Adaptación de los PSA a las amenazas del cambio climático: los CR-WSPs

Marta Ganzer Martí
Vitor Ariza Malagutti
Adrià Rubirola Gamell
Meritxell Minoves Ruiz
Miquel Paraira Faus

Aigües de Barcelona
La gestió responsable

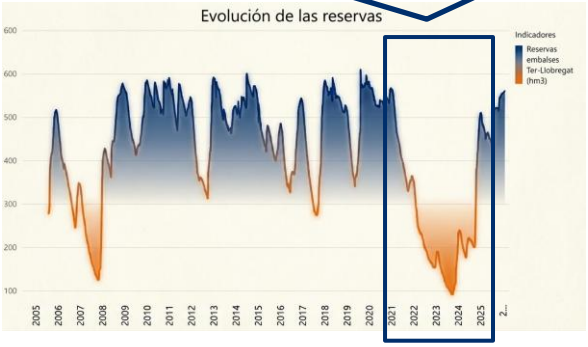


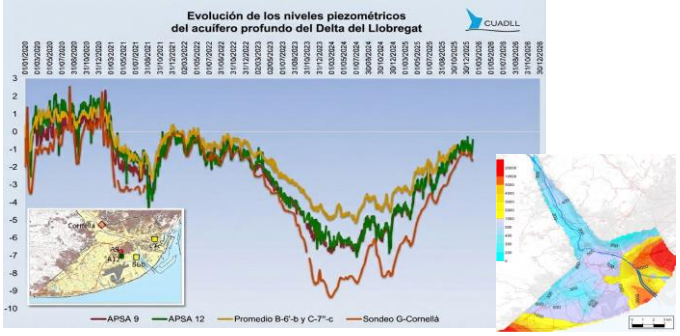
El éxito del modelo de reutilización de Barcelona

Contexto: La peor sequía jamás registrada

Reservas de embalses del sistema Ter-Llobregat en niveles críticos







Contexto: Inundaciones

En octubre de **2026**, Barcelona tuvo un **día de lluvia récord**, con más de 200 litros de lluvia en 24 horas, un nivel que no se veía en décadas.





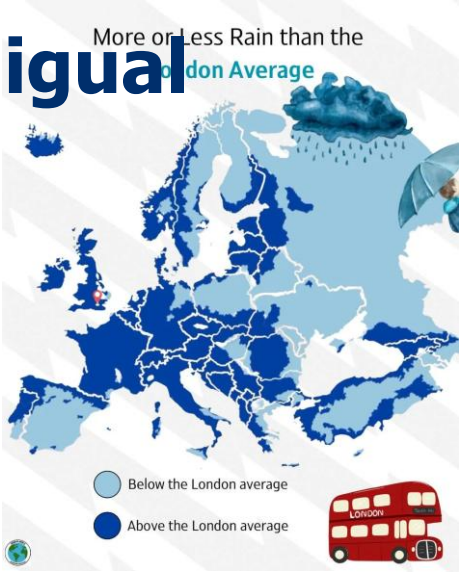


Contexto: Llueve lo mismo, pero no igual

Barcelona recibe aproximadamente la **misma precipitación anual total que Londres**, pero se distribuye de forma mucho más desigual.



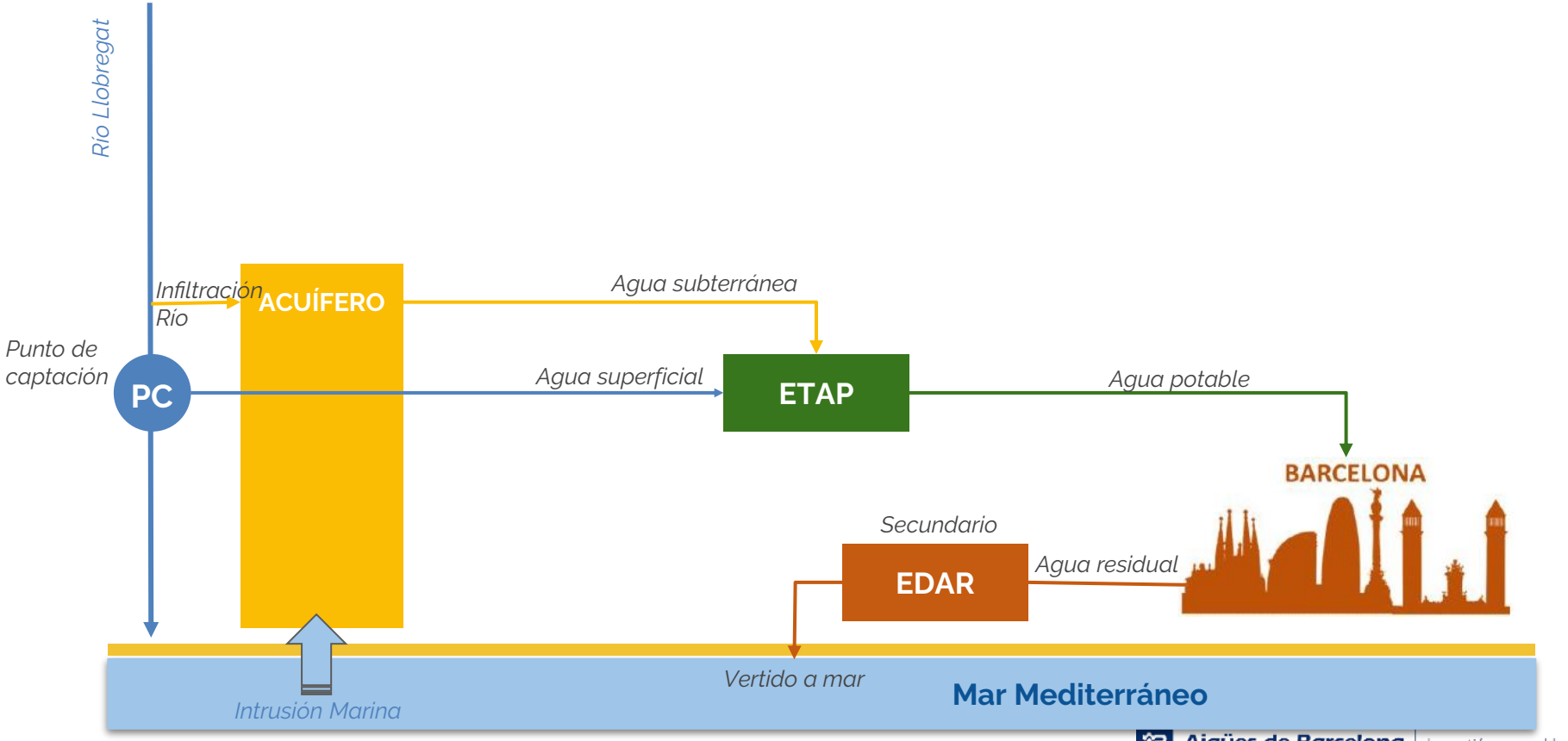




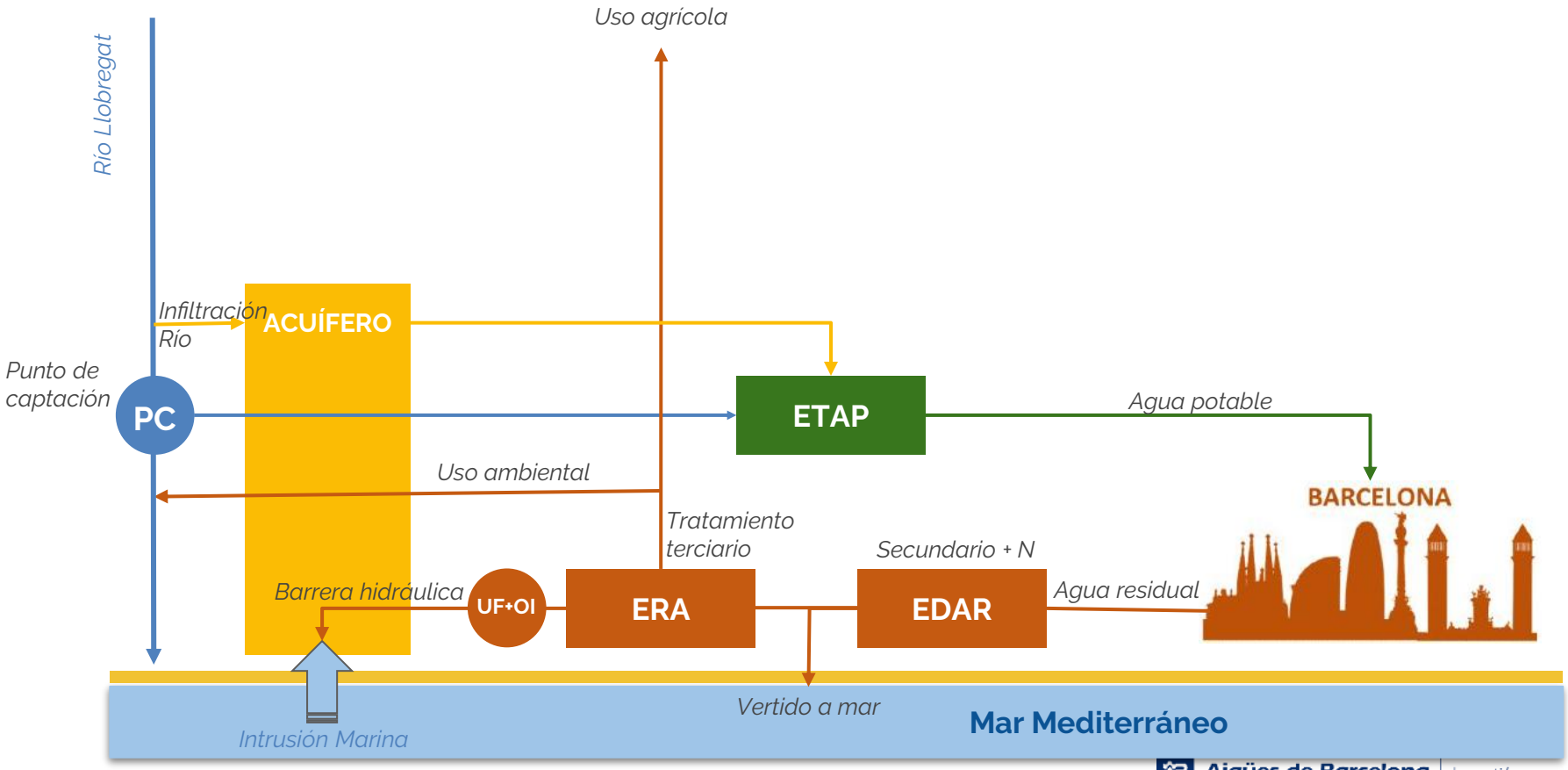
Climate Attribute	Barcelona 🇪🇸	London 🇬🇧
Average annual rainfall	**~600 mm** (23.6 inches)	**~600 - 650 mm** (23.6 - 25.6 inches)
Rainy days per year	**~53 - 72 days**	**~109 - 110 days**
Rainfall style	Torrential, autumnal, and irregular	Fine drizzle, consistent throughout the year
Annual sunshine hours	~2,900 hours	~1,600 hours

iable

Sistema de Depuración del Agua de Barcelona antes de 2007



Recursos Hídricos Alternativos 2008-2022



Recursos Hídricos Alternativos 2023



Río Llobregat

Uso agrícola

IPR

Balsas de infiltración

Infiltración Río

ACUÍFERO

150 Hm³

Recarga en profundidad

Punto de captación

PC

ETAP

Agua potable

Uso ambiental

BARCELONA

Tratamiento terciario

Secundario + N

Barrera hidráulica

UF+OI

ERA

EDAR

Agua residual

Vertido a mar

Intrusión Marina

Mar Mediterráneo

Reutilización Potable Indirecta (IPR)













Managed Aquifer Recharge (MAR)

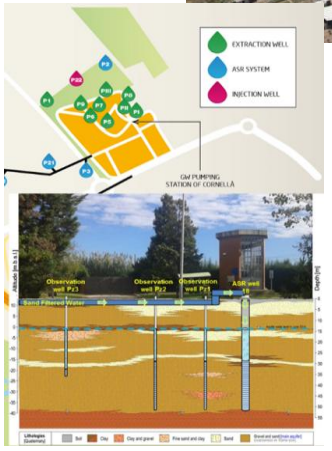


Reclaimed water and Llobregat River (IPR)



St. Vicenç dels Horts Recharge Ponds



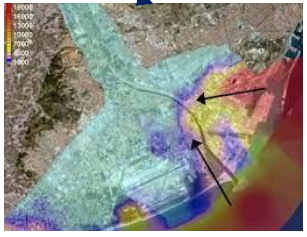


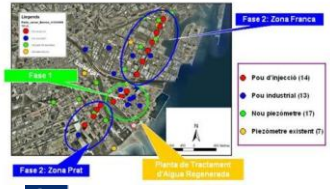
Deep well injection. Aquifer storage and recovery (ASR)





Deep well injection barrier against saline intrusion





Gestión de riesgos, multibarreras y control

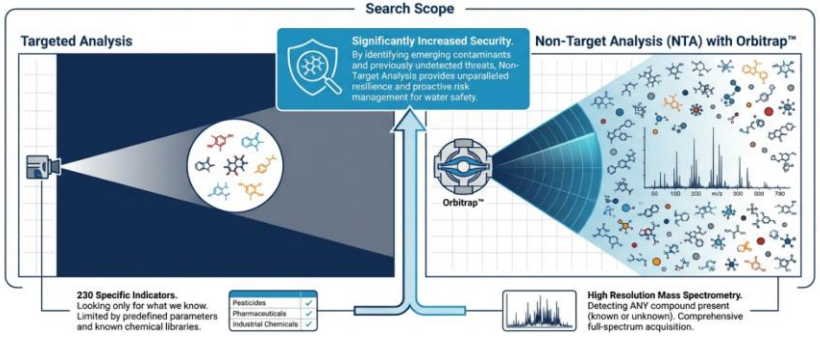












International Organization for Standardization
ISO
22000

Aigües de Barcelona | La gestió responsable

Problemas con afectación a las capacidades de tratamiento hidráulico de la ETAP SJD:

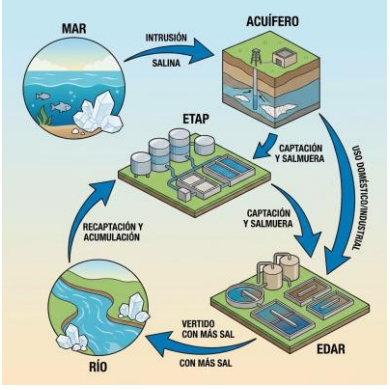
Algas

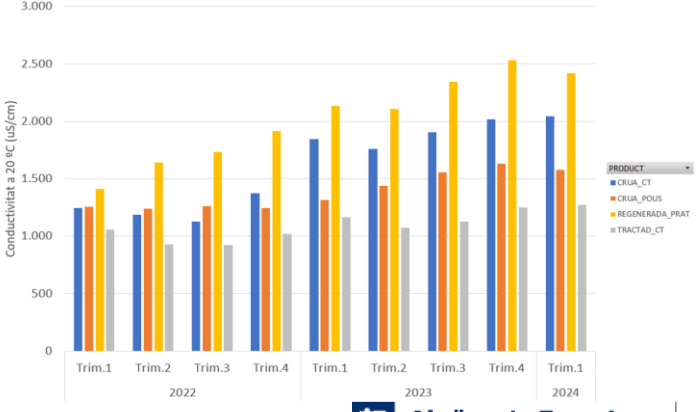




Salinidad



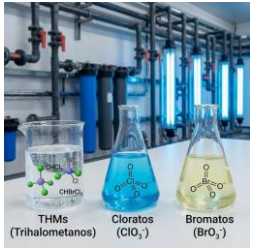


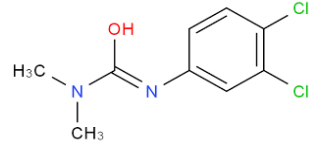


Problemas de calidad de agua con afectación parcial a las capacidades de tratamiento de la ETAP SJD:

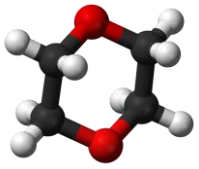
- Materia Orgánica
- Subproductos de Desinfección (THMs, Cloratos, Bromatos)
- Microcontaminantes (Pesticidas, 1,4-dioxano)
- Amonio y Parámetros Microbiológicos

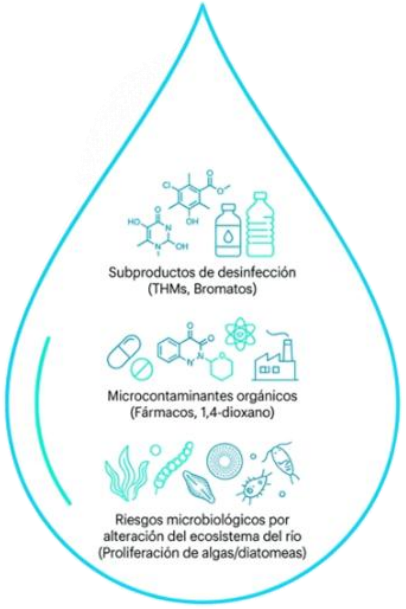












Puntos críticos para el tratamiento de la ETAP SJD

🎯 Acciones realizadas



📊 CAPTACIÓN: Análisis de clorofila y 1,4-Dioxano

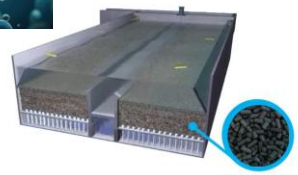
🧪 PRETRATAMIENTO: Nuevo oxidante (permanganato)

⚡ OZONIZACIÓN: Oxidación avanzada en estudio

CARBÓN ACTIVO: Renovación y regeneración intensiva del carbón

💧 MEMBRANAS: Sustitución de membranas









Aigües de Barcelona | La gestió responsable

Lecciones aprendidas:



Solo trazas mínimas de 10 compuestos llegan al agua final, todas muy por debajo de los límites de riesgo.

Gestión Preventiva



Tecnología y Control

Tratamiento tecnológico de vanguardia y análisis avanzados

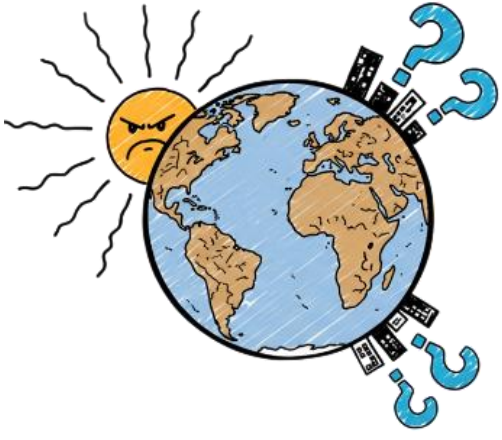
Respuesta Rápida

Respuesta operativa inmediata basada en datos analíticos

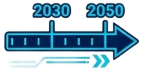
Coordinación

Aigües de Barcelona + ACA + Salud Pública + AMB

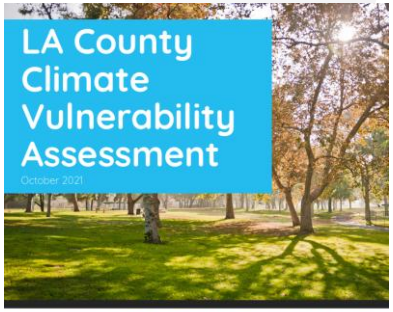
El éxito no solo fue tecnológico, sino organizativo.



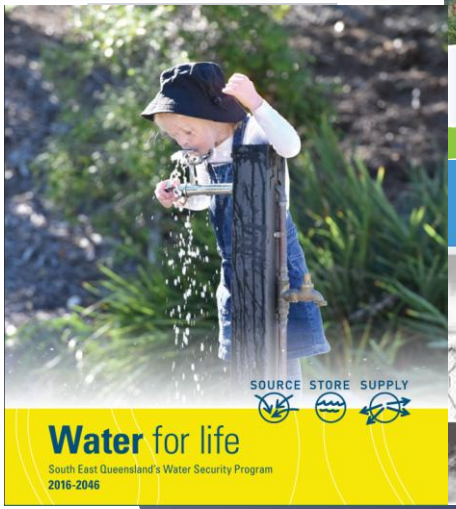
¿Pero qué es ser resiliente al clima?

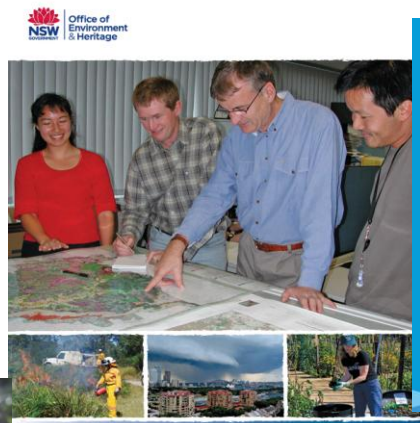
	PSA tradicional	CR-WSP
Horizonte temporal	 Evaluación de los impactos a día de hoy - presente	 **Evaluación de los impactos futuros**(2030-2050)
Análisis de eventos	 Frecuencia histórica de eventos peligrosos	 **Probabilidad futura** de eventos peligrosos
Incertidumbre	 Visto como una falta de datos sobre la calidad del agua	 **Aceptado como parte matemática** del diseño de la metodología
Riesgos	 Foco riesgo sanitario (probabilidad x gravedad)	 **Evaluación integral** de los riesgos sanitarios, económicos, operativos y de sostenibilidad

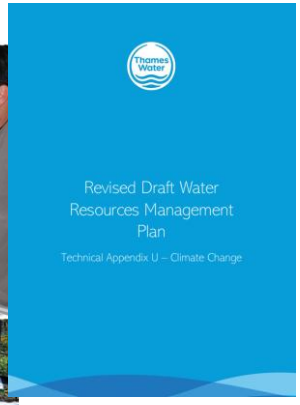
¿Cómo desarrollar un CR-WSP?

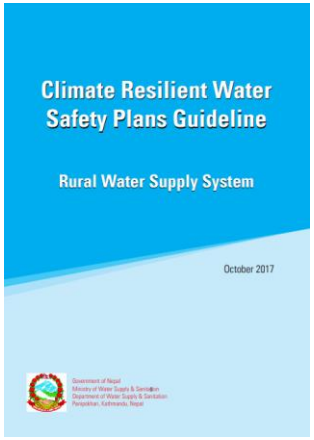


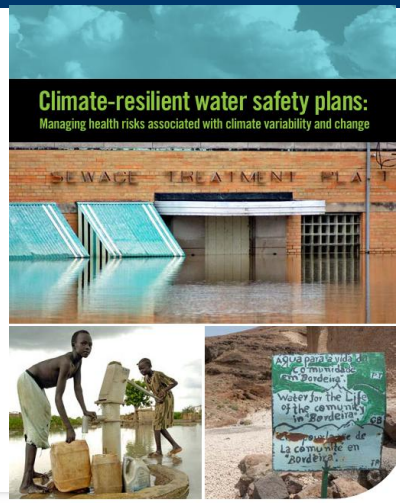




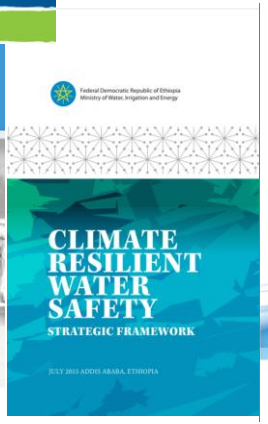


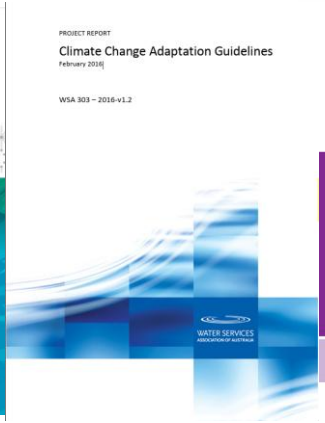


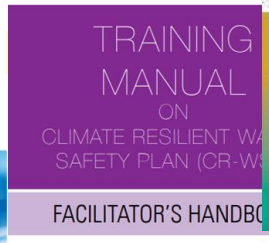














Metodología CR-WSP

Aigües de Barcelona | Escola de Camins – Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports – UPC BARCELONATECH | DOCTORATS INDUSTRIALS – Aliança de talent!

Bloque 1
PELIGROS CLIMÁTICO

Incremento de la **frecuencia** e **intensidad** de **tormentas** asociadas al cambio climático.

Incremento de eventos extremos de **sequía y temperatura** asociados al cambio climático

Escenario de cambio climático

- **SSP 1**
  - *Model 1*
  - *Model 2*
  - *Model 3*
  - *Model 4*
  - *Model 5*
  - *Model 6*
  - *Model 7*
  - *Model 8*
  - *Model 9*
  - *Model 10*
- **SSP 2**
- **SSP 3**
- **SSP 5**

Bloque 2
MODELO FISICO

Modelo Acoplado Hidrológico - Hidrogeológico

Inputs:
Variables Climáticas
- Precipitación
- Temperatura

Outputs:
Variables Hidrológicas
- Nivel Embalses
- Caudal del Río
- Nivel Acuífero

Estados Hidrológicos:
Normalidad
Pré-Alerta
Alerta
Excepcionalidad
Emergencia

Bloque 3
PROBABILIDADES DE LOS PELIGROS HIDROLÓGICOS

Modelo Probabilísticos Bayesianos

- Turbidez
- NH_4^+ Amonio
- Inundación
- TOC
- Sequía
- Conductividad
- Temperatura
- Clorofila

Simulaciones de Monte Carlo

Incorporación de análisis de incertidumbre

Bloque 4
REGLAS OPERATIVAS Y CONSECUENCIAS

Reglas Operativas

Simulación de activación de reglas operativas
- Operación Normal
- Parada de Captación del Río
- Aumento Ratio Acuífero / Río
- Aumento de Reactivos

Consecuencias

Cálculo de los impactos operativos
- Generación By-products
- Aumento de OPEX
- Bombeo del Acuífero
- Déficit de Suministro

Bloque 5
RIESGO

- **Sanitario**
  Frecuencia anual de incumplimiento sanitario
- **Económico Directo**
  OPEX adicional anual esperado
- **Suministro**
  Déficit annual esperado
- **Recurso Estratégico**
  Frecuencia anual de estrés del acuífero

B-1 → B-2 → B-3 → B-4 → B-5

Medidas adaptativas

B-1 → B-2 → B-3 → B-4 → B-5* → B-6*

¿Y si…?



Medidas Adaptativas

- Incremento de balsas de Infiltración
- Incremento de pozos de recarga
- Tratamiento más robusto



RIESGOS

- Sanitario
- Económico Directo
- Suministro
- Recurso Estratégico

RIESGOS MITIGADOS *

- Sanitario
- Económico Directo
- Suministro
- Recurso Estratégico

Cálculo de la eficiencia de las medidas adaptativas

Cálculo del coste de cada medida y análisis de coste-eficiencia

Gracias!



marta.ganzer@aiguesdebarcelona.cat

Aigües de Barcelona

La gestió responsable

