



# RAONAMENT BASAT EN L'EXPERIÈNCIA

## Raonament Basat en Casos

**(SBC-CBR Part III – Aplicacions del CBR)**

**Miquel Sàncchez-Marrè**

**Intelligent Data Science and Artificial Intelligence Research Centre (IDEAI-UPC)**

**Knowledge Engineering and Machine Learning Group (KEMLG-UPC)**

Computer Science Dept.

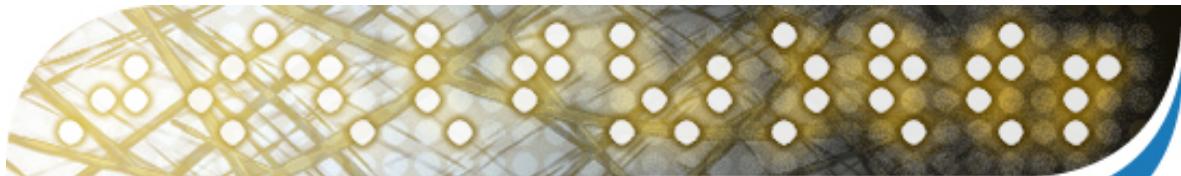
Universitat Politècnica de Catalunya · BarcelonaTech

[miquel@cs.upc.edu](mailto:miquel@cs.upc.edu)

<http://www.cs.upc.edu/~miquel>

Course 2023/2024

<https://kemlg.upc.edu>





## PART 3 – APLICACIONS DEL CBR



## Aplicacions del CBR

### Supervisió i gestió d'EDAR: un domini complex del món real



## Què és un sistema mediambiental?

- Un **Sistema Mediambiental** és un procés natural o artificial en un context ambiental concret (aigua, aire, bosc, ús del sòl, agricultura, pesca, etc.) que presenta diverses característiques complexes (biològiques, químiques, ecològiques, físiques, elèctriques, etc.), i implica almenys un **procés de presa de decisions**, ja sigui pel seu disseny o per la seva correcta gestió del funcionament, per tal d'evitar o resoldre possibles **conseqüències perilloses per a la naturalesa o/i els éssers humans**.
- **Exemples:**
  - Una planta de tractament d'aigües residuals (EDAR)
  - Un sistema de control de la contaminació atmosfèrica
  - Un sistema de gestió forestal
  - Un sistema de protecció de conreus agrícoles
  - Un sistema de supervisió de la qualitat de l'aigua fluvial
  - Un sistema de gestió ecològica de la població



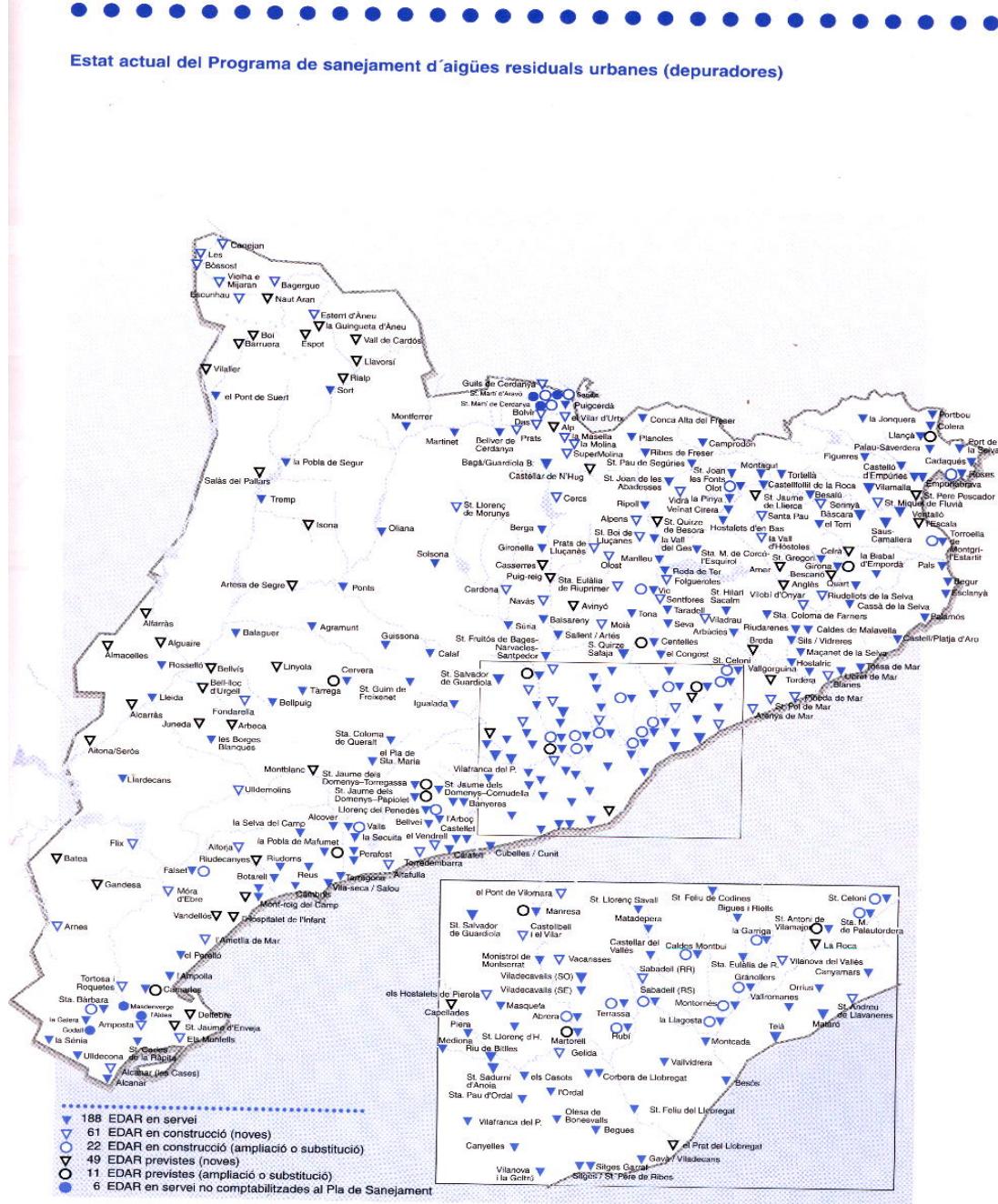
# Rellevància de les actuacions

Riu	Mitjana ISQA (1989/1990)	Mitjana ISQA (1997/1998)
Fluvia	81,79	84,76
Ter	51,5	77,5
Tordera	36,56	82,98
Besos	3,72	44,18
Llobregat	44,06	70,38
Anoia	11,03	62,95
Foix	37,35	68,81
Francolí	61,60	83,13
Segre	78,52	83,64
Ebre	77,42	82,17

[Fonts: Dades del Medi Ambient, Balanç 1998. Dept. of Environment, Generalitat de Catalunya amb indicadors sobre la qualitat de l'aigua dels rius catalans].

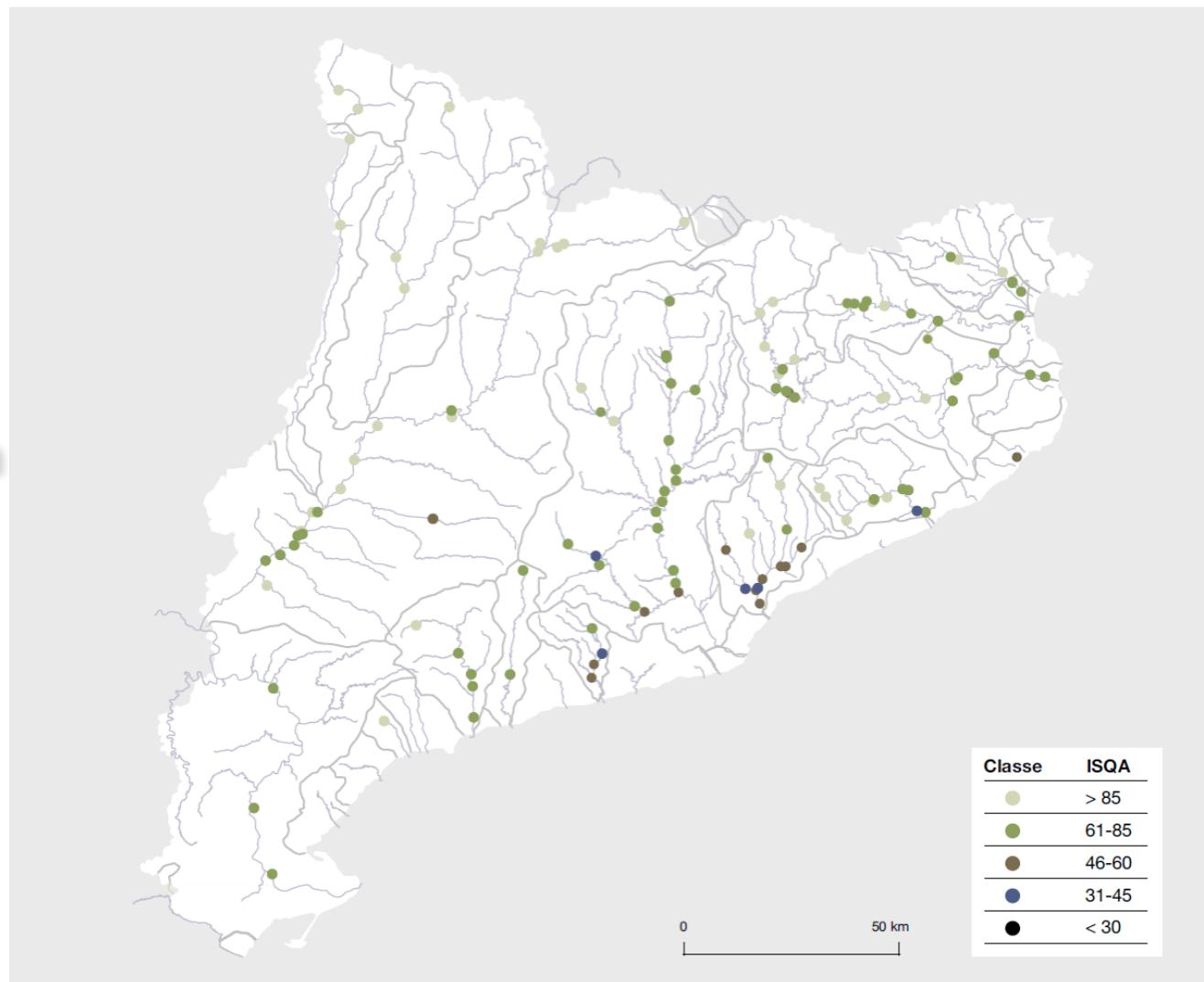
Els valors numèrics són els **índexs ISQA**, que són uns indicadors simplificats de la qualitat de l'aigua que tenen en compte 5 paràmetres analítics: temperatura, sòlids en suspensió, oxidabilitat, oxigen dissolt i conductivitat elèctrica de l'aigua. Van des de 0 (pitjor qualitat) a 100 (millor qualitat).

## EDARs a Catalunya (1997)



## Qualitat de l'aigua dels rius el 2005

### Qualitat de les aigües superficials. Valors mitjans d'ISQA. 2005 <sup>(1)</sup>



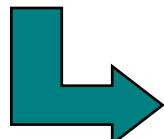
<sup>(1)</sup> El Mapa indica els valors mitjans de l'ISQA assumits, classificats segons els intervals de referència del Pla de Sanejament de Catalunya.

L'ISQA és un índex de qualitat de les aigües que es calcula a partir de la temperatura, les partícules en suspensió, la oxidabilitat, l'oxigen dissolt i la conductivitat.

## Complexitat dels sistemes mediambientals



- Quantitat de dades/informació
- Qualitat de les dades (inexactitud)
  - Imprecisió / Incertesa / Incompletitud
- Processos espacials 3D
- Comportament dinàmic i estocàstic
- Multiplicitat d'escales espacials/temporals
  - local / nacional / global
  - segons / minuts / hores / dies
- Interacció física, química, biològica i ecològica
- Possible risc per al Medi Ambient i/o els éssers humans



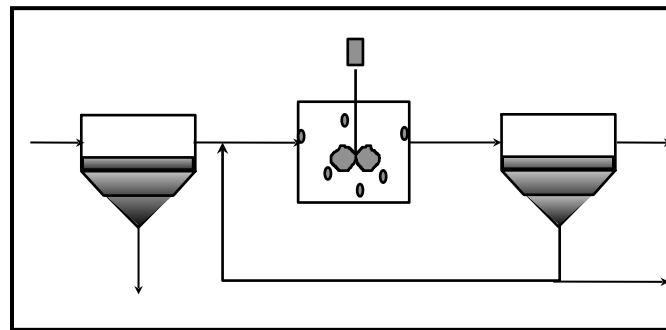
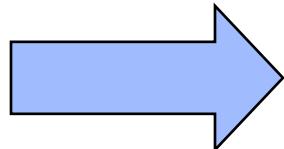
**La Gestió de Sistemes Meidambientals** és complexa i els Processos de presa de decisions que implica són **díficils**



## El domini de les EDARs (1)

- **Supervisió de processos complexos del món real**
- **Gestió i control de les EDAR**
- **Característiques dels EDAR:**
  - **sistema complex**
  - **domini mal estructurat**
  - **informació qualitativa**
  - **incertesa**
  - **sistema dinàmic**

## Supervisió d'EDAR: un problema mediambiental complex



### Entrada

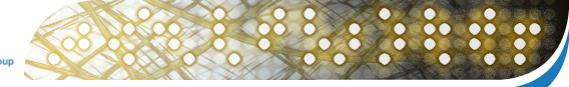
- ✓ Variabilitat de qualitat
- ✓ Variabilitat quantitativa
- ✓ Continua i incontrolable

### Procés

- ✓ Procés dinàmic i complex
- ✓ (Interaccions físiques, químiques i biològiques)
- ✓ Coneixements limitats
- ✓ Retards en ànalisis químiques i de laboratori
- ✓ Informació qualitativa i aproximada

### Sortida

- ✓ S'han de satisfer els requisits de qualitat donats



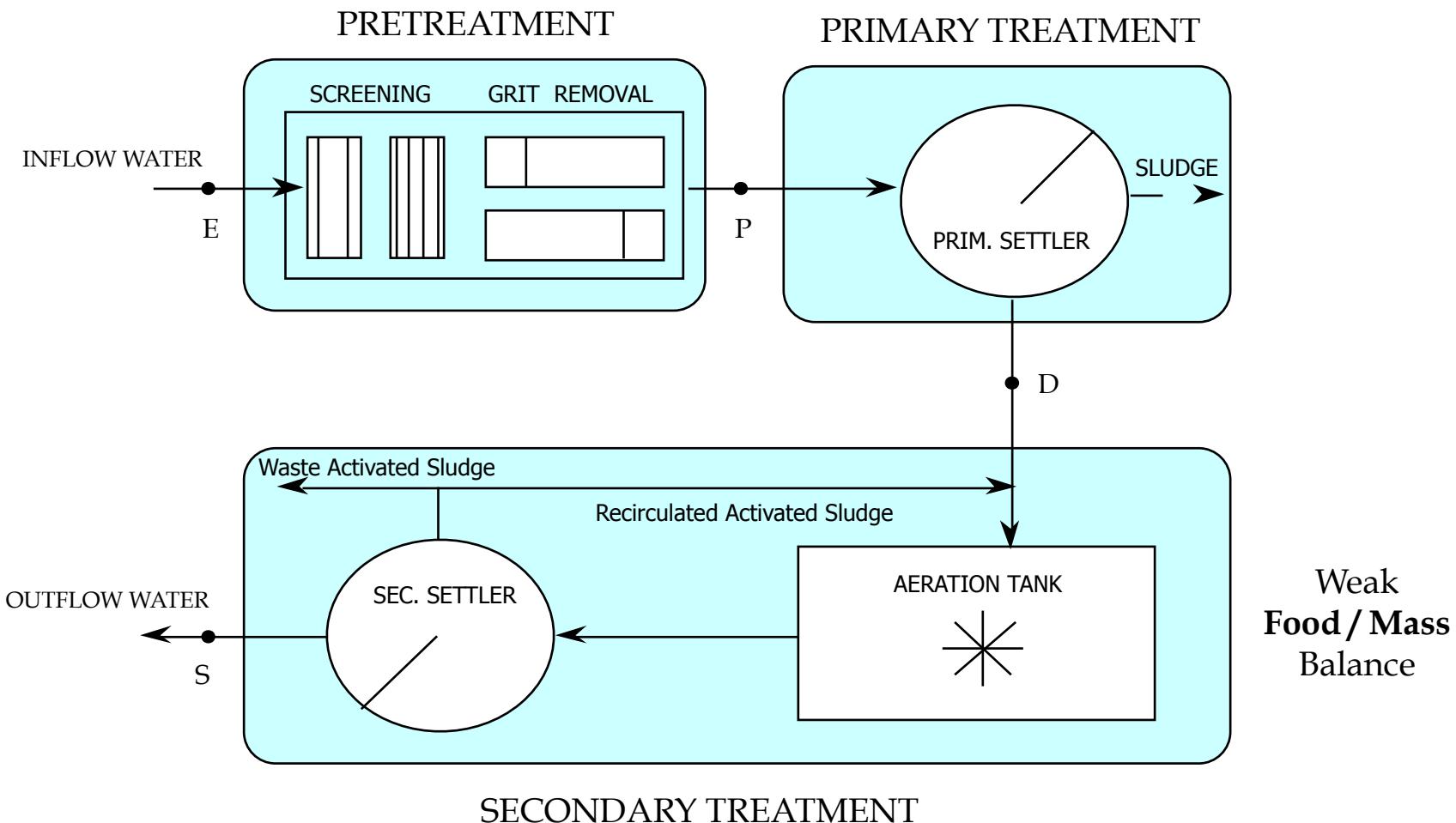
# Contaminants més importants

Extre de [Sàncchez-Marrè, 1996]

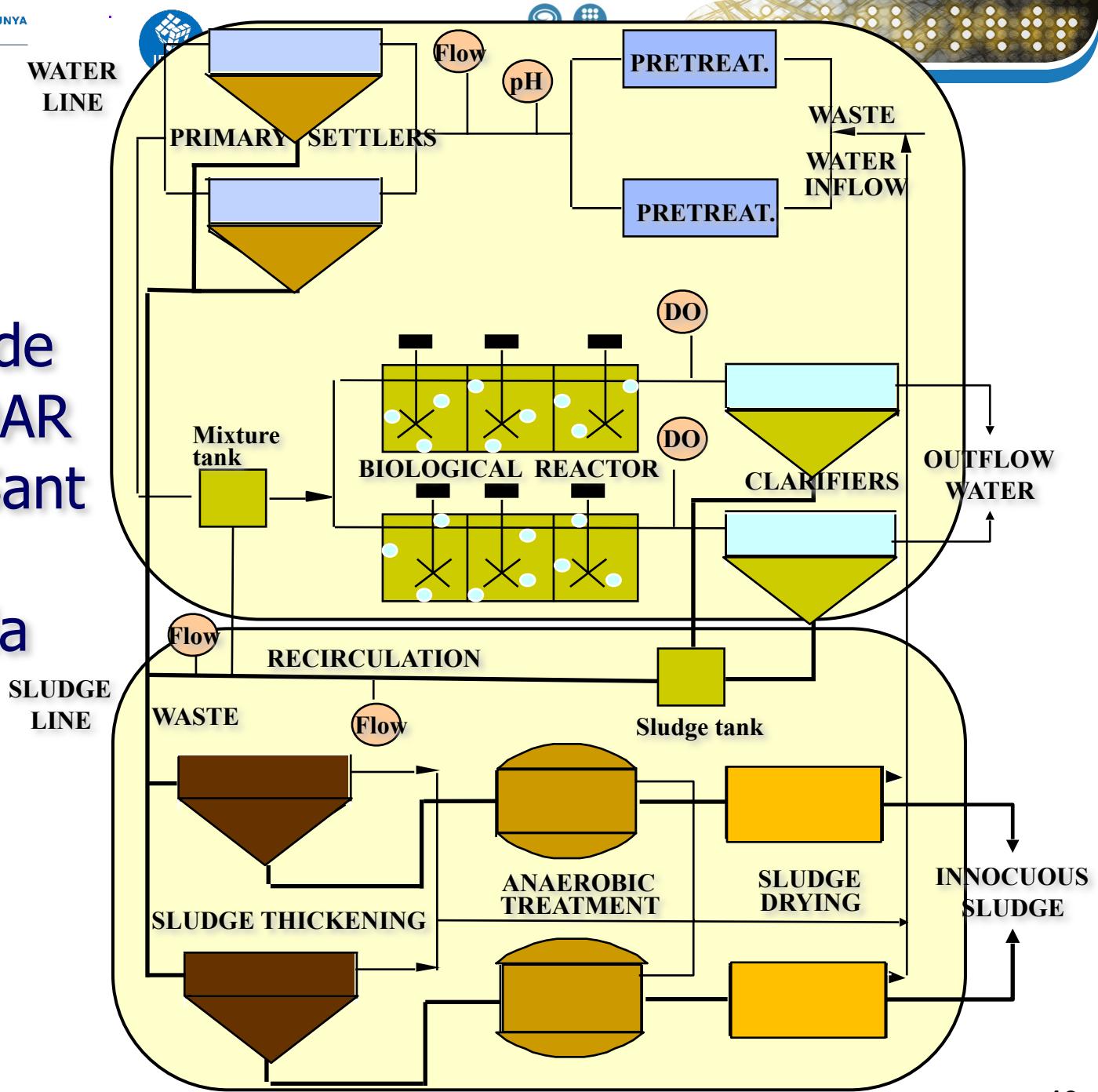
Contaminants	Concentracions (mg/l)
<b>SÒLIDS</b>	
Dissolts	250-850
En suspensió	100-350
Decantables	5-20
<b>MATÈRIA ORGÀNICA</b>	
BOD <sub>5</sub>	110-400
TOC	80-290
COD	250-1000
<b>NUTRIENTS</b>	
Nitrogen (total com N)	20-85
organic	8-35
amoniac lliure	12-50
nitrats	0
nitrites	0
Fòsfor (total as P)	4-15
orgànic	1-5
inorgànic	3-10
<b>PATÒGENS</b>	
Total coliformes	10 <sup>7</sup> -10 <sup>10</sup>

# El domini de les EDARs (2)

## Extret de [Sàncchez-Marrè, 1996]



## Diagrama de flux de l'EDAR Manresa - Sant Joan de Vilatorrada



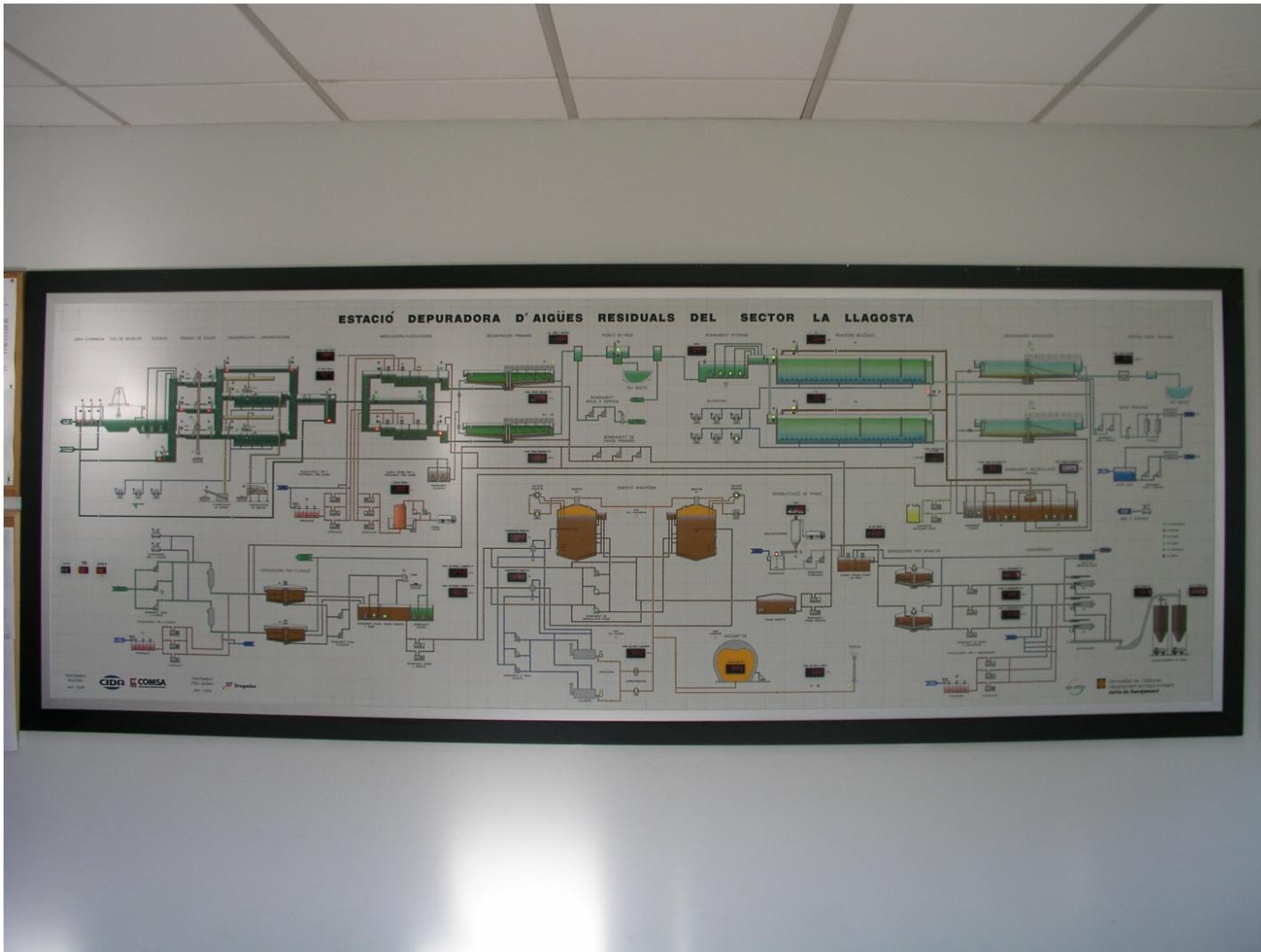


# L'EDAR de Granollers



- ✓ Clavegueram combinat
- ✓ Equivalent a una poblaciò de 130,000
- ✓ Eliminació de matèria orgànica i SS (i N a vegades)

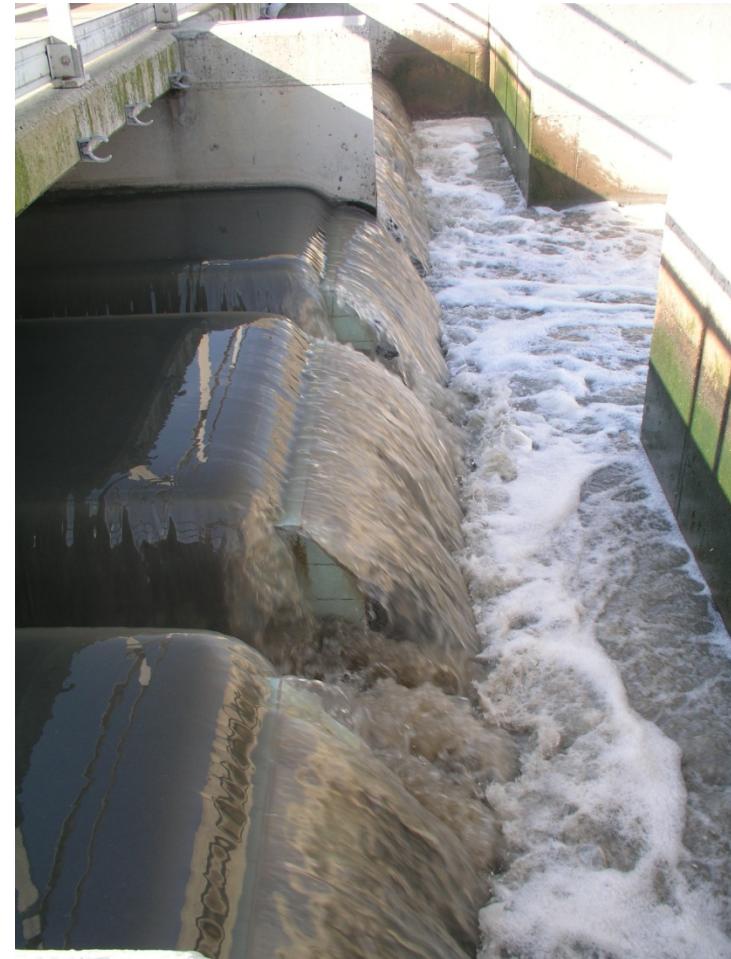
## Tauler de control de l'EDAR



## Entrada d'aigua



## Filtrat i Reixes, i transport a Tractament Primari



## Decantador Primari



## Reactor Biològic (1)



## Reactor Biològic (2)



## Reactor Biòlògic (3) i Decandadors Secundaris



# Decantador Secundari / Clarificador



## Eliminació de fangs al Decantador Secundari



## Sortida de l'Aigua



# Aprendentatge Supervisat i Experiencial



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

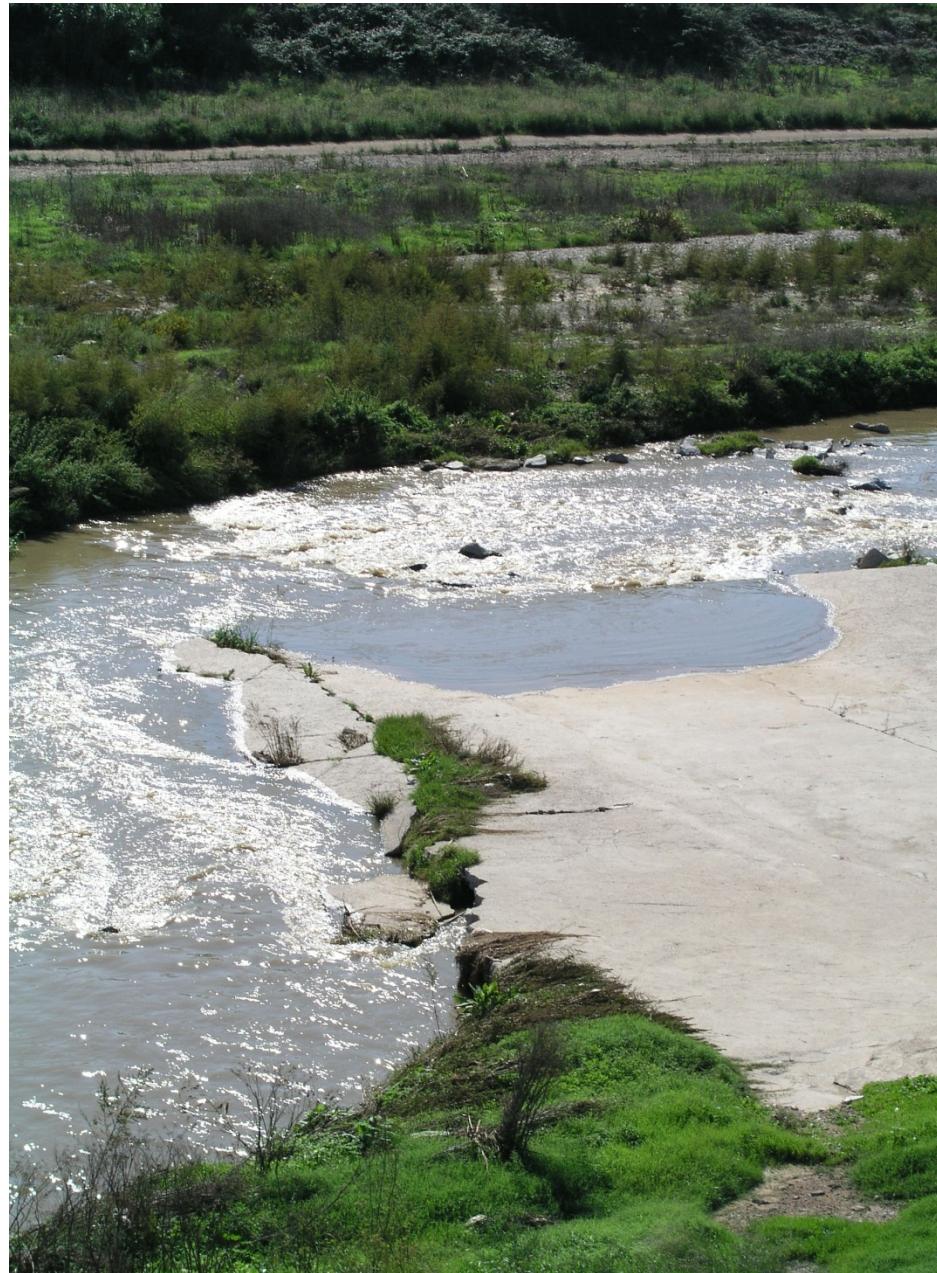
Intelligent Data Science and  
Artificial Intelligence Research Center



KEMLG  
Knowledge Engineering and Machine Learning Group  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



## Riu





# Control automàtic aplicat a EDAR

- Feedback control
  - [Marsilli-Libeli, 1982]
- Feedforward control
  - [Corder and Lee, 1986]
- Control Adaptatiu
  - [Dochain, 1991; Ko et al., 1982]
- Control Òptim
  - [Beck, 1986]
- Control Predictiu
  - [Moreno et al., 1992; Clarke et al., 1987]



# Control Intel·ligent

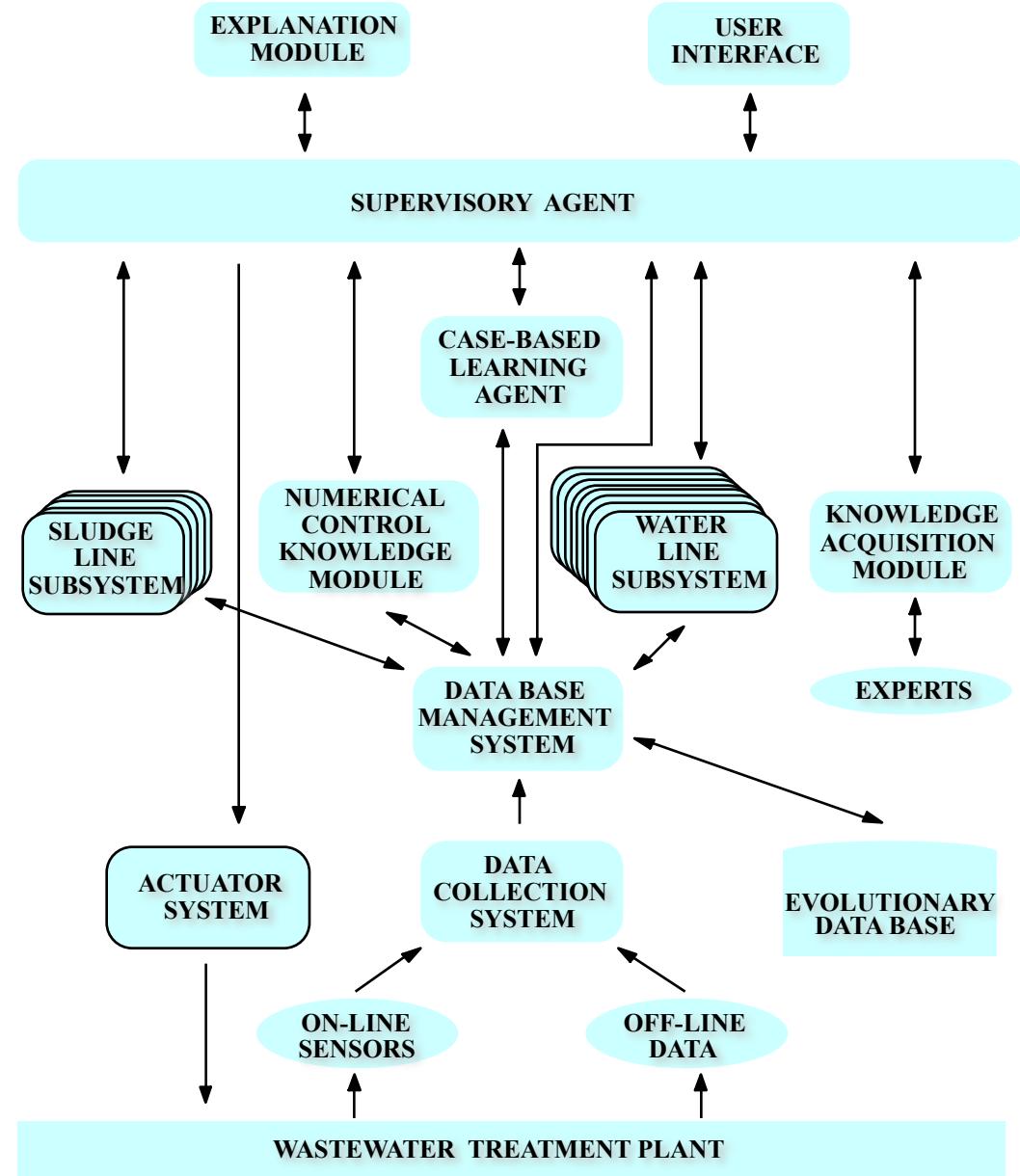
- Control difús
  - [Alex et al., 1994; Bonissone, 1994; Piskunov 1992; Bouslama, 1992; Czoagala and Rawlik, 1989]
- Control basat en models
  - [Ramparany, 1994; Rich and Venkatasubramanian, 1987]
- Control amb algoritmes genètics
  - [Karr, 1991; Karr et al., 1989]
- Control amb xarxes neuronals
  - [Hunt et al., 1992; Kraft et al., 1992; Kosko, 1992; Capodaglio et al., 1991]
- Control basat en el coneixement

# Sistemes basats en el coneixement aplicats a les EDAR

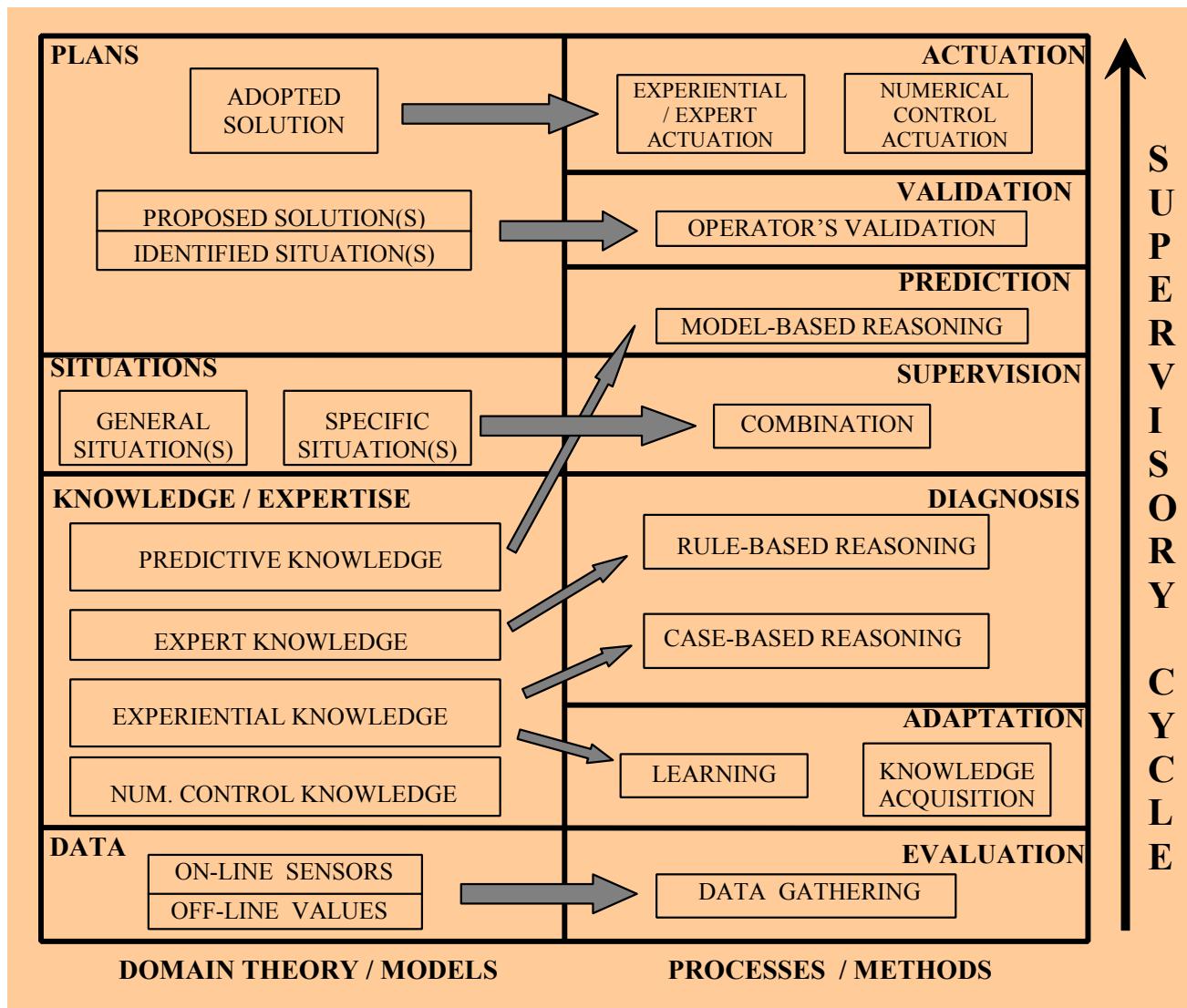
- Sistemes Off-line
  - Disseny
    - ◆ [Krovvidy and Wee, 1993; Krovvidy et al., 1991]
  - Ajuda a la diagnosi i pressa de decisions
    - ◆ [Beck et al., 1990; Maeda, 1989; Gall and Patry, 1989; Berthuex et al.; 1987]
  - Optimització de processos
    - ◆ [Huang et al., 1991]
- Sistemes On-line
  - Sistemes de control/supervisió
    - ◆ [Sàncchez-Marrè, 1996; Serra et al., 1997; Serra et al., 1993]

## DAI-DEPUR [Sàncchez-Marrè, 1996]

### Arquitectura funcional



# DAI-DEPUR: a hybrid framework

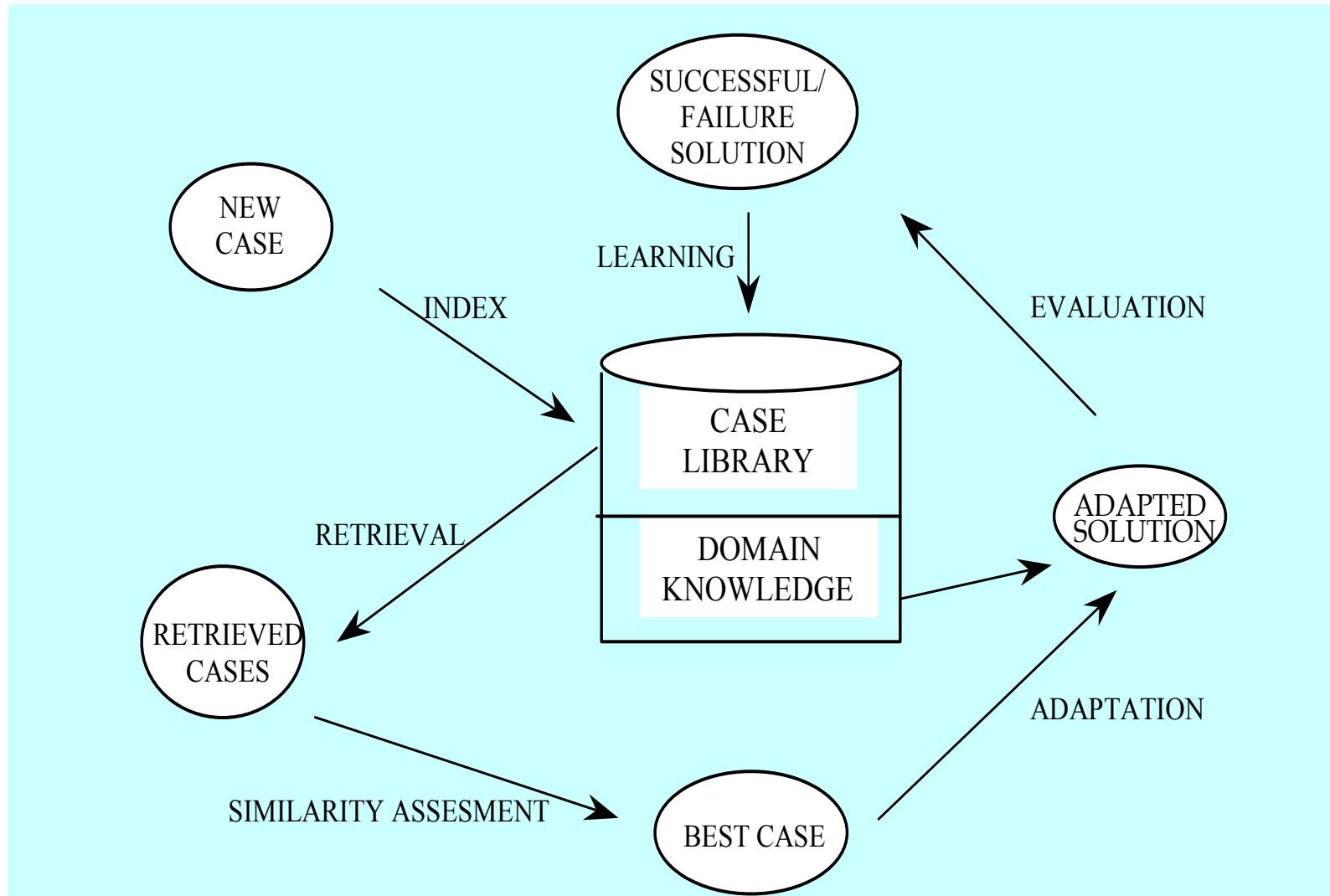




## OPENCASE: un sistema CBR independient de domini

[Sàncchez-Marrè et al., 1997]

## Cicle CBR





# L'aproximació OPENCASE

- Casos com **estructures**
- Informació sobre Meta-casos: la taula d'atributs.
  - **Independents del domini**
- Atributs ordenats/no ordenats
- La Biblioteca de Casos com a **arbre de discriminació prioritzat**
- Indexació **amb checklist predictiva discriminant checklist**
- Suporta **informació que falta ("missing")**
- Indexació amb flexibilitat per concordància parcial
- **Mesura de similitud sensible als pesos** per a la recuperació de casos
- **Ajustament de paràmetres per interpolació** per l'adaptació de casos
- Diferents **esquemes d'aprenentatge**
- **Mesura d'utilitat** per oblidar



# Taula d'atributs

Attribute	Interpretation (units)	Weight	Modalities		
			Low	Normal	High
SS-S	Suspended solids at the output of the plant (mg/l)	9	( 0 – 10 )	( 10 – 20 )	( 20 – 100 )
DQO-S	Chemical oxidizable organic matter at the output (mg/l)	9	( 0 – 30 )	( 30 – 70 )	( 70 – 200 )
DQO-E	Chemical oxidizable organic matter at the input (mg/l)	7	( 0 – 300 )	( 300 – 500 )	( 500 – 1000 )
SS-E	Suspended solids at the input of the plant (mg/l)	6	( 0 – 150 )	( 150 – 300 )	( 300 – 750 )
Q-E	Inflow wastewater (m <sup>3</sup> /d)	5	( 0 – 30000 )	( 30000 – 40000 )	( 40000 – 60000 )
DBO-E	Biodegradable organic matter at the input (mg/l)	8	( 0 – 100 )	( 100 – 250 )	( 250 – 600 )
DQO-D	Chemical oxidizable organic matter at the output of the primary settler(mg/l)	6	( 0 – 150 )	( 150 – 300 )	( 300 – 600 )
SS-D	Suspended solids at the ouput of the primary settler (mg/l)	6	( 0 – 80 )	( 80 – 200 )	( 200 – 450 )
IVF	Sludge volume index (ml)	8	( 0 – 125 )	( 125 – 220 )	( 220 – 400 )
V30	Mesaure of the sedimentability of the activated sludge (ml/g)	5	( 0 – 150 )	( 150 – 250 )	( 250 – 450 )



## Dominis continus

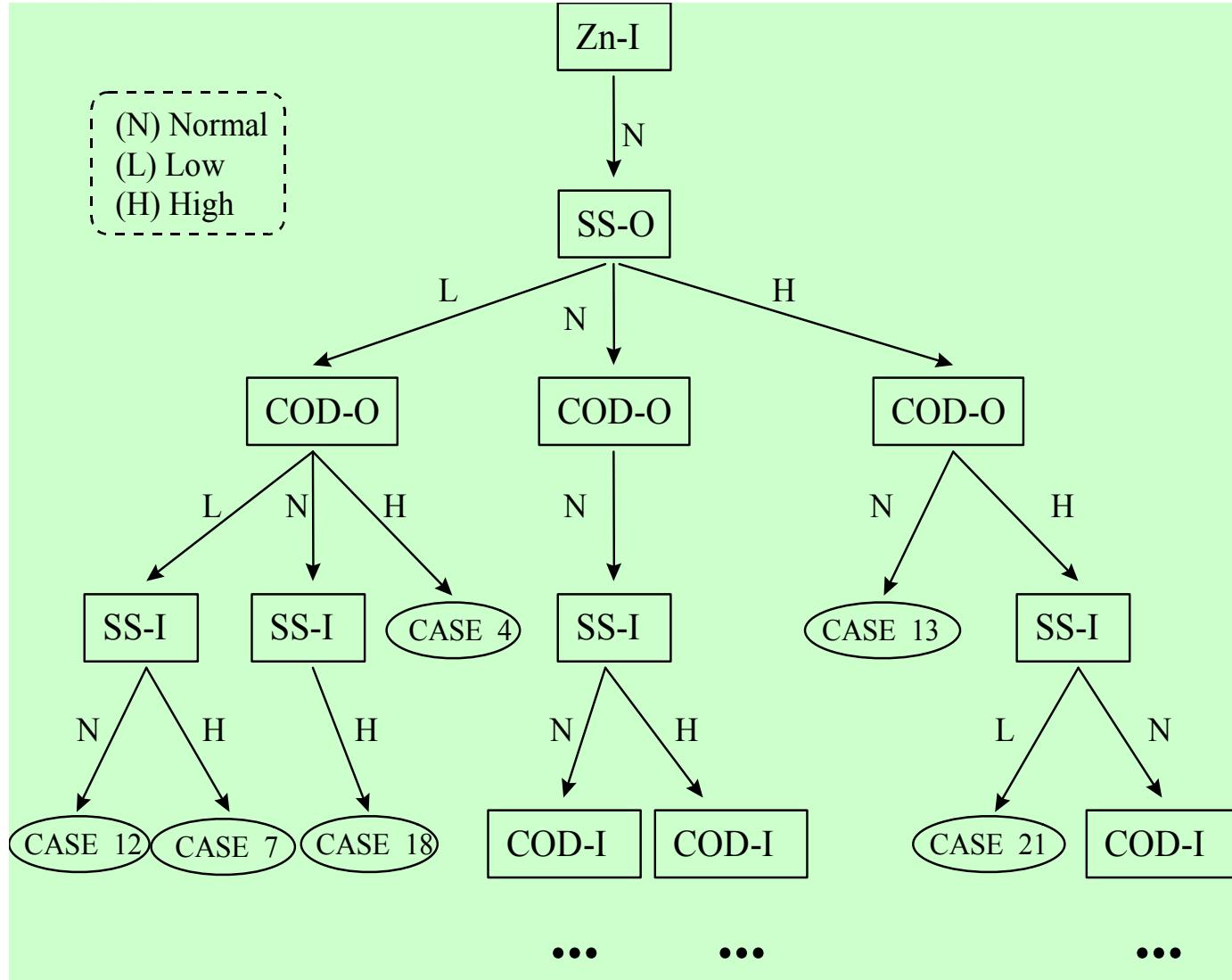
- Què és un **cas** ?
  - Punts de mostreig
  - Cada cas està forma per la mitjana mostral de totes les variables (fluxe d'entrada d'aigua, COD, BOD, etc.)



# Estructura dels casos

```
( :identifier CASE-31
  :situation-description ( (Water-inflow 22,564 m3/day)
                           (Inflow-Biological-Oxygen-Demand 192.9 mg/L)
                           . . . )
  :diagnostics STORM-SITUATION
  :actuation-plan ( (1 Close Purge-flow)
                     (2 Maintain-DO-predictive-control)
                     . . . )
  :case-derivation CASE-11
  :solution-result SUCCESS
  :utility-measure 0.63
  :distance-to-case 0.1305 )
```

# Biblioteca de casos: un arbre discriminant priorititzat





# Recuperació de casos

- Estratègia de matching parcial
- **La valoració de la similitud** es relaciona amb el coneixement del domini
- **Estructura de la biblioteca de casos (opcions)**
  - **Plana -->**
    - ◆ Valoració de la similitud un a un --> mal rendiment en temps
  - **Memòria jeràrquica**
    - ◆ Buscant camins a la Biblioteca de Casos
    - ◆ Selecció del millor cas entre els casos cercats

# Taula de casos recuperats

CASE	DIST.	ZN-E	SS-S	DQO-S	SS-E	DQO-E	DBO-E	Q-E	SS-D	DQO-D	pH-E	pH-S
NEW		0.5	25	60	240	480	380	31000	210	320	7.8	7.6
21	0.000	0.5	25	60	240	480	380	31000	210	320	7.8	7.6
1	0.018	1.5	21	84	166	407	NIL	44101	94	280	7.8	7.3
8	0.022	0.99	20	NIL	964	483	156	34094	92	170	7.8	7.6
9	0.026	1.0	21	79	1000	457	189	39421	140	323	7.9	7.8
7	0.073	2.0	16	70	172	370	365	32217	80	135	7.7	7.6
15	0.199	1.56	13	82	218	517	230	38105	102	349	8.4	8.0



# Adaptació de casos

```
if distance(CNEW, CRETR) ≤ β then
    solution-parameters-interpolation(CNEW, CRETR)
else
    special-purpose-adaptation-heuristics(CNEW, CRETR)
endif
```

where  $\beta$  is a cut point on the distance value,  $\beta \in [0.2, 0.3]$



## Avaluació de la solució

- Preguntant a **una persona experta humana (oracle)**
- Obtenint **feedback de simulació**
- Obtenint **feedback del mòn real**



## Aprendentatge per observació

- Casos seleccionats d'un **procés de clustering** de 527 fluxes de dades reals d'EDARs del període 1990-1991
- Casos seleccionats d'un **procés de clustering** de 151 WWTP fluxes de dades reals d'EDARs de l'any 1994



# Aprendent de l'experiència

- **Aprendent dels èxits**
  - Guardant un **cas d'èxit**
  - Actualitzant la **mesura d'utilitat** de tots els casos recuperats
- **Aprendent del fracàs**
  - Guardant un **cas nou fracassat**
  - Actualitzant la **mesura d'utilitat** de tots els casos recuperats

# Mesura d'utilitat per oblidar

**Utilitat normalitzada:**

$$UM(C) = \frac{\frac{\#UaS}{\#S} - \frac{\#UaF}{\#F} + 1}{2}$$

on,

**C** es un cas **recuperat**

# **UaS** és **el nombre de vegades que es va utilitzar el cas i hi va haver un èxit**, quan **el cas es troava entre els casos recuperats**

# **S** és **la quantitat total d'èxits** quan **el cas es troava entre els casos recuperats**

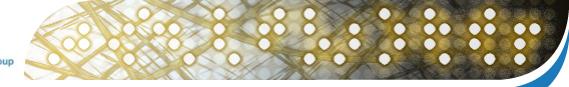
# **UaF** és **el número de vegades que s'ha utilitzat el cas i va ser un fracàs**, quan **el cas es troava entre els casos recuperats**

# **F** és **el número total de fracassos** quan **el cas es troava entre els casos recuperats**



## Criteris de rendiment

- **Competència:** rang de problemes que el sistema pot resoldre satisfactòriament.
- **Eficiència o Rendiment:** resoldre els problemes utilitzant els mínims recursos possibles (temps i espai)
  - **Temps**
  - **Espai**



## Avaluació del CBR

- **Competència del CBR**
  - Precisió de recuperació
  - Valoració de la similitud
  - Fiabilitat de l'adaptació
  - Aprendentatge adequat
- **Eficiència del CBR**
  - Tamany
  - Temps



# Competència del CBR

## Precisió de la recuperació

- **Experiment 1**
  - **Biblioteca inicial de casos:** 19 casos de les dades EDAR dels anys 90/91
- **Experiment 2**
  - **Biblioteca inicial de casos:** 19 casos de les dades EDAR de l'any 94
- **Conjunt de proves:** 15 casos aportats per persones expertes
- **Resultat:** nota mitjana donada per 3 personnes experts en el domini



# Competència del CBR

## Valoració de la similitud

- Algoritme Nearest Neighbour (NN)

$$\text{Full-dist } (C_i, C_j) = \sum_{k=1}^n w_k * \text{atr-dist } (C_{ik}, C_{jk}) / \sum_{k=1}^n w_k$$

- **Conjunt de prova:** 25 casos de persones expertes en el domini
- **Prova de diverses mesures quantitatives**
- **Resultat:** es van detectar alguns problemes

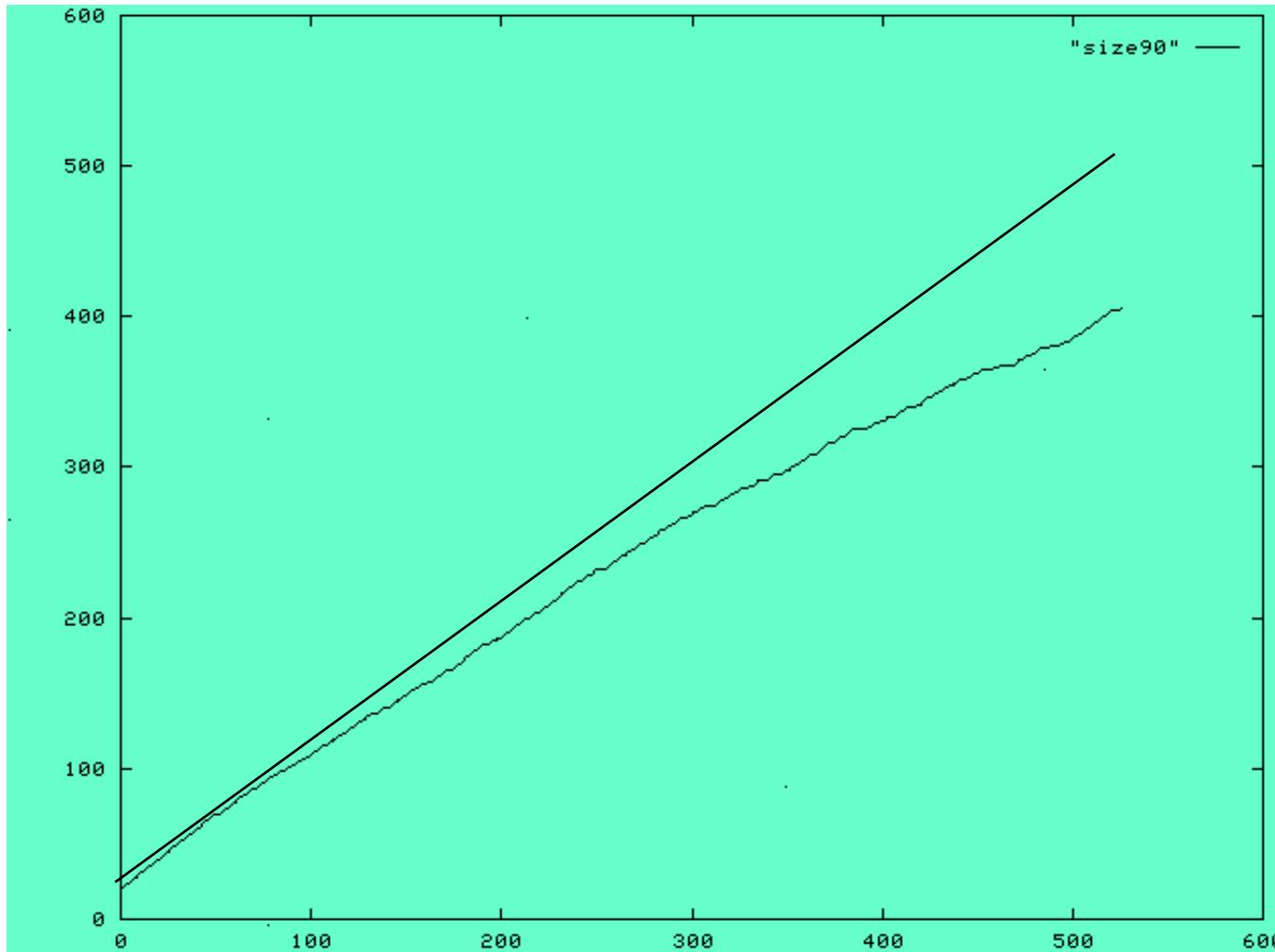
# Eficiència del CBR

## Tamany

- **Experiment 3**
  - **Biblioteca inicial de casos:** 19 casos de les dades EDAR dels anys 90/91
  - **Conjunt de prova:** 527 casos
  - **Estratègia d'aprenentatge:** **aprendre com a màxim 3 casos dins de la mateixa fulla d'arbre**
  - **Resultat:** tamany final de 406 casos (77 %)
- **Experiment 4**
  - **Biblioteca inicial de casos:** 19 casos de les dades EDAR dels anys 90/91
  - **Conjunt de prova:** 151 casos
  - **Estratègia d'aprenentatge:** **aprendre com a màxim 3 casos dins de la mateixa fulla d'arbre**
  - **Resultat:** tamany final de 87 casos (57.6 %)

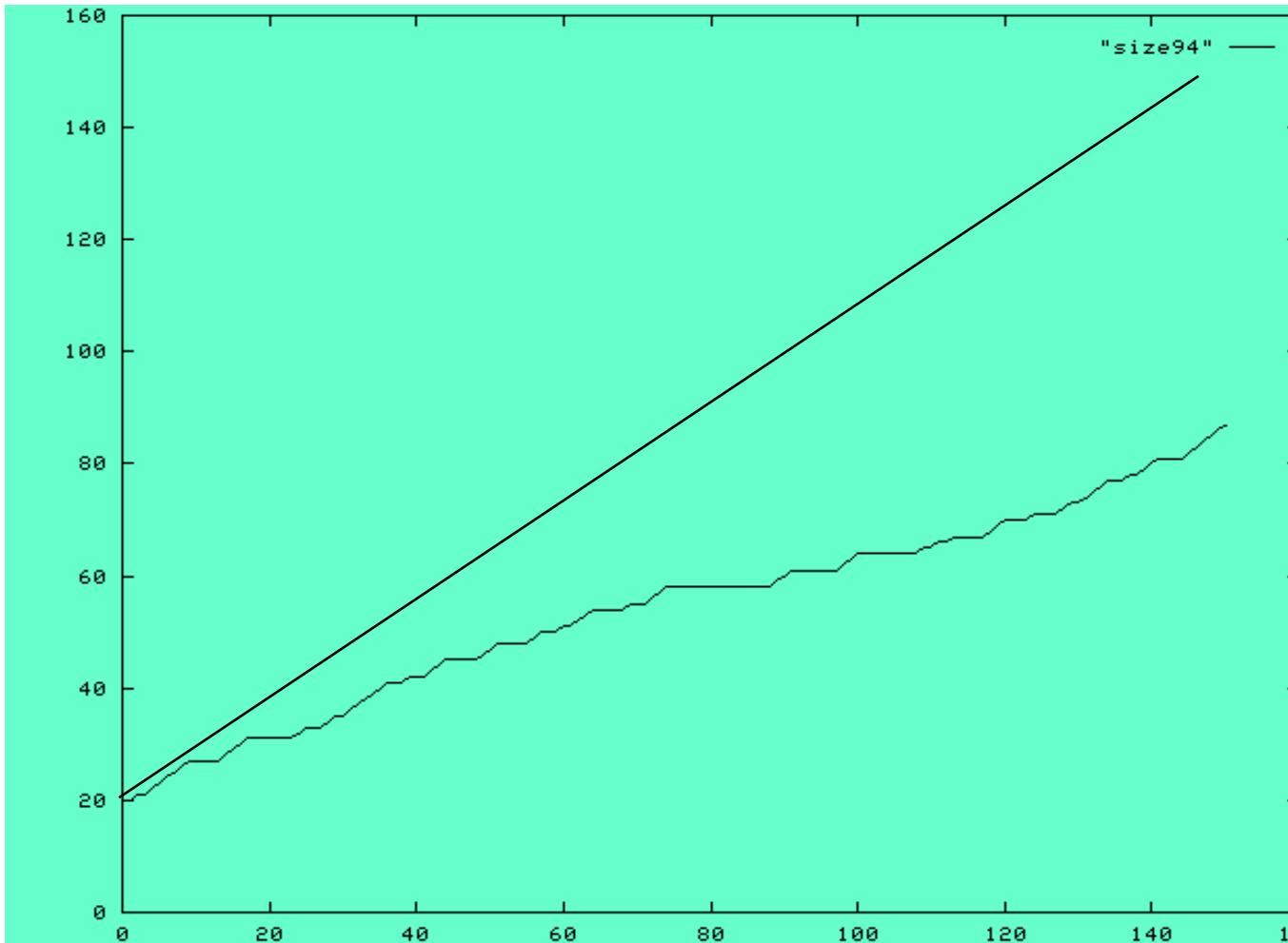


# Experiment 3 (Tamany)





# Experiment 4 (Tamany)





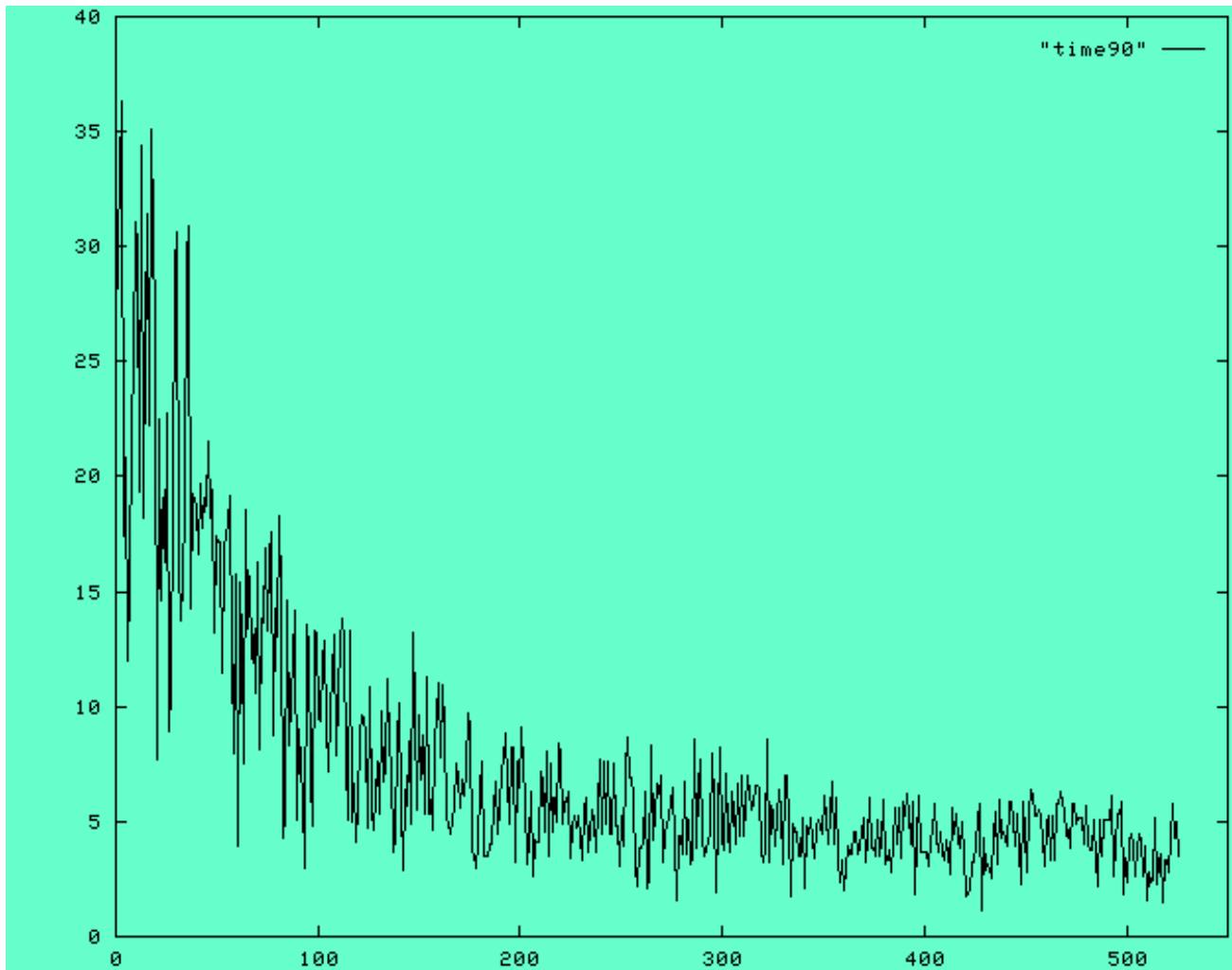
# Eficiència del CBR

## Temps

- **Experiment 3 bis**
  - **Biblioteca inicial de casos:** 19 casos de les dades EDAR dels anys 90/91
  - **Conjunt de prova:** 527 casos
  - **Resultat:** el percentatge de casos recuperats / total de # casos Reducció del 35 % al 5 %
- **Experiment 4 bis**
  - **Biblioteca inicial de casos:** 19 casos de les dades EDAR dels anys 90/91
  - **Conjunt de prova:** 151 cases
  - **Resultat:** el percentatge de casos recuperats / total de # casos Reducció del 55 % al 20 %

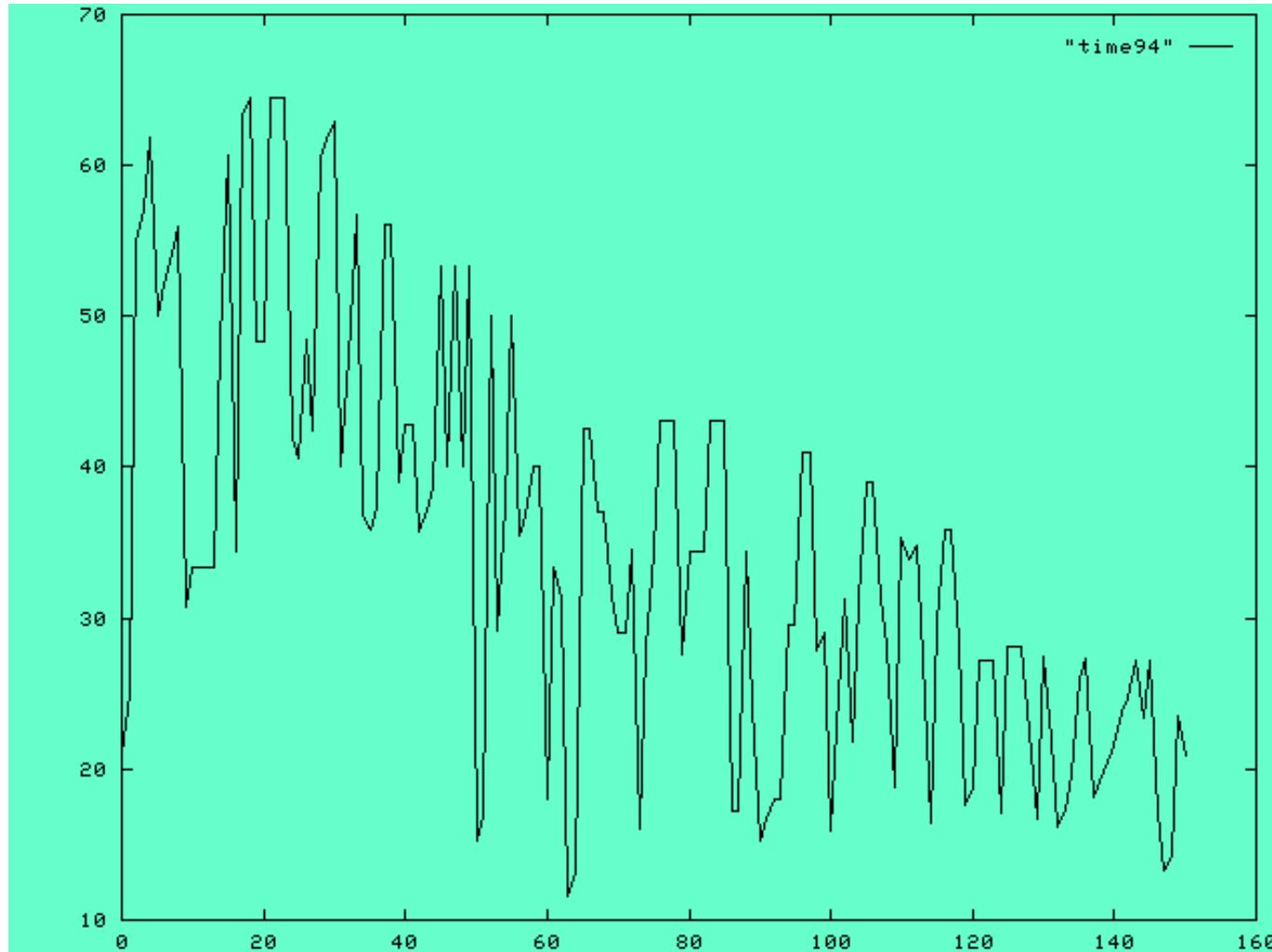


# Experiment 3 bis (Temps)





# Experiment 4 bis (Temps)





# References (1)

- [Alex et al., 1994] J. Alex, U. Jumar and R. Tschepetzki: A Fuzzy Controller for Activated Sludge Wastewater Plants. In Procc. of the 2<sup>nd</sup> IFAC/IFIP/IMACS Int. Symp. on Artificial Intelligence in Real Time Control (AIRTC'94), pp. 75-80, València, October, 1994.
- [Beck, 1986] M.B. Beck. Identification, estimation and control of biological wastewater treatment processes. IEEE Proceedings 133:254-264, 1986.
- [Beck et al., 1990] M.B. Beck, J.P. Lambers, H.E.C. Mackenzie and P.W. Jowitt. A Prototype Expert System for Operational Control of the Activated Sludge Process. Internal Report. Imperial College, Dept. of Civil Engineering, London. (Previously published in French as Un Prototype de Système Expert pour le Contrôle d'un Procédé de Boues Activées. Sciences et Techniques de l'Eau 23 (2):161-167, 1990).
- [Berthuex et al., 1987] P.M. Berthuex, M. Lai and Darjatmoko. A Statistics-based information and expert system for plant control and improvement. In Proc. of 5<sup>th</sup> National Conf. on Microcomputers in Civil Engineering, (W.E. Carroll, editor), Orlando, Florida, pp. 146-150, 1987.
- [Bonissone, 1994] P. Bonissone. Fuzzy logic controllers: an industrial reality. In Computational Intelligence Imitating Life (J.M. Zurada, R.J. Marks II and C.J. Robinson, editors). IEEE Press, 1994.



## References (2)

- [Bouslama, 1992] F. Bouslama. Fuzzy Control and their Natural Control Laws. *Fuzzy Sets and Systems* 48:65-86, 1992.
- [Capodaglio et al., 1991] A.G. Capodaglio, H.V.Jones, V. Novotny and X. Feng. Sludge bulking analysis and forecasting: application of system identification and artificial neural computing technologies. *Water Research* 25(10):1217-1224, 1991.
- [Clarke et al., 1987] D.W. Clarke, C. Mothad and P.S. Tuffs. Generalized Predictive Control—Part I: the Basic Algorithm. *Automatica* 23:137-148, 1987.
- [Corder and Lee, 1986] G.D. Corder and P.L. Lee. Feedforward control of a wastewater plant. *Water Research* 20:301-309, 1986.
- [Czoagala and Rawlik, 1989] E. Czoagala and T. Rawlik. Modelling of a Fuzzy Controller with application to the Control of Biological Processes. *Fuzzy Sets and Systems* 31:13-22, 1989.
- [Dochain, 1991] D. Dochain. Design of adaptive controllers for non-linear stirred tank bioreactors: extension to the MIMO situation. *Journal of Process Control* 1:41-48, 1991.
- [Gall and Patry, 1989] R. Gall and G. Patry. Knowledge-based system for the diagnosis of an activated sludge plant. In *Dynamic Modelling and Expert Systems in Wastewater Engineering*. (G. Patry and D. Chapman editors), Chelsea, MI. Lewis Publishers, 1989.

# References (3)

- [Huang et al., 1991] Y.L. Huang, G. Sundar and L.T. Fan. Min-Cyanide: an expert system for cyanide waste minimization in electroplating plants. *Environmental progress* 10(2):89-95, 1991.
- [Hunt et al., 1992] K.J. Hunt, D. Sbarbaro, R. Zbikowski and P.J. Gawthrop. Neural Networks for Control Systems—A Survey. *Automatica* 28(6):1083-1112, 1992.
- [Karr, 1991] C.L. Karr. Genetic Algorithms for Fuzzy Controllers. *AI Expert*, February, 1991.
- [Karr et al., 1989] C.L. Karr, L.M. Freeman and D.L. Meredith. Improved Fuzzy Process Control of Spacecraft Autonomous Rendezvous using Genetic Algorithm. In Proc. of SPIE Intelligent and Adaptive Systems Conference, Philadelphia, pp. 274-288, 1989.
- [Ko et al., 1982] K.Y.-J. Ko, B. C. McInnis and G. C. Goodwin. Adaptive control and Identification of the dissolved oxygen process. *Automatica* 18:727-730, 1982.
- [Kosko, 1992] B. Kosko. *Neural Networks and Fuzzy Systems: A Dynamical System Approach to Machine Intelligence*. Prentice Hall, USA, 1992.
- [Kraft et al., 1992] L.G. Kraft, W.T. Miller and D. Dietz. Development and Application of CMAC Neural Network-Based Control. In *Handbook of Intelligence Control*, (D.A. White and D.A. Sofge, editors) Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.



# References (4)

- [Krovvidy and Wee, 1993] S. Krovvidy and W.G. Wee. Wastewater Treatment Systems from Case-Based Reasoning. *Machine Learning* 10:341-363, 1993.
- [Krovvidy et al., 1991] S. Krovvidy, W.G. Wee, R. S. Summers and J.J. Coleman. An AI Approach for Wastewater treatment systems. *Applied Intelligence* 1(3):247-261, 1991.
- [Maeda, 1989] K. Maeda. A knowledge-based system for the wastewater treatment plant. *Future Generation Computer Systems* 5:29-32. North Holland, 1989.
- [Marsilli-Libeli, 1982] S. Marsilli-Libeli. Optimal control strategies for biological wastewater treatment. In *Environmental Systems Analysis and Management*, S. Rinaldi (editor). North-Holland Publishing Co., pp. 279-287, 1982.
- [Moreno et al., 1992] R. Moreno, C. de Prada, J. Lafuente, M. Poch and G. Montague. Non-linear predictive control of dissolved oxygen in the activated sludge process. In Proc. of ICCAFT 5 / IFAC-BIO 2 Conference, Keystone (CO), USA, 1992.
- [Piskunov, 1992] A. Piskunov. Fuzzy Implication in Fuzzy Systems Control. *Fuzzy Sets and Systems* 45:25-35, 1992.
- [Ramparany, 1994] F. Ramparany. Model-based Control with large Temporal Delays. In Proc. of 2<sup>nd</sup> IFAC/IFIP/IMACS Symposium on Artificial Intelligence in Real Time Control (AIRC'94). pp. 473-478. València, 1994.



# References (5)

- [Rich and Venkatasubramanian, 1987] S.H. Rich and V. Venkatasubramanian. Model-based reasoning in diagnostic expert systems for chemical process plants. *Computers & Chemical Engineering* 11:111-122, 1987.
- [Serra et al., 1997] P. Serra, M. Sàncchez, J. Lafuente, U. Cortés and M. Poch. ISCWAP: A knowledge-based system for supervising activated sludge processes. *Computers & Chemical Engineering* 21(2):211-221. 1997.
- [Serra et al., 1993] P. Serra, J. Lafuente, R. Moreno, C. de Prada and M. Poch. Development of a real-time expert system for wastewater treatment plants control. *Control Eng. Practice* 1(2):329-335. Pergamon Press, 1993.
- [Sàncchez-Marrè, 1996] M. Sàncchez-Marrè. DAI-DEPUR: an integrated supervisory multi-level architecture for wastewater treatment plants. Ph. D. Thesis. Dept. de Llenguatges i Sistemes Informàtics. Universitat Politècnica de Catalunya. 1996.
- [Sàncchez-Marrè et al., 1997] Sàncchez-Marrè, M., Cortés, U., R-Roda, I., Poch, M. & Lafuente, J. (1997). Learning and Adaptation in Wastewater Treatment Plants through Case-Based Reasoning. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 12(4):251-266.



## Intelligent Data Science and Artificial Intelligence (IDEAI-UPC)

Miquel Sànchez-Marrè  
[miquel@cs.upc.edu](mailto:miquel@cs.upc.edu)



Knowledge Engineering and Machine Learning Group  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

<https://kemlg.upc.edu>