

# Diseño de maniobras de gestión de presiones en sectores de distribución de agua y análisis de su impacto

David J. Vicente  
*[djvicente@cimne.upc.edu](mailto:djvicente@cimne.upc.edu)*

# Índice

1. Introducción y objetivos
2. Estado del arte
3. Esquema metodológico global
4. Selección de técnica de regulación
5. Diseño de consignas óptimas de regulación
6. Metodología impacto de GP: reducción fugas
7. Herramienta de ayuda a la decisión
8. Conclusiones y trabajo futuro

# Índice

1. Introducción y objetivos
2. Estado del arte
3. Esquema metodológico global
4. Selección de técnica de regulación
5. Diseño de consignas óptimas de regulación
6. Metodología impacto de GP: reducción fugas
7. Herramienta de ayuda a la decisión
8. Conclusiones y trabajo futuro

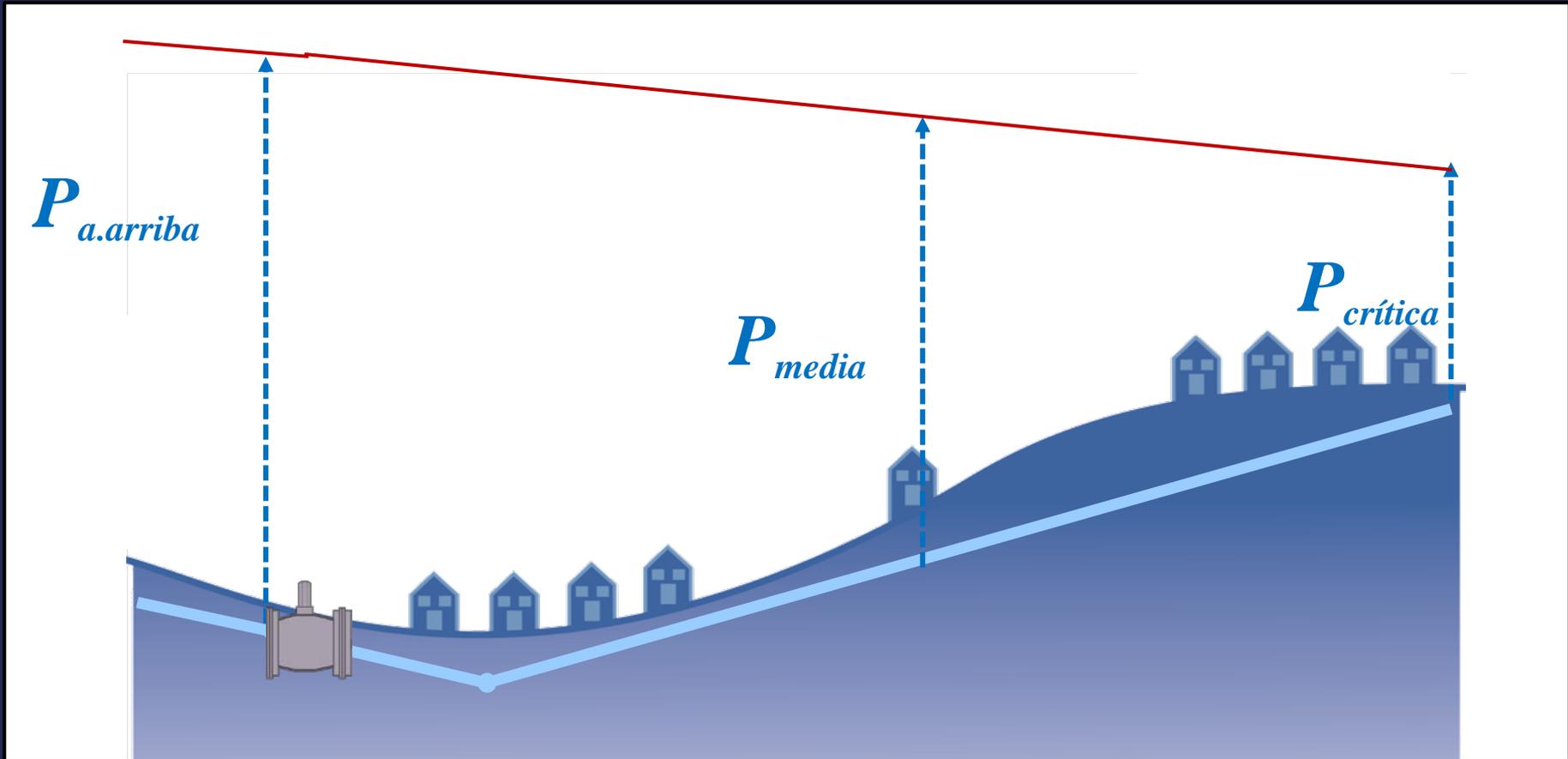
# Gestión de presiones (GP)

- Métodos de GP



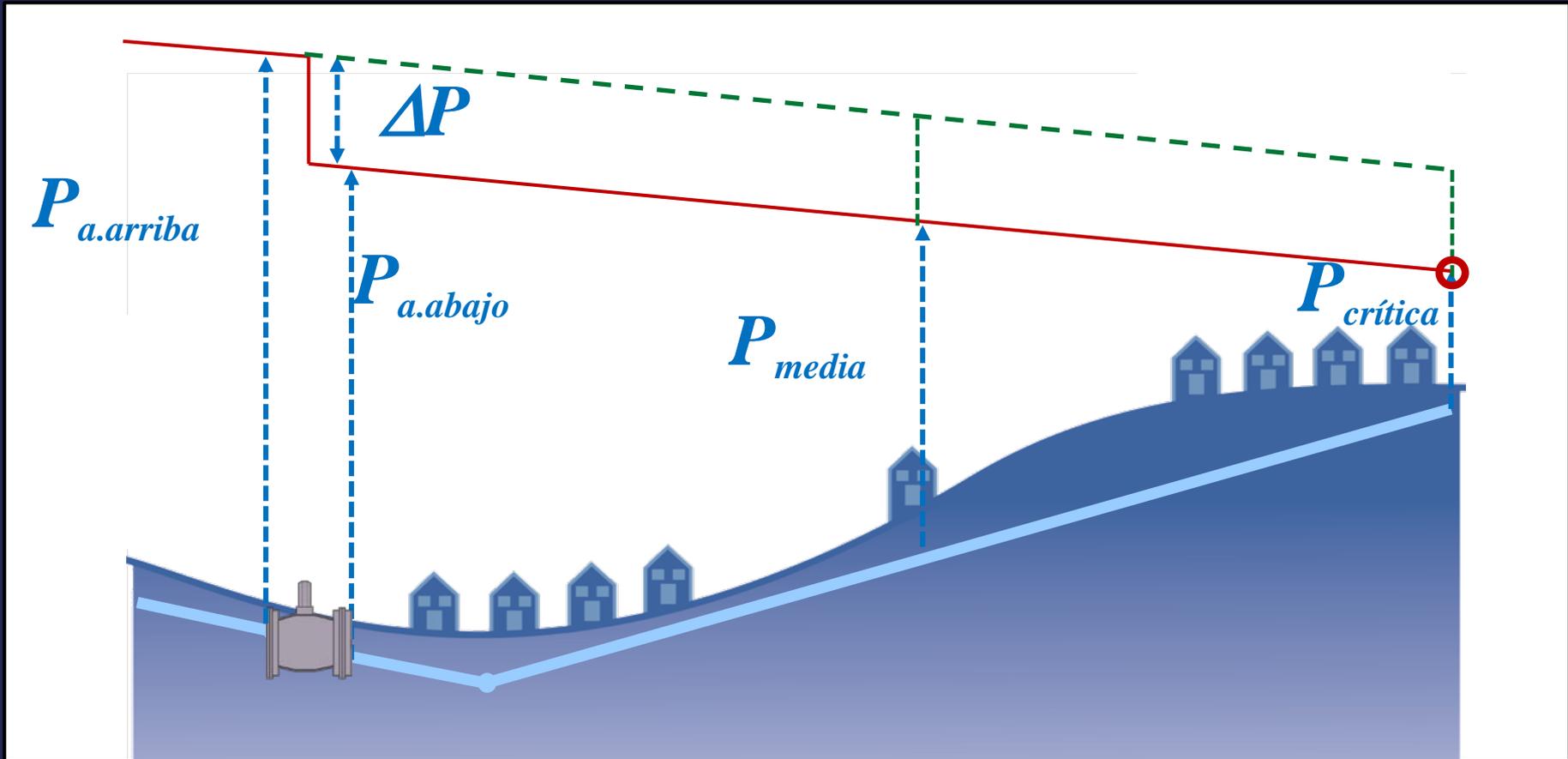
# Gestión de presiones (GP)

- Gestión de presiones



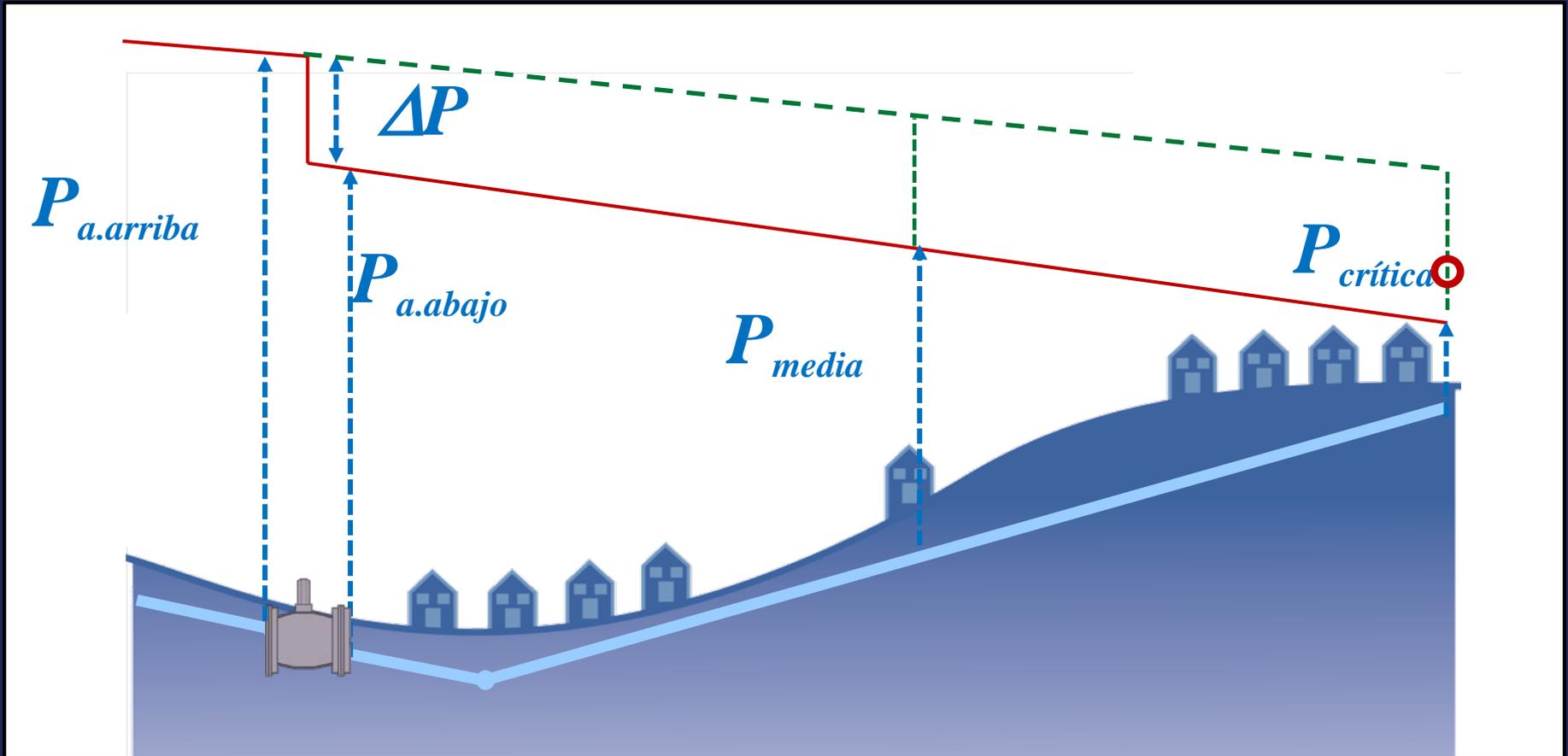
# Gestión de presiones (GP)

- Gestión de presiones



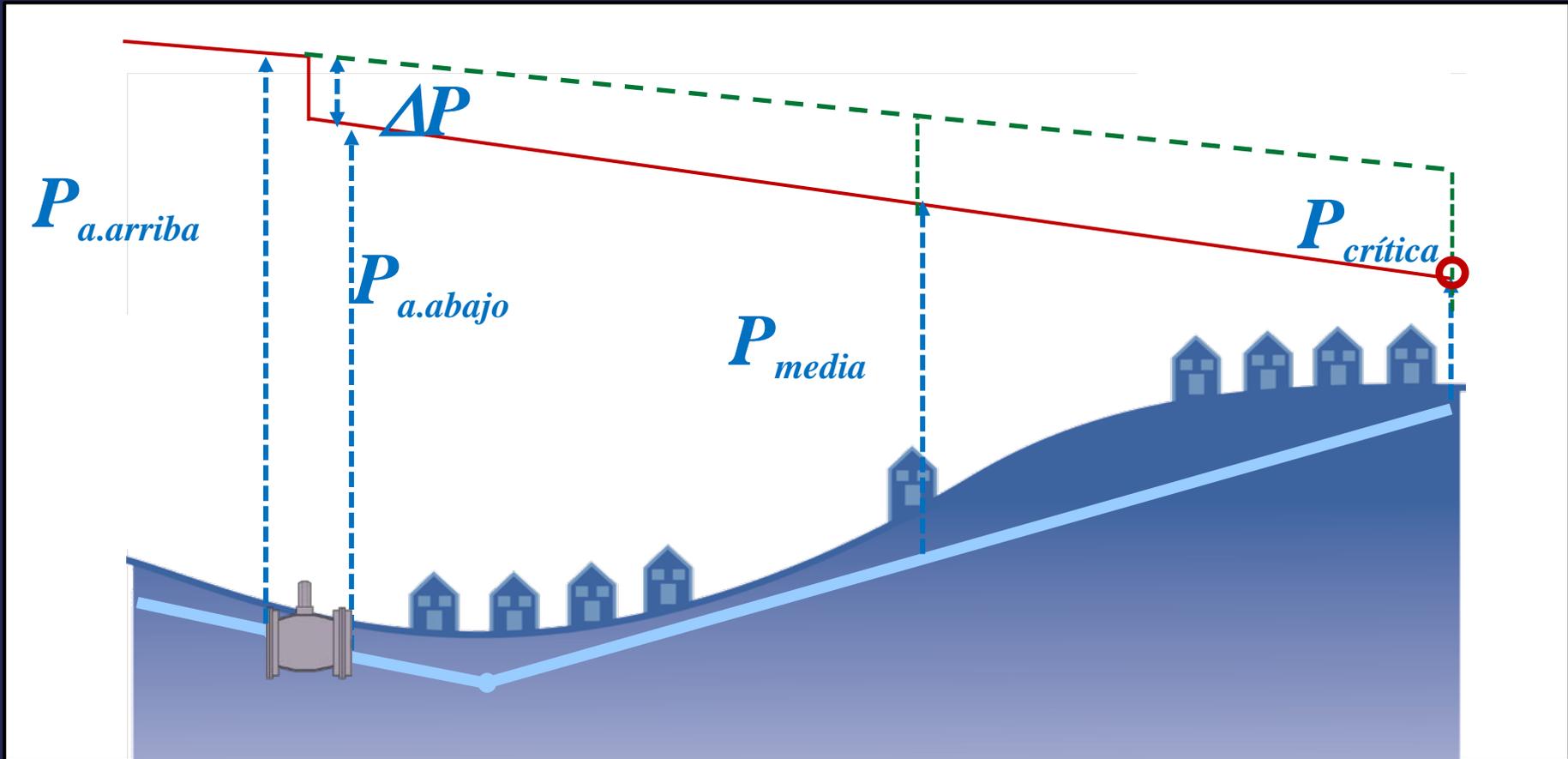
# Gestión de presiones (GP)

- Gestión de presiones



# Gestión de presiones (GP)

- Gestión de presiones



# Objetivos

- Propuesta metodológica para el **diseño** de planes de GP
- Propuesta metodológica para la **evaluación del impacto** de planes GP
- Creación un **Sistema de Ayuda a la Toma de Decisiones**

# Objetivos

- Propuesta metodológica para el **diseño** de planes de GP
  - Determinar los **factores más influyentes** a la hora de diseñar un plan de gestión de presiones y establecer una metodología para **seleccionar técnica** de regulación más adecuada.
  - Propuesta conceptual para el diseño de **consignas de regulación óptimas**
- Propuesta metodológica para la evaluación del impacto de planes GP
- Creación un Sistema de Ayuda a la Toma de Decisiones

# Objetivos

- Propuesta metodológica para el diseño de planes de GP
- Propuesta metodológica para la **evaluación del impacto** de planes GP
  - Analizar las fuentes de **incertidumbre** utilizando métodos basados en **Caudal Mínimo Nocturno**
  - Proponer métodos que mejoren la evaluación del impacto de GP en relación a **reducción de fugas.**
- Creación un Sistema de Ayuda a la Toma de Decisiones

# Objetivos

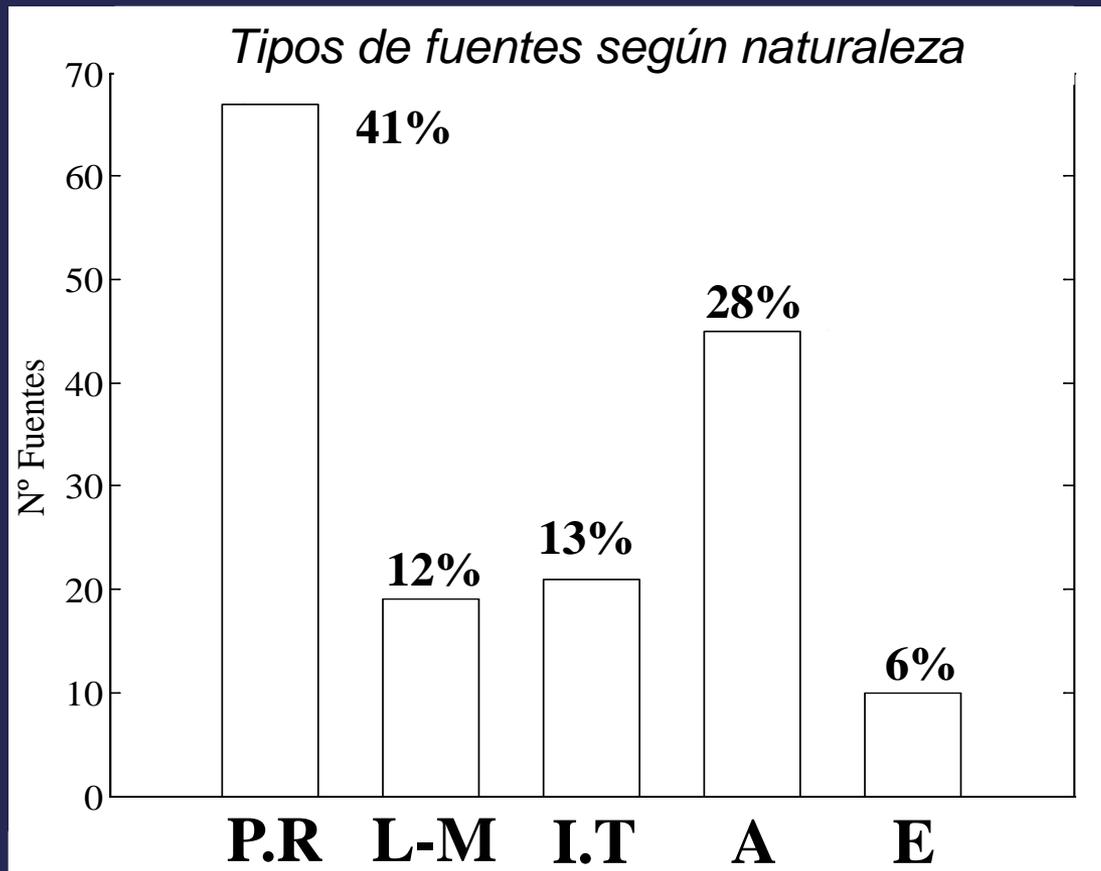
- Propuesta metodológica para el diseño de planes de GP
- Propuesta metodológica para la evaluación del impacto de planes GP
- Creación un **Sistema de Ayuda a la Toma de Decisiones**

# Índice

1. Introducción y objetivos
2. Estado del arte
3. Esquema metodológico global
4. Selección de técnica de regulación
5. Diseño de consignas óptimas de regulación
6. Metodología impacto de GP: reducción fugas
7. Herramienta de ayuda a la decisión
8. Conclusiones y trabajo futuro

# Estado del arte

- Recopilación de **más de 270 documentos**



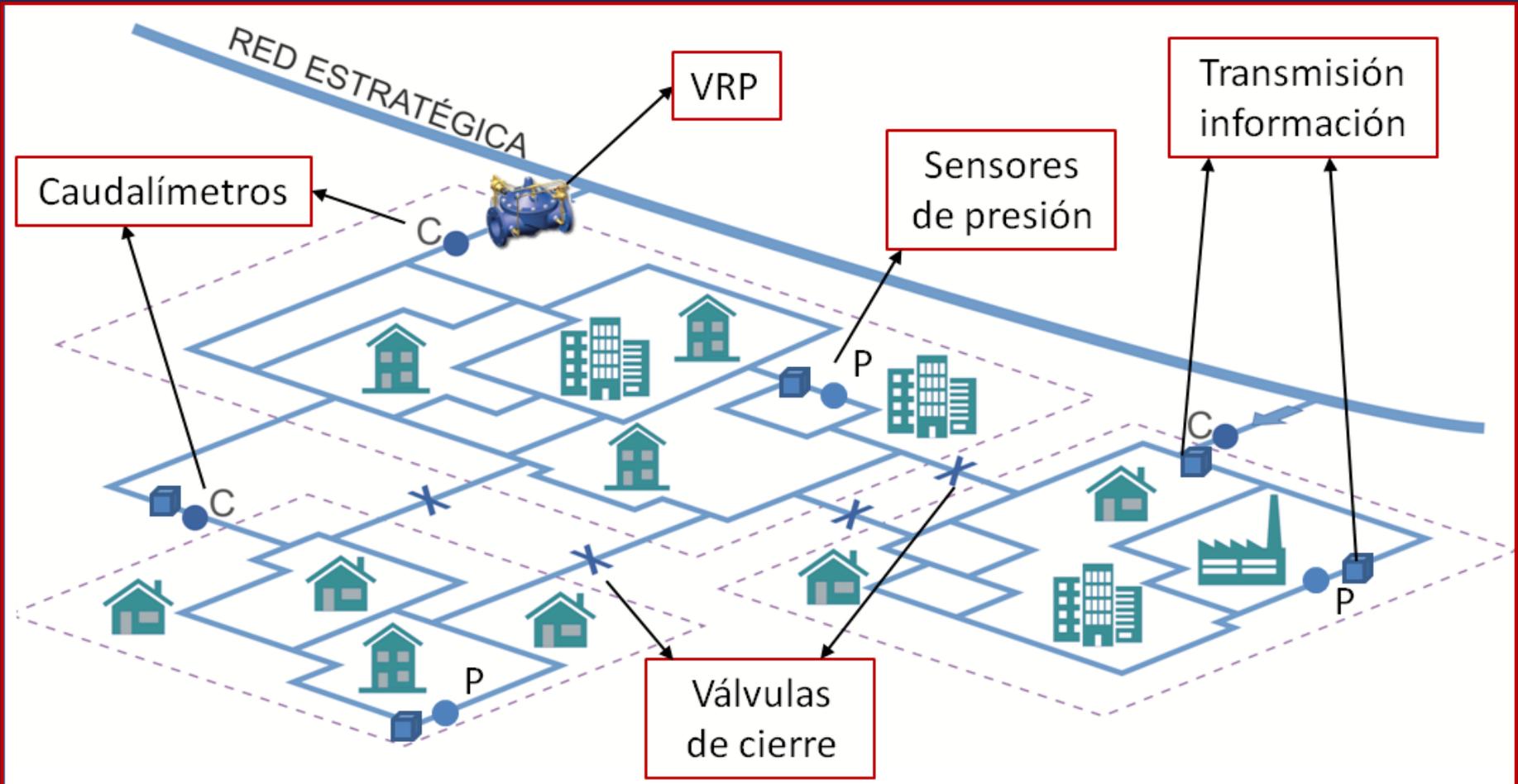
## Tipos de fuentes

- PR: Proyectos reales
- L-M: libros/manuales
- IT: informes técnicos
- A: artículos invest.
- E: expertos

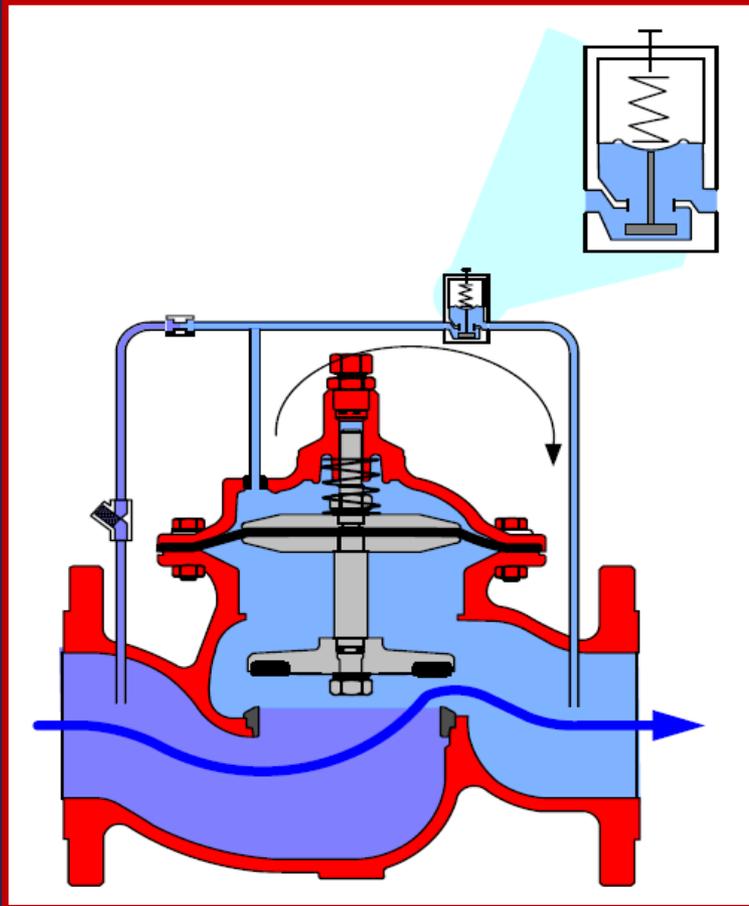
# Factores influyentes en la GP

- **4 factores fundamentales:**
  - Sectorización
  - Dispositivos y técnicas de control
  - Relación de fugas con presión
  - Simulación hidráulica mediante modelos numéricos

# Sectorización



# Instrumentación y técnicas de control



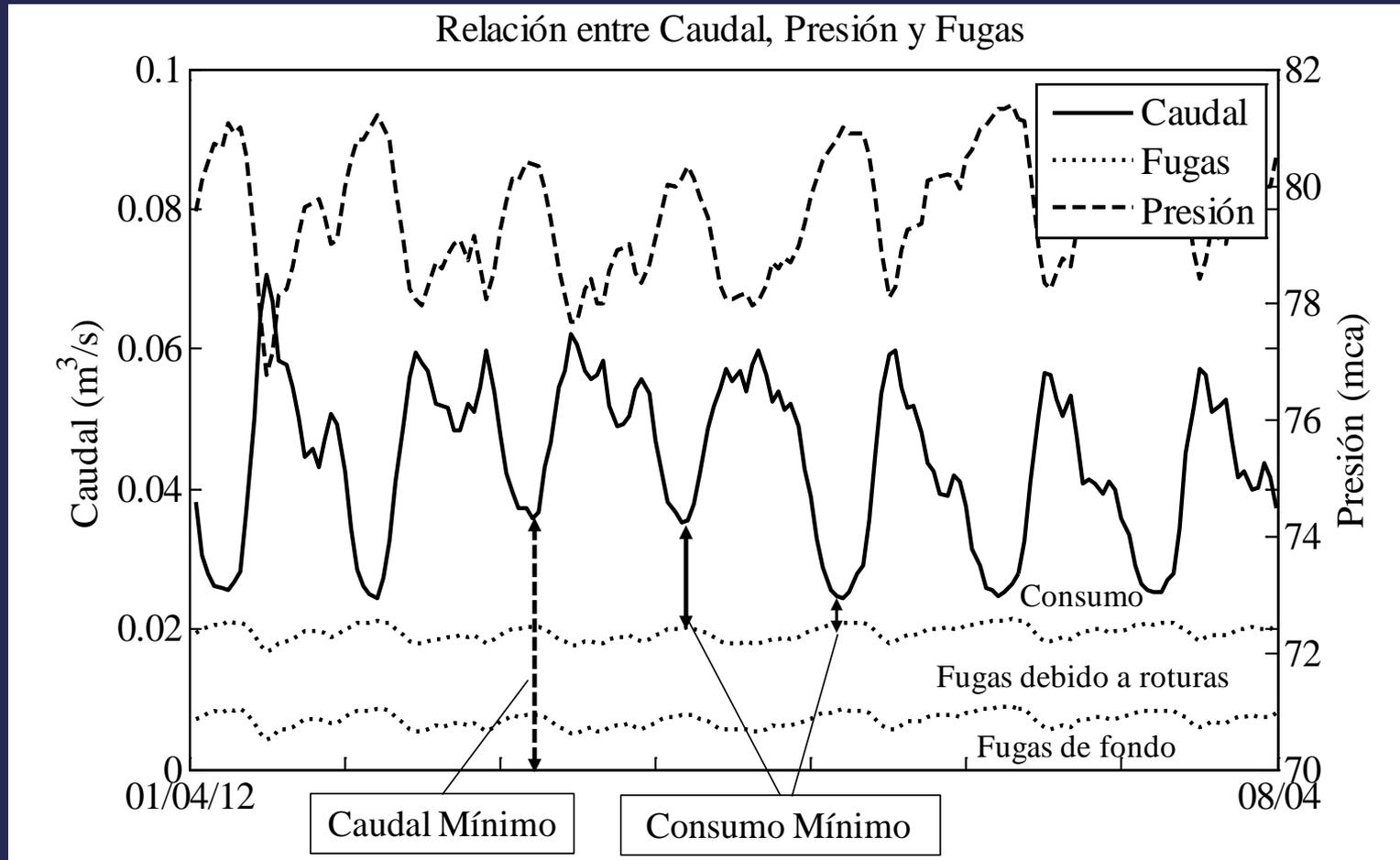
## Pilotos automáticos

- Salida fija
- Doble consigna (tiempo)
- Doble consigna (caudal)
- Modulación basada en caudal

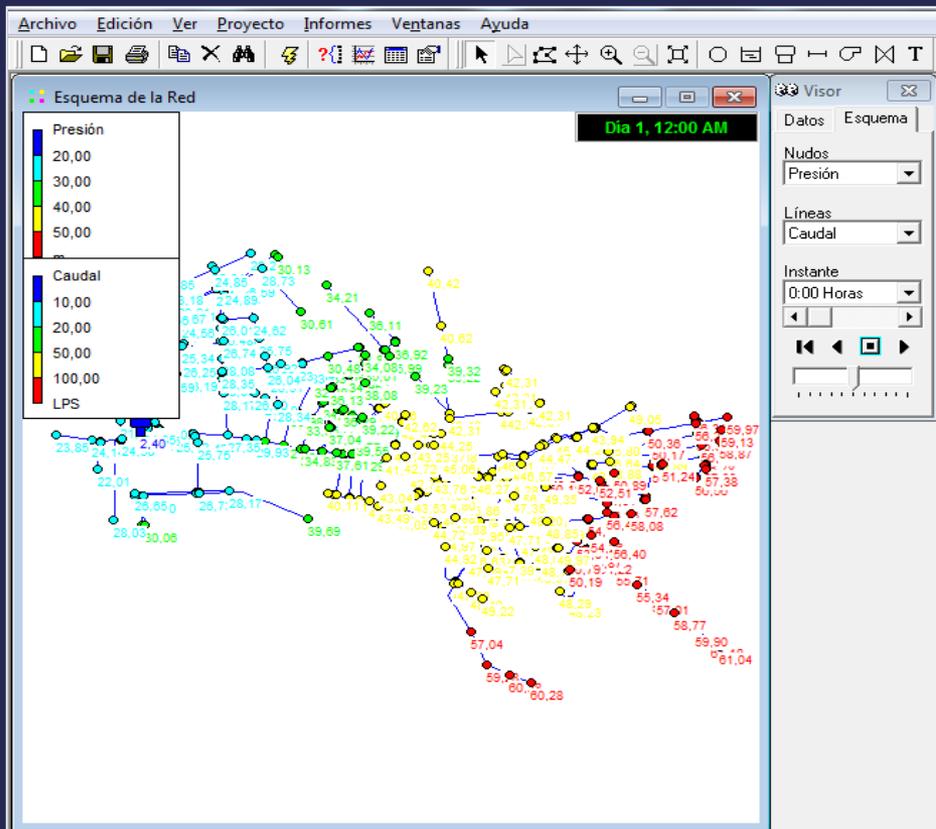
## Controladores electrónicos

- Programación temporal
- Modulación basada en caudal
- Modulación basada en presión en punto remoto

# Relación entre presión → fugas y consumos



# Modelación numérica



## Demand-driven model

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q \\ H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -A_0 H_0 \\ q \end{bmatrix}$$

## Pressure-driven model

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q \\ H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -A_0 H_0 \\ q \end{bmatrix}$$

# Índice

1. Introducción y objetivos
2. Estado del arte
3. **Esquema metodológico global**
4. Selección de técnica de regulación
5. Diseño de consignas óptimas de regulación
6. Metodología impacto de GP: reducción fugas
7. Herramienta de ayuda a la decisión
8. Conclusiones y trabajo futuro

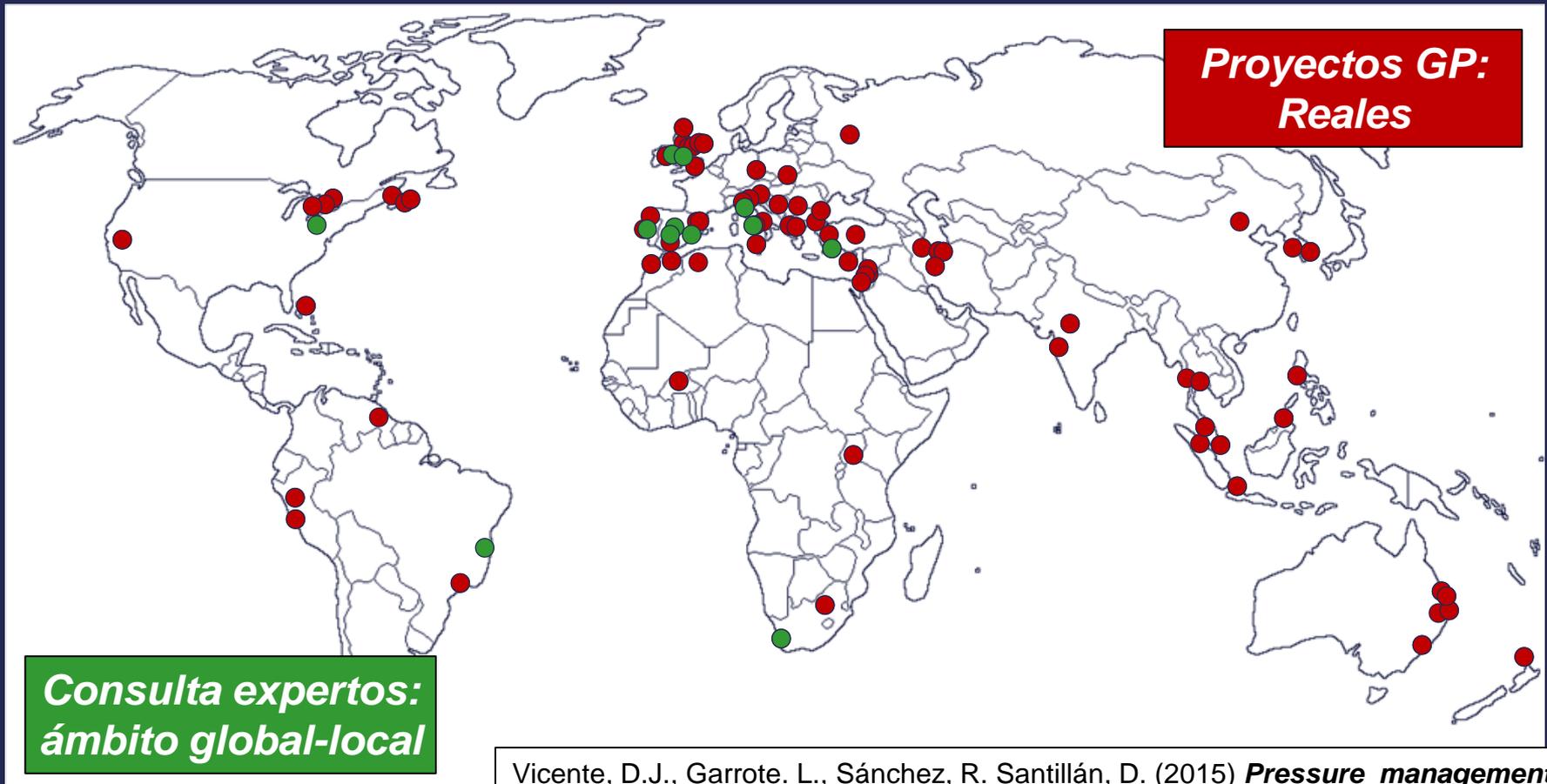
# Esquema metodológico global



# Índice

1. Introducción y objetivos
2. Estado del arte
3. Esquema metodológico global
4. **Selección de técnica de regulación**
5. Diseño de consignas óptimas de regulación
6. Metodología impacto de GP: reducción fugas
7. Herramienta de ayuda a la decisión
8. Conclusiones y trabajo futuro

# Método: análisis enfoque holístico



Vicente, D.J., Garrote. L., Sánchez, R. Santillán, D. (2015) *Pressure management in water distribution s systems : Current status , proposals and future trends*, *J. Water Resour. Plann. Manage.* 142(2), 04015061.

# Tabla resumen: recomendaciones

Factores más relevantes		Consumos									Carácter. sector			Otros aspectos				
		Patrón consumos						Otros escenarios			Pérdida de carga		Nº entr.		Objetivos		Restr.	
		Var. Diaria			Estacional.													
		Uniforme	Sí (Estable)	Sí (No estable)	No	Sí (Estable)	Sí (No estable)	Variación esp.	Depend. pres.	Caudal emerg.	Nula o baja	Media	Elevada	Una entrada	Varias entradas.	Disminuir fuga	Servicio usuar.	Aumentar fact.
Pilotos automáticos	Salida fija	Green	Yellow	Yellow	Green	Red	Red	Yellow	Green	Yellow	Red	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Green	Green
	Control temporal	Green	Green	Red	Green	Red	Red	Yellow	Green	Red	Green	Yellow	Green	Green	Green	Yellow	Green	Green
	Modulac. caudal	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Green	Green	Green	Red	Yellow	Green	Green	Yellow	Green
Controlador electrónico	Prog. temporal	Green	Green	Yellow	Green	Yellow	Red	Yellow	Green	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
	Modulac. caudal	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Green	Green	Red	Yellow
	Mod. pto.remoto	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Green	Green	Yellow	Red	Green	Yellow	Red	Red

# Índice

1. Introducción y objetivos
2. Estado del arte
3. Esquema metodológico global
4. Selección de técnica de regulación
5. **Diseño de consignas óptimas de regulación**
6. Metodología impacto de GP: reducción fugas
7. Herramienta de ayuda a la decisión
8. Conclusiones y trabajo futuro

# Herramientas: entorno de simulación

```

D:\David\Congresos_Jornadas\RLHE_2014_Proyecto\Datos\Ejemplo_red_real\presiones\metodo_to...
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
- 1.0 + ÷ 11 x
% ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MÉTODO HIDRÁULICO Y MÉTODO TOPOGRÁFICO
1
2 % Presión media por método topográfico
3
4 % Altura de lámina de agua en embalse
5
6 h_tanque = P(:,794);
7
8 % Creo matrices con vectores multiplicados para poder operar
9
10 % Matriz con alturas de tanque
11
12 mat_h_tanque = repmat(h_tanque, 1, 793);
13
14 % Matriz con cotas de nodos
15
16 mat_cota_nodos = repmat(cota_nodos(:,1:793),24,1);
17
18 presion_met_topog = 690 - mat_cota_nodos + mat_h_tanque;
19
20 % Diferencia entre método topográfico e hidráulico, para cada instante
21
22 % nodo
23
24 presiones_sin_tanque = P(:,1:793)';
25
26 diff_metodos = presion_met_topog' - presiones_sin_tanque ;
27
28 %% INDICADORES
29
30 % 0) Error de cada nodo en cada instante
31
32 abs_error_metodos = abs(diff_metodos);
33
34 % 1) MAE (Mean Absolute Error)
35
36 mae_metodos = sum(abs_error_metodos)/793;
37
38 % [valor_min_mae_met,nodo_min_mae] = min(mae_nodos);
39
40 % 2) RMSE (Root Mean Square Error)
41
42 rmse_metodos = sqrt(sum(abs_error_metodos.^2)/793);
43
44 % [valor_min_rmse,nodo_min_rmse] = min(rmse_nodos);
45
script Ln 14 Col 57 OVR

```

- Entorno de análisis hidráulico integralmente (Matlab)

## Pressure-driven model

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q \\ H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -A_0 H_0 \\ q \end{bmatrix}$$

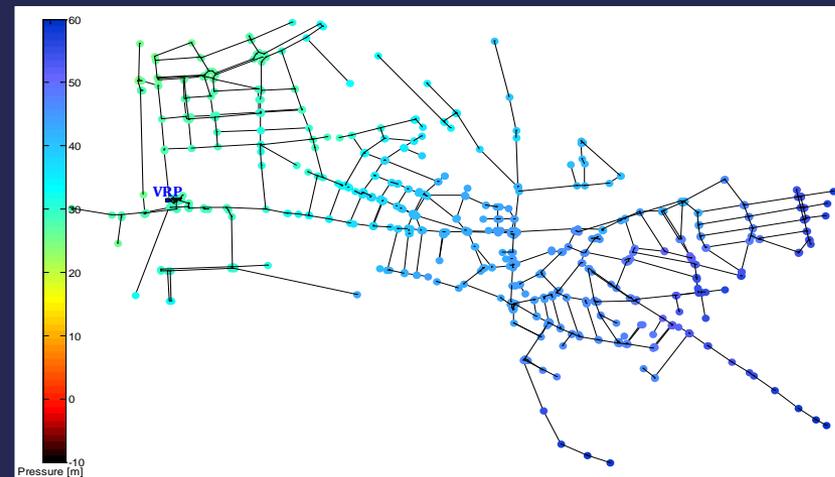
(Giustolisi et al. 2008)

## Formulación consumos

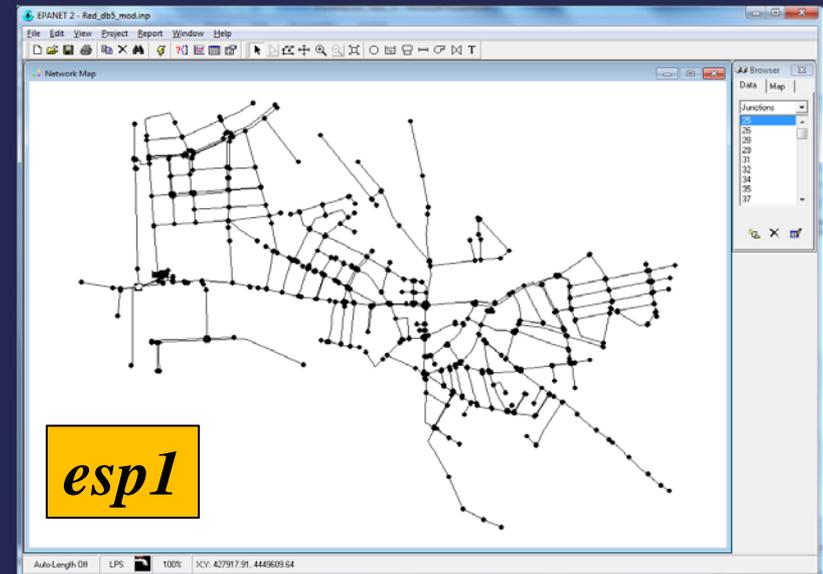
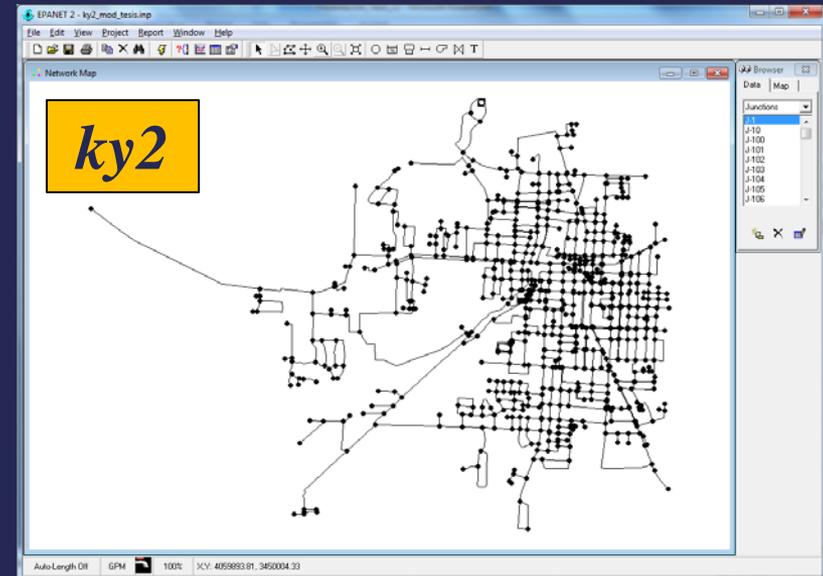
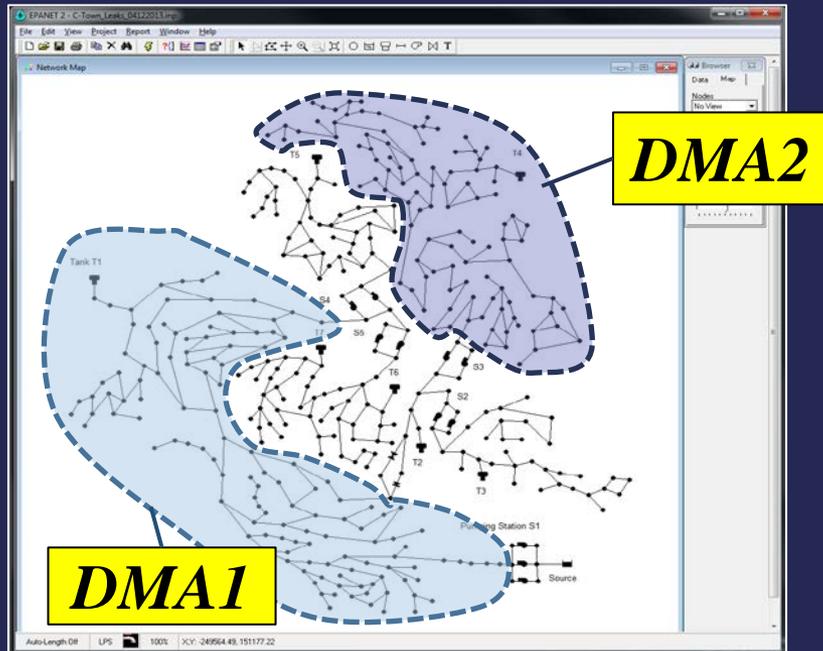
(Vicente et al. 2017; Giustolisi et al. 2012)

## Formulación fugas

(Germanopoulos 1989)



# Casos de estudio



- Modelos esquemáticos 'C-Town' (BBLAWN), benchmark (Berardi y Giustolisi, 2016)
- Modelos de redes reales

# Diseño curva óptima: algoritmo

Problema rígido

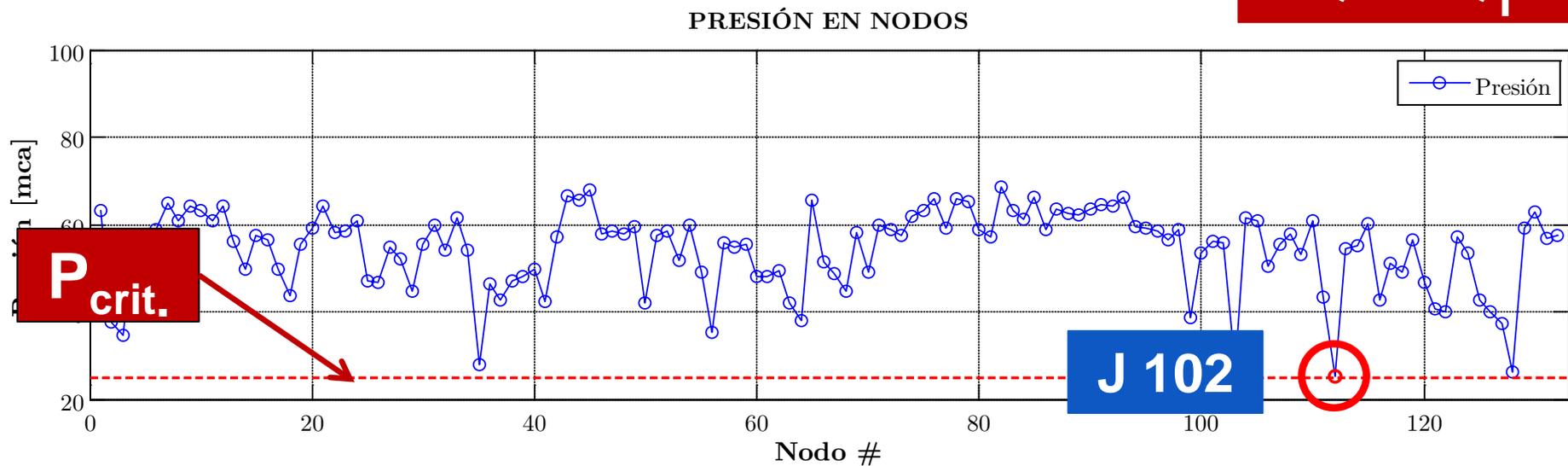
1. Definir problema

2. Curva óptima

Problema flexible

- Establecer  $P_{VRP} \rightarrow$  Todos los nodos  $P_i > P_{min}$
- Módulo de convergencia

$Q = Q_1$



# Diseño curva óptima: algoritmo

Problema rígido

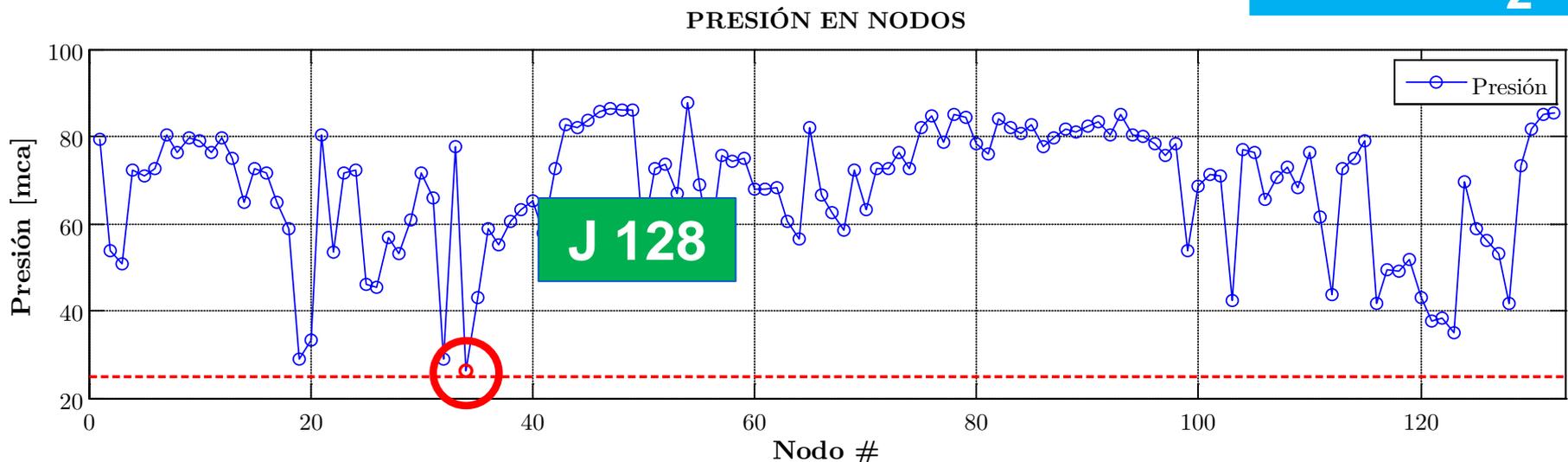
1. Definir problema

2. Curva óptima

Problema flexible

- Establecer  $P_{VRP} \rightarrow$  Todos los nodos  $P_i > P_{min}$
- Módulo de convergencia

$$Q = Q_2$$



# Diseño curva óptima: algoritmo

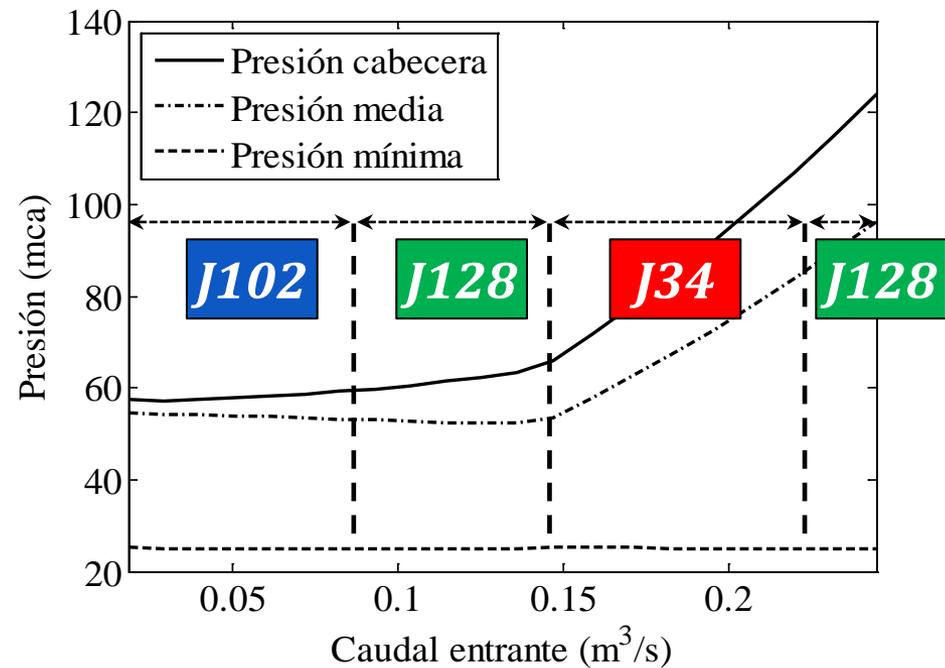
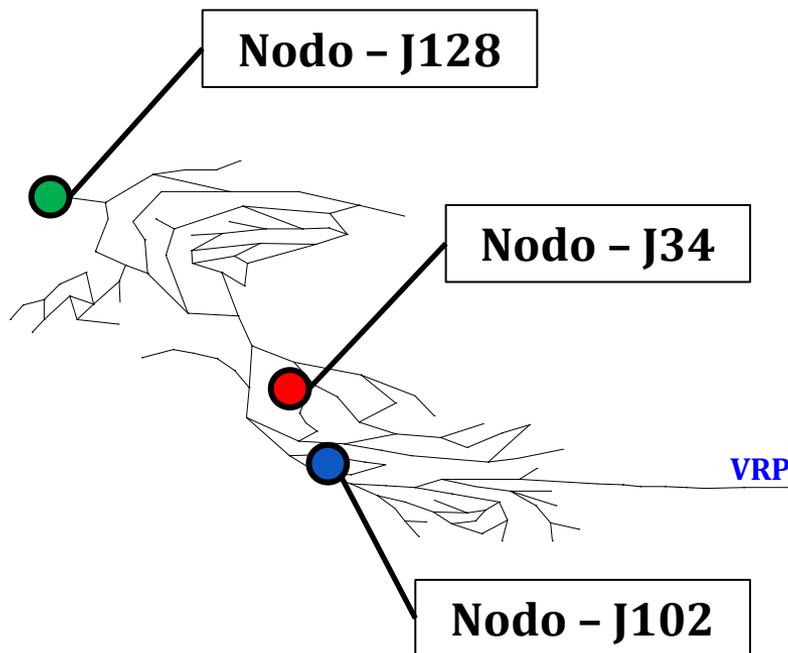
Problema rígido

1. Definir problema

2. Curva óptima

Problema flexible

- Curva 'caudal entrante y presión en cabecera'



# Diseño curva óptima: algoritmo

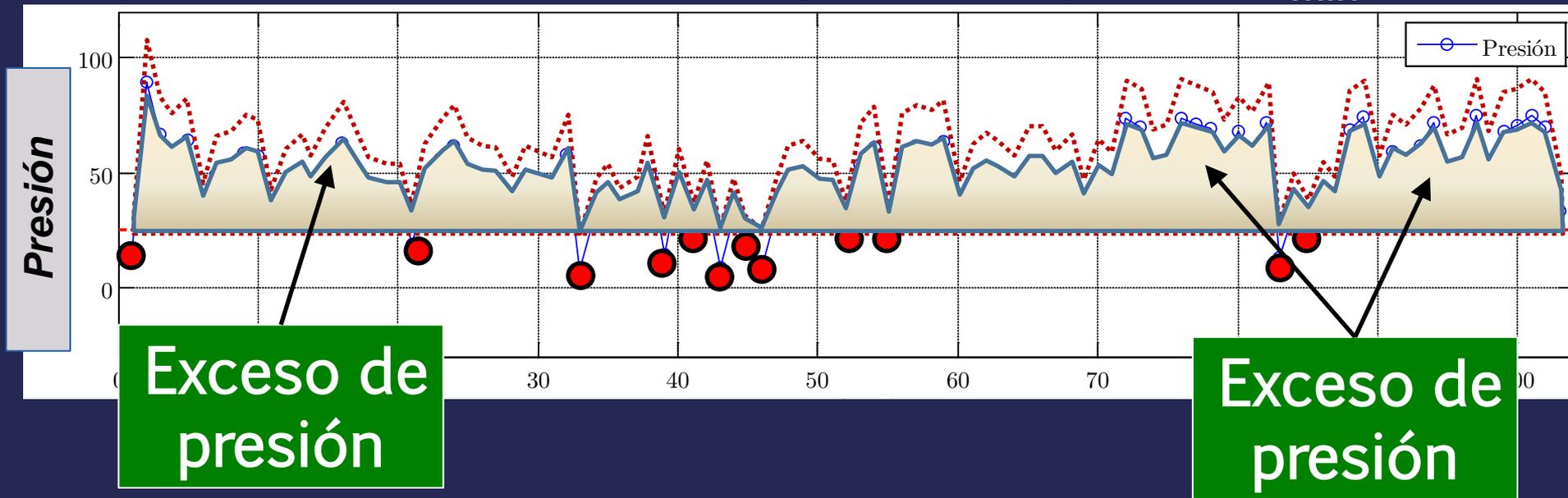
Problema rígido

1. Definir problema

2. Curva óptima

Problema flexible

- Flexibilizar el problema, permitiendo que algunos puntos reciban menor presión que la  $P_{min}$



# Diseño curva óptima: algoritmo

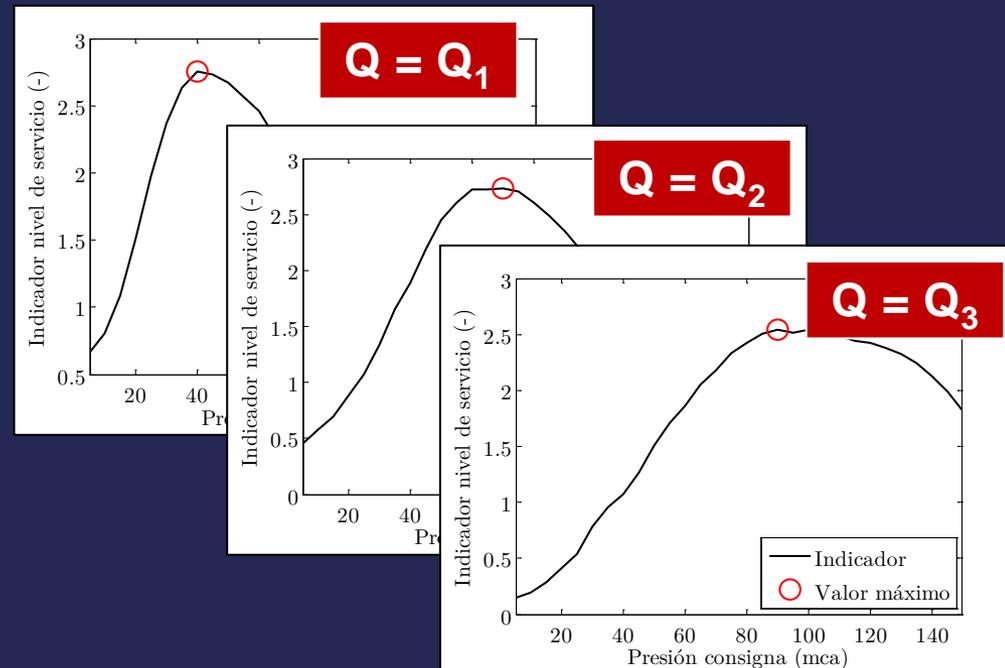
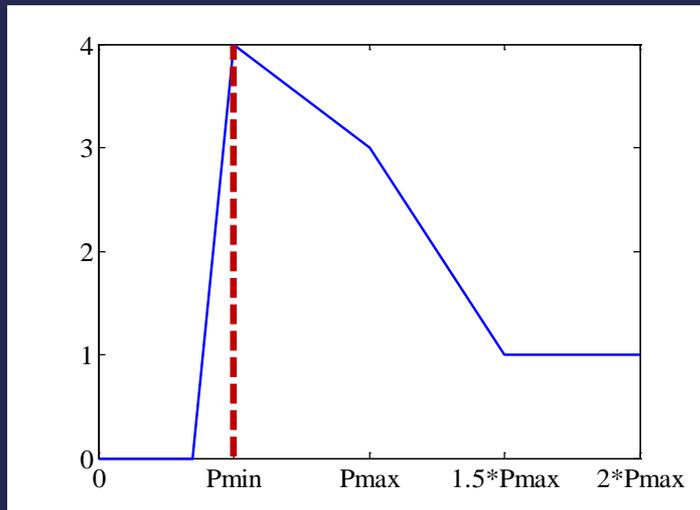
Problema rígido

Problema flexible

1. Definir problema

2. Curva óptima

- Establecer  $P_{VRP}$  introduciendo **indicador**
- Optimización basada en **simulación de casos**



# Índice

1. Introducción y objetivos
2. Estado del arte
3. Esquema metodológico global
4. Selección de técnica de regulación
5. Diseño de consignas óptimas de regulación
- 6. Metodología impacto de GP: reducción fugas**
7. Herramienta de ayuda a la decisión
8. Conclusiones y trabajo futuro

# Métodos Caudal Mínimo Nocturno (CMN)

$$Fugas(t) = Fugas(CMN) \left( \frac{P_{Med}(t)}{P_{Med}(CMN)} \right)^{N1}$$

- Expresión práctica, sencilla, pero **simplificada**.
- Gran variedad de criterios: **heterogeneidad**.
- Ambos aspectos llevan a introducir una gran **incertidumbre en el cálculo**.



***Propuesta conceptual global, y particular para cada paso del método de CMN***

# Paso 1 - CMN referencia (antes-desp a GP)

1. CMN

2.  $F_{reales}$

3.  $P_{med}$

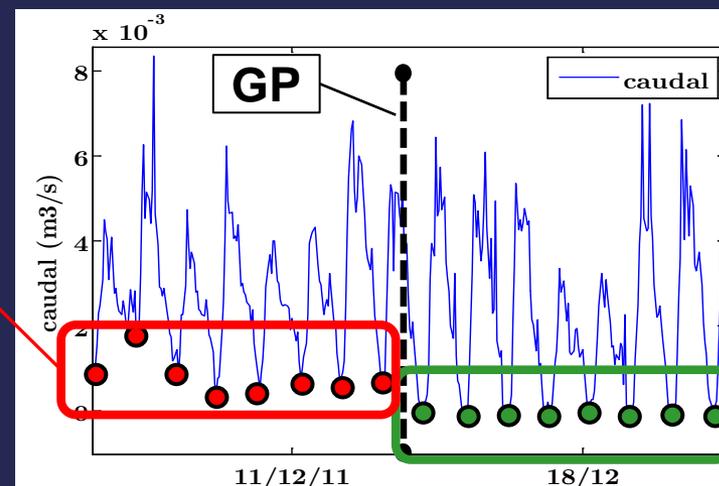
4. Exp. N1

## ● Criterios:

- Rango horario (Fijo o variable)
- Ancho de ventana (múltiplos 7 días)
- Lapso temporal estacional (Sí/No)
- Ajuste series (Sí/No) → Paso2.  $F_{reales}$

1	Sin lapso – sin ajuste
	Sin lapso – con ajuste
	Con lapso – sin ajuste
2	Toma datos tiempo real
	Expresiones literatura
	Campaña ‘ad-hoc’
3	Hidráulico
	Topográfico
	Medición directa
	Pérdida de carga
	Matriz sensibilidad
4	Valores empíricos
	Método inverso

CMN  
antes



CMN  
después

# Paso 2 - Fugas reales durante CMN



1	Sin lapso – sin ajuste
	Sin lapso – con ajuste
	Con lapso – sin ajuste
2	Toma datos tiempo real
	Expresiones literatura
	Campaña 'ad-hoc'
3	Hidráulico
	Topográfico
	Medición directa
	Pérdida de carga
	Matriz sensibilidad
4	Valores empíricos
	Método inverso

$$Q = C_{usuar.} + F_{reales} + F_{fugas}$$

## ● Criterios:

- Monitorización de consumos en usuarios en tiempo real.
- Ecuaciones empíricas o parámetros:
  - **Desagregación de componentes** de consumo → relación con la presión
  - **Ajuste series**: eliminar comp. largo plazo

# Paso 3 - Presión Media

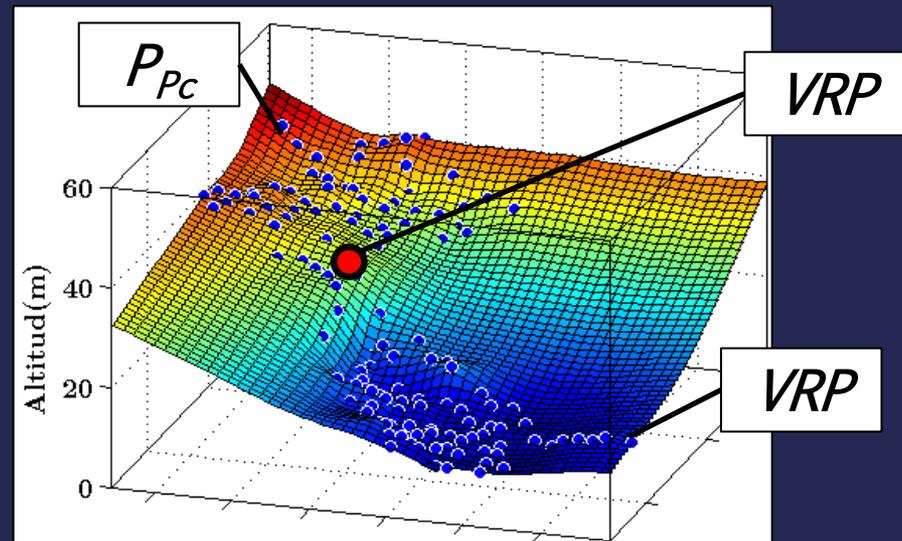
1. CMN

2.  $F_{reales}$ 3.  $P_{med}$ 

4. Exp. N1

1	Sin lapso – sin ajuste
	Sin lapso – con ajuste
	Con lapso – sin ajuste
2	Toma datos tiempo real
	Expresiones literatura
	Campaña ‘ad-hoc’
3	Hidráulico ( <i>distribuido</i> )
	Topográfico ( <i>distribuido</i> )
	Medición directa ( <i>local</i> )
	Pérdida de carga ( <i>local</i> )
	Matriz sensibilid. ( <i>local</i> )
4	Valores empíricos
	Método inverso

- Determinar  $P_{med}$  mediante métodos **distribuidos o locales**.
- Calcular, tanto durante CMN como para el resto de horas



# Paso 4 – Exponente $N_1$

1. CMN

2.  $F_{reales}$ 3.  $P_{med}$ 4. Exp.  $N_1$ 

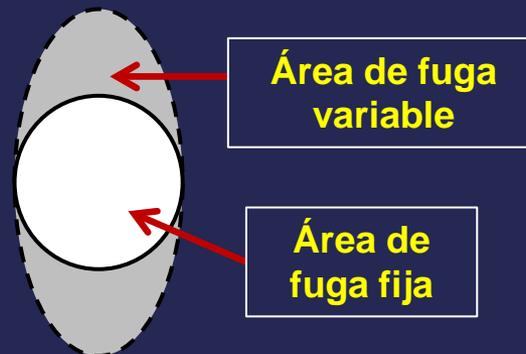
1	Sin lapso – sin ajuste
	Sin lapso – con ajuste
	Con lapso – sin ajuste
2	Toma datos tiempo real
	Expresiones literatura
	Campaña 'ad-hoc'
3	Hidráulico
	Topográfico
	Medición directa
	Pérdida de carga
	Matriz sensibilidad
4	Valores empíricos
	Método inverso

*Ecuación de Torricelli  
(orificio fijo)*

$$Caudal_{fuga} = C_D A \sqrt{2gh}$$

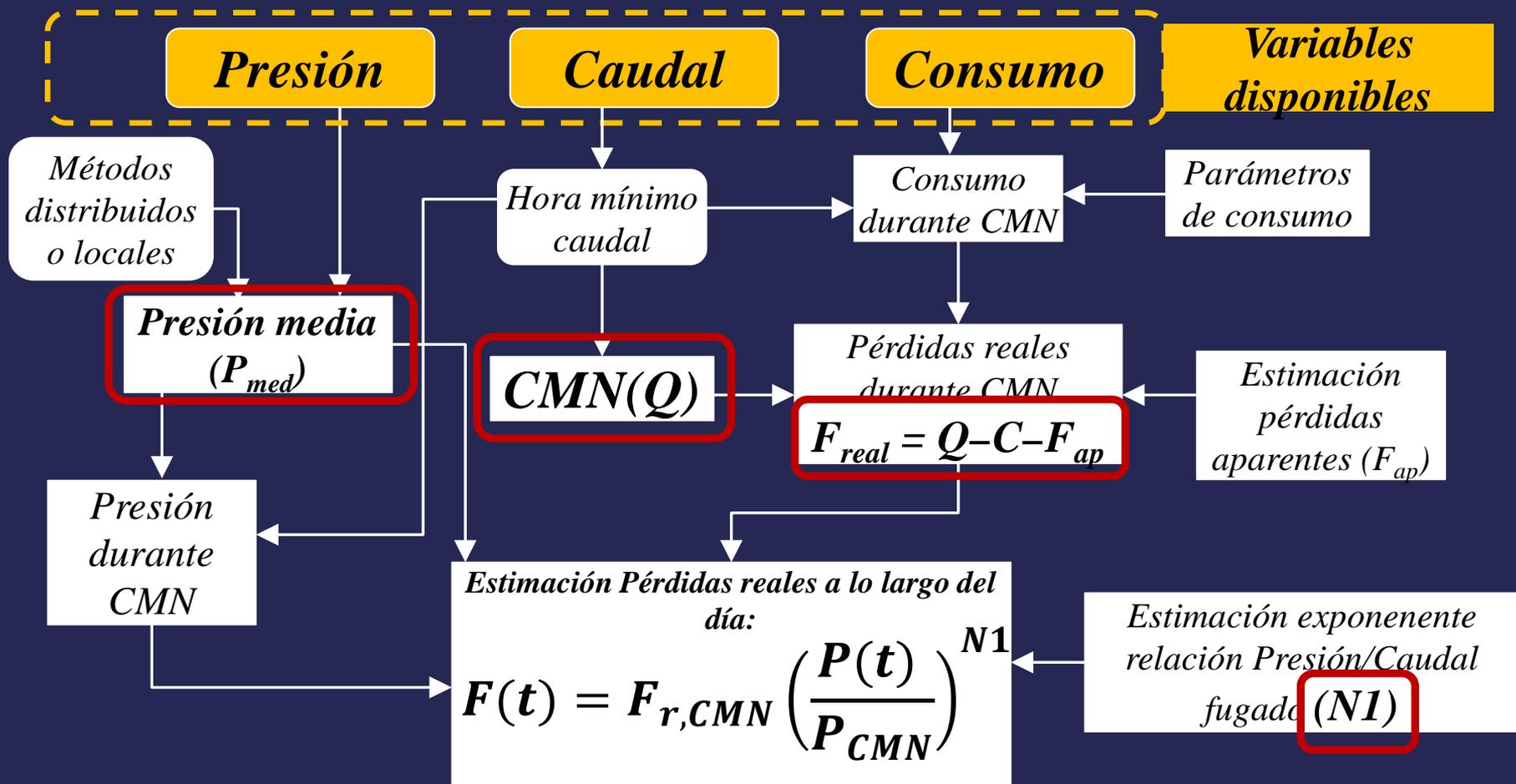
*Modelos FAVAD  
(orificio variable)*

$$F = \beta \cdot P^\alpha$$



$$\alpha \rightarrow [0.5 - 1.5]$$

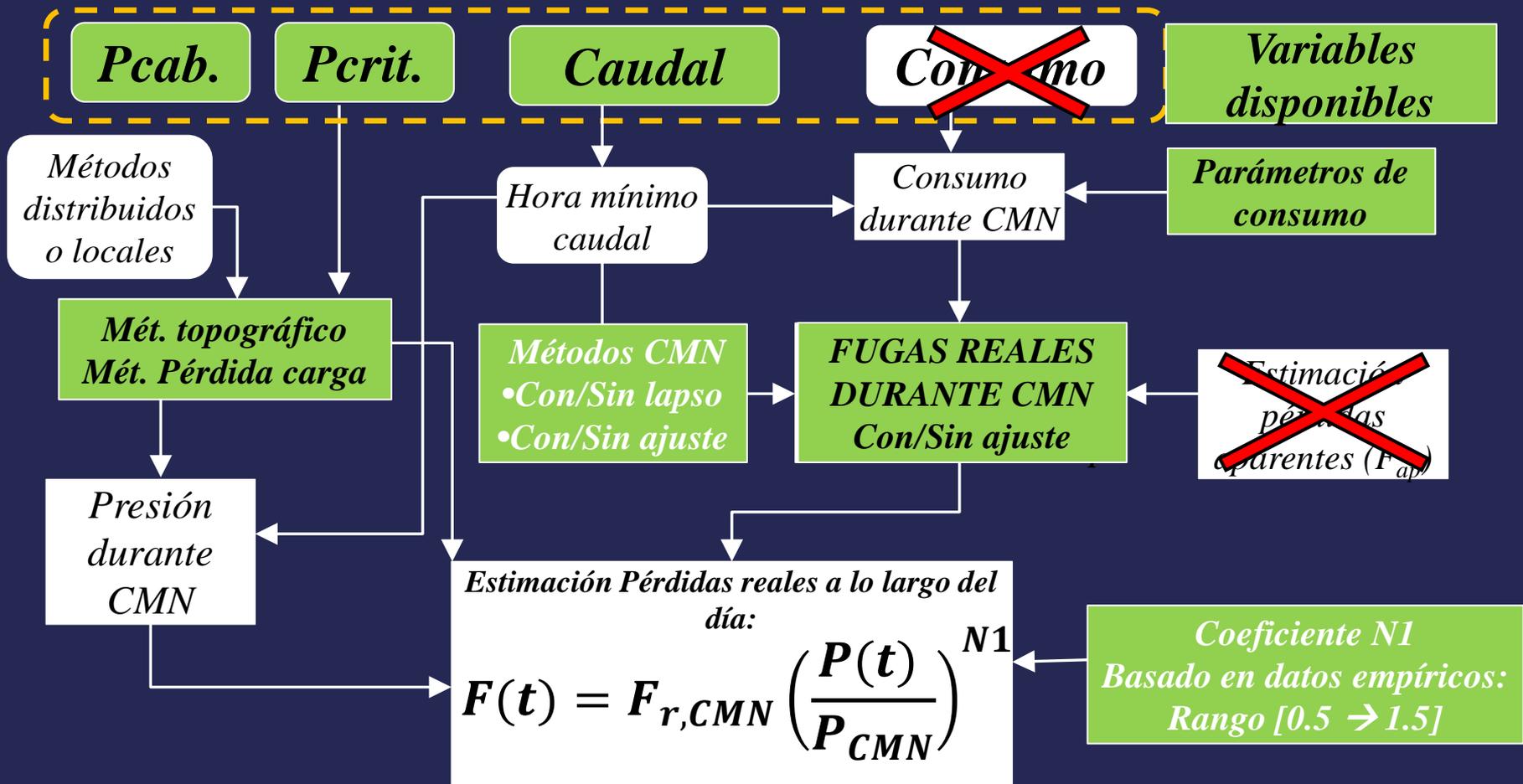
# Resumen de métodos: esquema global



# Caso de aplicación: sectores reales



# Aplicación a caso de estudio



# Métodos CMN– Cálculo CMN ref.

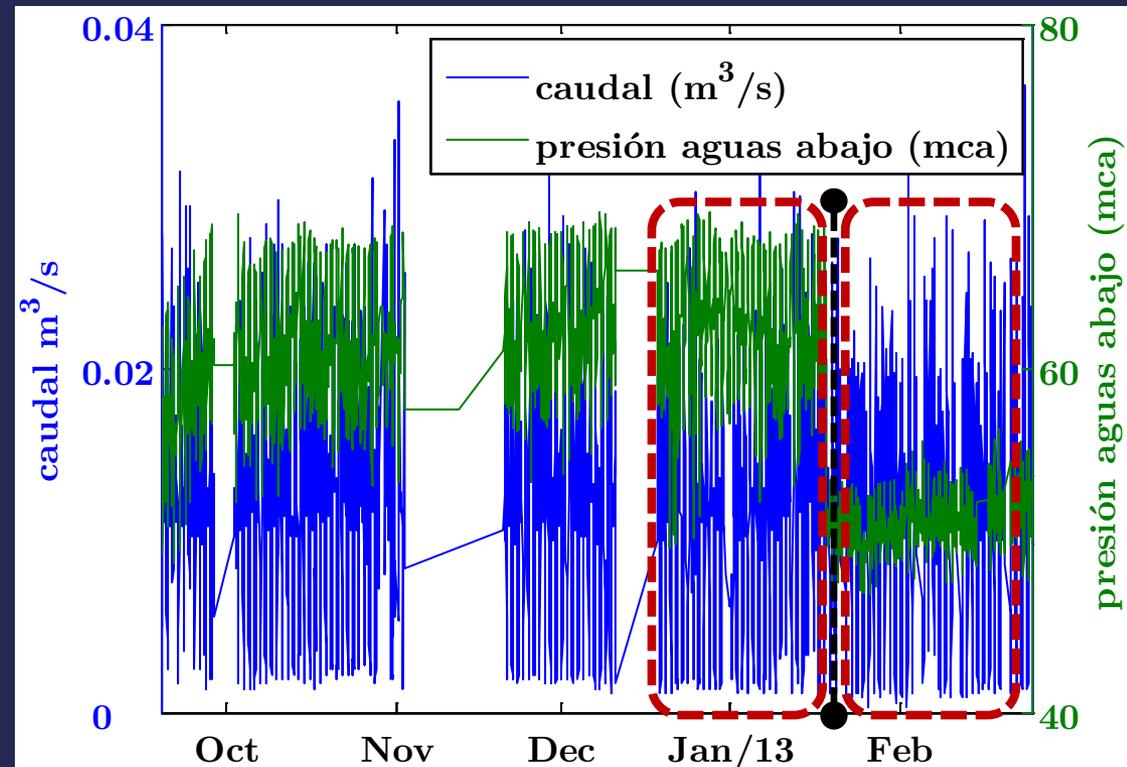
1. CMN

2.  $F_{reales}$

3.  $P_{med}$

4. Exp. N1

1	1. Sin lapso – sin ajuste
	2. Sin lapso – con ajuste
	3. Con lapso – sin ajuste
2	Toma datos tiempo real
	Expresiones literatura
	Campaña ‘ad-hoc’
3	Hidráulico
	Topográfico
	Medición directa
	Pérdida de carga
4	Matriz sensibilidad
	Valores empíricos
	Método inverso



# Métodos CMN– Cálculo CMN ref.

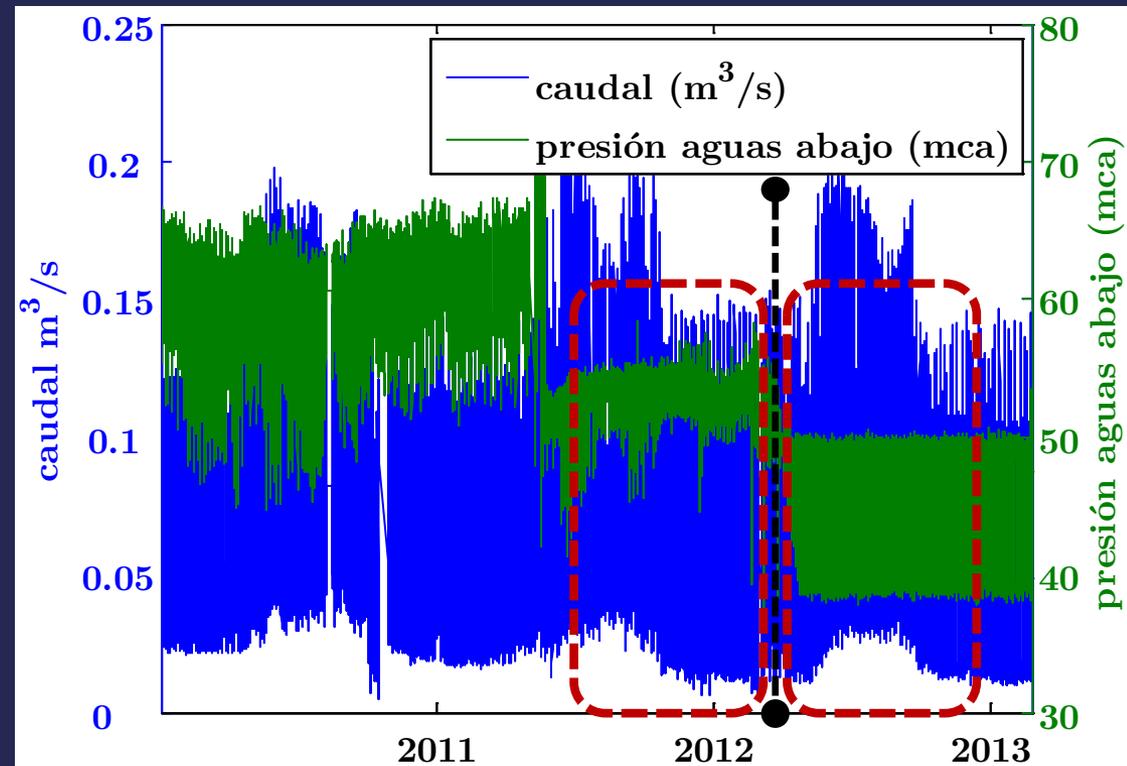
1. CMN

2.  $F_{reales}$

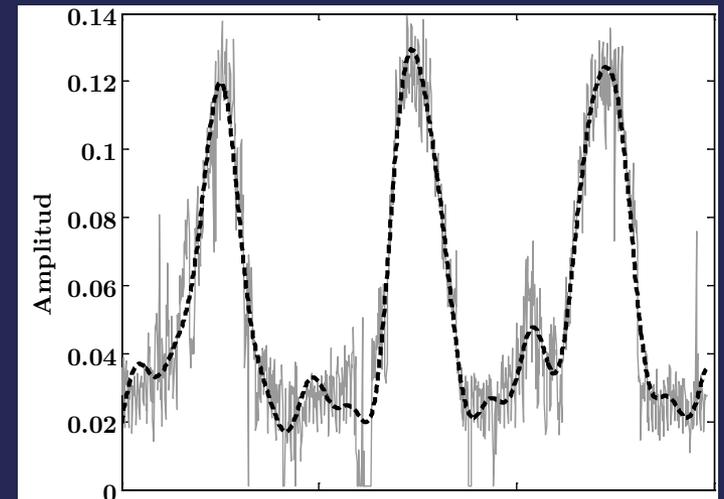
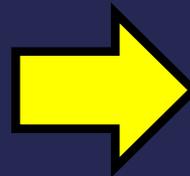
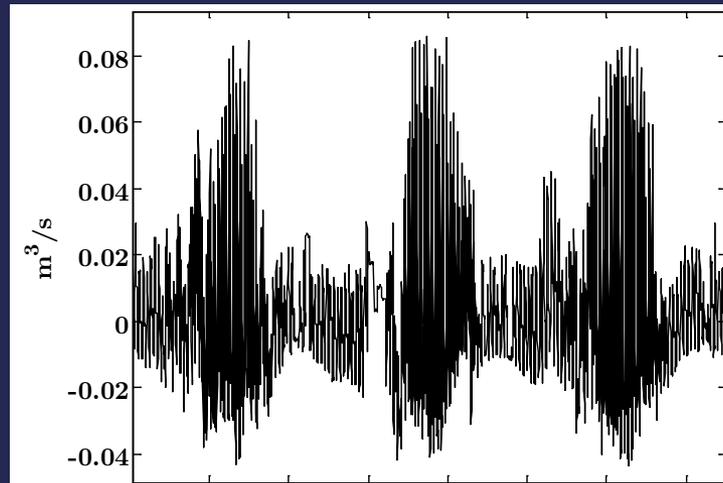
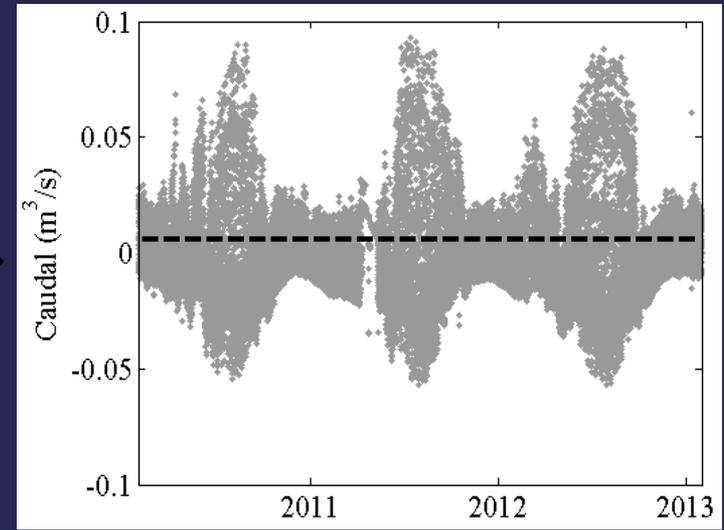
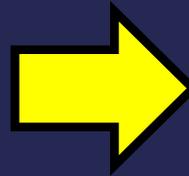
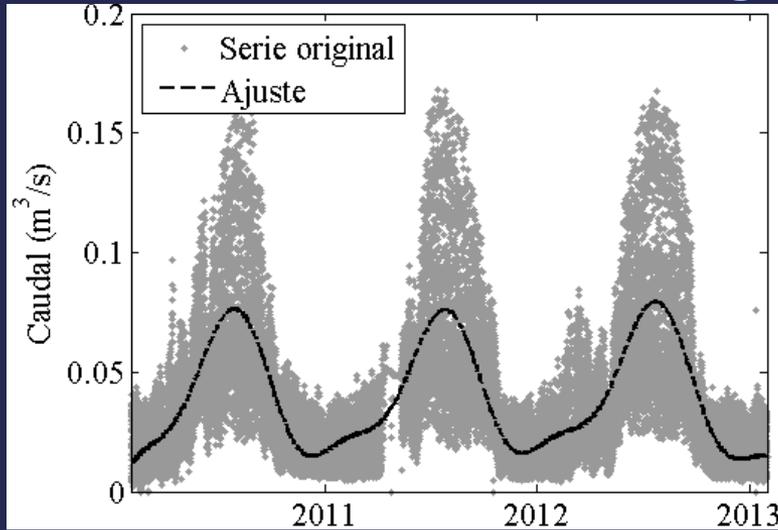
3.  $P_{med}$

4. Exp. N1

1	1. Sin lapso – sin ajuste
	2. Sin lapso – con ajuste
	3. Con lapso – sin ajuste
2	Toma datos tiempo real
	Expresiones literatura
	Campaña ‘ad-hoc’
3	Hidráulico
	Topográfico
	Medición directa
	Pérdida de carga
	Matriz sensibilidad
4	Valores empíricos
	Método inverso



# Métodos CMN – Ajuste de series



# Métodos CMN– Cálculo CMN ref.



1	1. Sin lapso – sin ajuste
	2. Sin lapso – con ajuste
	3. Con lapso – sin ajuste
2	Toma datos tiempo real
	Expresiones literatura
	Campaña ‘ad-hoc’
3	Hidráulico
	Topográfico
	Medición directa
	Pérdida de carga
	Matriz sensibilidad
4	Valores empíricos
	Método inverso

## • Análisis y ajuste de series:

- Patrón diario ( $E_{t-d}$ )
- Variabilidad anual del patrón diario ( $\hat{E}_{t-d}$ )
- Estacionalidad anual ( $E_{t-a}$ )
- Tendencia ( $T_t$ )
- Componente aleatoria ( $\varepsilon_t$ )

$$Q(CMN) = E_{t-d} + \cancel{\hat{E}_{t-d}} + \cancel{E_{t-a}} + \cancel{T_t} + \varepsilon_t$$

- Eliminación de componentes de largo plazo

# Caso de estudio real – Cálculo CMN ref.

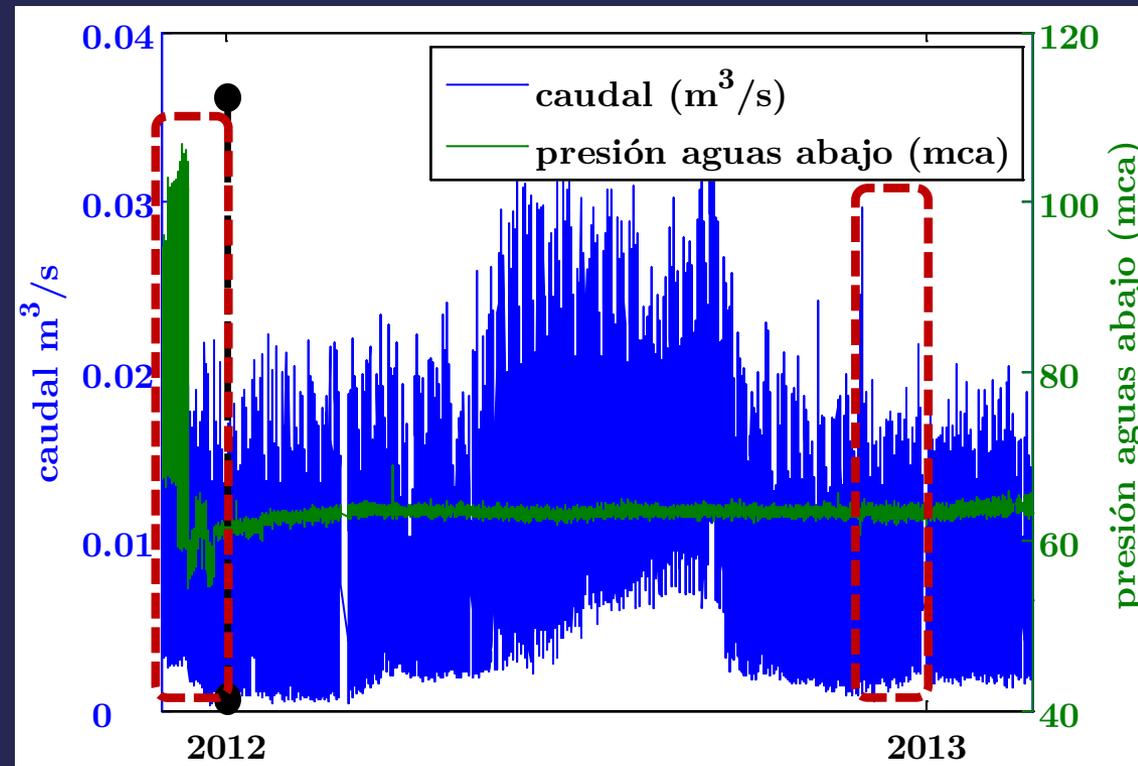
1. CMN

2.  $F_{reales}$

3.  $P_{med}$

4. Exp. N1

1	1. Sin lapso – sin ajuste
	2. Sin lapso – con ajuste
	3. Con lapso – sin ajuste
2	Toma datos tiempo real
	Expresiones literatura
	Campaña ‘ad-hoc’
3	Hidráulico
	Topográfico
	Medición directa
	Pérdida de carga
4	Matriz sensibilidad
	Valores empíricos
	Método inverso



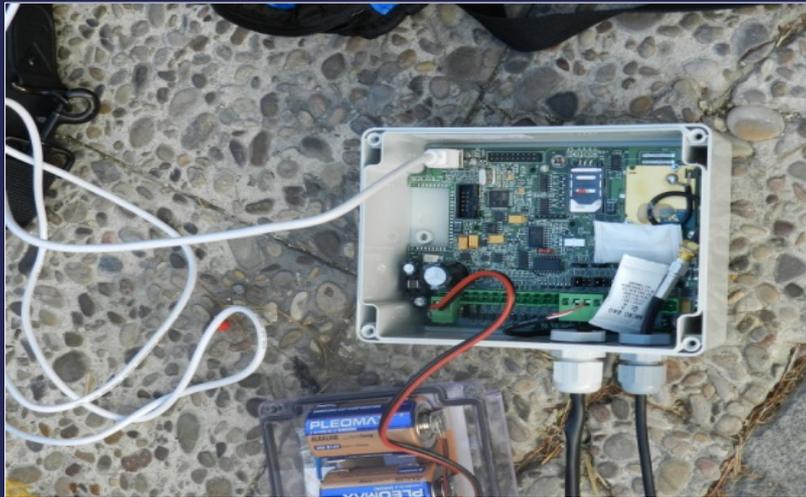
# Métodos CMN – Presión media



1	Sin lapso – sin ajuste
	Sin lapso – con ajuste
	Con lapso – sin ajuste
2	Toma datos tiempo real
	Expresiones literatura
	Campaña ‘ad-hoc’
3	Hidráulico
	<b>Topográfico</b>
	Medición directa
	<b>Pérdida de carga</b>
	Matriz sensibilidad
4	Valores empíricos
	Método inverso

- Selección de método topográfico o de pérdida de carga en función de:
  - Disponibilidad de presión en punto crítico.
  - Existencia o no de ley de pérdida de cargas.
  - Posición de punto de control para evaluar la presión crítica.

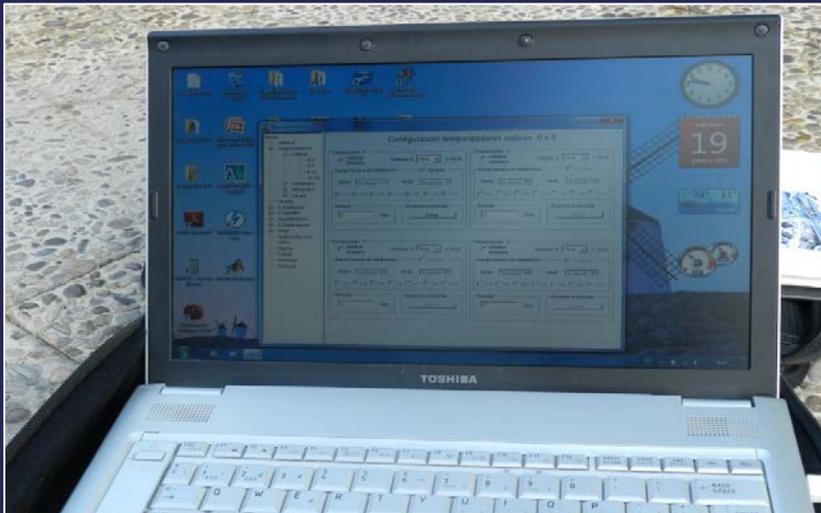
# Campaña monitorización de ptos. críticos



## Instrumentación

- Sensores de presión
  - *0-100 mca*
- Registradores de datos
  - *Modelos LM y LMQ (Microcom)*
- Antenas transmisión
- Elementos auxiliares
  - *Manómetro analógico*
  - *Fontanería*
  - *Seguridad*

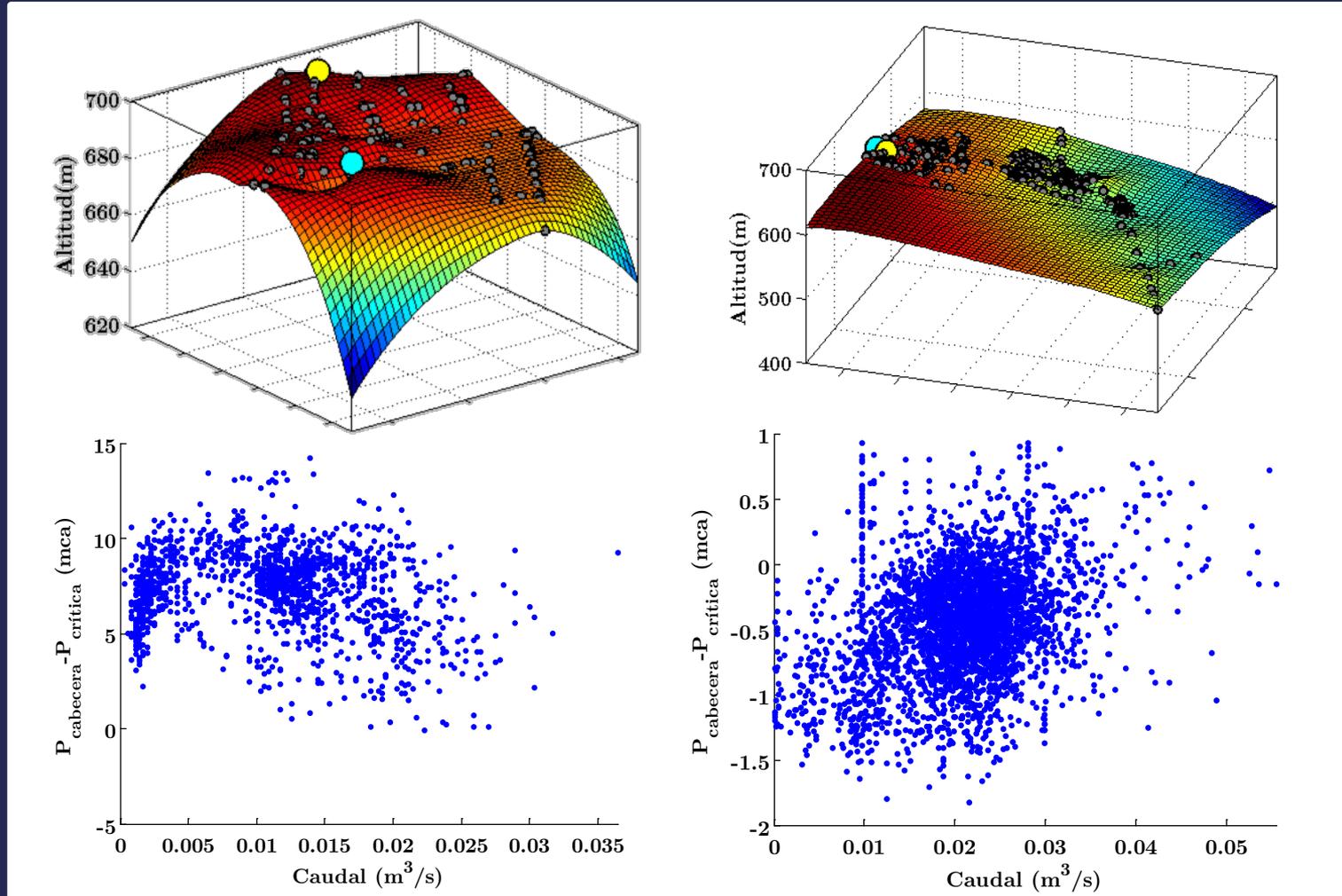
# Campaña monitorización de ptos. críticos



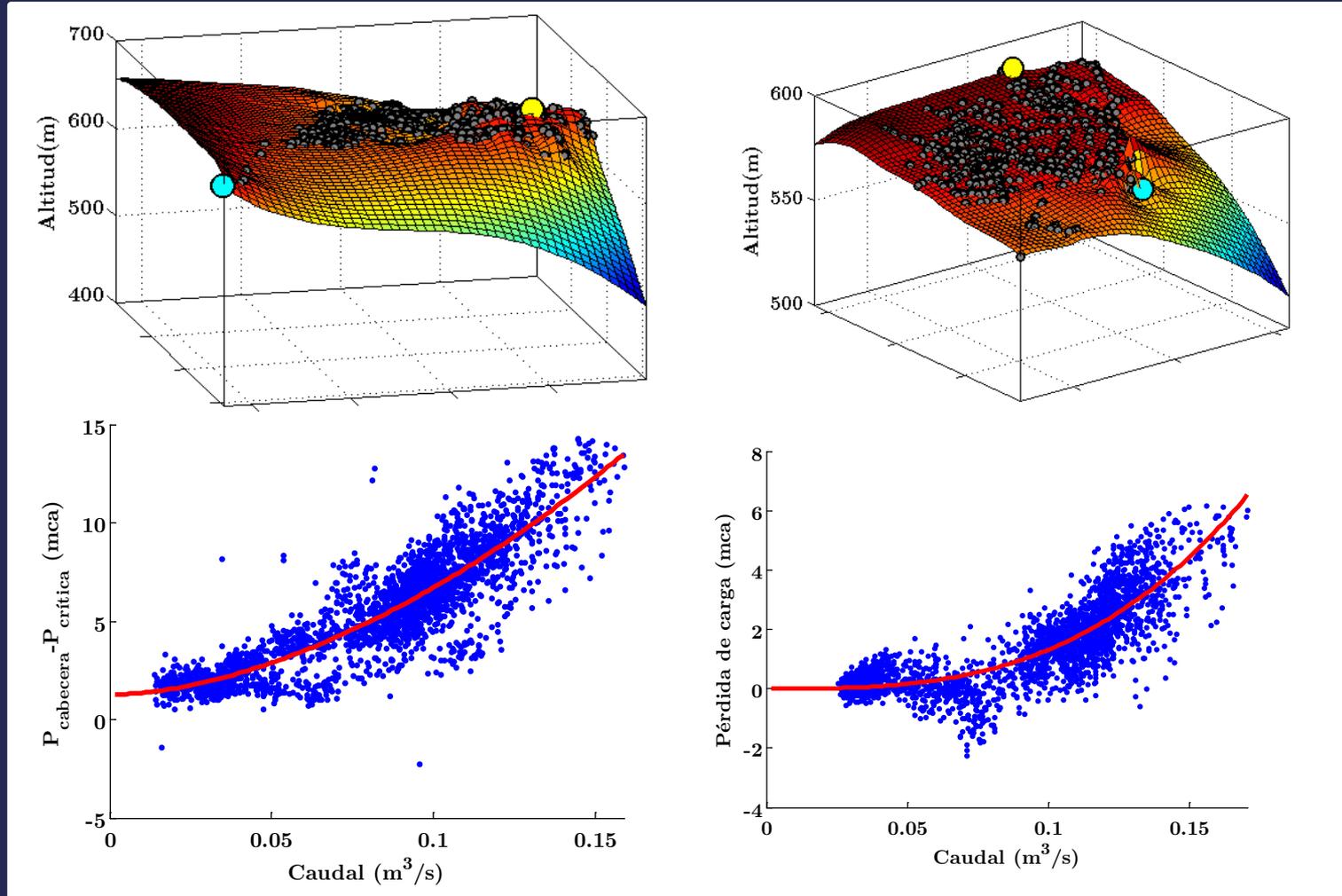
## Configuración software

- Canales de señal entrada
  - *Unidades, transducción, escala*
- Almacenamiento
  - *Frecuencia muestreo (5-minutal)*  
*nº registros, batería*
- Transmisión de datos GPRS
  - *Frecuencia envío (diaria), config. servidor, cobertura*
- Descarga local de datos

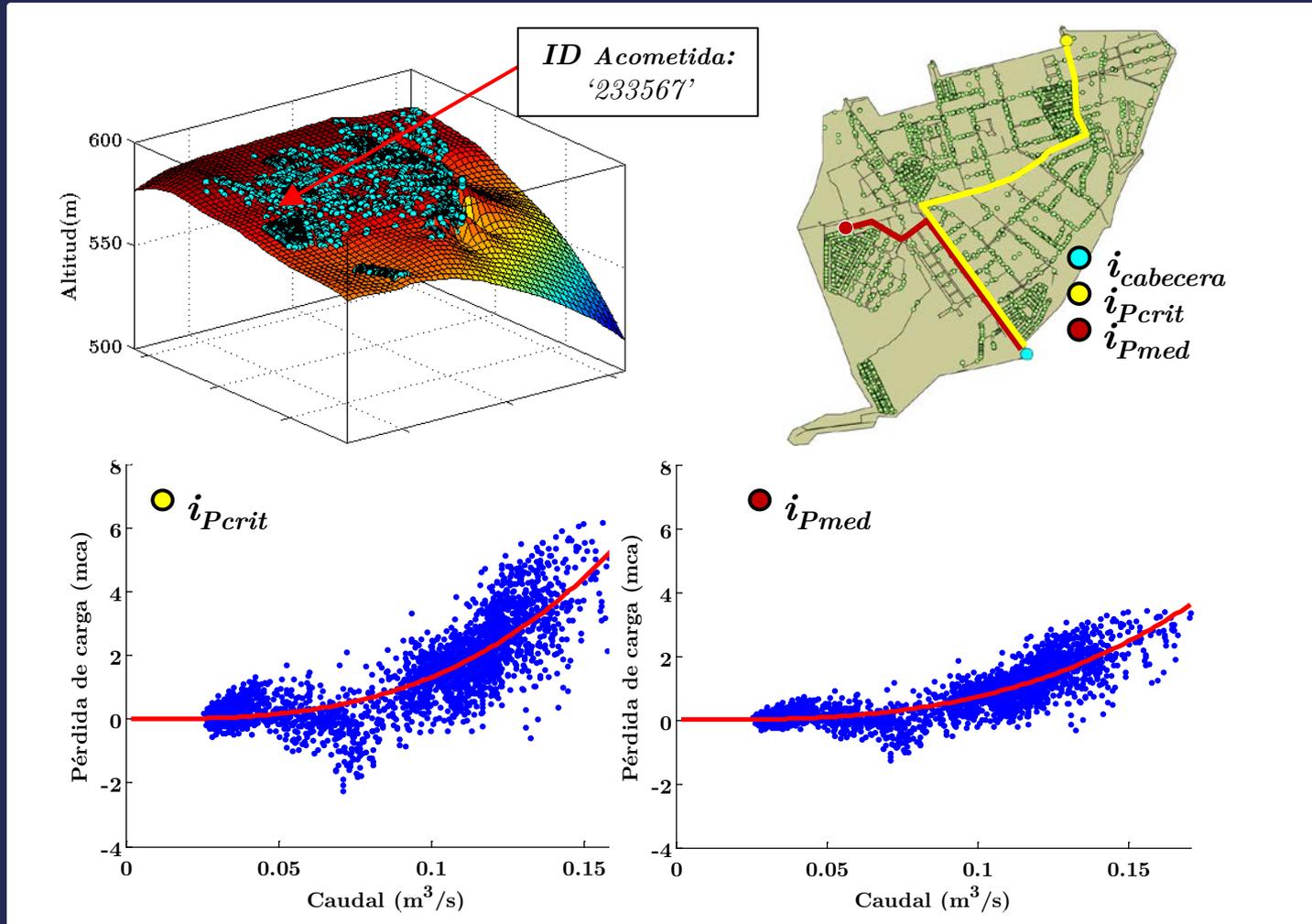
# Métodos CMN – Presión media



# Métodos CMN – Presión media



# Métodos CMN – Presión media



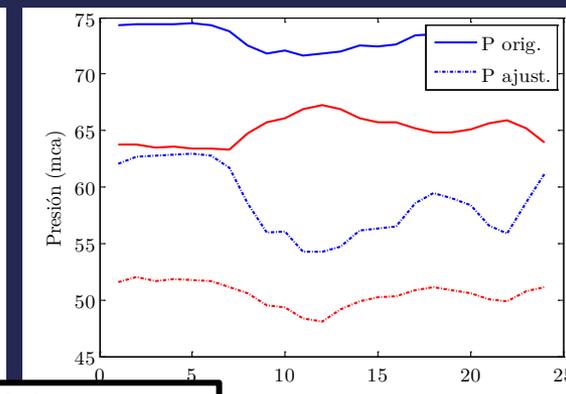
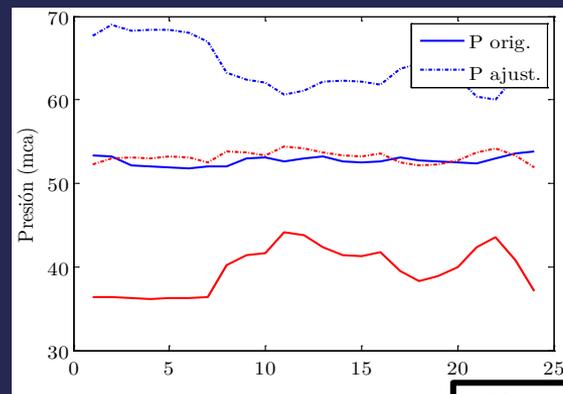
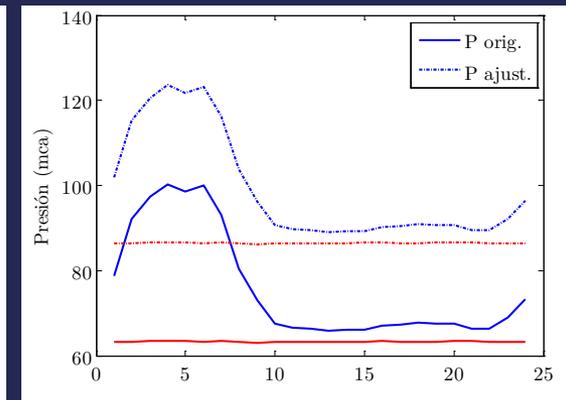
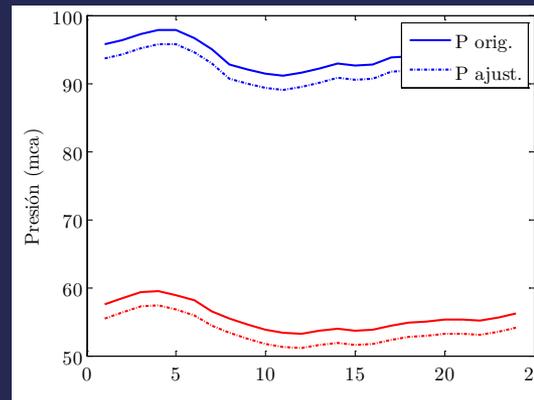
# Métodos CMN – Presión media

## ● Cálculo $P_{media}$ por tramos horarios

— Antes  
— Después

1	Sin lapso – sin ajuste
	Sin lapso – con ajuste
	Con lapso – sin ajuste
2	Toma datos tiempo real
	Expresiones literatura
	Campaña ‘ad-hoc’
3	Hidráulico
	<b>Topográfico</b>
	Medición directa
	<b>Pérdida de carga</b>
4	Matriz sensibilidad
	Valores empíricos
	Método inverso

*Topográfico*



*Pérdida carga*

# Métodos CMN – Exponente N<sub>1</sub>

1. CMN

2.  $F_{reales}$ 3.  $P_{med}$ 4. Exp. N<sub>1</sub>

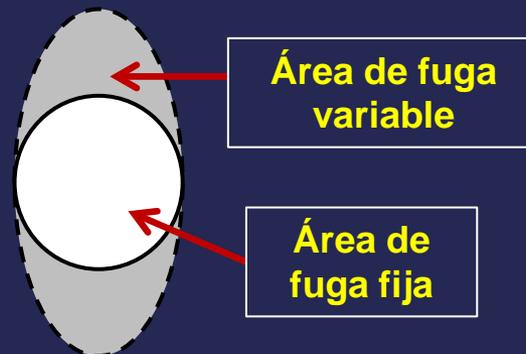
1	Sin lapso – sin ajuste
	Sin lapso – con ajuste
	Con lapso – sin ajuste
2	Toma datos tiempo real
	Expresiones literatura
	Campaña 'ad-hoc'
3	Hidráulico
	Topográfico
	Medición directa
	Pérdida de carga
	Matriz sensibilidad
4	Valores empíricos
	Método inverso

*Ecuación de Torricelli  
(orificio fijo)*

$$Caudal_{fuga} = C_D A \sqrt{2gh}$$

*Modelos FAVAD  
(orificio variable)*

$$F = \beta \cdot P^\alpha$$



$$\alpha \rightarrow [0.5 - 1.5]$$

# Índice

1. Introducción y objetivos
2. Estado del arte
3. Esquema metodológico global
4. Selección de técnica de regulación
5. Diseño de consignas óptimas de regulación
6. Metodología impacto de GP: reducción fugas
7. **Herramienta de ayuda a la decisión**
8. Conclusiones y trabajo futuro

# Módulos de herramienta

Sistema Integrado de Gestión Avanzada de Presiones (SYGAP)

ACTUALIZAR TODOS LOS SECTORES/VARIABLES

**Elija Sector:**  
Mostoles Parque Coimbra\_...

**Elija variable de estudio:**  
 presion aguas arriba  
 presion punto crítico  
 presion aguas abajo  
 caudal

**Ver detalles registros**

**Detalles de registros:**  
 Fecha Inicio: --> Fecha Fin:  
 01/06/2010 --> 14/01/2013  
 # Registros: Período:  
 22835 2 años, 228 días

**Comentarios:**  
 Periodos sin registros:  
 26/Mar/2011 --> 28/Mar/2011  
 22/Aug/2011 --> 23/Aug/2011  
 02/Oct/2011 --> 04/Oct/2011

Importar desde:  ASCII  Hoja de cálculo  Data base

Seleccione gestor de base de datos de origen: Microsoft Access

Ruta acceso: E:\Proyectos\TecoAgua\  
 Archivo origen: Registros.accdb  
 DatabaseURL: jdbc:odbc:Driver={Microsoft Access Driver (\*.mdb, \*.acc  
 Driver JDBC: sun.jdbc.odbc.JdbcOdbcDriver

Tabla origen: PRESIONES\_PRUEBA  
 Consulta SQL:

Número Evento: 2

Fecha Inicio: 02/02/2012  
 Fecha Fin: 31/05/2012  
 Actualidad

**TIPO DE CONSIGNA**  
 Modulación basada en Caudal

Valor consigna única: (mca)  
 Número intervalos: 4 >>

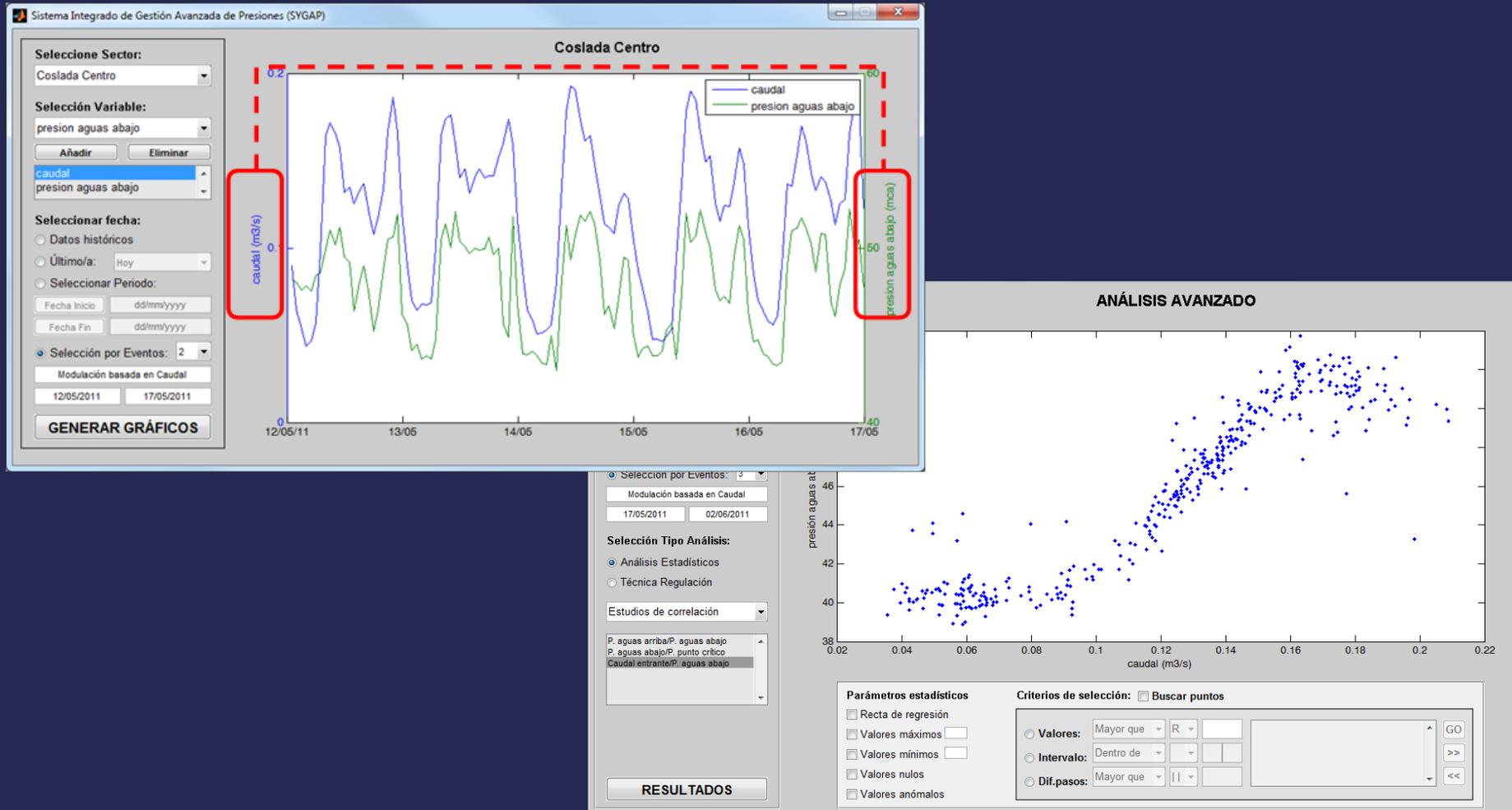
Finalizado: /s  
 mca

Consigna de seguridad:

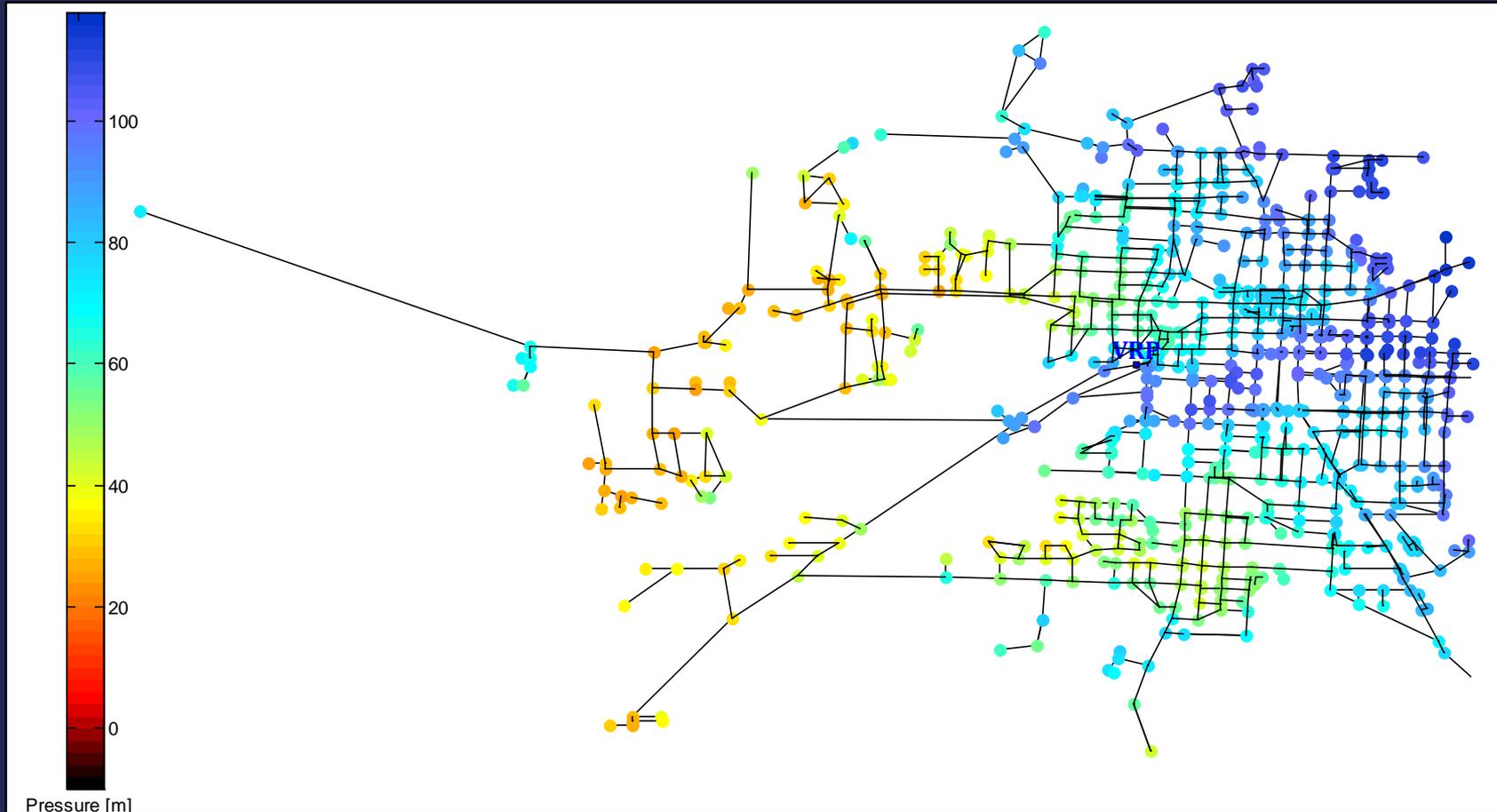
presion(m.c.a.)

caudal(l/s)

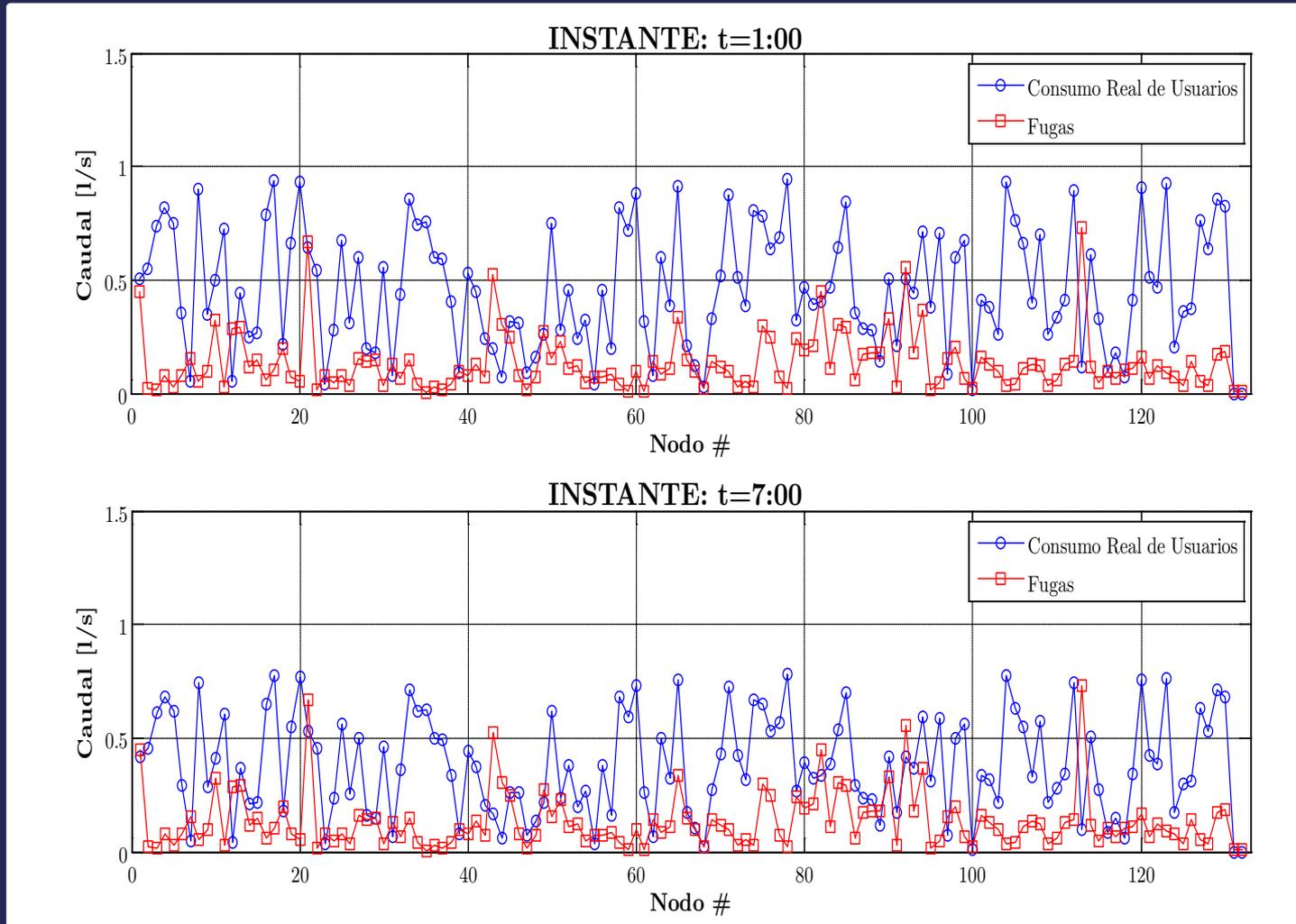
# Módulos de herramienta



# Módulos de herramienta



# Módulos de herramienta



# Índice

1. Introducción y objetivos
2. Estado del arte
3. Esquema metodológico global
4. Selección de técnica de regulación
5. Diseño de consignas óptimas de regulación
6. Metodología impacto de GP: reducción fugas
7. Herramienta de ayuda a la decisión
8. Conclusiones y trabajo futuro

# Conclusiones

- **Selección técnicas de regulación**
  - Metodología de **análisis cualitativo** basada en enfoque holístico efectiva para este tipo de análisis (globales y con muchos factores)
  - Se han identificado una serie de **factores como los más relevantes** en diseño de plan GP
  - Ninguna técnicas de regulación es la más adecuada para todos los tipos de sectores → **Aplicar la tabla de recomendaciones**

# Conclusiones

## ● Diseño de consignas óptimas

- Los modelos de tipo **'pressure-driven'** presentan resultados más realistas que la formulación clásica **'demand-driven'**, y por tanto más adecuados para el análisis de maniobras de GP
- El **método 'rígido'** debe ser aplicado considerando los diferentes 'puntos críticos'.
- El **método 'flexible'** es un método que puede ser beneficioso en escenarios con diferencias de presión entre puntos interiores: orografía, pérdida de carga significativa, etc.

# Conclusiones

- **Método de CMN: conceptual**
  - Se trata de un método práctico pero puede introducir una gran **incertidumbre** en el cálculo
  - **Propuestas originales** para mejorar el método:
    - Cálculo de CMN y **ajuste de funciones** con descomposición en series temporales → Estimación más precisa de Fugas Reales
    - Métodos para calcular presión media: **pérdida de carga** entre punto.

# Conclusiones

- **Método de CMN: aplicación**
  - Muchos sectores han sido **descartados** a lo largo del proceso de cálculo por **falta de datos o hipótesis no aplicables**.
  - En paralelo al diseño de un plan de GP, conviene **diseñar plan para evaluar impacto**: decidir instante de inicio de maniobras, monitorización de consumos, instalación de sensor en punto representativo de presión media,
  - Para una mejor aplicabilidad del **método de pérdida de carga**, instalar sensor de presión en punto más alejado (mayor pérdida de carga), en lugar de punto crítico

## Aportes originales

- **Tabla selección técnica de regulación:** recomendaciones guía metodológica.
- Entorno de **simulación de análisis hidráulico**, incorporando módulos de gestión de presiones avanzadas.
- Algoritmo para definir **curvas de consigna óptimas**
- Propuestas conceptuales para mejorar la precisión; distintas fases de **método de CMN**
- Software de **ayuda a la toma de decisiones**

# Trabajo y líneas futuras

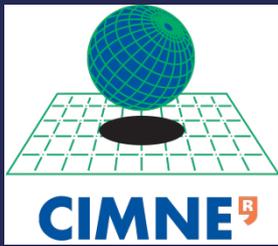
- Establecer **indicadores** cuantitativos para la selección de la mejor técnica de regulación.
- Introducir **evaluación económica** en la fase de diseño, tanto para la **selección de la técnica** como para la definición de **consigna**.
  - Coste dispositivos, instalación y mantenimiento.
  - Beneficio económico de agua ahorrada por reducción de fugas.
  - Perjuicio por reducción de agua consumida.

# Trabajo y líneas futuras

- Seguir explorando las posibilidades del **método 'flexible'** para definir curvas de consigna óptimas
- Introducir **otros elementos de regulación** en conjunción con la regulación mediante VRPs: bombas, depósitos de cola, etc.

# Publicaciones / Congresos

1. Vicente, D.J., Garrote. L., Sánchez, R. Salazar, F. (2017) **Sistema de ayuda a la decisión.** V Jornadas de Ingeniería del Agua, La Coruña, Octubre 2017
2. Vicente, D.J., Garrote. L., Sánchez, R. Salazar, F. (2017) **A DSS to estimate the benefits of pressure management in background leakage reduction of water distribution systems.** 9th Eastern European YWP – International Water Association, Budapest, Hungría, Mayo 2017.
3. Vicente, D.J., Garrote. L., Sánchez, R. Santillán, D. (2015) **Pressure management in water distribution s systems : Current status , proposals and future trends,** *J. Water Resour. Plann. Manage.* 142(2), 04015061.
4. Vicente, D.J., (2014) **Comparación de diferentes métodos de determinación de la presión media en sistemas de distribución de agua, para la estimación de caudal fugado.** VIII Seminario Líneas Prioritarias Red de Laboratorios de Hidráulica de España, Madrid, Julio 2014
5. Vicente, D.J., Sánchez, E.H., Sánchez, R., Garrote. L., Martínez, A. (2011) **Hacia el diseño óptimo de un plan de Gestión de Presiones en redes de distribución de agua urbana .** II Jornadas de Ingeniera del Agua, Barcelona, Octubre 2011



# Diseño de maniobras de gestión de presiones en sectores de distribución de agua y análisis de su impacto

David J. Vicente  
*[djvicente@cimne.upc.edu](mailto:djvicente@cimne.upc.edu)*