

Foro 2024 Cátedra del Agua UGR + HIDRALIA  
H<sub>2</sub>O INTELIGENTE: Reinventando el Ciclo del Agua en la Era Digital

# Transformación Digital en la gestión del Ciclo Integral del Agua: El papel de la Inteligencia Artificial

**Ramón González Carvajal**

Catedrático de la Universidad de Sevilla

Director de la Cátedra del AGUA EMASESA-US

04 de diciembre de 2024



# Contenido

1. Introducción
2. Fundamentos de la IA en la gestión del agua
3. Aplicaciones de la IA a la gestión del agua
4. Herramientas y tecnología
5. Retos y oportunidades
6. Conclusiones

# Contenido

1. **Introducción**
2. Fundamentos de la IA en la gestión del agua
3. Aplicaciones de la IA a la gestión del agua
4. Herramientas y tecnología
5. Retos y oportunidades
6. Conclusiones

# Introducción

- **Contexto Global de la gestión del CIA→ Sequía y cambio climático.**
  - La **eficiencia** es necesaria para adaptarnos a la menor disponibilidad del recurso
  - Es necesario adaptar los **procesos** y las **infraestructuras** a los efectos asociados al **cambio climático** (eventos extremos de lluvia o la menor calidad de agua bruta).
  - Es necesario cumplir la nueva normativa (RD3/2023, RD665/2023, regeneradas, ...).
  - Es necesario ser capaz de compartir información con terceros (GIRH).
- La tendencia a la **digitalización** está **aumentando la cantidad y la calidad de los datos**.
- El personal de las entidades gestoras del ciclo debe disponer de herramientas que permitan procesar toda esa ingente cantidad de información
  - Que les permitan analizarla
  - ... o que la analicen por ellos!!

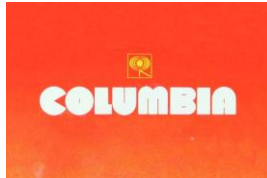
# Digitalización del ciclo urbano integral del agua

- **Digitalización → El mundo físico tiene una representación en el mundo digital.**
  - Incluyendo características generales organización digitalizada.
  - Facilita la realización de tareas complejas (control, análisis, decisiones, etc.)
  - Posibilita la **transformación de la actividad y la organización.**
- La digitalización implica disponer de más información para tomar decisiones
  - Analizar ingentes cantidades de información requiere inteligencia (artificial o humana)
  - Las decisiones deben tener en cuenta las limitaciones propias del CIA
    - RRHH limitados
    - Presupuesto limitado
    - Infraestructuras imperfectas

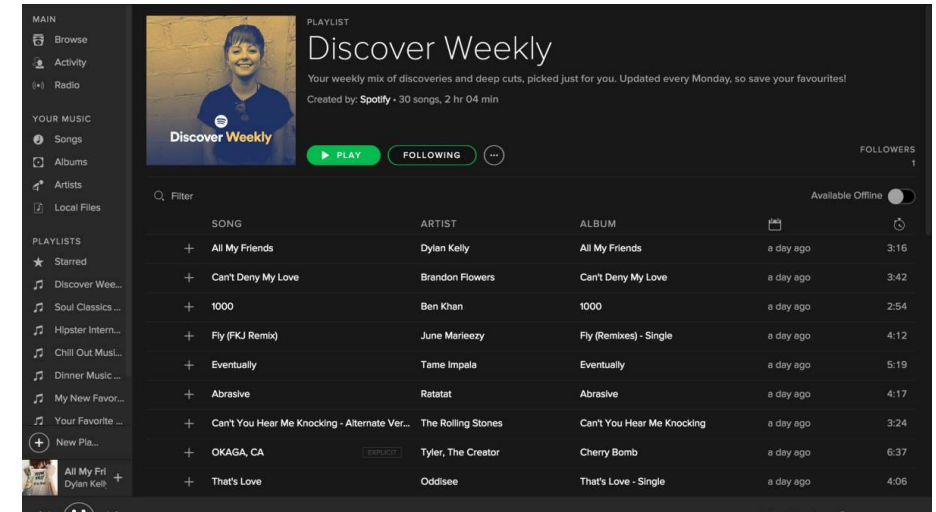
# Idea de transformación digital

- *Transformación digital* **no es** simplemente:
  - Comprar tecnología.
  - Cambiar “papel por bytes”.
  - Hacer las cosas igual, pero empleando herramientas digitales.
  - Etc.
- *Transformación digital* **es** cambiar la empresa utilizando la tecnología digital disponible.
- *Transformación digital* se extiende a todas las dimensiones (procesos, producto, organización, perfiles profesionales, activos, modelo de negocio, actividad, sector, etc.)
- Multitud de ejemplos recientes (música, banca, comercio, etc.)

# Un contexto de transformación digital (i)

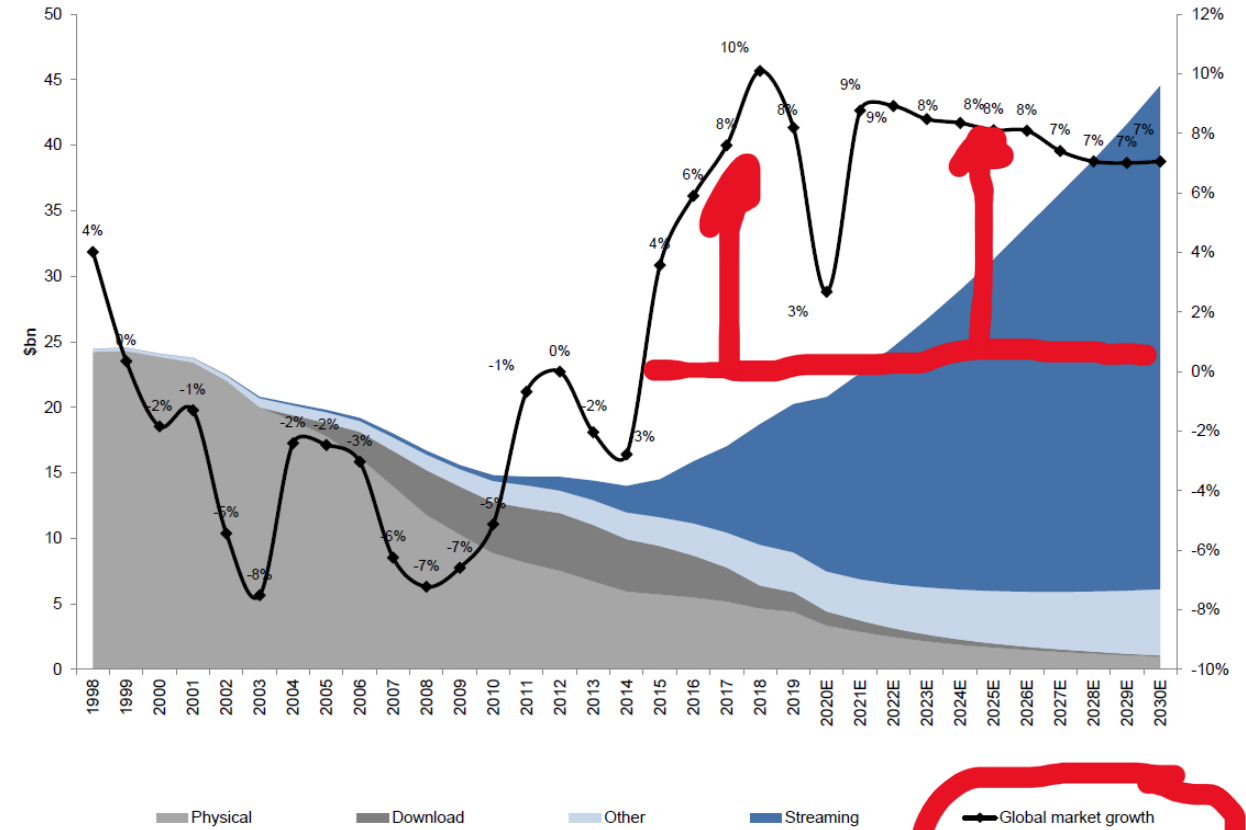
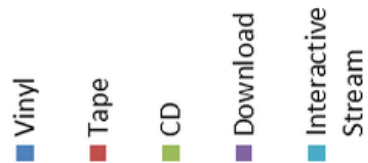
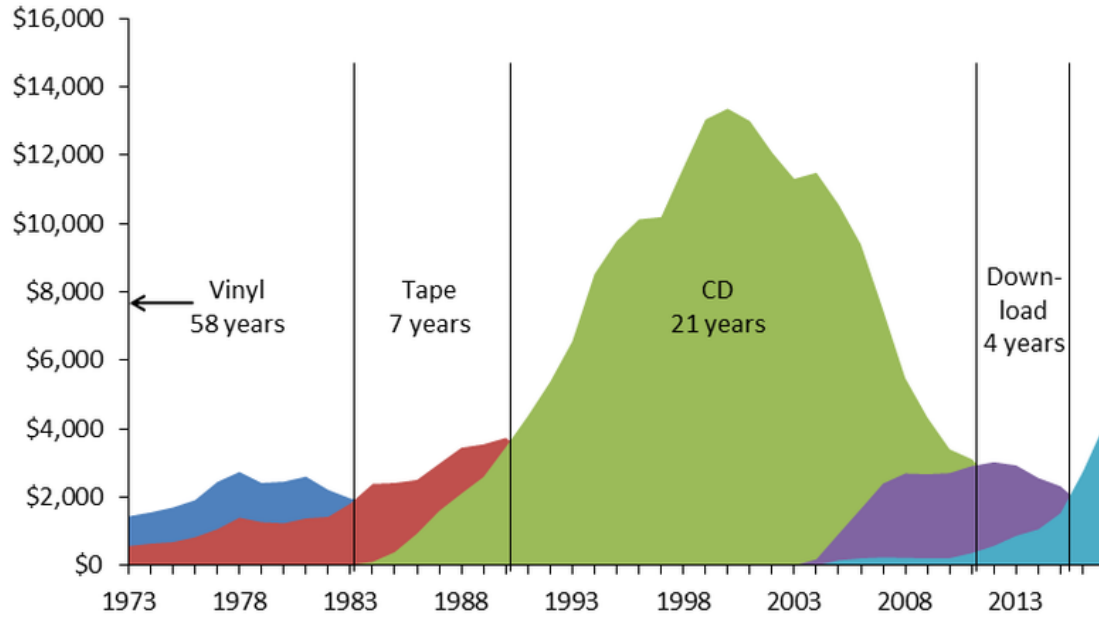


# Un contexto de transformación digital (ii)





# Un contexto de transformación digital (iii)



Source: IFPI Global Music Report 2020, Goldman Sachs Global Investment Research

# Concepto de *transformación digital*

Es un...




Plan específico para  
cada empresa

utilizando las  
tecnologías como  
facilitadoras

que implica...



-  Rediseñar Modelos de Negocio
-  Transformar Modelos Operacionales
-  Optimizar Procesos
-  Transformar funciones y activos

con un enfoque...

-  Centrado en el cliente
-  Buscando la eficiencia de las operaciones
-  Aprovechando el valor de los datos para el Negocio

y un objetivo...

En nuestro caso: la  
eficiencia en la gestión  
del recurso: el AGUA

-  Calidad de servicio
-  Transparencia

  
Mobile

  
Cloud

  
Social

  
Analytics

  
Security

  
IoT

  
AI

# Lo esencial no cambia



## Misión

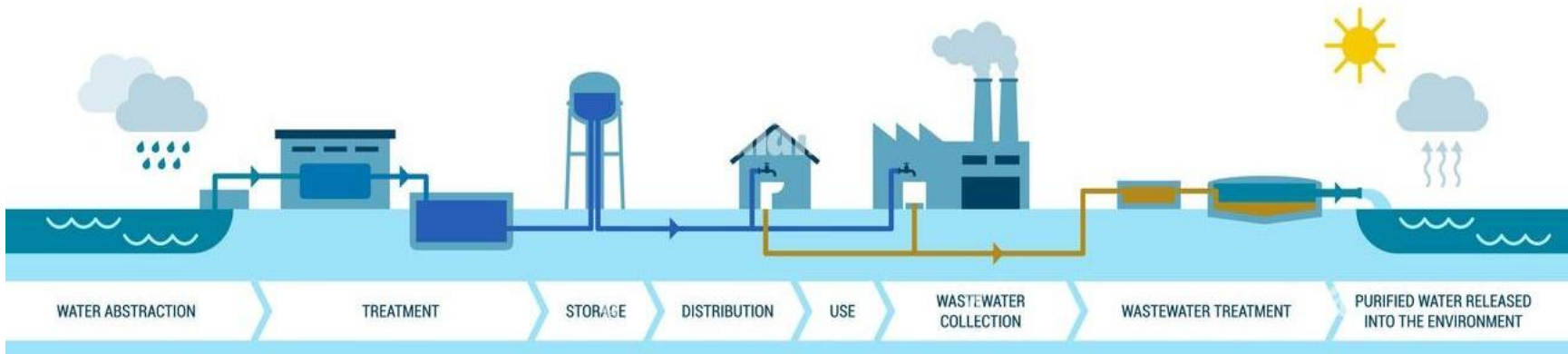
- Abastecimiento de agua potable.
- Saneamiento.
- Área geográfica.
- Etc.

## Características esenciales

- Ciclo integral del agua.
- Derecho.
- Eficiencia.
- Calidad.
- Etc.

# Digitalización del ciclo urbano integral del agua

- La digitalización del Ciclo Urbano del agua debe incluir (al menos) la monitorización y modelado de :
  - Flujos de agua y de energía.
  - Procesos industriales.
  - Infraestructuras.



	ORIGEN	ADUCCIÓN	TRATAMIENTO	DISTRIBUCIÓN	CONSUMO	SANEAMIENTO	DEPURACIÓN	DEVOLUCIÓN
<b>Cantidad</b>	Aportaciones (Q) Volumen embalsado Desembalses (Q)	Aducción (Q) Otros usos (Q)	Q entrada ETAP	Q agua tratada Q nocturno E / S sectores (Q)	Consumos	E / S sectores (Q ) Vertidos industr. (Q) Volum. tanques	Q entrada EDAR	Q devuelto
<b>Calidad</b>	Parám. calidad Par. limnológicos	Parám. calidad	Parám. calidad Ent. Parám. calidad Sal.	Parám. calidad		Carga contaminante Parám. vertidos ind. Episodios	Parám. calidad Ent. Parám. calidad Sal.	Parám. calidad

	ORIGEN	ADUCCIÓN	TRATAMIENTO	DISTRIBUCIÓN	CONSUMO	SANEAMIENTO	DEPURACIÓN	DEVOLUCIÓN
<b>Energía</b>								
<b>E</b>	Consumo bombes	Consumo bombes	Consumo procesos	Consumo bombes		Consumo bombes	Consumo procesos	Consumo bombes
<b>S</b>		Gener. hidroeléctrica					Generación (varios)	

# Contenido

1. Introducción
2. **Fundamentos de la IA en la gestión del agua**
3. Aplicaciones de la IA a la gestión del agua
4. Herramientas y tecnología
5. Retos y oportunidades
6. Conclusiones

# Fundamentos de IA

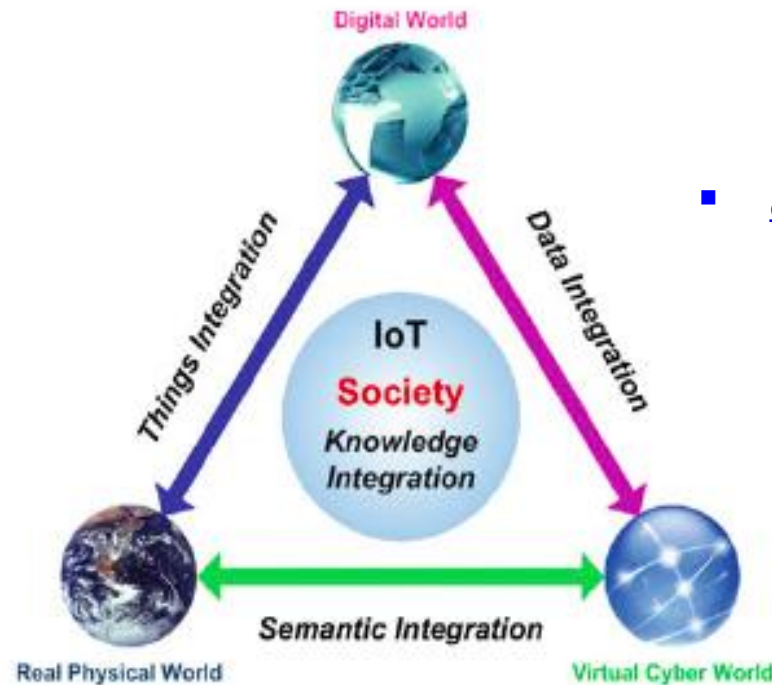
- **La Inteligencia Artificial es un concepto muy utilizado y eso, a veces, confunde. Podría definirse cómo:**
  - La inteligencia artificial (IA) es un campo de la informática que se enfoca en **crear sistemas capaces de realizar tareas que, de otro modo, requerirían inteligencia humana**. Estas tareas incluyen el reconocimiento de voz y de imágenes, la **toma de decisiones**, la traducción entre idiomas y mucho más. **La IA busca imitar o replicar la capacidad de razonamiento, percepción y aprendizaje de los humanos**, permitiendo que las máquinas aprendan de la **experiencia**, se ajusten a nuevas entradas y **realicen tareas como un humano**.
  - **Por tanto, la IA es la herramienta perfecta para apoyar al personal de las entidades gestoras del CIA en el manejo de la información captada por la digitalización.**
- **La IA** no solo se limita a imitar o replicar la inteligencia humana, sino que también **puede superar a los humanos** en ciertas tareas específicas, **gracias a su capacidad para procesar y analizar grandes cantidades de datos rápidamente y con precisión**. Su aplicación se extiende a una amplia gama de campos, incluyendo medicina, educación, finanzas, automoción, CIA y más, con el objetivo de mejorar la eficiencia, precisión y posibilidades en diversas actividades humanas.

# Fundamentos de IA

- La capacidad y la calidad de la IA depende del enfoque utilizado:
  - **Aprendizaje automático (Machine Learning, ML):** Donde las computadoras tienen la capacidad de aprender y mejorar a partir de datos sin ser explícitamente programadas para cada tarea. Esto se logra mediante algoritmos que analizan y encuentran patrones en los datos.
  - **Aprendizaje profundo (Deep Learning):** Una subcategoría del aprendizaje automático que utiliza redes neuronales con muchas capas (profundas) para analizar patrones en los datos. Es particularmente potente para tareas como el reconocimiento de imágenes y voz.
  - **Procesamiento del lenguaje natural (NLP):** Que permite a las máquinas entender y responder a textos y voces en un lenguaje humano, facilitando la interacción entre computadoras y humanos de manera natural.
  - **Robótica inteligente:** Combina la IA con la robótica para crear dispositivos capaces de realizar tareas complejas, desde cirugía asistida hasta exploración espacial.

- ¿Qué es el Internet de las Cosas?

- La Comisión Europea en 2009 la definió como *“una infraestructura de red global, dinámica y auto-configurada, con estándares y protocolos de comunicación interoperables, donde las “cosas”, tanto virtuales como físicas, tienen identidades, atributos físicos y personalidades virtuales, y son integradas sin discontinuidad en la infraestructura de información”*



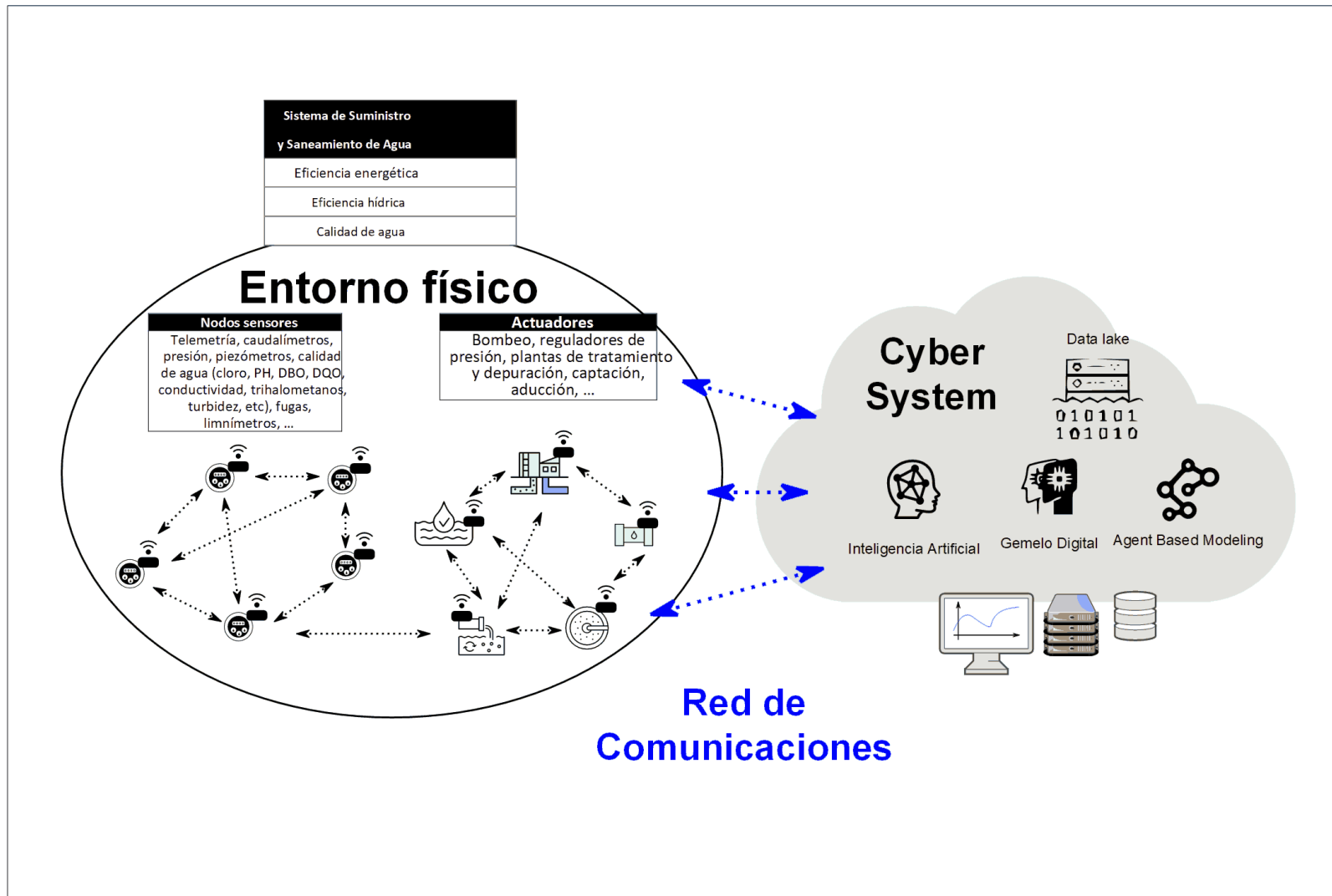
- ¿Qué es “Cosa”?

- Cualquier entidad real o virtual, tal como objetos, seres humanos, datos virtuales o agentes software

**Interacción entre los mundos físico real, digital y virtual, con la sociedad (Comisión Europea, 2009)**



# Concepto de sistema ciberfísico



Un sistema ciberfísico consta de un entorno físico digitalizado y un entorno ciber donde se mezclan datos del entorno físico, modelos y algoritmos IA capaces de procesar grandes cantidades de información

Las economías de escala se obtienen en el mundo digital, en el que la distancia física no existe.

La IA en el mundo digital dirige las operaciones en el mundo real, donde los recursos son limitados.

# Contenido

1. Introducción
2. Fundamentos de la IA en la gestión del agua
3. **Aplicaciones de la IA a la gestión del agua**
4. Herramientas y tecnología
5. Retos y oportunidades
6. Conclusiones

# Aplicaciones de la IA a la gestión del agua

- **Captación y Almacenamiento**

- Predicción de caudales, gestión de la demanda, Aducción Inteligente.
- Predicción de la calidad

- **Tratamiento**

- Optimización del proceso, predicción de subproductos de desinfección
- detección de contaminantes emergentes, etc.

- **Distribución**

- Detección de fugas, detección de intrusión, predicción de eventos de calidad, detección de anomalías , etc.

- **Consumo**

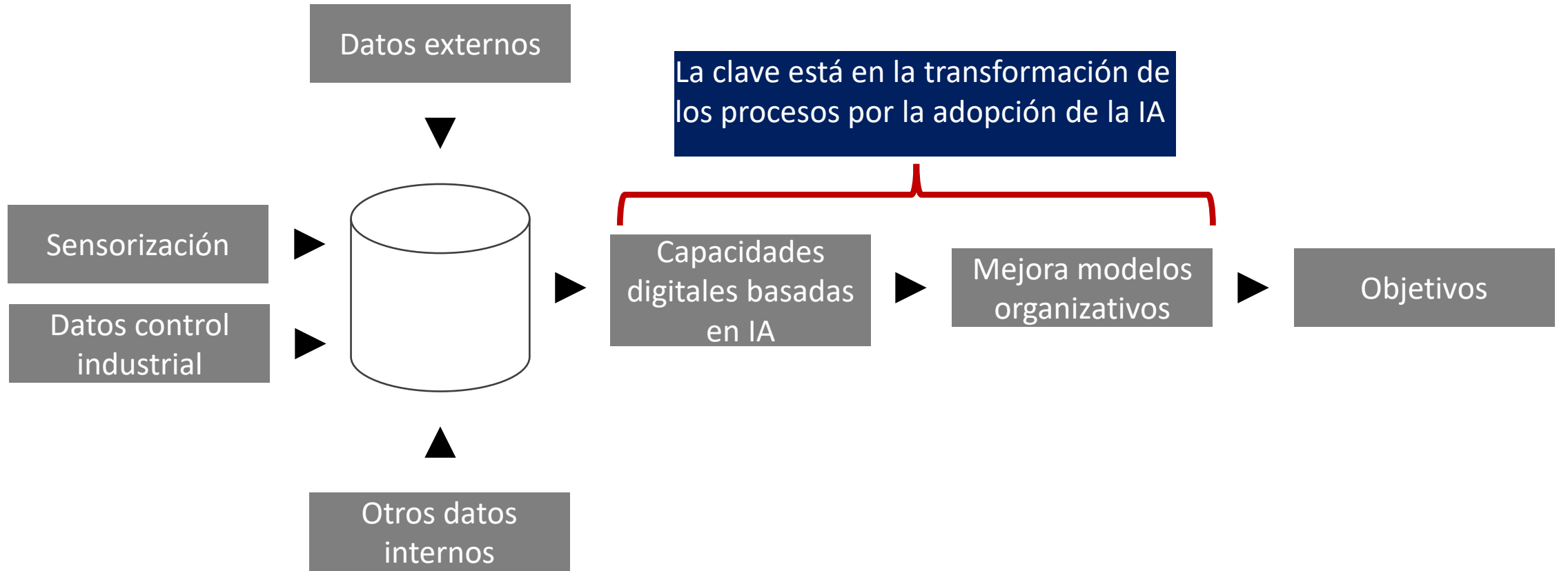
- Detección de fugas intradomiciliarias, fraude, nuevos servicios asociados a los patrones de consumo , etc.

- **Saneamiento, depuración y Reutilización de Aguas Residuales**

- Gestión del vertido en tiempo seco y en episodios de pluviales, binomio agua-energía, gestión predictiva de depuradoras , etc.



# Esquema de funcionamiento con la IA



- Tele contadores.
- Caudalímetros.
- Sondas de calidad
- Limnímetros.
- Consumos energía.
- Etc.

- GIS
- Planificación
- Gestión de Activos

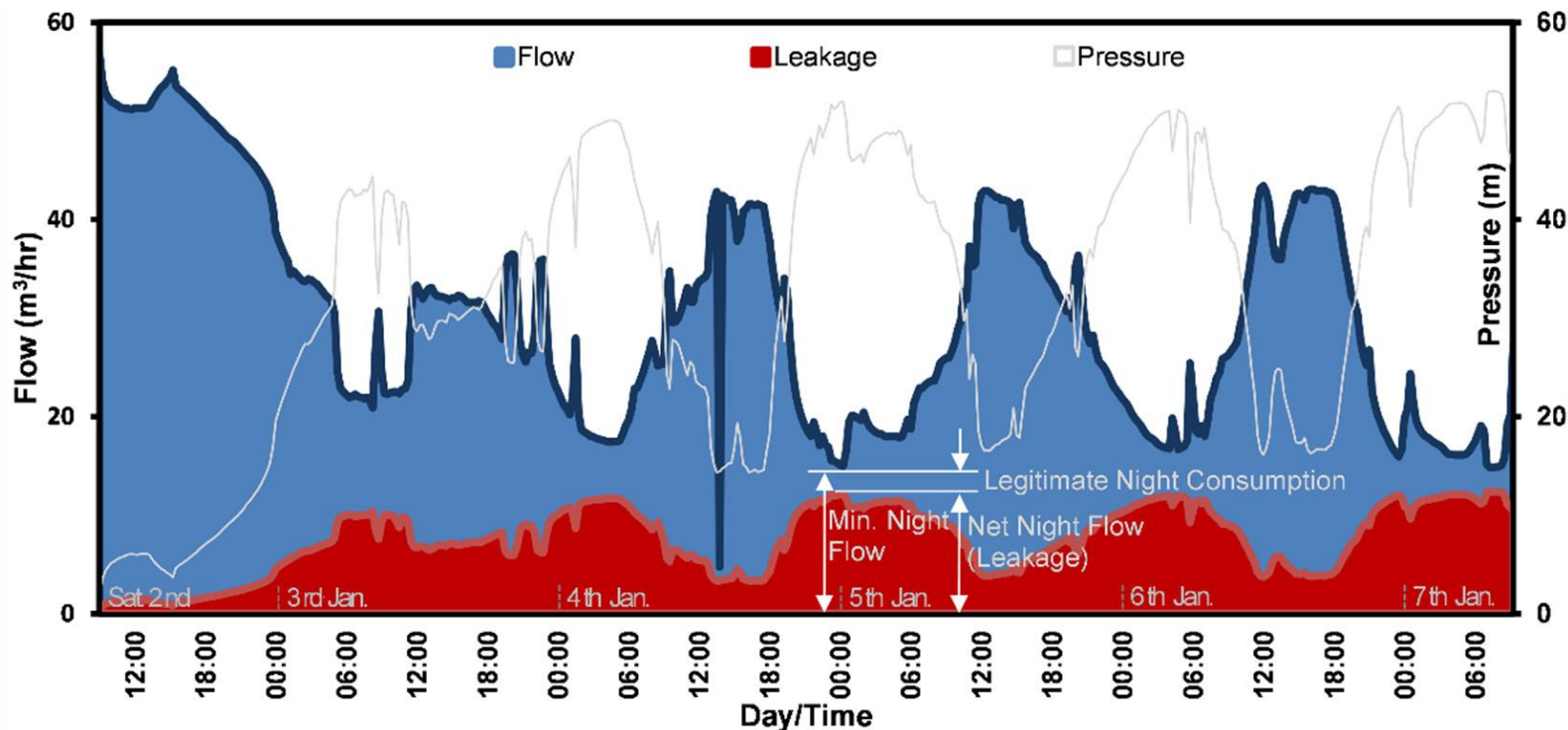
- Detección anomalías
- Aducción inteligente.
- Gemelo Digital red
- Binomio Agua - Energía.

- Oper. Tratamiento.
- Oper. Depuración.
- Gestión de redes.

- $\Delta$  Eficiencia hídrica
- $\Delta$  Eficiencia energética
- $\Delta$  Valor añadido
- $\Delta$  Mejora Ambiental
- Etc.

# Gestión Inteligente de la Red de Abastecimiento

Constituye un conjunto de actividades que utilizan la digitalización de la red de abastecimiento (caudales, presiones, calidad y tele-lectura) y su modelo, para construir nuevas capacidades digitales basadas en IA (Gemelo Digital, detección de fugas, predicción de eventos de baja calidad de agua, etc) que permitan pasar de una gestión de la red reactiva a una gestión proactiva e inteligente



## Digitalización

- Caudales, presiones, calidad del agua
- Tele-lectura
- Modelo de la Red

## Capacidades digitales basadas en IA

- Gemelo Digital de la Red
- Balance Hídrico, Detección de fugas/fraude,
- Episodios de baja calidad, etc.

## Transformación modelos organizativos

- Gestión basada en estadísticos → Gestión Basada en datos en tiempo real.
- Gestión reactiva → Gestión proactiva

## Objetivos

- Mejora eficiencia hídrica.
- Mejora fiabilidad del servicio.
- Mejora calidad del servicio
- Mejora del valor creado para el usuario

# Gestión Inteligente de la Red de Saneamiento

Es un conjunto de actividades que utilizan la digitalización de la red de saneamiento (Limnómetros para caudal y calidad) y su modelo, para construir nuevas capacidades digitales (Gemelo Digital, detección de infiltraciones y exfiltraciones, predicción de eventos en gestión de pluviales, etc) que permitan pasar de una gestión de la red reactiva a una gestión proactiva e inteligente



## Digitalización

- Limnómetros caudal y aliviaderos (turbidez y conductividad)
- Modelo de la Red
- Pluviómetros y previsión meteorológica

## Capacidades digitales basadas en IA

- Gemelo Digital de la Red de saneamiento,
- Gestión del vertido,
- Gestión inteligente de tanques de tormenta

## Transformación modelos organizativos

- Gestión basada en estadísticos → Gestión Basada en datos en tiempo real.
- Gestión pluviales reactiva → Gestión pluviales proactiva basada en datos

## Objetivos

- Reducción del impacto ambiental
- Mejora calidad del servicio
- Mejora gestión riesgos

# Gestión Inteligente de las Depuradoras

Gestión de las depuradoras basada en la disponibilidad de información en tiempo real relacionada con los vertidos industriales que le llegan, la sensorización de los principales procesos de la planta (aireación, digestión y co-digestión, cogeneración y espesado y deshidratación), la detección de olores para minimizar el impacto en la población cercana.



## Digitalización

- Vertidos Industriales
- Sensorización de la planta
- Previsión meteorológica

## Nuevas capacidades digitales

- Gemelo Digital de la depuradora.
- Predicción del funcionamiento
- Gestión de eventos (pluviales o vertido).

## Transformación modelos organizativos

- Gestión reactiva de la depuradora → Gestión preventiva basada en datos en tiempo real.

## Objetivos

- Disminución impacto ambiental
- Mejora eficiencia energética.
- Mejora eficiencia otros recursos
- Mejora gestión en eventos de pluviales

# Contenido

1. Introducción
2. Fundamentos de la IA en la gestión del agua
3. Aplicaciones de la IA a la gestión del agua
- 4. Herramientas y tecnología**
5. Retos y oportunidades
6. Conclusiones



# Requisitos para la selección de una buena herramienta

- **Una empresa gestora del CIA tiene limitaciones**
  - **La capacidad de actuación está limitada por los RRHH disponibles**
    - **La IA no debe crear frustración.**
  - **Presupuestarias**
    - **La IA no debe centrarse en lo obvio. Debe mejorar lo existente con restricciones.**
  - **Infraestructuras existentes**
    - **El plan de gestión de activos debe ser realista.**
  - **Las herramientas no tienen que replicar la forma de operar**
    - **Una nueva forma de operar debe basarse en la disponibilidad de IA sobre los datos**

# Requisitos para la selección de una buena herramienta

- Las herramientas existentes no tienen por qué servir para cualquier gestora. Ejemplos:
  - **Tamaño de las redes**
    - Existen grandes redes con cientos de sectores interconectados y existen grupos de poblaciones con redes de reducido tamaño sin interconexión
      - El uso del modelado hidrodinámico y el gemelo digital debe adaptarse a la realidad de los municipios gestionados.
      - En España hay más de un 80% de municipios con menos de 5.000 habitantes
  - **Edad de las redes**
    - En general los sistemas con escalas adecuadas y gestión estable tienen redes con edades medias inferiores a 40 años.
    - Los sistemas formados por municipios pequeños no conocen, en muchos casos, la edad de sus redes ni su localización.
  - **Dispersión:**
    - Existen sistemas que gestionan poblaciones superiores a 1.000.000 de habitantes en menos de 1.000 km<sup>2</sup>.
    - Existen sistemas que gestionan poblaciones inferiores a 300.000 habitantes distribuidos en más de 10.000 km<sup>2</sup>
  - **Depuradoras**
    - Las depuradoras que concentran vertidos de población numerosa disponen de capacidad para ser neutras energéticamente y gestionar episodios de pluviales.
    - Las depuradoras que sirven a poblaciones inferiores a 5.000 personas no disponen de capacidad de regulación

# Ejemplo: Gemelos Digitales

- Un **Gemelo digital es un software que proporciona un servicio**. Están involucrados:
  - Descripciones de distintas dimensiones: configuración física.
  - Modelos de funcionamiento a diferentes escalas temporales
  - Algoritmos IA para la toma de decisiones
  - Algoritmos IA para la detección de anomalías en funcionamiento.
  - Módulos de generación de información útil: cuadros de mando y analítica básica



## Algunas claves

- Debe satisfacer las necesidades del gestor.
- Debe tener un fácil mantenimiento
- La escala temporal debe estar asociada a la capacidad de toma de decisiones
- Debe permitir su uso por terceros.
- **Debe tener la capacidad de volver a aprender ante modificaciones de la planta/red/sistema.**

# Ejemplo: Gemelos Digitales

- En la actualidad se comercializan gemelos digitales que:
  - Están orientados a la gestión de grandes redes e infraestructuras.
  - Disponen de modelos complejos de funcionamiento de infraestructuras sobre las que existe capacidad de actuación.
  - Más orientados a la filosofía SCADA que a la de toma de decisiones.
  - Más centrados en la capacidad de operar en tiempo real.
- También se comercializan plataformas que:
  - Permiten crear tu gemelo a partir del **conocimiento experto del personal técnico**.
  - No se centran en los modelos, sino en los datos.
  - Más orientados a la **filosofía de toma de decisiones en operaciones**.
  - Más centrados en los elementos que no tienen capacidad de regulación remota.

# Servicios que puede proporcionar un Gemelo Digital

## En Tiempo Real:

- **Implementar técnicas avanzadas de control (model based predictive control).**
- **IA** que proporcione **servicios** al operario SCADA, **discriminando la situación más probable** (fallo en sensórica, en actuación o anomalía en el proceso) y debería proponer el valor más probable para el sensor/actuador físico.
- La **predicción de las variables de salida**, que se puede realizar a partir del modelo, no se encuentran dentro de los parámetros admisibles. En ese **caso la algorítmica podría proporcionar nuevos valores de referencia para los controladores primarios** para conseguir que las variables futuras se encuentren dentro del rango deseado.

## En Régimen Permanente:

- Si se dispone de modelo en régimen permanente, se podría **crear una herramienta basada en inteligencia artificial para dar soporte a la toma de decisiones**, que facilite al operador de la planta el conjunto de referencias de los controladores ante una situación concreta. Por ejemplo: vertido industrial con pH y salinidad fuera de parámetros a la entrada de una depuradora.
- Si no se dispone del modelo, siempre será posible entrenar **algoritmos de IA que evalúen en régimen permanente momento si la planta/red está respondiendo como se espera**. Es decir, realizar una evaluación de los procesos (cantidad, calidad y energía) para asegurar que los datos de entrada y salida son consistentes y no existen anomalías en el comportamiento de la sensórica o de los controladores. En este caso la **funcionalidad se centraría en:**
  - **Anomalías en el comportamiento de los sensores, de los controladores, de los actuadores**, principales indicadores de la planta y actuadores manuales.

**En ambos casos la clave estará en la capacidad de adaptar la información recibida a la capacidad real del operador para actuar**

# Diferentes opciones

- Para cada gemelo digital (cada herramienta IA):
  - Definir la escala temporal del gemelo teniendo en cuenta:
    - La capacidad real de actuación remota y a través de cuadrillas en campo
    - La necesidad o no de modelo
    - Las decisiones que podría tomar la IA
    - Módulos de generación de información útil: cuadros de mando y analítica básica



## Opciones

- Opción de productos comerciales
- Opción de desarrollo a medida con Know-How de la empresa gestora del CIA

# Contenido

1. Introducción
2. Fundamentos de la IA en la gestión del agua
3. Aplicaciones de la IA a la gestión del agua
4. Herramientas y tecnología
5. **Retos y oportunidades**
6. Conclusiones

# Retos y oportunidades que plantea el uso de la IA

## Retos para las herramientas IA

- **Capacidad de adaptarse a la realidad de la empresa**
  - **Capacitación de RRHH**
  - **Trabajar con limitaciones**
  - **Aportar valor, no sólo información**

## Retos para las gestoras CIA

- **Visión a largo plazo**
  - **La IA no viene a sustituir lo que hacemos, viene a cambiarlo**
- **Capacidad de adaptación**
  - **Surgen nuevos procesos y se eliminan otros**

## Oportunidades:

- **Transformación de los procesos**
  - **La IA permite cambiar la forma de hacer las cosas y quién las hace.**
- **Dedicarnos a lo que importa**
  - **Dedicar a la IA a analizar grandes volúmenes de información.**
  - **Dejar el proceso de toma de decisiones a los operarios.**
- **La IA combinada con la digitalización es un proceso exponencial**
  - **Cuantos más datos tengamos y más decisiones tomemos, mejor aprenderá el sistema.**



# Contenido

1. Introducción
2. Fundamentos de la IA en la gestión del agua
3. Aplicaciones de la IA a la gestión del agua
4. Herramientas y tecnología
5. Retos y oportunidades
6. **Conclusiones**

# Conclusiones

- La aplicación de la **digitalización sistemática** y la **IA** a la gestión del mundo del agua reportará **grandes beneficios en términos de eficiencia y efectividad**.
- El **concepto de sistema ciberfísico** permitirá obtener **economías de escala** en una nueva dimensión: la dimensión digital
- **La IA proporciona servicios. El reto es adaptarlos a la realidad de cada operador:**
  - A sus RRHH
  - A su realidad financiera
  - A sus infraestructuras
- **El reto para los gestores CIA está relacionado con la transformación de sus operaciones** y la capacitación de sus RRHH ante esta revolución tecnológica.
  - Si no se transforman las operaciones, las nuevas herramientas darán más trabajo.

# ¡ Gracias !

**Ramón González Carvajal**  
Catedrático de la Universidad de Sevilla  
Director de la Cátedra del AGUA de EMASESA  
[carvajal@us.es](mailto:carvajal@us.es)



1100 1101 1110 1111 0000 0001 0010 0011 0100 0101 0110 0111 1000 1001 1010 1011 1100 1101