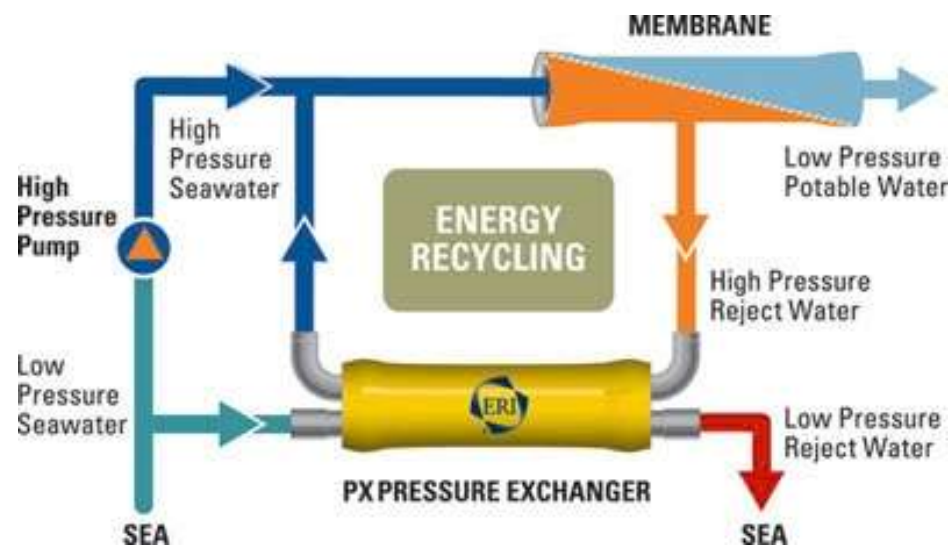


Reducir los  
costes de  
producción

FOUKA SWRO



# Definiciones

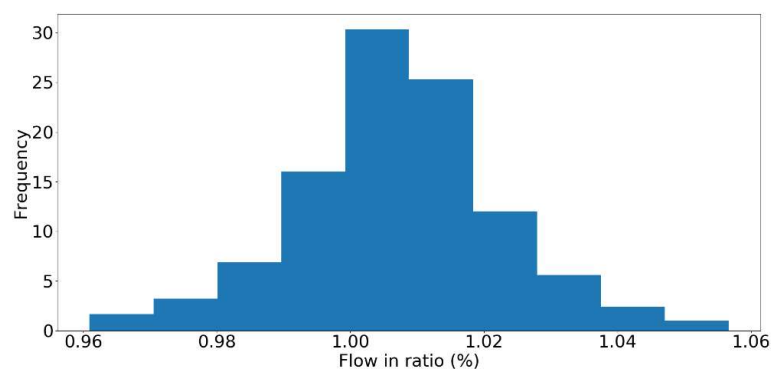


$$\text{ratio caudal} = \frac{\text{agua de rechazo alta presión}}{\text{agua de mar baja presión}}$$

$$\text{eficiencia} = 100 \frac{\text{energía agua de mar alta presión}}{\text{agua de mar baja presión} + \text{energía agua de rechazo baja presión}}$$

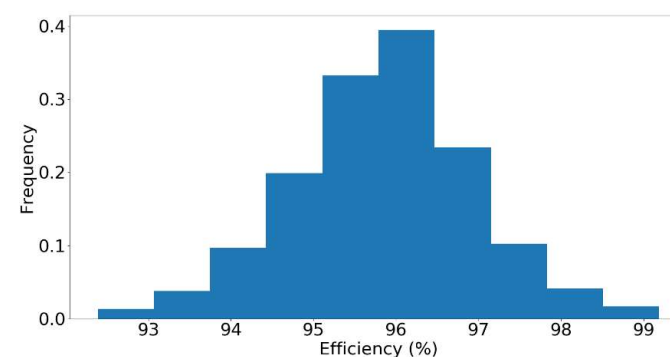
# Analítica descriptiva

Se estudian los rangos operativos del sistema de recuperación de energía



**1.008**

Ratio medio de caudal

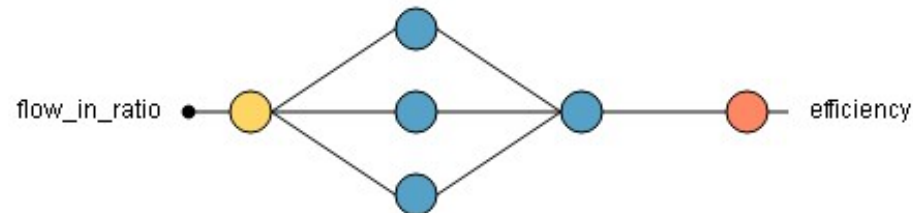


**95.84 %**

Eficiencia media

# Modelo de eficiencia

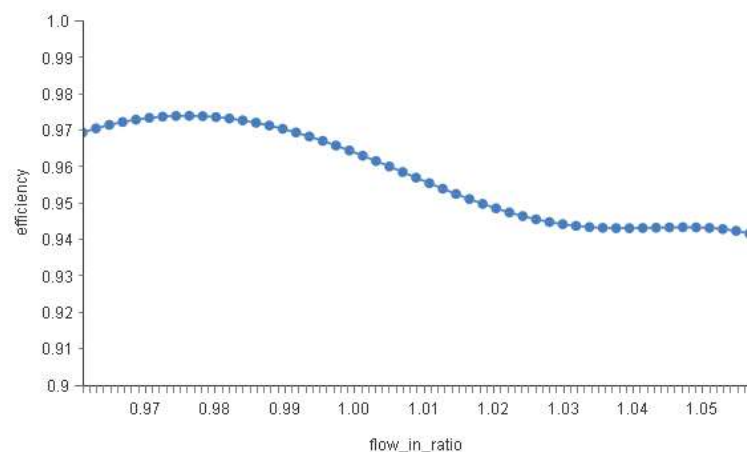
Se capacita una red neuronal simple, con 1 entrada (el caudal en ratio) y 1 salida (la eficiencia), con los datos del sistema de recuperación de energía



Este modelo es capaz de reconocer el patrón de datos subyacente

# Prescripciones del proceso

Se evalúa el modelo con diferentes ratios de caudal para buscar la máxima eficiencia



| Variable              | Valor |
|-----------------------|-------|
| Ratio caudal inicial: | 1.000 |
| Eficiencia inicial:   | 96.5% |
| Ratio caudal final:   | 0.975 |
| Eficiencia final:     | 97.5% |

La eficiencia del sistema de recuperación de energía aumenta en un 1% con el nuevo valor nominal

# REDUCCIÓN DEL USO DE ENERGÍA

El objetivo es reducir el consumo energético mediante la adaptación de los parámetros de proceso a las actuales condiciones de agua y bastidor



Reducir los costes de  
producción

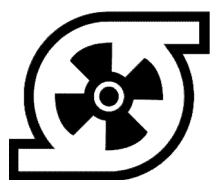


Reducir el impacto  
ambiental

FOUKA SWRO

# Analítica descriptiva

El consumo energético específico considera la alta presión y las bombas booster  
Las bombas de agua permeada y agua de mar no son consideradas aquí



Bomba de alta presión  
94.15 %

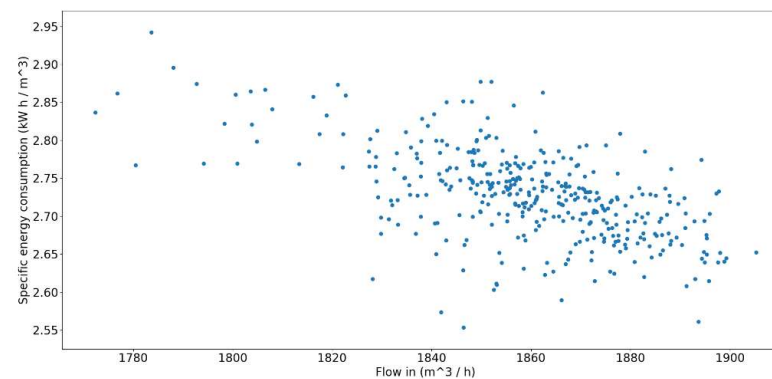
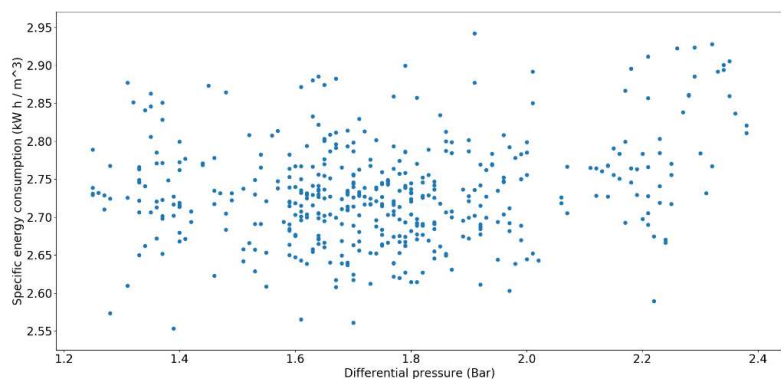
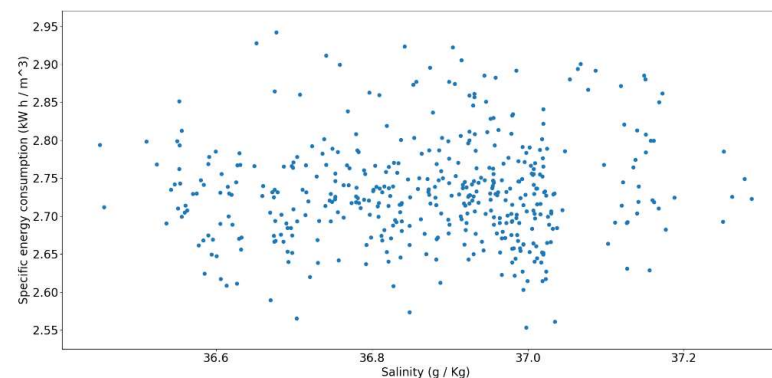
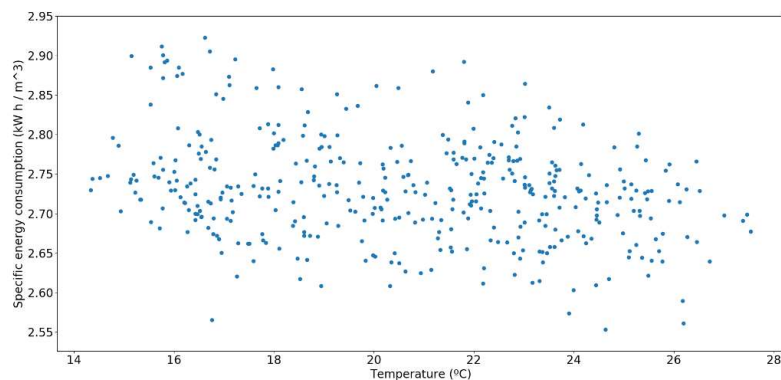


Bomba booster  
5.85 %

2.75 kWh/m<sup>3</sup>

Consumo energético específico medio

# Factores más influyentes

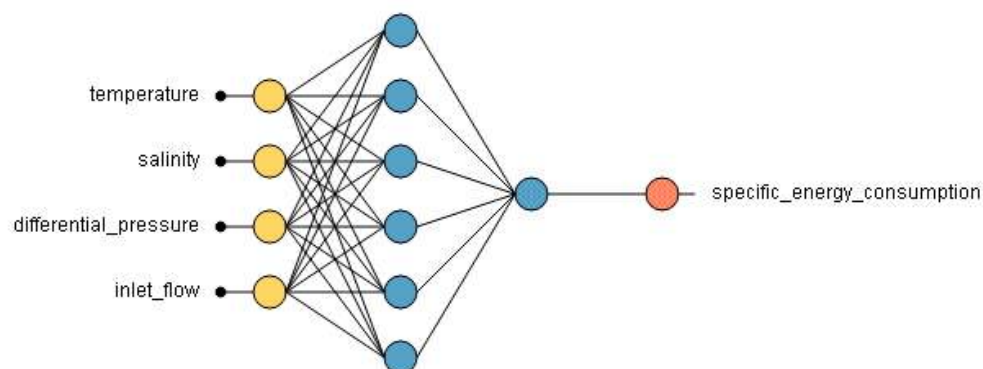


El consumo energético específico aumenta con la presión diferencial y la salinidad y disminuye con el caudal de entrada y la temperatura



# Modelo de consumo energético específico

Se construye un modelo predictivo del consumo energético específico en el proceso de ósmosis inversa en función de las condiciones del agua y parámetros de proceso

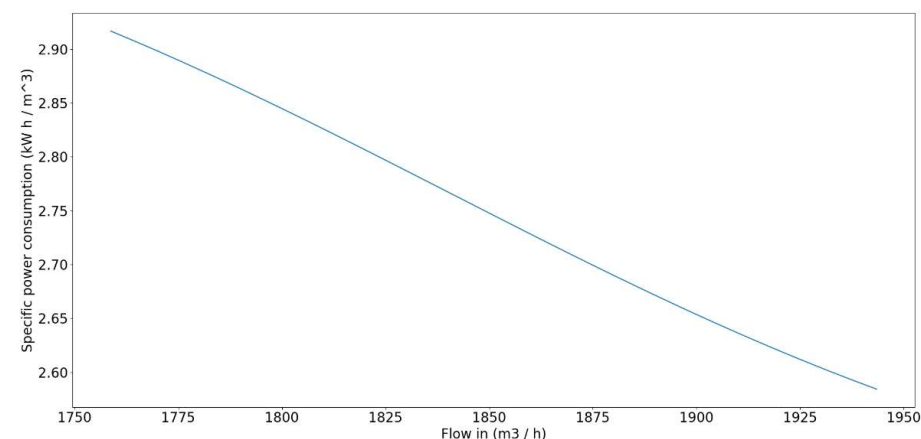


**10%**  
Error medio

# Prescripciones del proceso

Dadas una temperatura y salinidad del agua y una presión diferencial del bastidor, buscamos un caudal que reduzca el consumo energético específico

| Variable             | Valor                   |
|----------------------|-------------------------|
| Temperatura:         | 20.36 C                 |
| Salinidad:           | 36.90 PSU               |
| Presión diferencial: | 1.76 bar                |
| Caudal inicial:      | 1851 m <sup>3</sup> /h  |
| Consumo inicial:     | 2.75 kWh/m <sup>3</sup> |
| Caudal final:        | 1875 m <sup>3</sup> /h  |
| Consumo final:       | 2.70 kWh/m <sup>3</sup> |



En general, cuanto mayor es el caudal entrante, menor es el consumo energético específico

# MODELIZACIÓN ENSUCIAMIENTO DE MEMBRANAS

El objetivo es predecir el ensuciamiento de membranas mediante la observación de la presión diferencial en línea

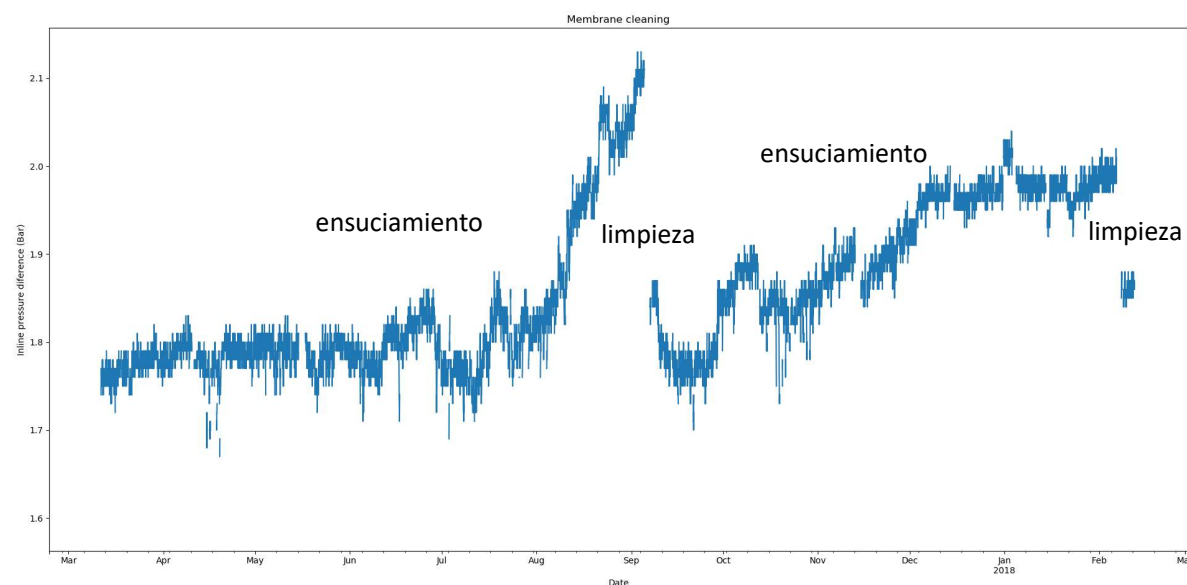


Planificar los  
tiempos de  
limpieza

FOUKA SWRO

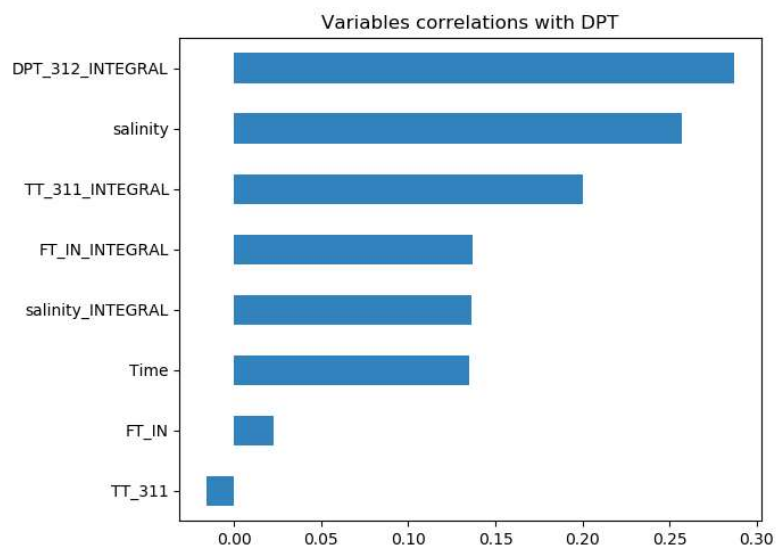
# Analítica descriptiva

Los procesos de ensuciamiento están aislados de los datos



El período de limpieza medio es de 5 meses, y la parada típica es de 48 horas

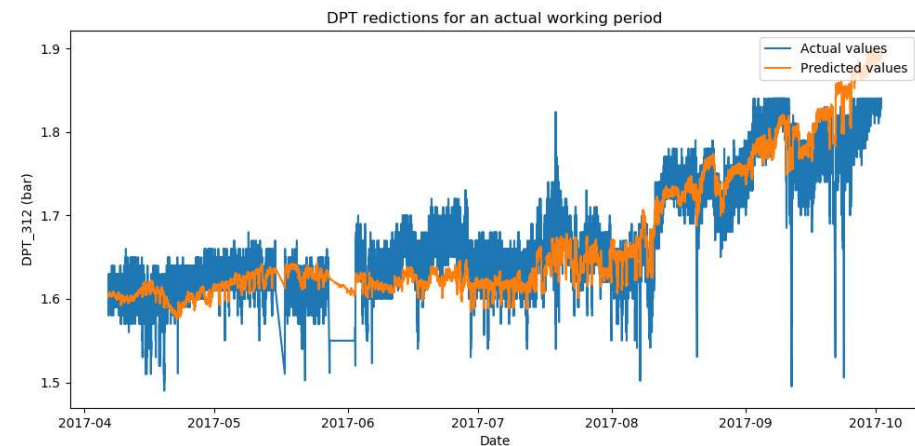
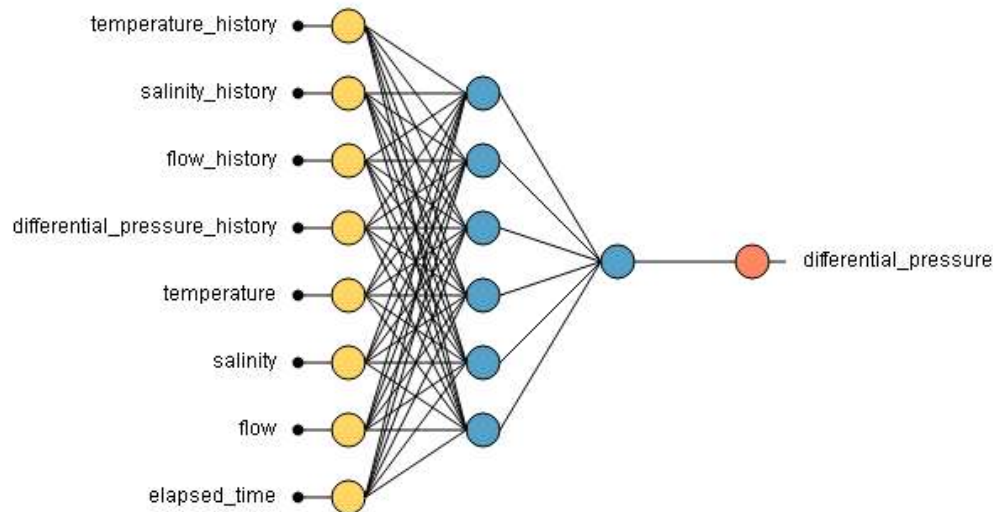
# Factores más influyentes



- La presión diferencial se retroalimenta a sí misma
- A mayor salinidad, mayor presión diferencial
- La presión diferencial aumenta en el período estival

# Modelo de presión diferencial

Se construye un modelo predictivo de la presión diferencial en función de las condiciones del agua actuales e históricas



Este modelo puede ayudar a predecir cuándo tendrá la membrana una presión diferencial de referencia a limpiar

# MEJORA DE LA LIMPIEZA QUÍMICA

El objetivo es estudiar y mejorar el proceso de limpieza química de las membranas



Definir el  
protocolo de  
limpieza



Ajustar las dosis  
químicas

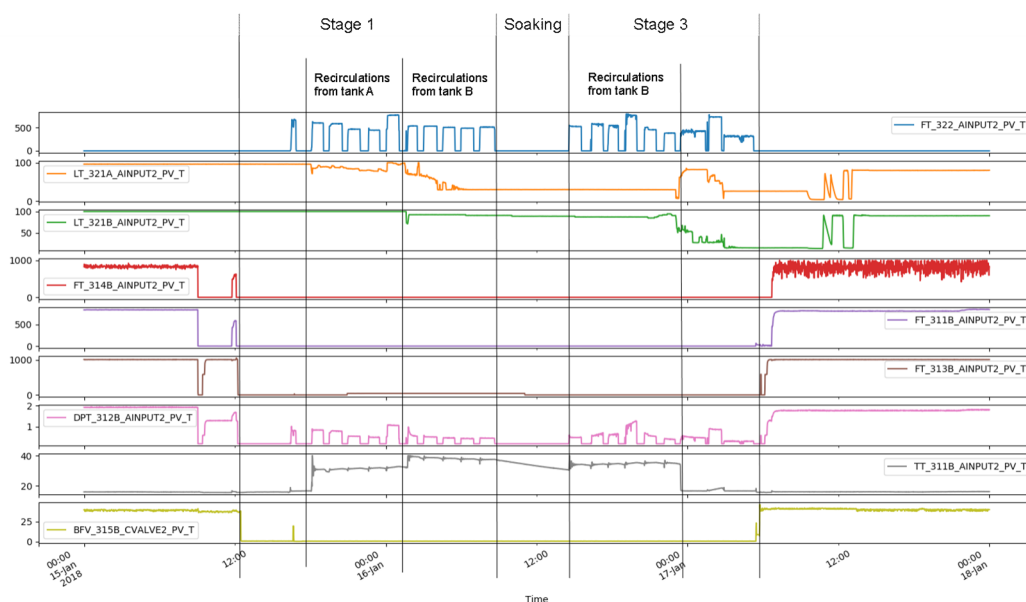


Reducir el  
tiempo de  
limpieza

FOUKA SWRO

# Analítica descriptiva

Se describe el proceso de limpieza y se identifican los momentos de la misma (24)



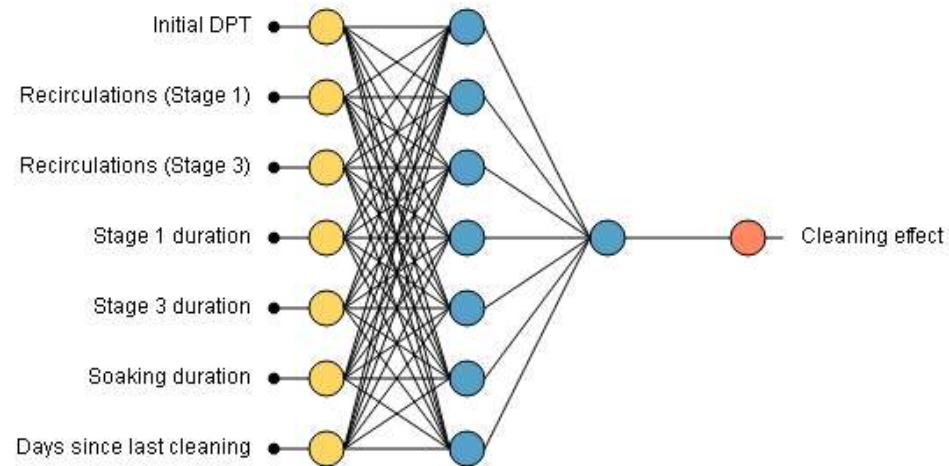
| Variable                             | Mínimo   | Máximo   |
|--------------------------------------|----------|----------|
| Tiempo desde limpieza anterior:      | 120 días | 630 días |
| Duración de la limpieza:             | 18 horas | 48 horas |
| Reducción de la presión diferencial: | 0.05 bar | 0.55 bar |

Las limpiezas son muy diferentes una de otra



# Modelo de efecto de limpieza

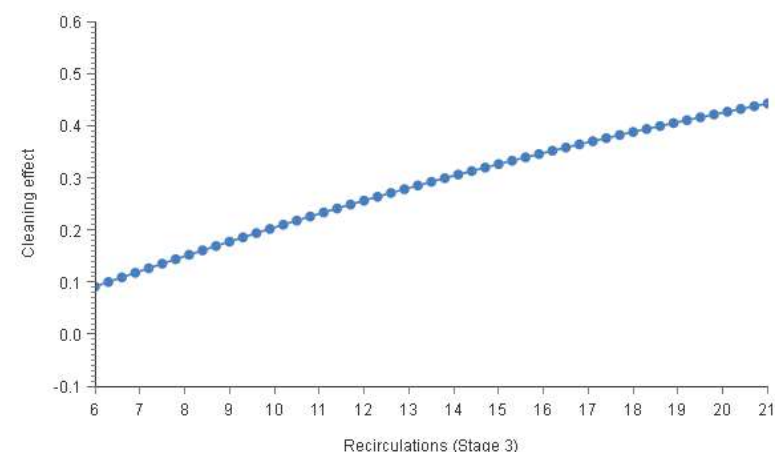
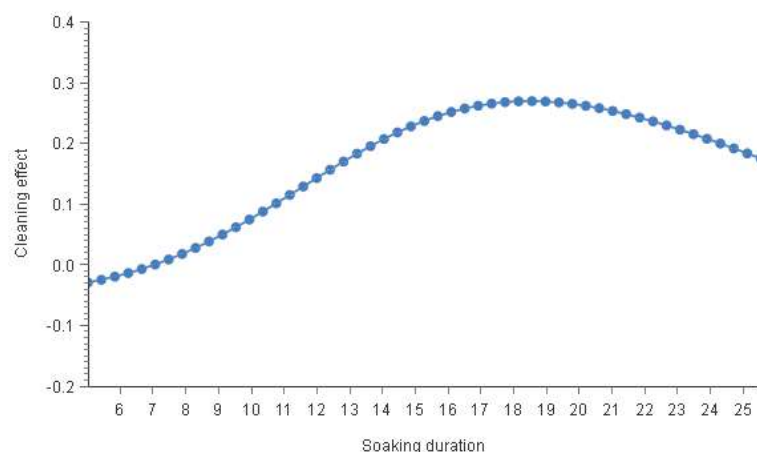
Dados una presión diferencial inicial y los parámetros de proceso más importantes, el modelo produce la presión diferencial después de la limpieza de la membrana



También se podrían utilizar otros parámetros para la eficiencia de la limpieza

# Prescripciones del proceso

Dada una presión diferencial inicial, observamos los parámetros de limpieza que reducen más ese valor, reduciendo también el uso de productos químicos y el tiempo de limpieza



Tras 18 horas de remojo, este proceso no tiene más efecto

Cuanto mayor sea el número de recirculaciones con Genesol, mayor será el efecto de limpieza

# PREVISIÓN DE LAS CONDICIONES DEL AGUA DE ENTRADA

El objetivo es predecir las características físico-químicas del agua a la entrada de la planta



Ajustar dosis  
químicas



Detectar  
casos de turbidez

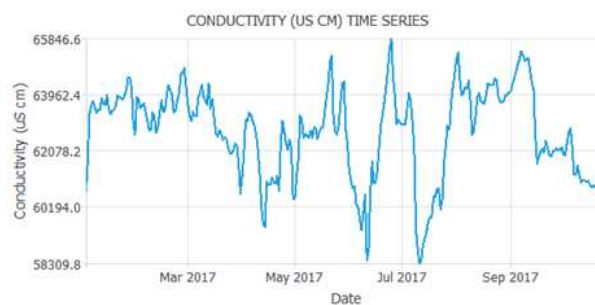
RAS ABU FONTAS 3

# Datos de la planta (303 días)

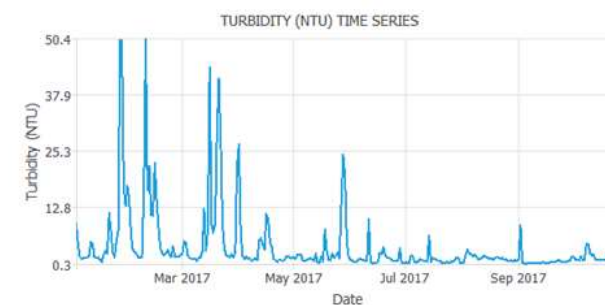
En la desaladora RAF 3 se miden 3 variables de condiciones del agua:



Temperatura de entrada



Conductividad de entrada

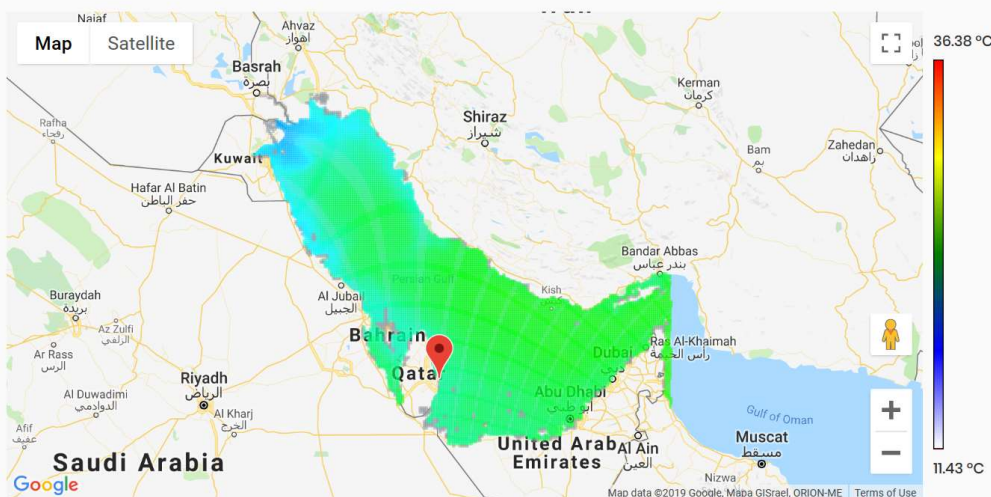


Turbidez de entrada

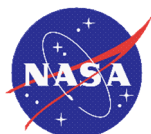
# Datos del satélite

Se recogen 87 variables más de diferentes satélites meteorológicos y oceánicos (algunos de ellos están siempre incompletos o faltan)

surface temperature

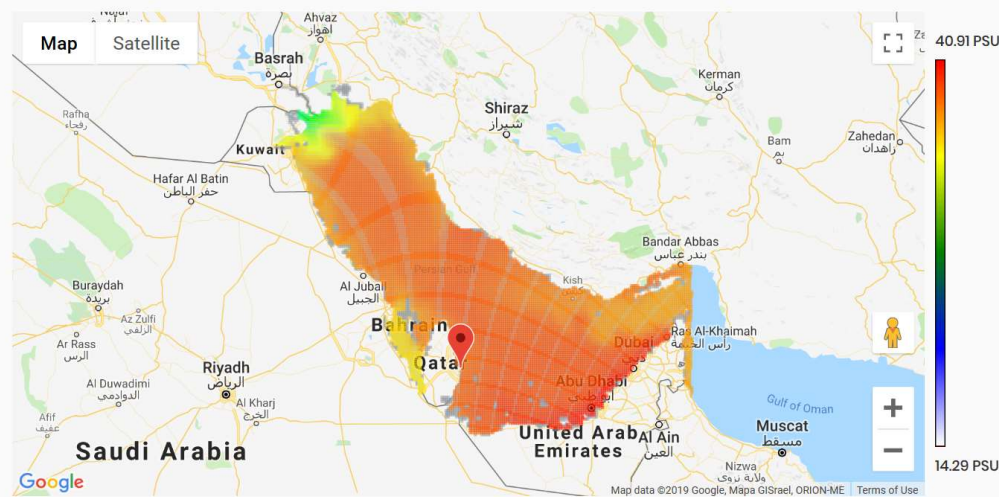


2019-01-07



Modis Aqua  
Temperatura de  
la región

salinity



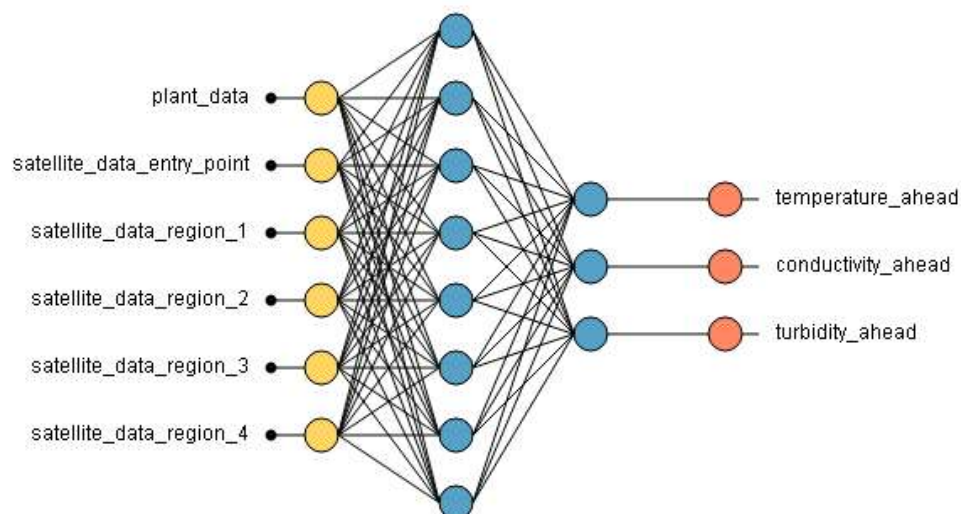
2019-01-07



Sentinel  
Salinidad de la  
región

# Modelo predictivo

Se construye un modelo predictivo para las variables de la planta en función de anteriores observaciones de planta y satélite, con una ventana de previsión de 1, 2, 3 y 5 días

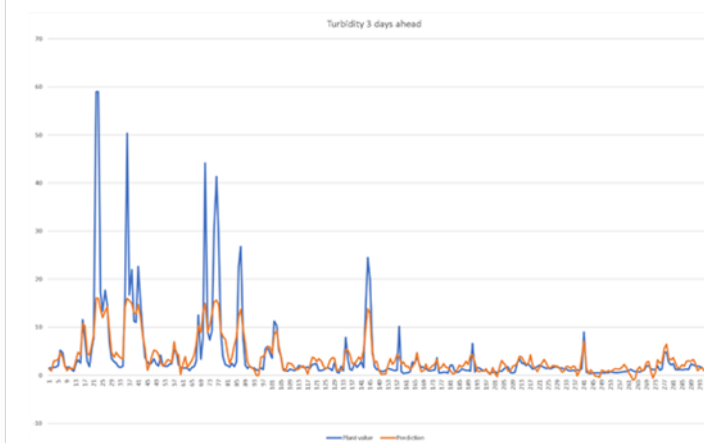
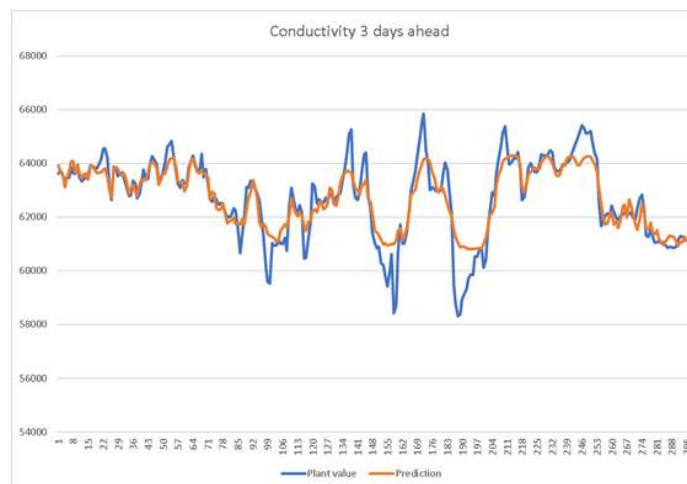
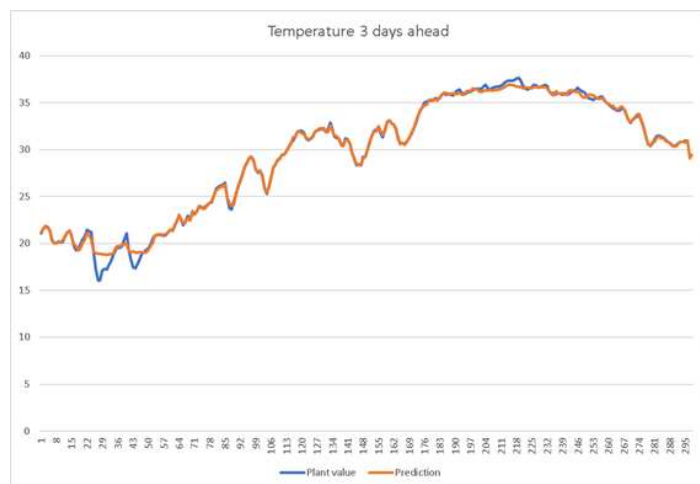


| ERROR MEDIO   | Temperatura (C) | Conductividad (μS/cm) | Turbidez (NTU) |
|---------------|-----------------|-----------------------|----------------|
| <b>1 día</b>  | 0.10 C          | 218 μS/cm             | 0.65 NTU       |
| <b>2 días</b> | 0.16 C          | 343 μS/cm             | 0.49 NTU       |
| <b>3 días</b> | 0.22 C          | 436 μS/cm             | 0.74 NTU       |
| <b>5 días</b> | 0.50 C          | 589 μS/cm             | 1.25 NTU       |

Los errores aumentan con la ventana de previsión

# Modelos predictivos (datos de 303 días)

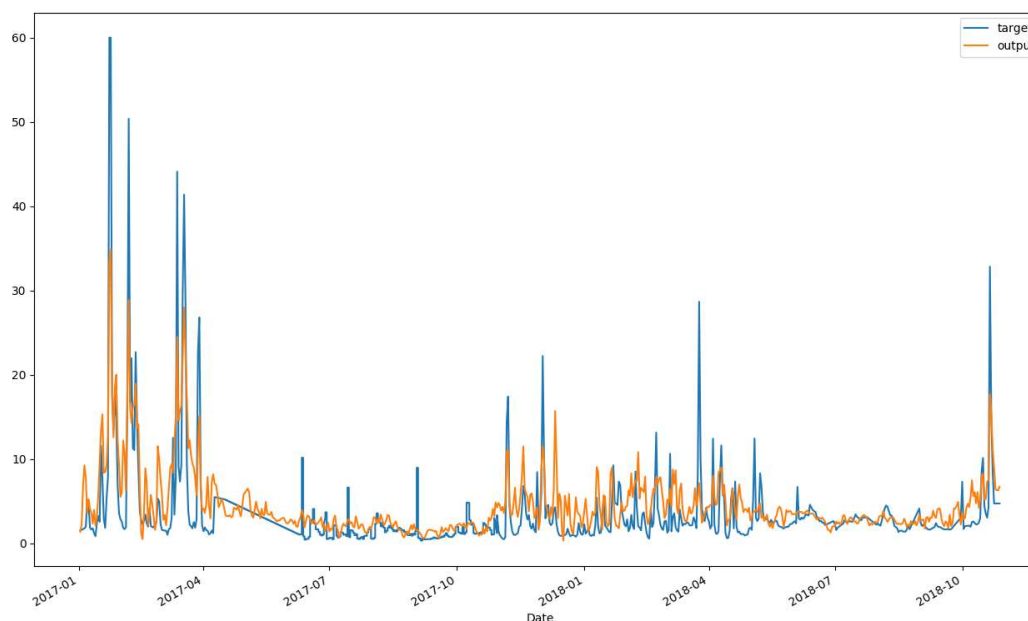
Las predicciones de 3 días se trazan juntas con las correspondientes observaciones



La red neuronal es capaz de detectar los cambios en las 3 variables

# Modelo de turbidez (datos de 863 días)

La exactitud de las predicciones aumenta con el tamaño de los datos disponibles



El error medio ha descendido de 2.02 NTU a 0.74 NTU (63%)





BUSINESS AS UNUSUAL

Gracias