



Seminario sobre la aplicación de técnicas de Machine Learning para la gestión de los recursos hídricos

Gestión de embalses combinando datos y criterio experto usando lógica difusa

Manuel Pulido Velázquez, Héctor Macián Sorribes

mapuve@hma.upv.es; hecmasor@upv.es

Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA), Universitat Politècnica de València (UPV)



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

4 de junio de 2020

Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente

IIAMA, UPV

- Desde **2001**, > 140 investigadores, centro interdisciplinar de investigación en **recursos hídricos**
 - Ing. Civil, Montes/Forestal, Agrónomos, Industriales, etc
 - Biología, Química, Ciencias Ambientales, etc
 - Informática, Estadística, Economía, etc.



<http://www.iiama.upv.es>



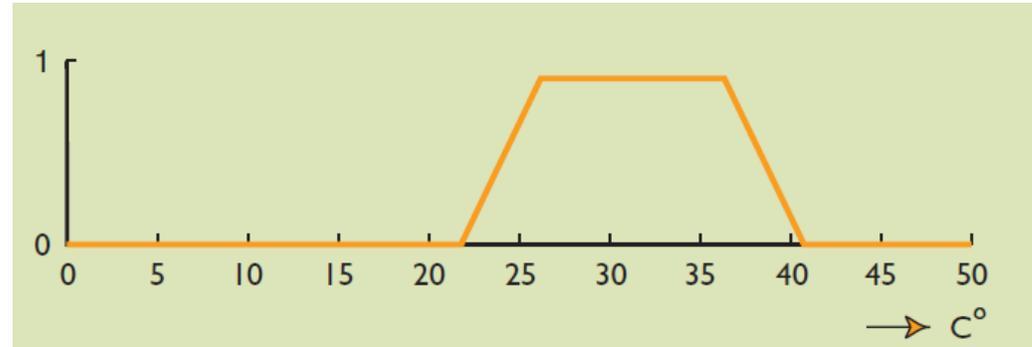
UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

La teoría difusa

La teoría difusa o *lógica difusa* (aka “teoría de los conjuntos difusos”),

- forma de cuantificar y usar conceptos imprecisos uniendo lenguaje y matemáticas

¿Temperatura del agua adecuada para baño?



Función de pertenencia que define rango de T° adecuada

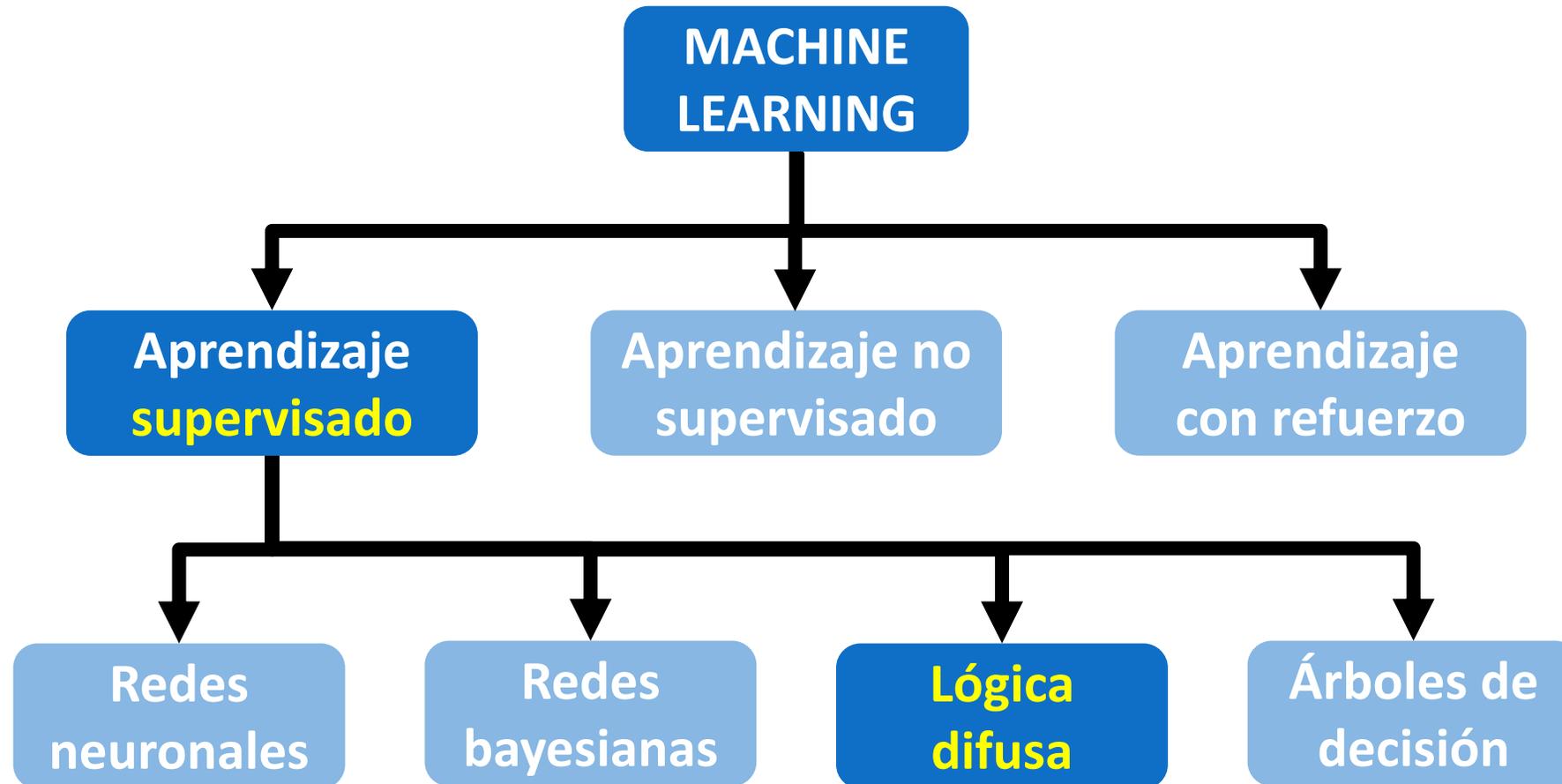


“As complexity rises, precise statements lose meaning and meaningful statements lose precision”
(Lofti Zadeh, 1965)

¿Qué se entiende mejor?



FL dentro de la familia de Machine Learning



Lofti Zadeh, 1965

¿Cuándo se recomienda la **Teoría Difusa**?

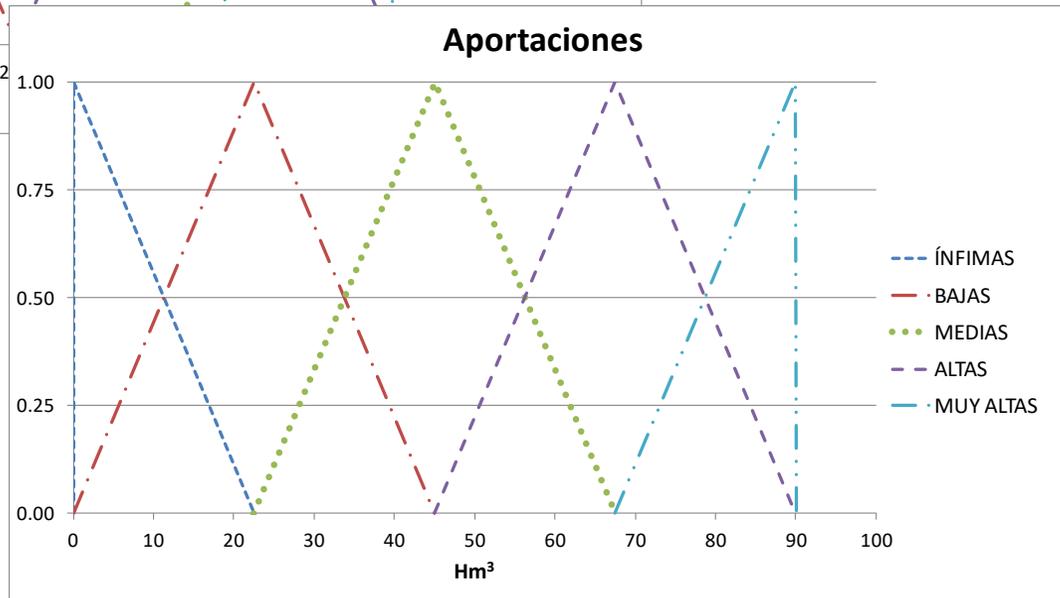
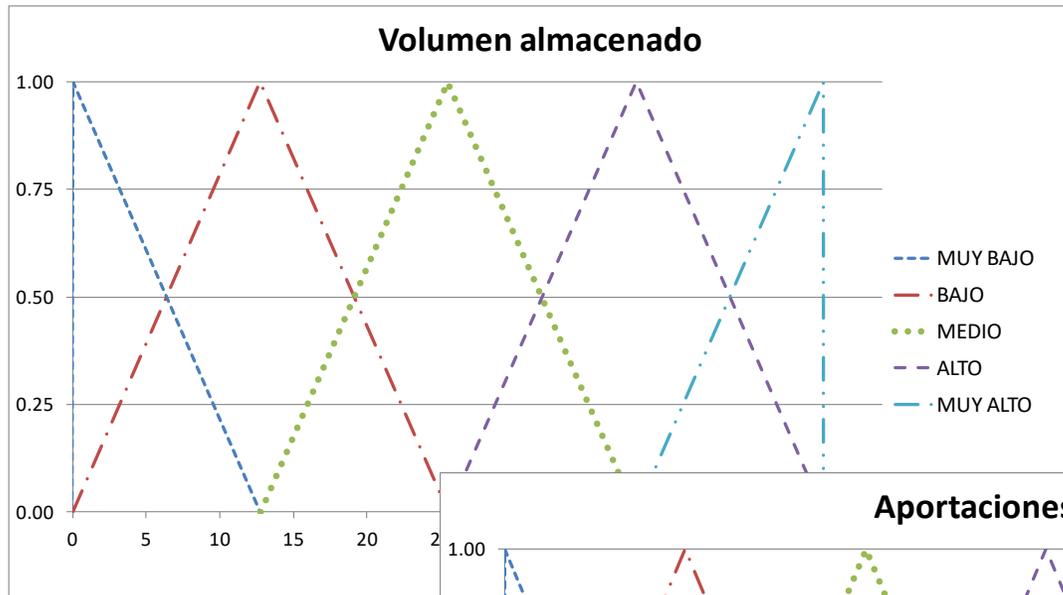
- Cuando **conceptos - límites imprecisos**
- Cuando **no necesitemos precisión**
- Cuando **ALTA INCERTIDUMBRE**, pocos datos, no datos o no nos fiamos ...
- Para combinar **datos con criterios de experto**

VENTAJAS ...

- Conceptualmente **sencilla**
- **Flexible**
- Tolerante con datos **imprecisos** (desde la incertidumbre, no contra ella)
- Permite modelizar funciones **no lineales complejas**
- Puede aprovechar la experiencia de **expertos**
- **Compatible** con técnicas de control lógico convencionales
- Cercanía al **pensamiento humano** (lenguaje coloquial)

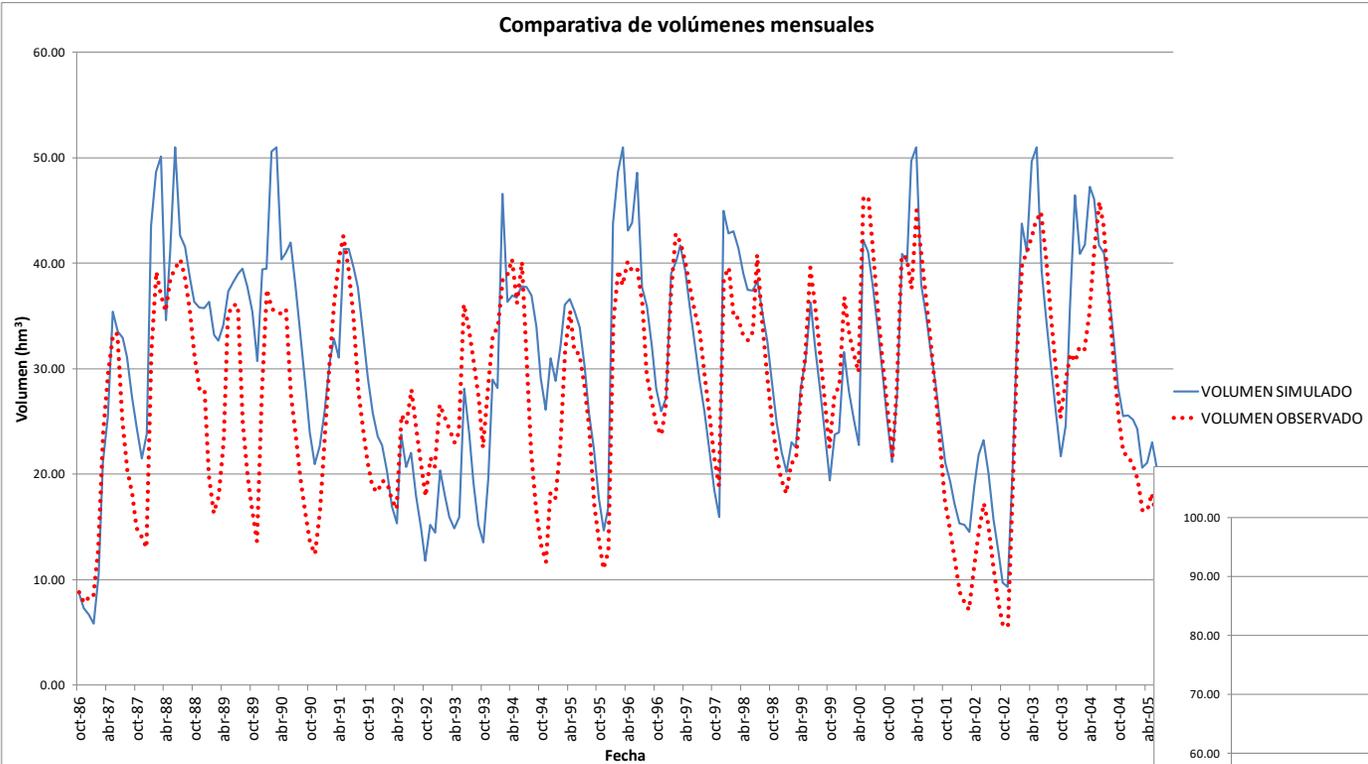
La lógica difusa

REGLA LÓGICA (*fuzzy rule*): “Si x es A e y es B , entonces z es C ”; A , B y C , números difusos asociados a descripción lingüística (*alto, bajo, etc.*)



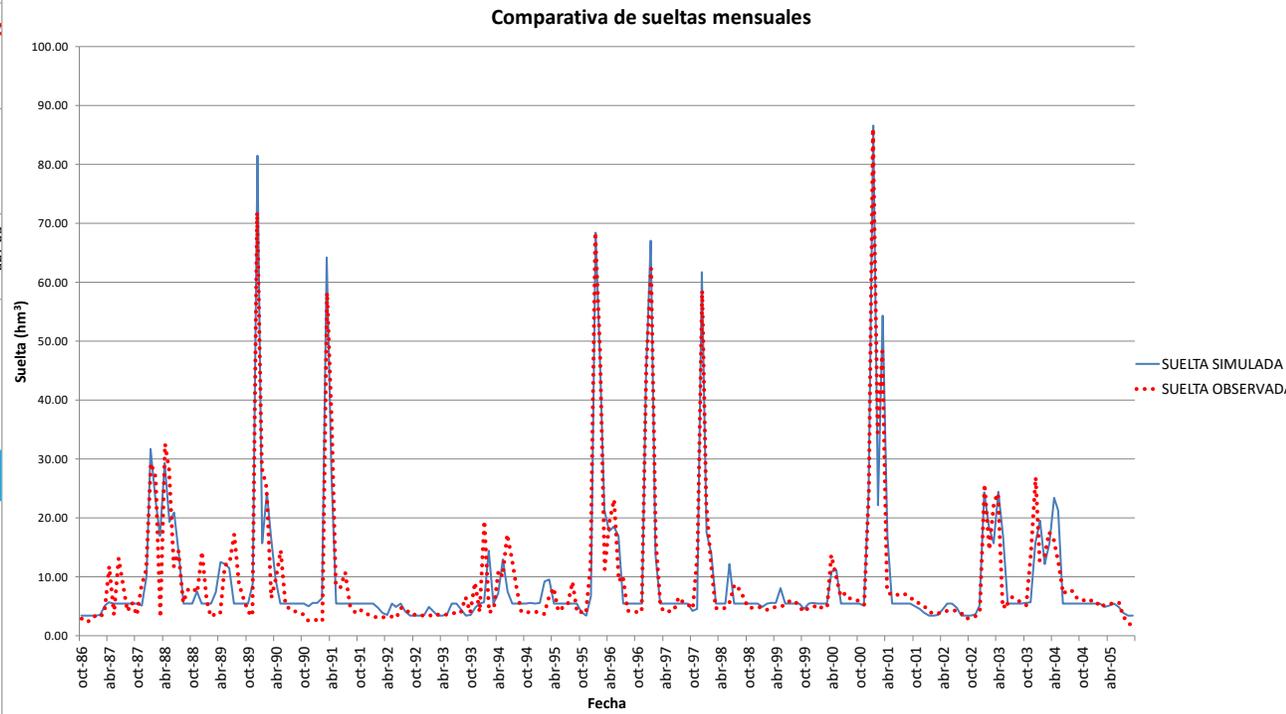
NÚMERO DE REGLA	VOLUMEN ALMACENADO	APORTACIONES
1	MUY BAJO	ÍNFIMAS
2	MUY BAJO	BAJAS
3	MUY BAJO	MEDIAS
4	MUY BAJO	ALTAS
5	MUY BAJO	MUY ALTAS
6	BAJO	ÍNFIMAS
7	BAJO	BAJAS
8	BAJO	MEDIAS
9	BAJO	ALTAS
10	BAJO	MUY ALTAS
11	MEDIO	ÍNFIMAS
12	MEDIO	BAJAS
13	MEDIO	MEDIAS
14	MEDIO	ALTAS
15	MEDIO	MUY ALTAS
16	ALTO	ÍNFIMAS
17	ALTO	BAJAS
18	ALTO	MEDIAS
19	ALTO	ALTAS
20	ALTO	MUY ALTAS
21	MUY ALTO	ÍNFIMAS
22	MUY ALTO	BAJAS
23	MUY ALTO	MEDIAS
24	MUY ALTO	ALTAS
25	MUY ALTO	MUY ALTAS

Ejemplo 1: sistema lógico difuso de 25 reglas para operación del embalse de Beleña (río Sorbe, afluente del Henares)



Correlación volúmenes	0.80
R ² volúmenes	0.64
Error medio volúmenes	7.03
Nash volúmenes	0.51

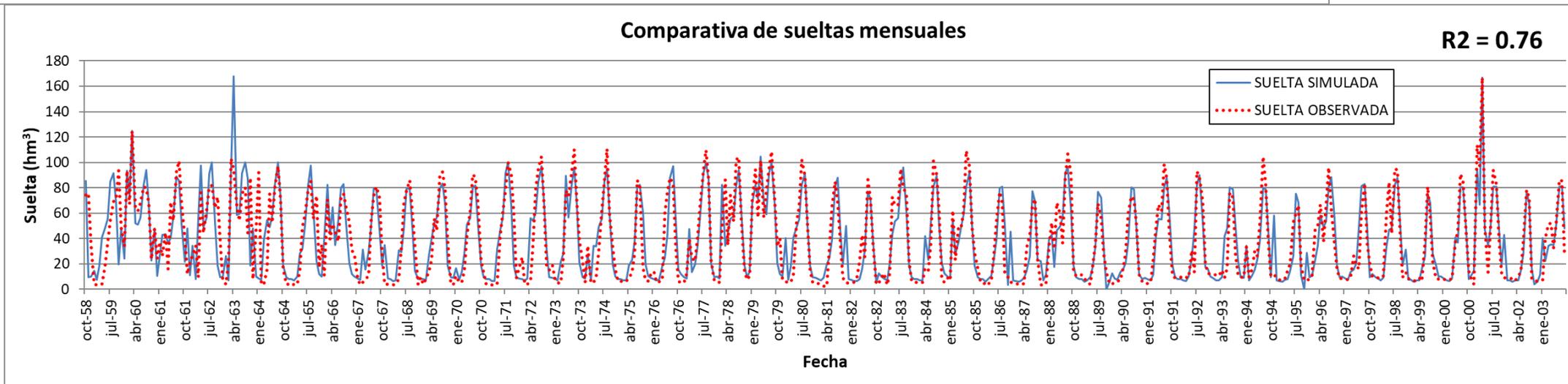
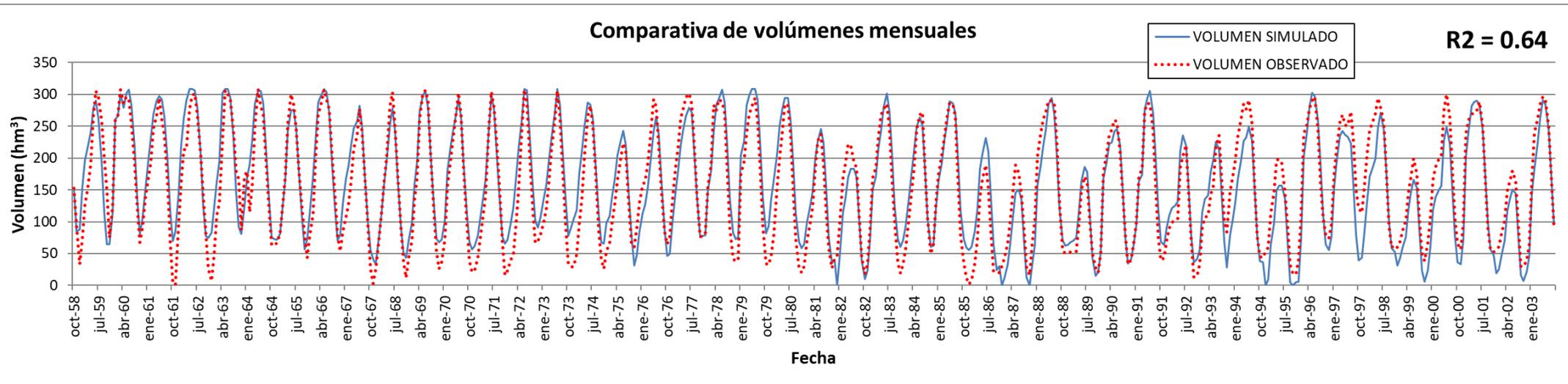
Sueltas



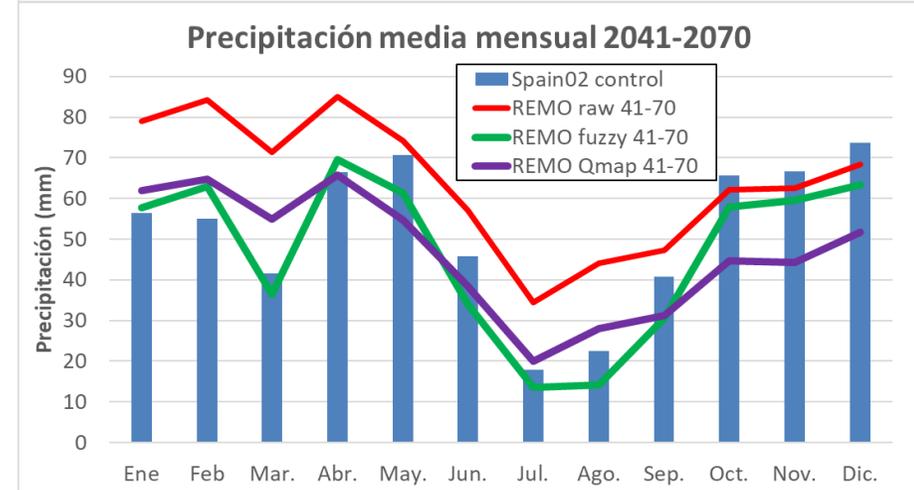
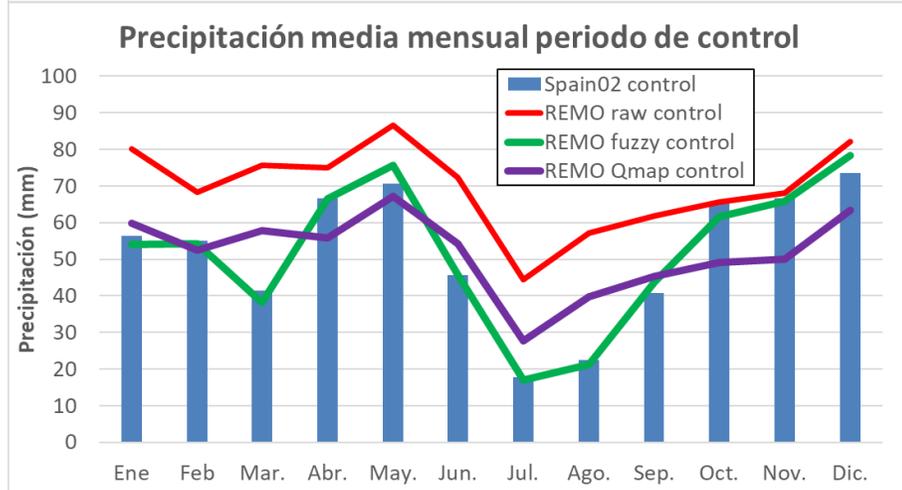
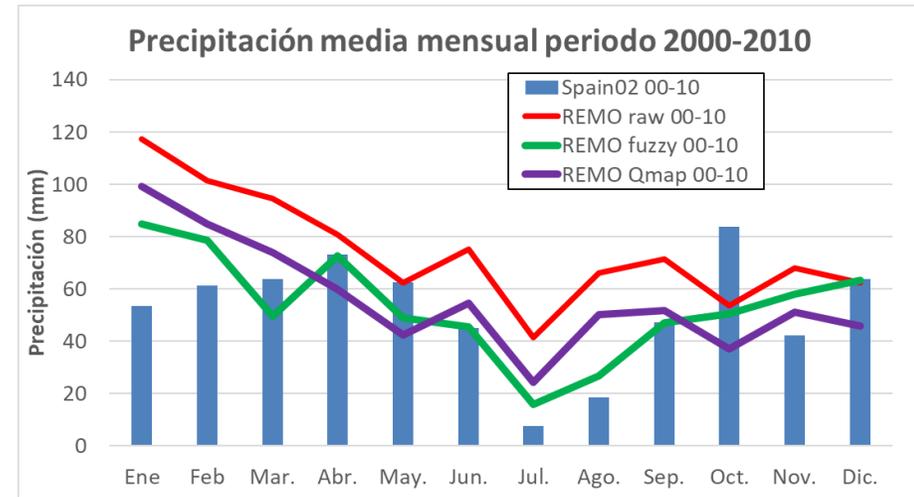
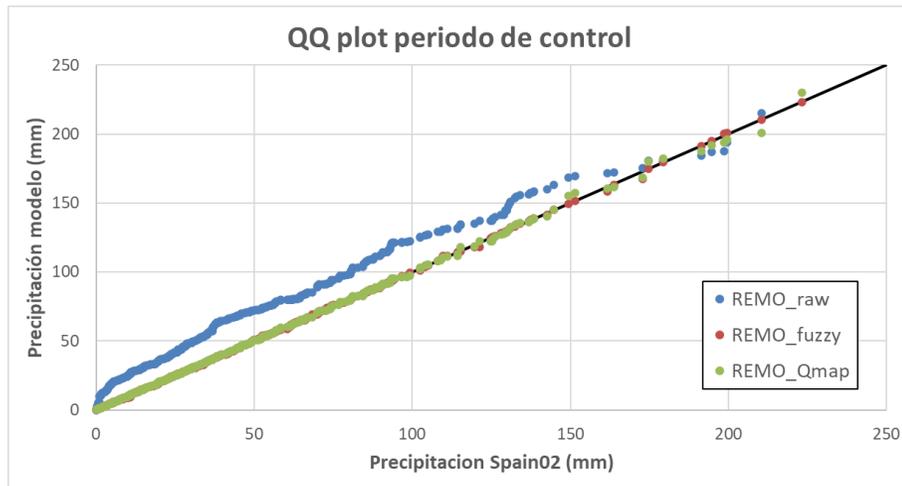
“AUDITORÍA DE GESTIÓN”

Correlación sueltas	0.95
R ² sueltas	0.90
Error medio sueltas	3.96
Nash sueltas	0.90

Ejemplo 2: sistema lógico difuso de 300 reglas (25 por mes) para operación del embalse de Barrios de Luna (río Órbigo, afluente del Esla, cuenca del Duero)



Ejemplo 3: sistema lógico difuso de Sugeno de orden 1 de 84 reglas (7 por mes) para corrección del sesgo en escenarios de cambio climático



Características

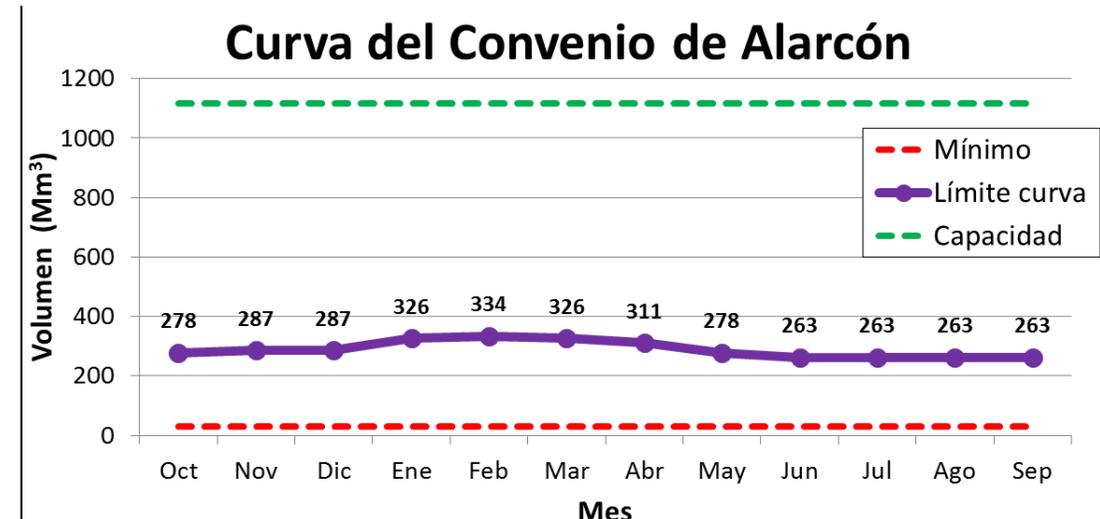
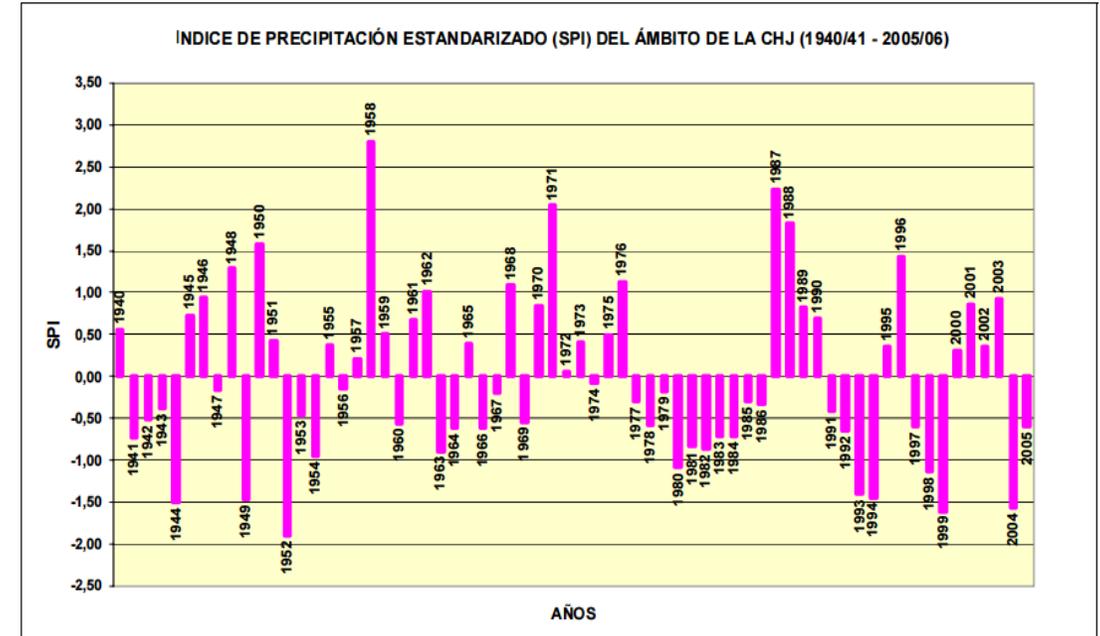
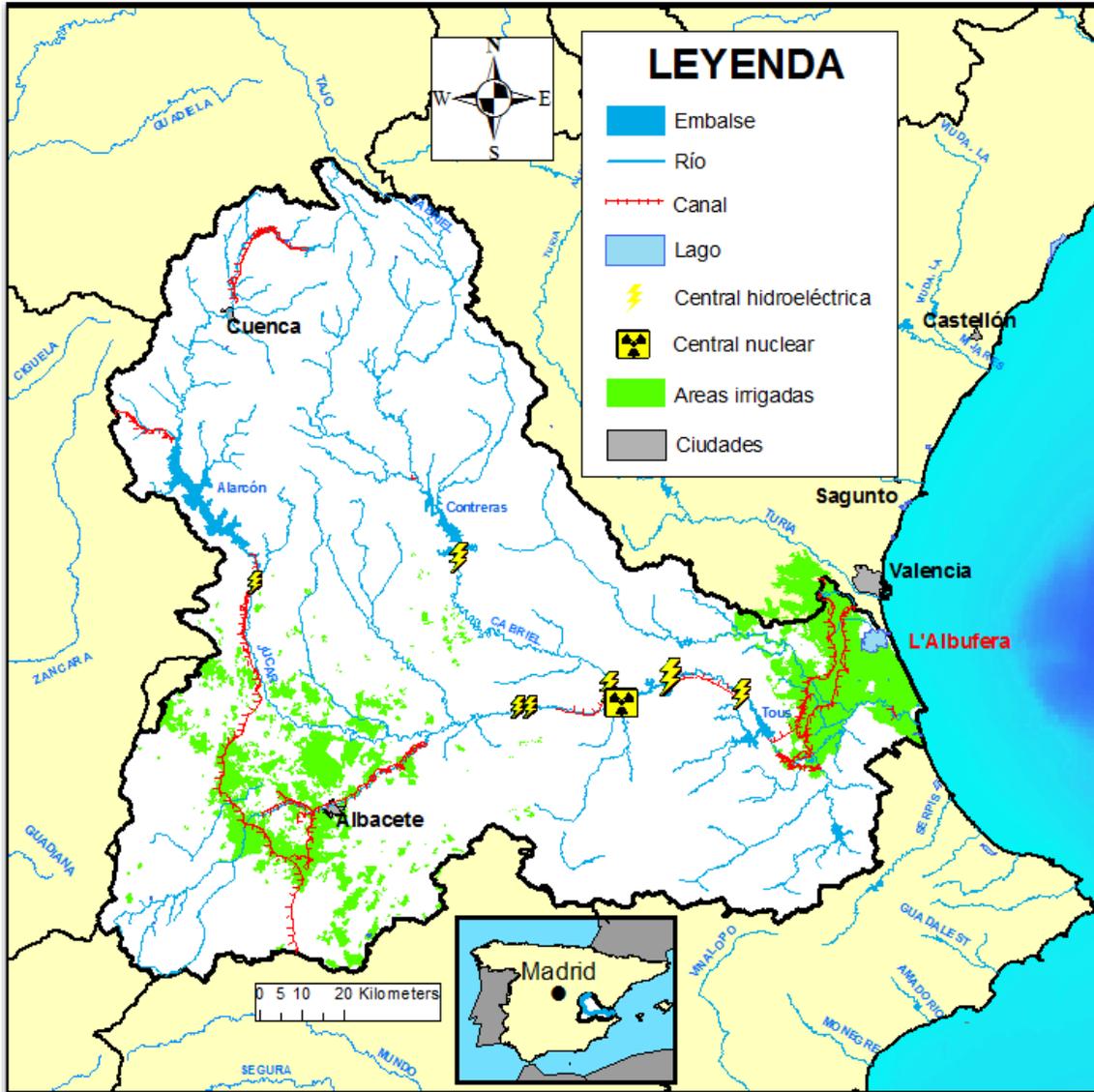
Los sistemas de recursos hídricos multiembalse son complejos de gestionar por:

1. Múltiples variables de entrada y de decisión
2. Restricciones diversas
3. Múltiples objetivos
4. Incertidumbre y riesgo

Es necesario llegar a un compromiso entre objetivos, respetando las restricciones/acuerdos/tradiciones y en un entorno de incertidumbre

Río Júcar

CASO DE ESTUDIO



¿Cómo se opera estacionalmente el Júcar?

Temporada de riego (Mayo – Septiembre)

Oficina de Explotación CHJ



Comisión de desembalse Júcar



¿Cómo se opera estacionalmente el Júcar?

Temporada de riego (Mayo – Septiembre)

Oficina de Explotación CHJ



Comisión de desembalse Júcar



¿Cómo se opera estacionalmente el Júcar?

Temporada de riego (Mayo – Septiembre)

Oficina de Explotación CHJ



Comisión de desembalse Júcar



¿Cómo se opera estacionalmente el Júcar?

Temporada de riego (Mayo – Septiembre)

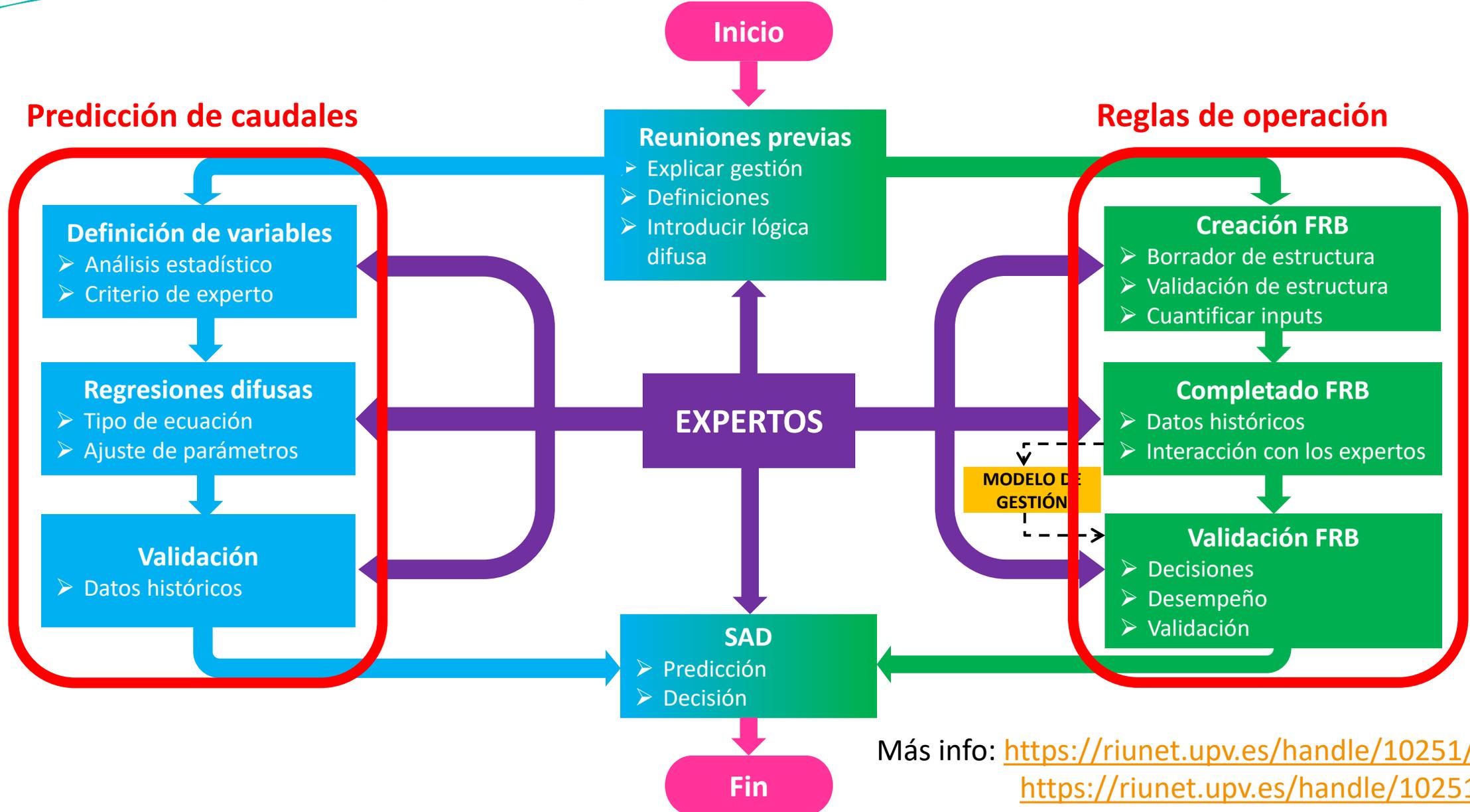
Oficina de Explotación CHJ



Comisión de desembalse Júcar



Creación de un SAD para la explotación del Júcar



Inicio

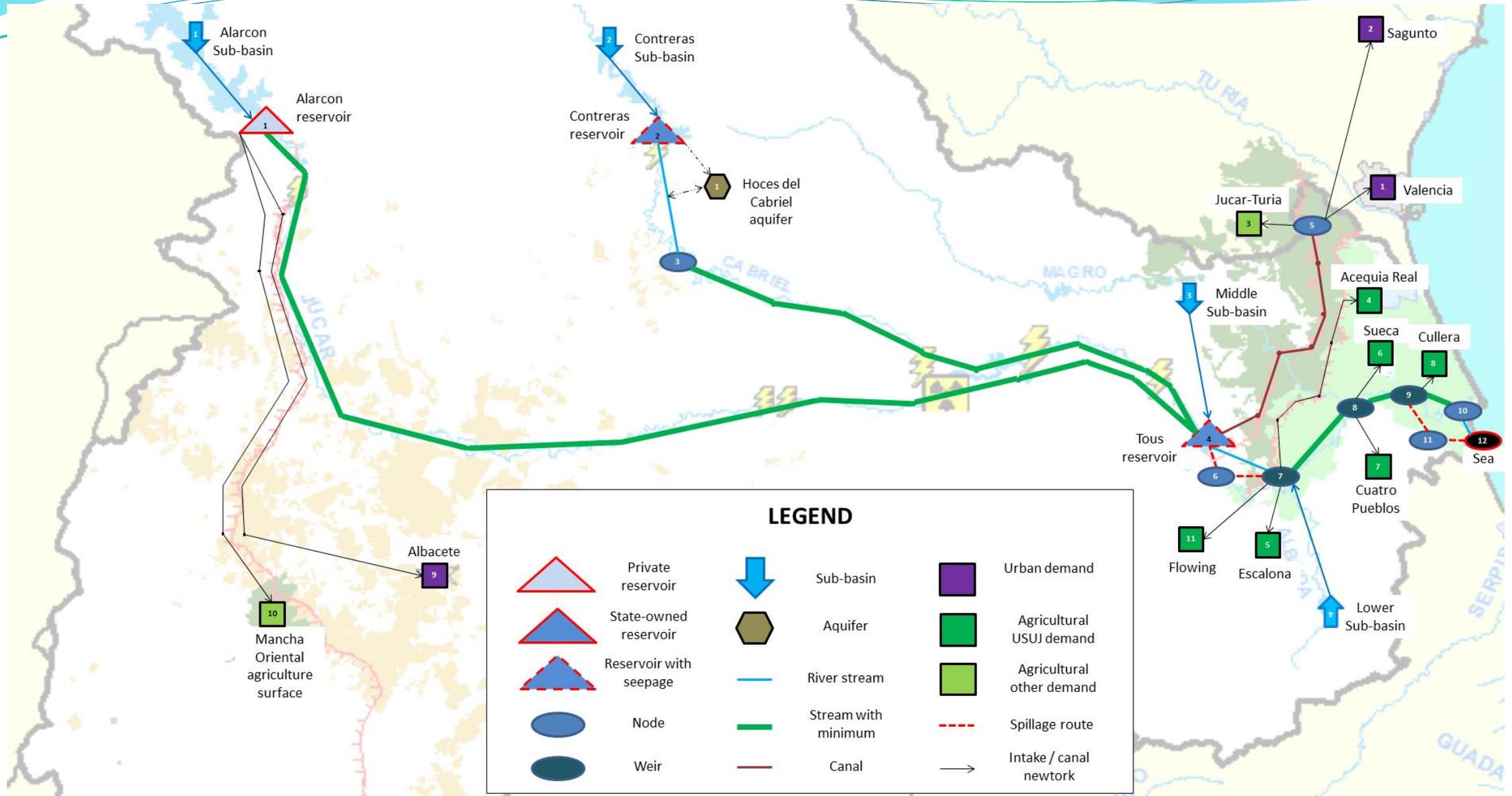


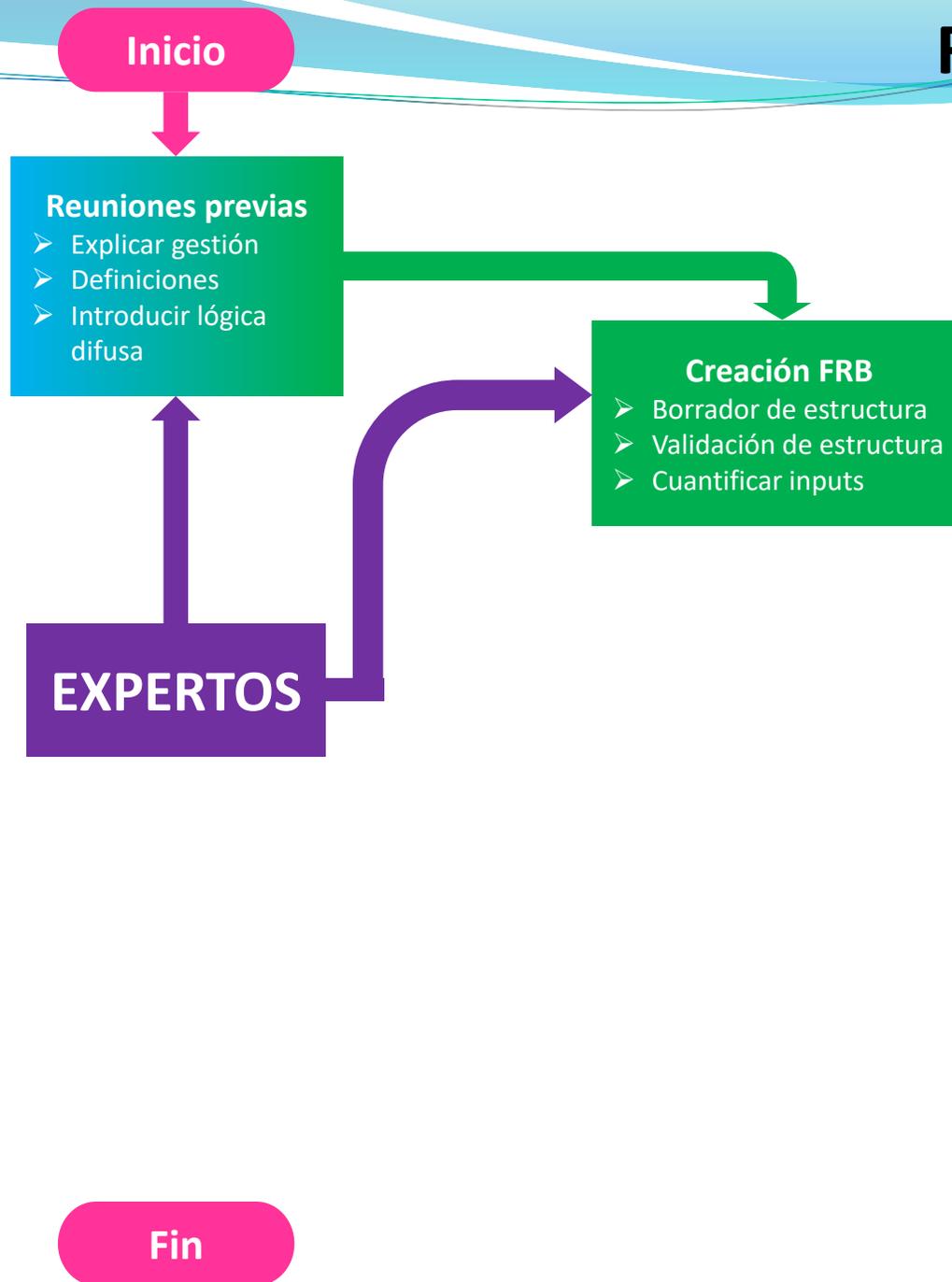
Reuniones previas

- Explicar gestión
- Definiciones
- Introducir lógica difusa

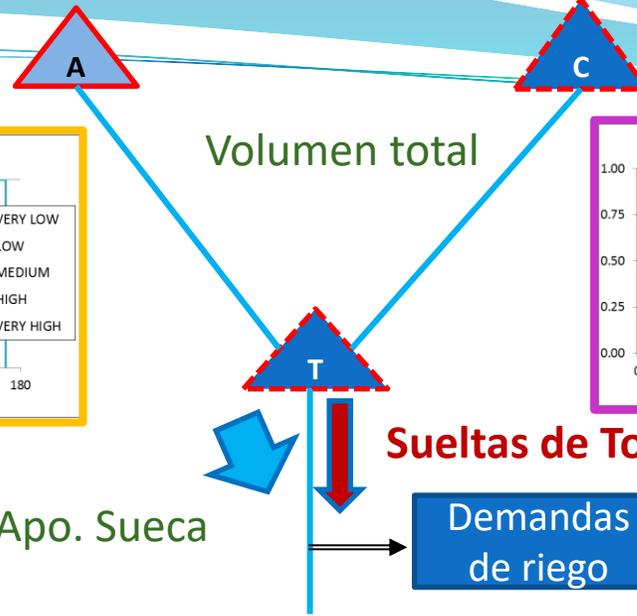
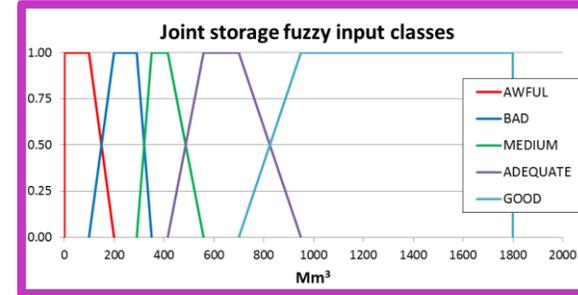
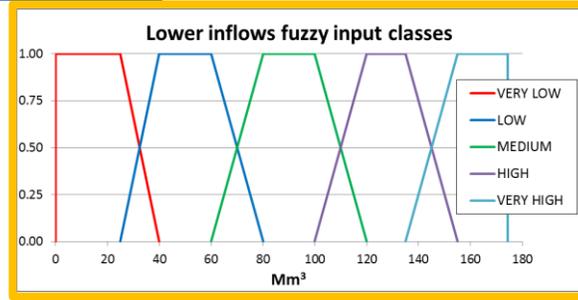
Fin

RESULTADOS

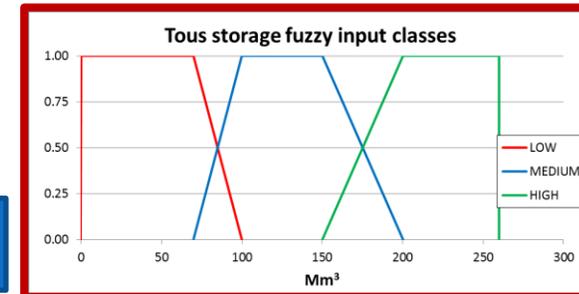
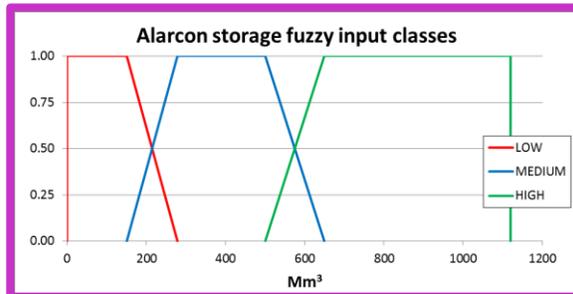
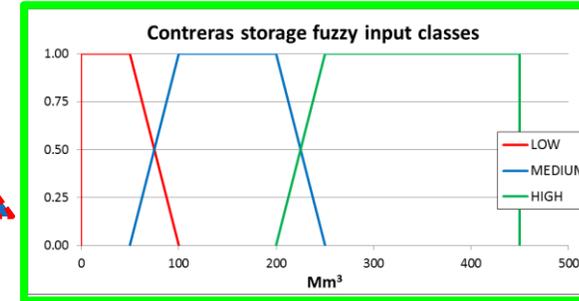
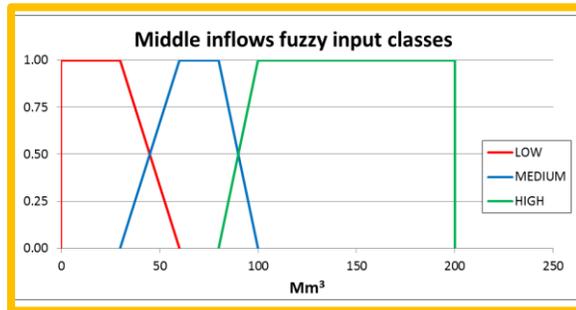


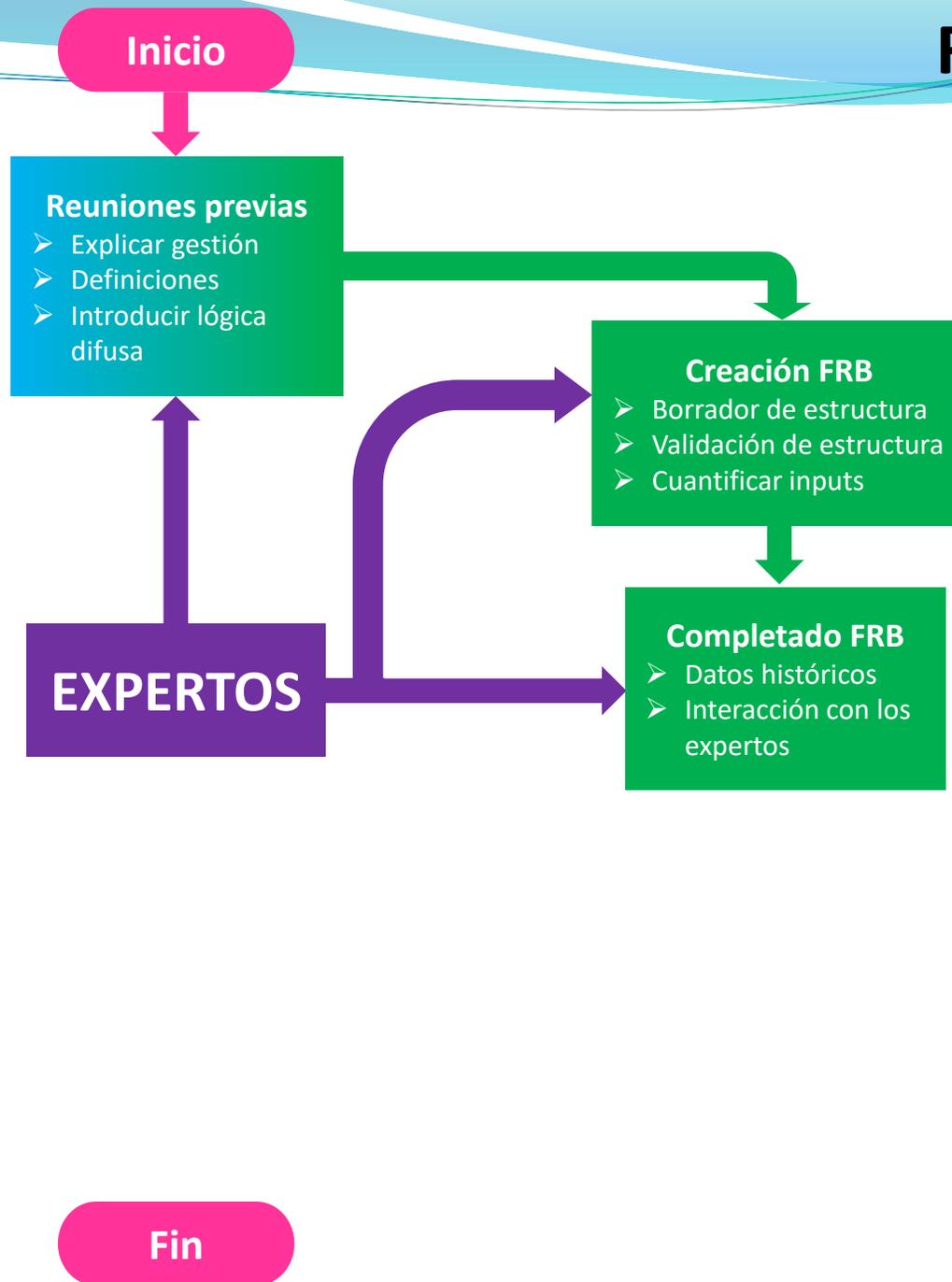


FRB suministro



FRB sueltas





Inicio

Reuniones previas

- Explicar gestión
- Definiciones
- Introducir lógica

Fuentes de datos

- Registros históricos (años 2003 – 2013)
 - ❑ Volúmenes almacenados y sueltas embalses
 - ❑ Caudales circulantes
 - ❑ Suministros a demandas
- Criterio de experto (“¿qué haríais si...?”)

n FRB

estructura
e estructura
nputs

ado FRB

tóricos
ón con los

Fin

VOLUMEN ALARCÓN	VOLUMEN CONTRERAS	VOLUMEN TOUS	APORTACIÓN INTERMEDIA
700	70	200	50

REGLAS
61
62
70
71

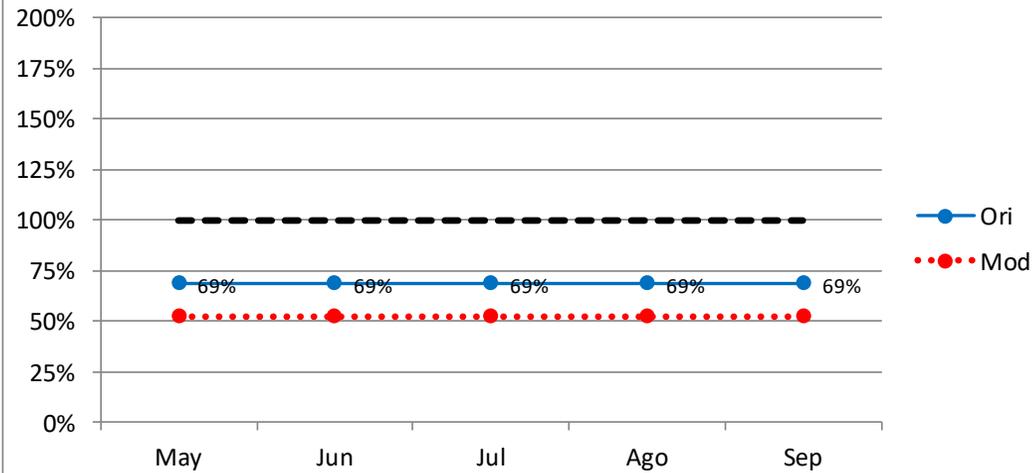
	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Alarcón	52%	52%	52%	52%	52%
Contreras	0%	0%	0%	0%	0%

GUARDA DECISIÓN

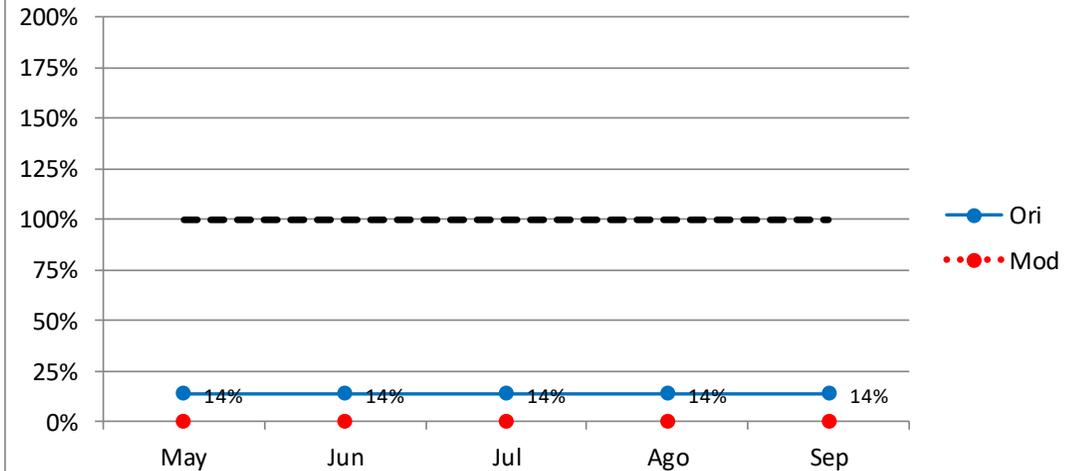
BORRA ULTIMA DECISIÓN

NÚMERO DE PUNTOS 57
 NÚMERO DE REGLAS TESTEADAS 81

Sueltas de Alarcón según la regla seleccionada



Sueltas de Contreras según la regla seleccionada

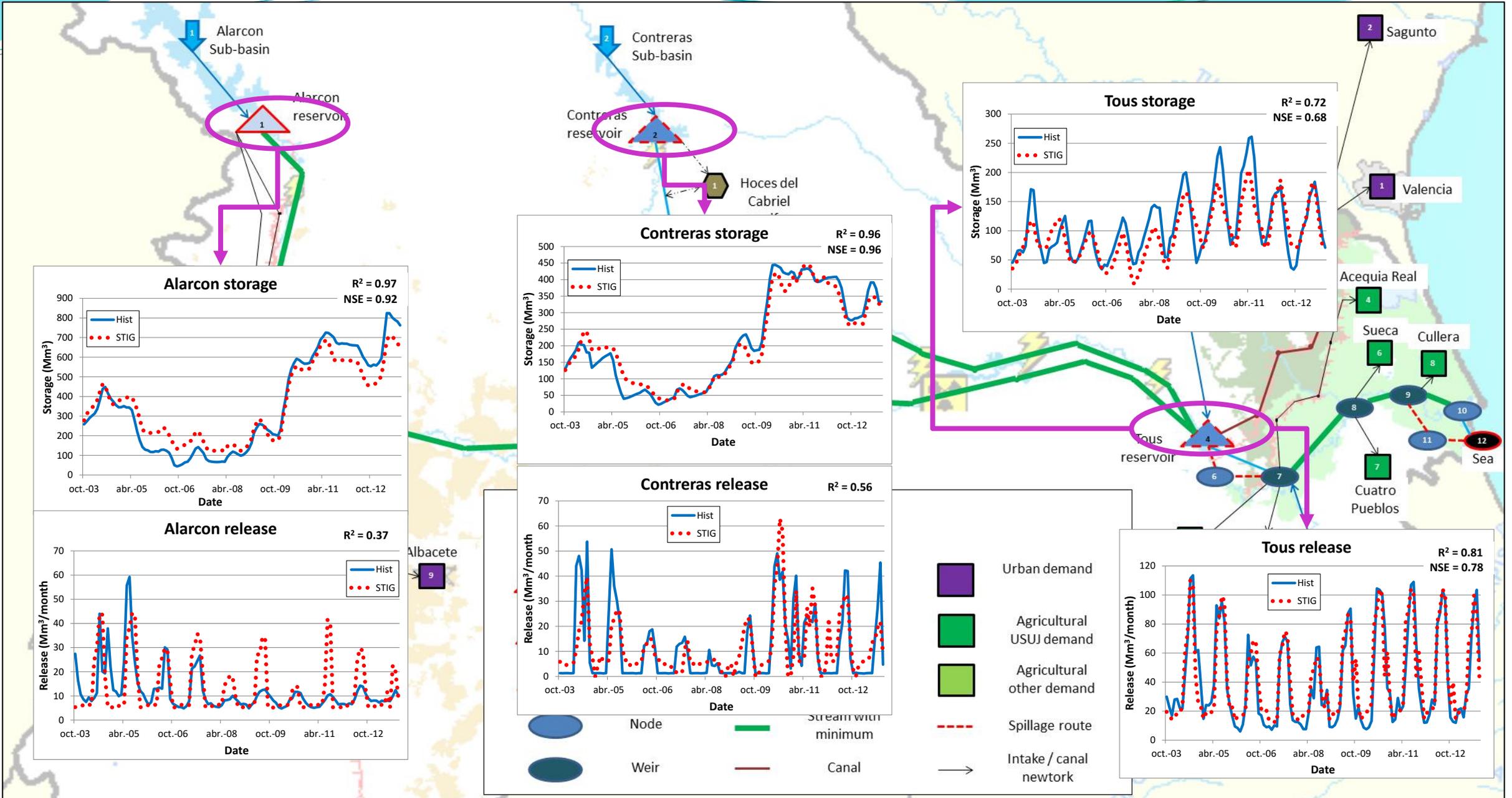


Inicio

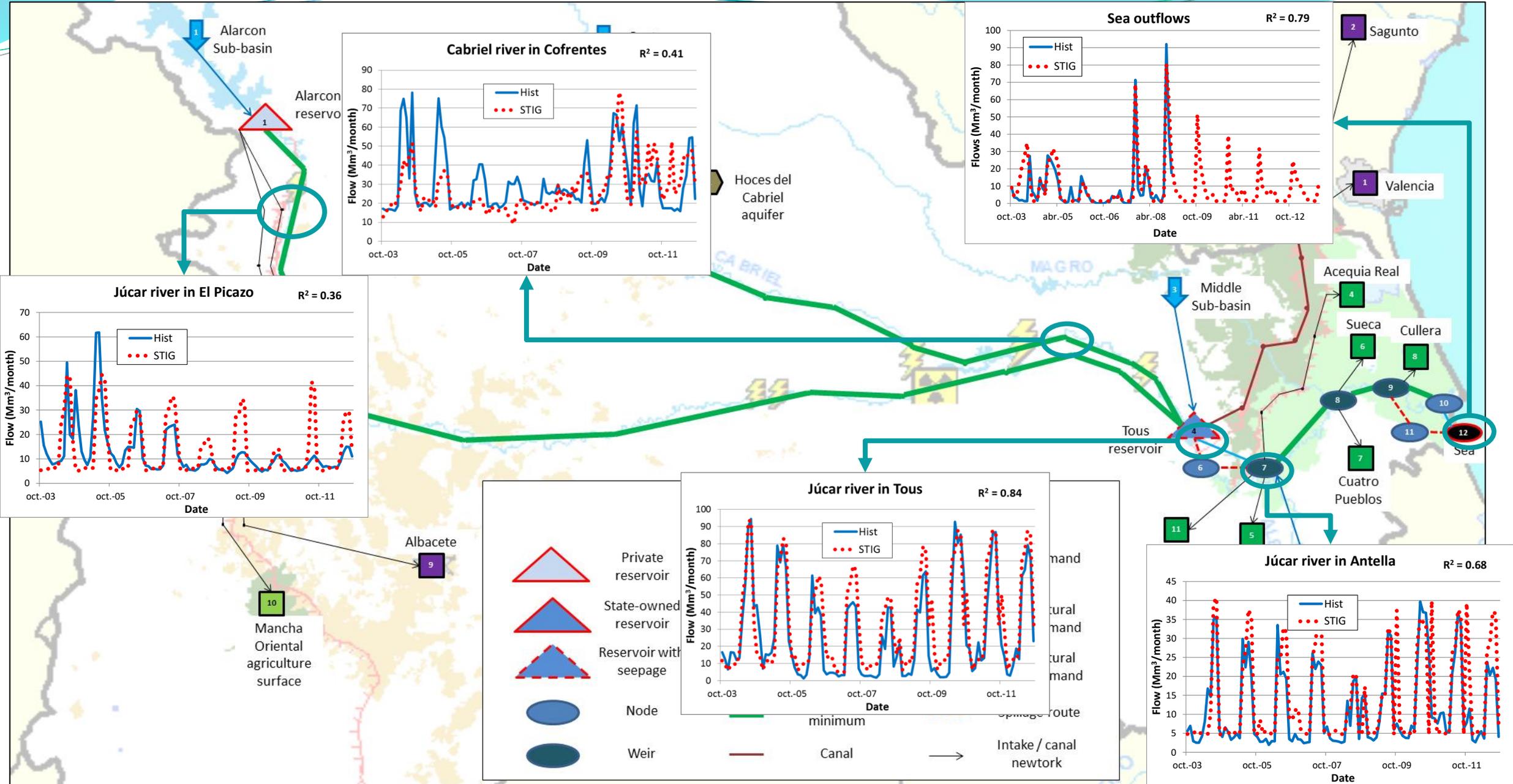


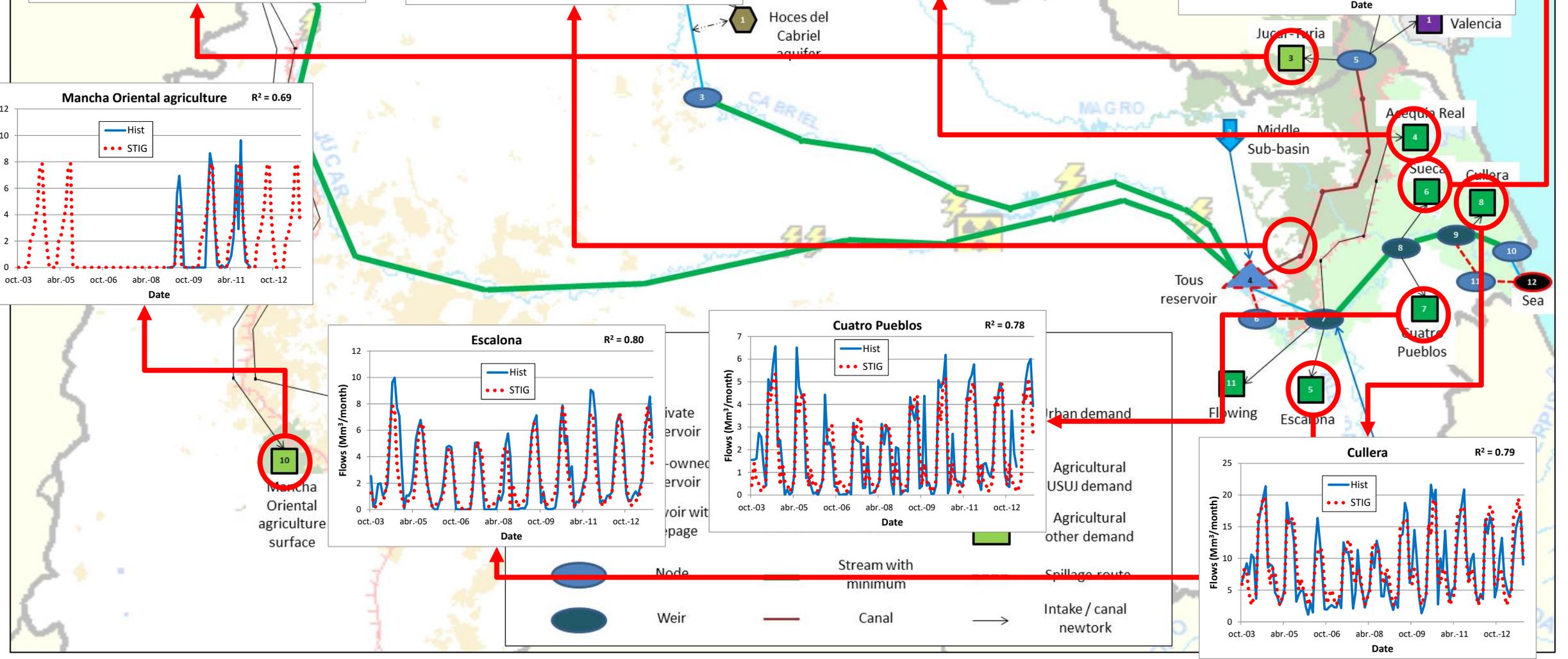
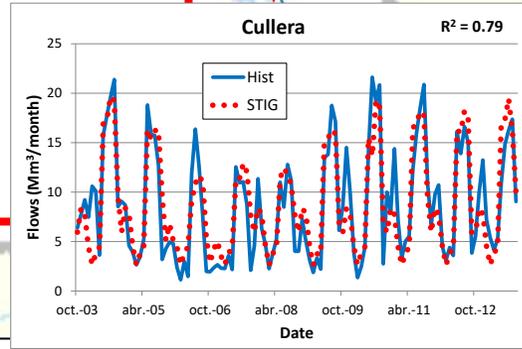
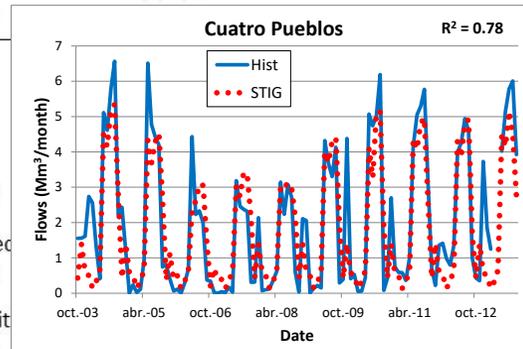
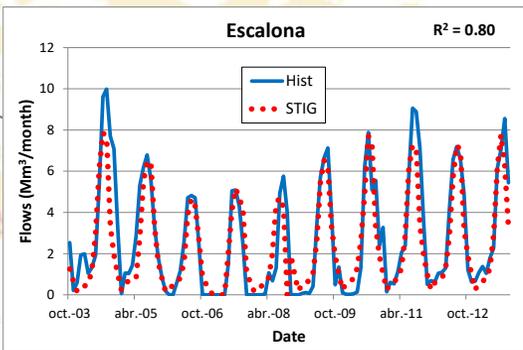
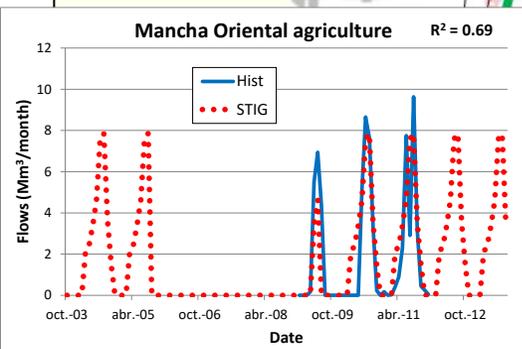
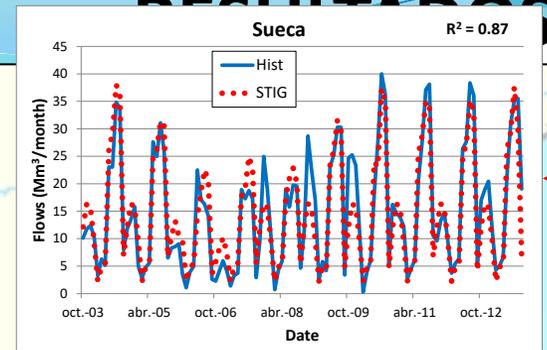
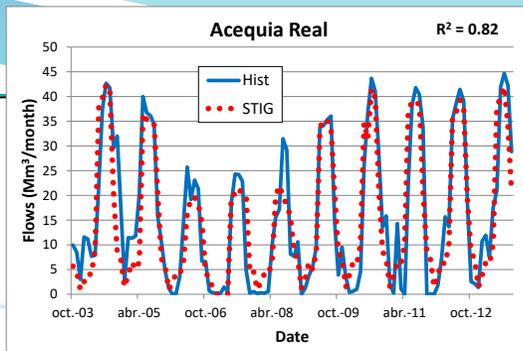
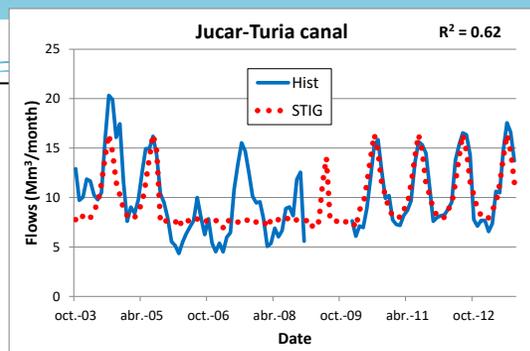
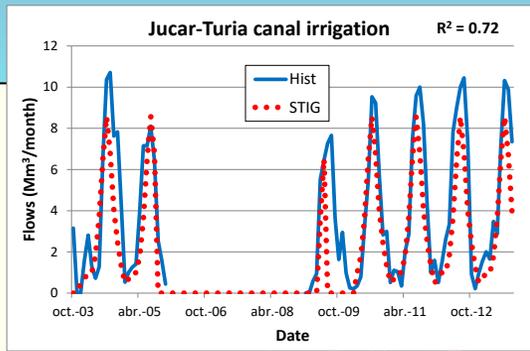
Fin

RESULTADOS



RESULTADOS





10
Mancha Oriental agriculture surface

Private reservoir
Owned reservoir
Reservoir with page

Urban demand
Agricultural USUJ demand
Agricultural other demand

Spillage route

Intake/canal network

Node

Weir

Stream with minimum

Canal

→ Intake/canal network

Flowing

Escalona

Cuatro Pueblos

Tous reservoir

Middle Sub-basin

Acequia Real

Sueca

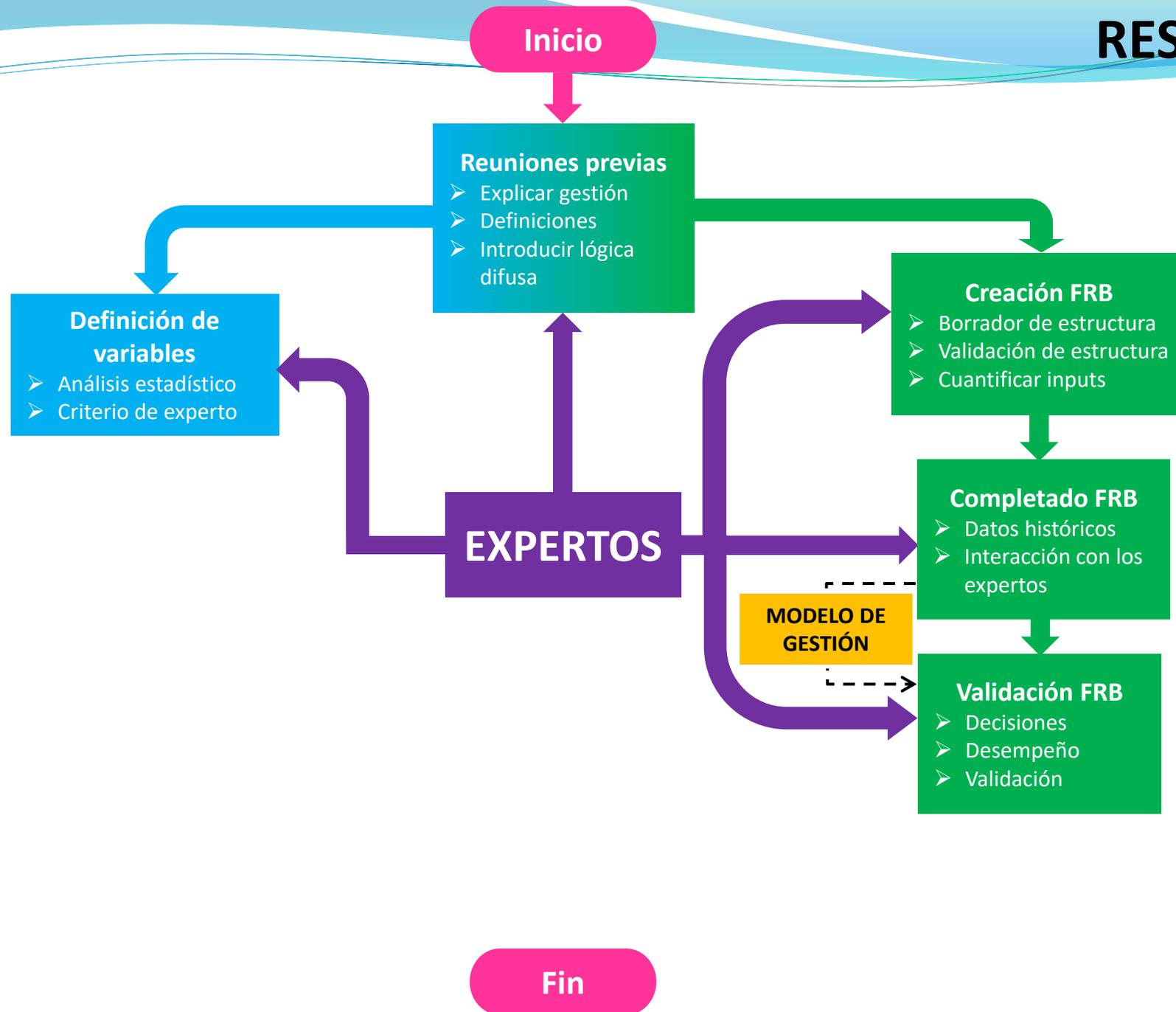
Cullera

Sea

Hoces del Cabriel aguifer

Jucar-Turia

Valencia

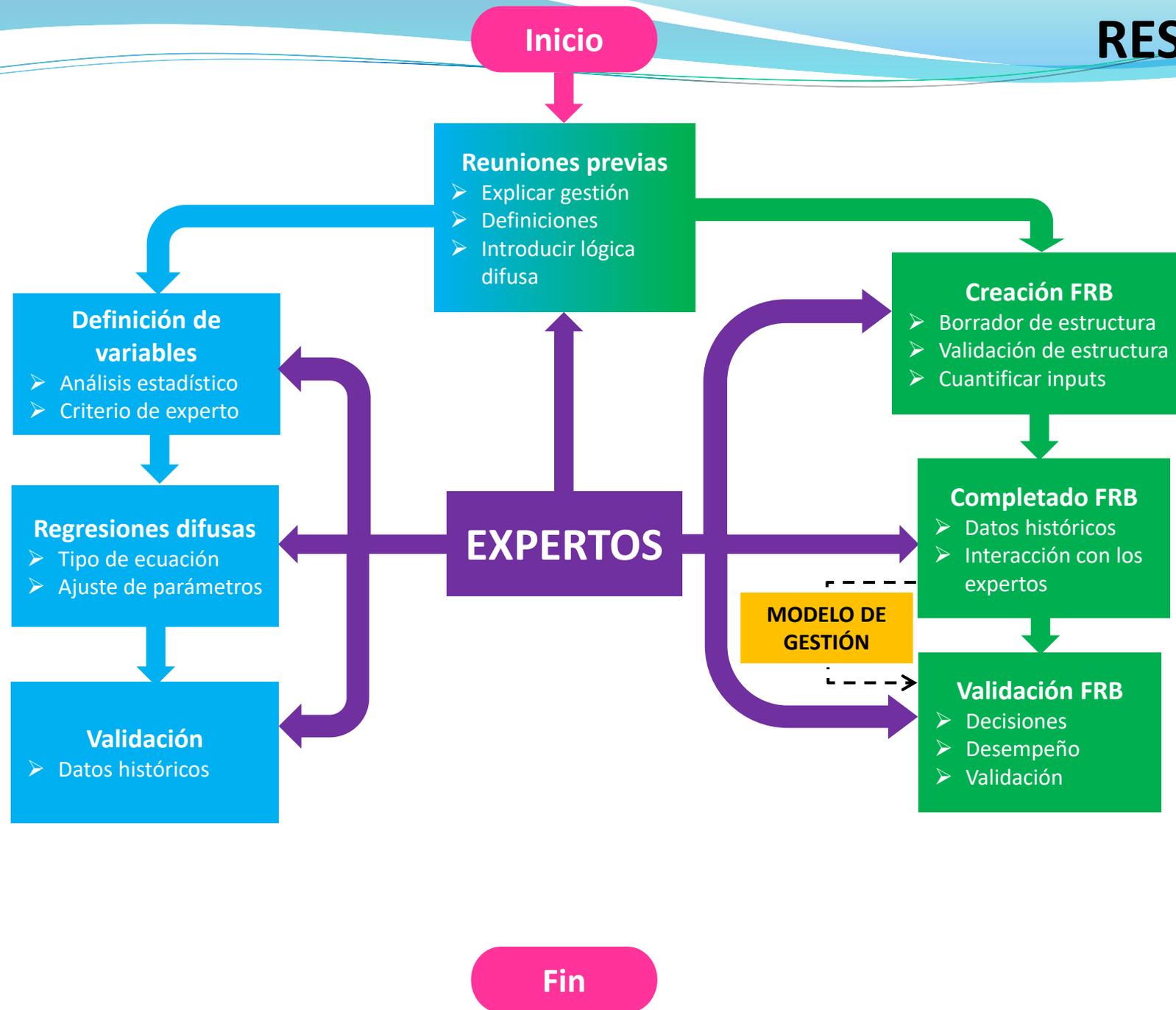


Análisis de correlaciones

CORRELACIÓN		APORTACIONES EN RIEGO				CORRELACIÓN		APORTACIONES EN RIEGO				CORRELACIÓN		APORTACIONES EN RIEGO			
		Alarcón	Contreras	Media	Baja			Alarcón	Contreras	Media	Baja			Alarcón	Contreras	Media	Baja
LLUVIA DE ESE AÑO EN RIEGO	Alarcón	0.42	0.31	-0.18	-0.13	LLUVIA DE ESE AÑO FUERA DE RIEGO	Alarcón	0.68	0.68	0.48	0.31	LLUVIA 12 MESES ANTERIORES	Alarcón	0.68	0.58	0.46	0.40
	Contreras	0.30	0.31	-0.03	-0.08		Contreras	0.82	0.85	0.37	0.31		Contreras	0.77	0.70	0.48	0.48
	Media	0.48	0.44	0.07	0.35		Media	0.57	0.54	0.60	0.38		Media	0.35	0.27	0.49	0.37
	Baja	0.30	0.26	0.20	0.35		Baja	0.45	0.35	0.64	0.53		Baja	0.36	0.31	0.46	0.48
CORRELACIÓN		APORTACIONES EN RIEGO				CORRELACIÓN		APORTACIONES EN RIEGO				CORRELACIÓN		APORTACIONES EN RIEGO			
		Alarcón	Contreras	Media	Baja			Alarcón	Contreras	Media	Baja			Alarcón	Contreras	Media	Baja
LLUVIA AÑO ANTERIOR Y EN CURSO	Alarcón	0.72	0.67	0.44	0.56	APORTACIONES FUERA DE RIEGO	Alarcón	0.69	0.78	0.40	0.44	APORTACIONES MES ANTERIOR	Alarcón	0.65	0.53	0.54	0.53
	Contreras	0.71	0.65	0.43	0.62		Contreras	0.68	0.87	0.21	0.30		Contreras	0.87	0.89	0.36	0.44
	Media	0.46	0.52	0.50	0.47		Media	-0.04	0.12	0.80	0.45		Media	0.39	0.35	0.87	0.62
	Baja	0.32	0.50	0.35	0.38		Baja	0.10	0.07	0.04	0.49		Baja	0.47	0.22	-0.18	0.47

Variables explicativas

- Alarcón: Lluvia y aportación entre Octubre y Abril (fuera de riego)
- Contreras: Ídem Alarcón
- Intermedia: Lluvia entre Octubre y Abril y aportación en Abril
- Inferior: Ídem Alarcón más la aportación en Abril

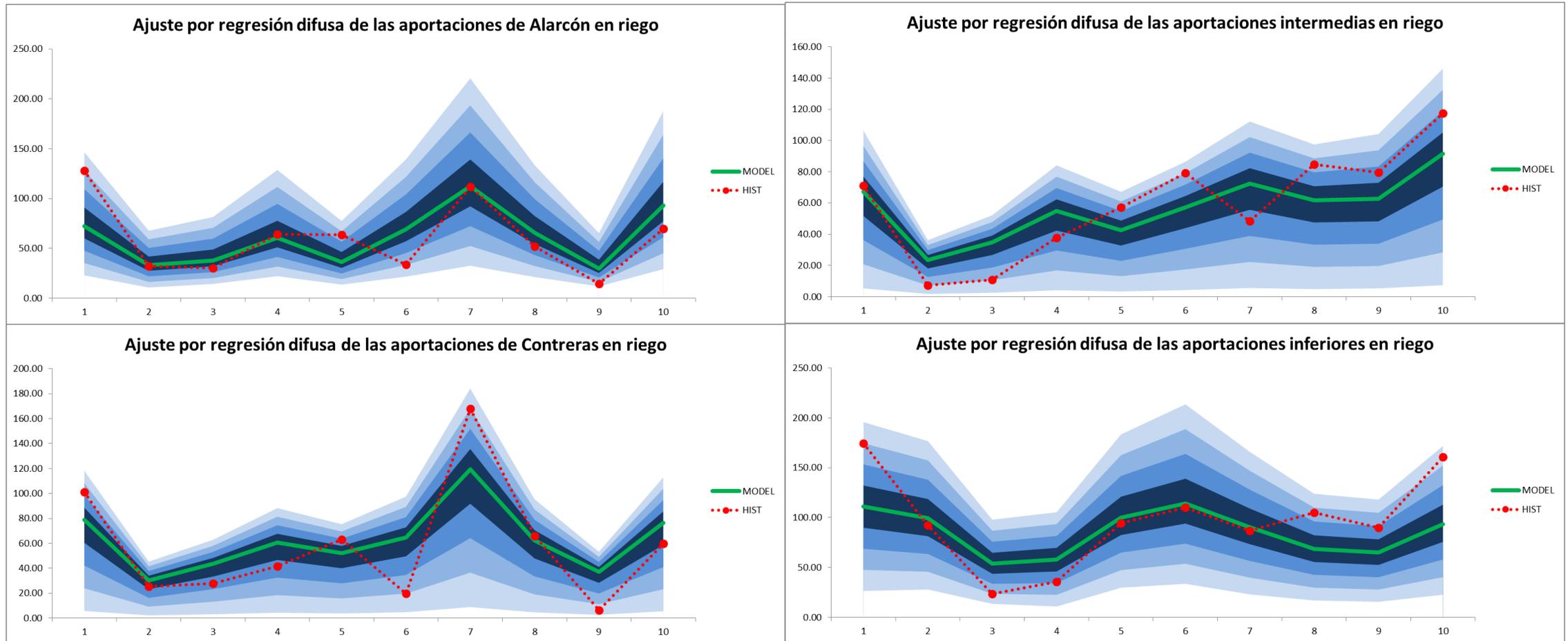


Regresión difusa

- Es una ecuación de regresión pero cuyos parámetros son números difusos
- Recomendada cuando hay pocos datos, cuando la incertidumbre es elevada o cuando queremos ser capaces de medirla (en este caso se cumplen los 3 requisitos)
- Opción utilizada: regresión lineal difusa con números triangulares:
- Ajuste automático
 - Objetivo: minimizar la banda de incertidumbre
 - Restricción: capturar todos los datos históricos dentro de ella

$$\tilde{y} = \sum_i \tilde{c}_i x_i$$

Validación de las regresiones para las aportaciones del Júcar



➤ Alta incertidumbre, pero la mayoría de los datos caen en zonas oscuras

Sistema de Ayuda a la Decisión

Características

- Debe predecir aportaciones, sugerir (no tomar) decisiones de acuerdo a ellas y predecir las consecuencias de esa decisión
- Debe tener en cuenta la incertidumbre en las aportaciones y estimar cómo afecta a las decisiones

Organización

- Herramienta de predicción: predice aportaciones, sugiere un rango de decisiones y hace una primera estimación de las consecuencias
- Herramienta de decisión: estima con más precisión las consecuencias de una decisión

Herramienta de predicción

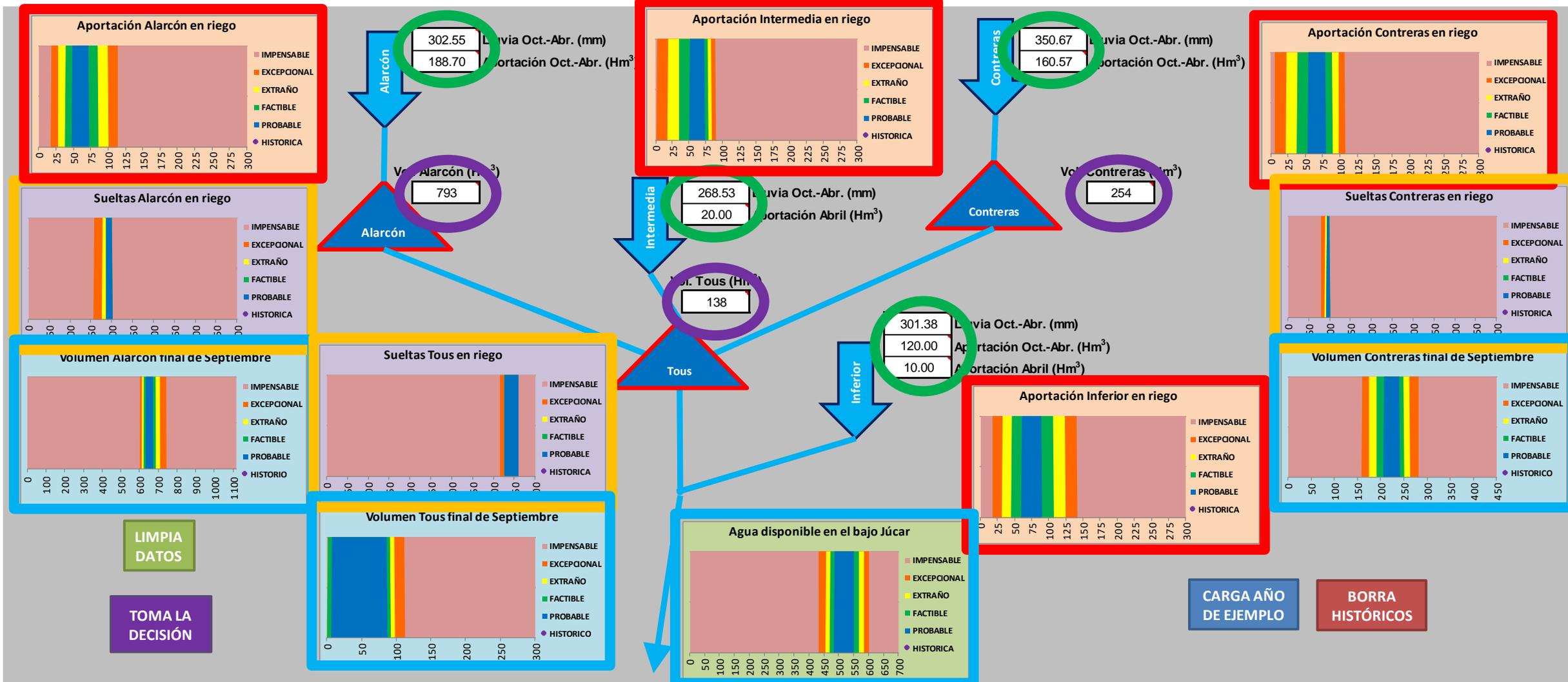
Datos meteo/hidrológicos

Estado del sistema

Aportaciones

Decisiones

Consecuencias



LIMPIA DATOS

TOMA LA DECISIÓN

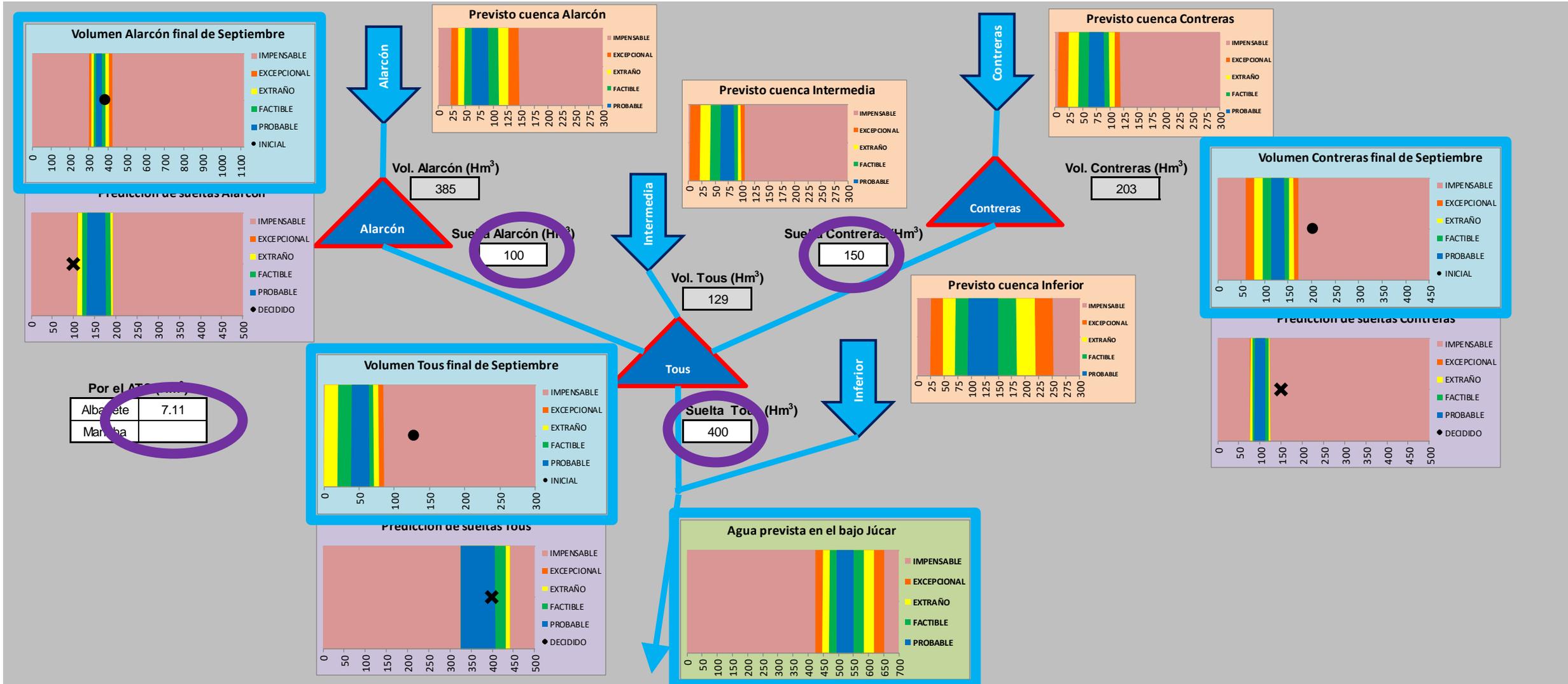
CARGA AÑO DE EJEMPLO

BORRA HISTÓRICOS

Herramienta de decisión

Decisiones

Consecuencias



La herramienta co-desarrollada con los gestores...

- Tiene en cuenta las características y variables que los gestores emplean en la operación estacional del sistema
- La lógica difusa es sencilla de interpretar por ellos y resulta cercana a su forma de pensar y actuar en la toma de decisiones
- No les ofrece una decisión, sino un rango de posibles decisiones y consecuencias asociadas para que ellos negocien
- Ofrece una presentación visual sencilla de manejar y entender



Seminario sobre la aplicación de técnicas de Machine Learning para la gestión de los recursos hídricos

Gestión de embalses combinando datos y criterio experto usando lógica difusa

Manuel Pulido Velázquez, Héctor Macián Sorribes

mapuve@hma.upv.es; hecmasor@upv.es

Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA), Universitat Politècnica de València (UPV)



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

4 de junio de 2020