

Jornadas Internacionales de Sistemas Soporte a la Decisión en la Planificación  
y Gestión de Recursos Hídricos

## Potencial de los **modelos** **HIDROECONÓMICOS** en la gestión de **SISTEMAS de RECURSOS HÍDRICOS**

Prof. Manuel Pulido-Velázquez  
Dpto. Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente / IIAMA  
Universidad Politécnica de Valencia  
Email: [mapuve@hma.upv.es](mailto:mapuve@hma.upv.es)



Valencia, 18 y 19 de Junio de 2013

### CONTENIDO:

- Introducción: Economía y GRH, Economía del agua y DMA.
- Modelos hidroeconómicos: conceptos, métodos, potencial
- Herramientas UPV
- Aplicaciones
- Limitaciones, retos y conclusiones



# INTRODUCCIÓN.

## ECONOMÍA y GESTIÓN de RRHH



Instituto de Ingeniería del  
Agua y Medio Ambiente

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

3



3

## INTRODUCCIÓN

### Rol de la Economía en la Gestión de RRHH

- Escasez creciente- *problemas de calidad en muchas cuencas; preocupación por el medio ambiente (DMA)*
  - *Economía del agua madura (Randall, 1981): oferta inelástica; estrategias centradas en gestión de la demanda y reasignación de recursos*
- ➔ **necesidad de gestión del agua económica/ eficiente**
- *Gestión del agua, multiobjetivo (suministro urbano, regadío, generación hidroeléctrica, medio ambiente, usos recreativos, navegación, industria, etc), muchos grupos de interés ("stakeholders") / ≠ unidades / Múltiples "tradeoffs"*
- ➔ **simplificar: una unidad común (monetaria) / "tradeoffs" y costes de oportunidad (conflictos)**



Instituto de Ingeniería del  
Agua y Medio Ambiente

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

4



4

## Rol de la Economía en la Gestión de RRHH :

- Métodos y herramientas de Economía y Ciencias/Ingeniería, combinados durante mucho tiempo en aplicaciones de PGRH
- Ingeniería y Microeconomía modernas comparten ancestros comunes en la **Escuela Francesa de ingeniería del siglo XIX**
- Una de las primeras definiciones de **curva económica de demanda** fue para el suministro urbano (1853, J. Dupuit):

... the enemy comes, blockades the city, diverts the stream; the inhabitants have now at their disposal only the drops that escape from the works of the enemy or that of a few wells that dry up easily; there is no longer any more available for all usages, everyone is more or less deprived; water then has a value. ... If the enemy, perfecting its works, succeeds in progressively diminishing the quantity of water that enters the city, its price is going to rise more and more, and one will not care to exchange a liter of it for a diamond (Dupuit 1853, translated by Elelund and Hebert 1999).



Instituto de Ingeniería del  
Agua y Medio Ambiente

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

5



5

## Aplicaciones de la Economía a PGRH:

- Demandas y proyecciones futuras (ausencia de mercados - > métodos de valoración alternativos/ precios sombra)
- Beneficios de  $\neq$  políticas/escenarios (cc, sequías, etc.)
- Priorización, planificación y diseño de proyectos (BCA , ACE)
- Gestión multiobjetivo de SRH
- Financiación de proyectos y asignación de costes
- Diseño y evaluación de Instrumentos Económicos (precios, cánones, mercados, etc) & Reglas/Políticas (prioridades, reglas de operación, etc.)



Instituto de Ingeniería del  
Agua y Medio Ambiente

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

6



6

## INTRODUCCIÓN

**Rol de la Economía en la Gestión de RRHH**

Algunos HITOS ...

- 1936, requisito federal en EEUU de **ACB (Flood Control Act)** que asegure que los beneficios de un proyecto, *a quién correspondan*, exceden a los costes
- Ámbito académico: **Harvard Water Program** (años 50): aplicación de análisis de sistemas a PGRH; multidisciplinar: ingenieros (ej. *Fair, Rogers*), economistas (ej. *Dorfman, Eckstein*), politólogos (ej. *Maass*)
- **Primeras aplicaciones de MHE:** años 60 y 70 en regiones semiáridas. *Samuelson* (1952), mercado PC como pb. de optimización. *Vaux y Howitt* (1984), modelo equilibrio interregional / mercado para mitigar escasez mediante reasignación entre regiones California. *Booker y Young* (1994), MHE de optimización con red de flujo río Colorado, etc. *Booker* (1995), sequías
- **DMA de la UE** (2000): integración de Economía en PGRH

7

## INTRODUCCIÓN

**DIRECTIVA MARCO DEL AGUA***(DIRECTIVA 2000/60/CE de 23 octubre de 2000)*

- ✓ **Objetivo principal:** buen estado de las masas de agua superficiales y subt. (2015), protegiéndolas y evitando su deterioro
- ✓ **ELEMENTOS CLAVE:**
  - Protección de ecosistemas y mejora del medio acuático
  - Planificación hidrológica  
(**Planes de Cuenca**)
  - Gestión por cuenca
  - **Análisis e instrumentos económicos**
  - Participación pública



□ **La DMA** integra Economía en gestión del agua  
 Para lograr los OMA:

- Principios** (quien contamina paga),
- Metodologías y Herramientas** (ACE, ACB)
- Instr. Económicos** (precio del agua)



Programa de Medidas  
(Planes de Cuenca)

Análisis Coste-Eficacia

Excepciones

→ Costes desproporcionados ( $C > B$ ; **ACB**)  
 → Capacidad de pago  
 → No factibilidad técnica

{ Objetivos menos estrictos  
{ Prórrogas

Políticas de precios

→ Incentivo para uso eficiente  
 → Recuperación de costes de los servicios del agua, incluyendo **ambientales** y del **recurso**

9

# MODELOS HIDROECONÓMICOS.

## CONCEPTOS, CLASIFICACIÓN, POTENCIAL



Instituto de Ingeniería del  
Agua y Medio Ambiente

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE ALBANYA

10
 

**MODELOS  
HIDROECONÓMICOS**

La gestión de SRH supone influir y mejorar la interacción entre 3 subsistemas:

- El subsistema **natural**
- El **económico**
- Marco **legal/institucional**

MEH analizan problemas de gestión del agua mediante modelos que representan estas interacciones

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA 11

**MODELOS  
HIDROECONÓMICOS**

**Modelos Hidroeconómicos:**


- Combinación explícita de **HIDROLOGÍA-ECONOMÍA-INGENIERÍA** → Resultados más relevantes para la toma de decisiones [*traducen impactos de la gestión del agua en términos económicos*]
- *Análisis integrado a escala cuenca*
- Caracterización económica de SRH:
  - ✓ Curvas de demandas o funciones de beneficio
  - ✓ Costes de operación variables
- Representación realista de restricciones legales-institucionales, ambientales y operativas
- Portfolio de opciones de gestión (oferta/demanda)

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA 12


MODELOS  
HIDROECONÓMICOS

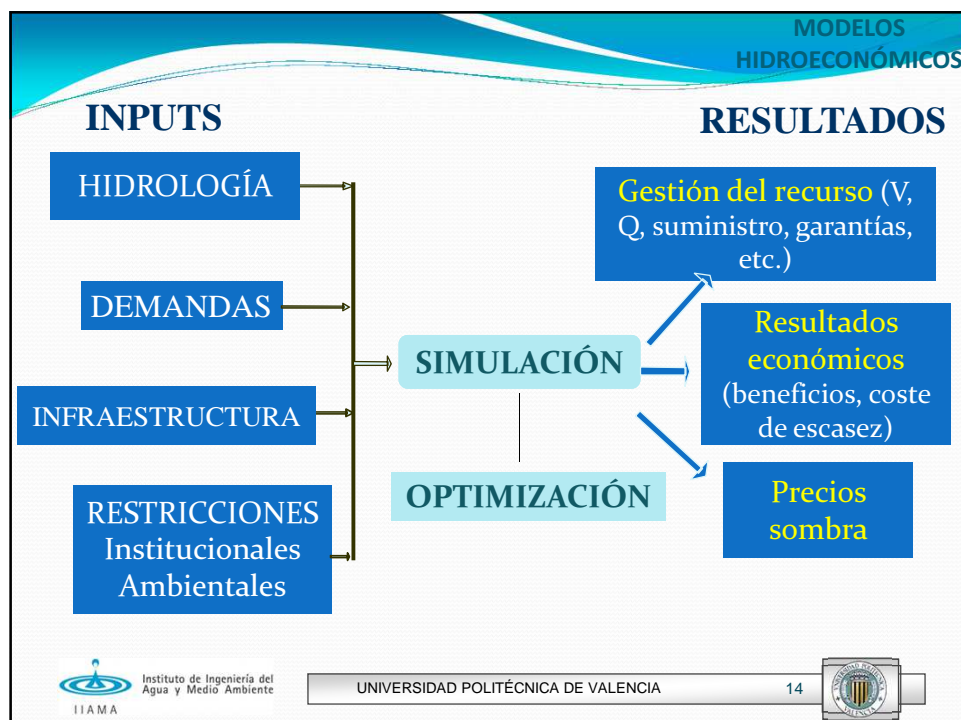
**Clasificación:**

- **Simulación** (reglas de operación a priori) vs **Optimización** (max beneficios netos en un periodo)
- **Enfoques Holísticos** (todo integrado en un único modelo) vs. **Compartimentales** (se comparten resultados entre modelos)
- **Modelos "Ad-hoc"** vs. **SAD generalizados**

 Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

13 



## Algunas aplicaciones:

Journal of Hydrology 375 (2009) 627-643

Contents lists available at ScienceDirect

**Journal of Hydrology**

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jhydrol](http://www.elsevier.com/locate/jhydrol)

Review

**Hydro-economic models: Concepts, design, applications, and future prospects**

Julien J. Harou <sup>a,\*</sup>, Manuel Pulido-Velazquez <sup>b</sup>, David E. Rosenberg <sup>c</sup>, Josué Medellín-Azuara <sup>d</sup>, Jay R. Lund <sup>d</sup>, Richard E. Howitt <sup>e</sup>

<sup>a</sup> Environment Institute and Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering, University College London, Pearson Building, Gower Street, London, UK  
<sup>b</sup> Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia, Cami de Vera, s/n. 46102, Valencia, Spain  
<sup>c</sup> Department of Civil and Environmental Engineering, Utah Water Research Laboratory, Utah State University, UT, USA  
<sup>d</sup> Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, CA, USA  
<sup>e</sup> Department of Agricultural and Resource Economics, University of California, Davis, CA, USA

**Lista de 80 MHE desde hace 45 años, 23 países [primeras aplicaciones, 60s and 70s en regiones semiáridas: Israel & suroeste de EEUU]. E.g. Bear et al., 1964]**

Crop and water supply infrastructure for irrigation	Tista Project, E Pakistan
Water supply; desalination; sector allocations	San Luis Obispo County, California, USA
Operating rule development	Missouri River Columbia River USA
Agricultural and urban water supply; environmental uses	Statewide California, USA
Distribution of dry-season flows between farmers, deforestation, erosion, surface water quality	Mae Chaem catchment, Thailand

### MODELOS HIDROECONÓMICOS

Citation(s)

Harou et al. (1992), Diaz et al. (1992), Ward and Lynch (1996,1997), McCarl et al. (1999), Tisdell (2001), Reca et al. (2001a,b), Bielsa and Duarte (2001), Rosegrant et al. (2000), Cal et al. (2003c), Cal (2008), Letcher et al. (2004), Babel et al. (2005)

Fig. 1. Demand function consisting of the price (willingness to pay) for water at different quantities. Note that for a small quantity of water ("Output",  $y$ ), the price is high (C). (Bear et al., 1964). N.B. market value alternatively named producer surplus.

## Algunas aplicaciones:

- Asignación intersectorial del agua (mercados, bancos, prioridades, etc.).
- Impacto y gestión de SEQUÍAS
- Adaptación de la DEMANDA (políticas de ahorro y conservación en demanda urbana y agrícola, etc.)
- Opciones de OFERTA/suministro (ej. fuentes no convencionales), nueva infraestructura
- Instrumentos económicos para la gestión del agua (ej. precios)
- Resolución de conflictos, gestión de cuencas intracomunitarias, sostenibilidad
- Impacto económico del CC y adaptación
- Gestión de usos del suelo /ej,. avenidas, calidad de aguas, etc.

### MODELOS HIDROECONÓMICOS

Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

16



## Herramientas MHE, UPV:

- **SAD AQUATOOL: ECOWIN**
- **GAMS: SIMGAMS, OPTIGAMS, SDP\_GAMS**

**AÚN EN VERSIÓN BETA (fase de pruebas) !!!!**



Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

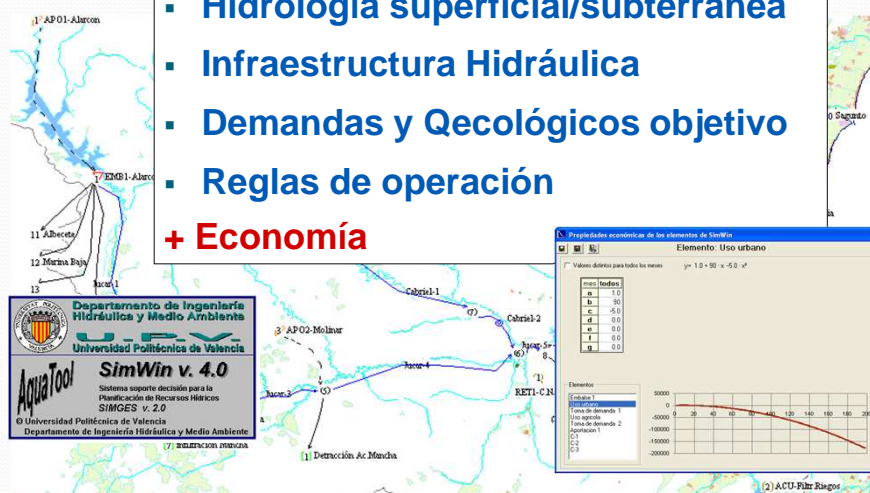
17



## SAD AQUATOOL

HERRAMIENTAS UPV

- **Hidrología superficial/subterránea**
  - **Infraestructura Hidráulica**
  - **Demandas y Qecológicos objetivo**
  - **Reglas de operación**
- + Economía**



Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

18



HERRAMIENTAS UPV

## MHE SIMULACIÓN en SAD AQUATOOL

- **Módulo de simulación SIMGES:**
  - Gestión y asignación del agua (series mensuales)
  - Suministros, déficits, garantías

↓


- **Módulo económico de simulación, ECOWIN (Collazos et al., 2003):**
  - Beneficios (coste de escasez) en cada demanda y agregados (basados en curvas de demanda y costes de operación)
  - Aprox. del CMOR



Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente  
IIAMA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

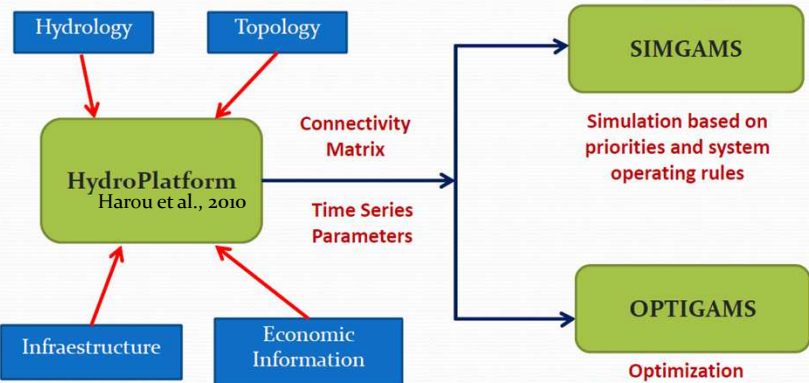
19



HERRAMIENTAS UPV

## SIMGAMS y OPTIGAMS

(Pulido-Velázquez, López-Nicolás, Andreu, 2013)



```

graph TD
    Hydrology --> HydroPlatform
    Topology --> HydroPlatform
    Infrastructure --> HydroPlatform
    EconomicInformation[Economic Information] --> HydroPlatform
    HydroPlatform -- "Connectivity Matrix" --> SIMGAMS
    HydroPlatform -- "Time Series Parameters" --> SIMGAMS
    HydroPlatform --> OPTIGAMS
    SIMGAMS --> Validation[Validation using AQUATOOL]
    OPTIGAMS --> Optimization[Optimization following economic criteria]
            
```

**SIMGAMS**

Simulation based on priorities and system operating rules

**OPTIGAMS**

Optimization following economic criteria

### SDP\_GAMS

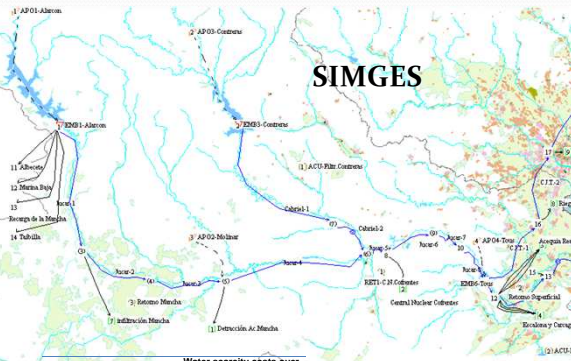
(Héctor Macián y Pulido-Velázquez, 2013)

OPTIMIZACIÓN ESTOCÁSTICA DETERMINÍSTICA.  
EVITA EL EFECTO DE LA PREDICCIÓN PERFECTGA

20


## Caso de estudio: cuenca del río Júcar

### HERRAMIENTAS UPV

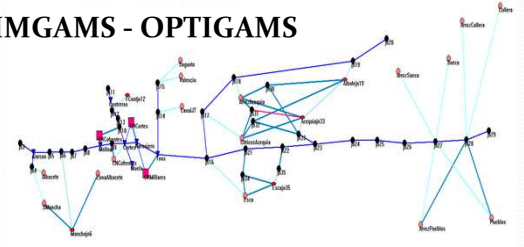


**SIMGES**

Demands	Water scarcity costs over 29 year period (M€)
Acequia Real Cítricos	29,04
Escalona	0
Sueca Cítricos	3,88
Cuatro Pueblos Cítricos	1,14
Cullera Cítricos	7,2
Canal Júcar-Turía	45,3
Regadíos Mancha Oriental	0,1058
Valencia	0
Sagunto	0
Albacete	0
Acequia Real Arroz	0,1
Sueca Arroz	1,64
Cullera Arroz	0,23
Cuatro Pueblos Arroz	0,12



**SIMGAMS - OPTIGAMS**



21

## APLICACIONES:

- IMPACTO DEL CC EN CUENCA DEL RÍO JÚCAR y ADAPTACIÓN (tesina Á. Escribá)
- CONTROL ÓPTIMO CONTAMINACIÓN POR NITRATOS. ACUÍFERO MANCHA ORIENTAL (tesis S. Peña)
- POLÍTICAS EFICIENTES DE PRECIOS A ESCALA DE CUENCA INCLUYENDO COSTES DE OPORTUNIDAD (tesis E. Álvarez)



Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

22



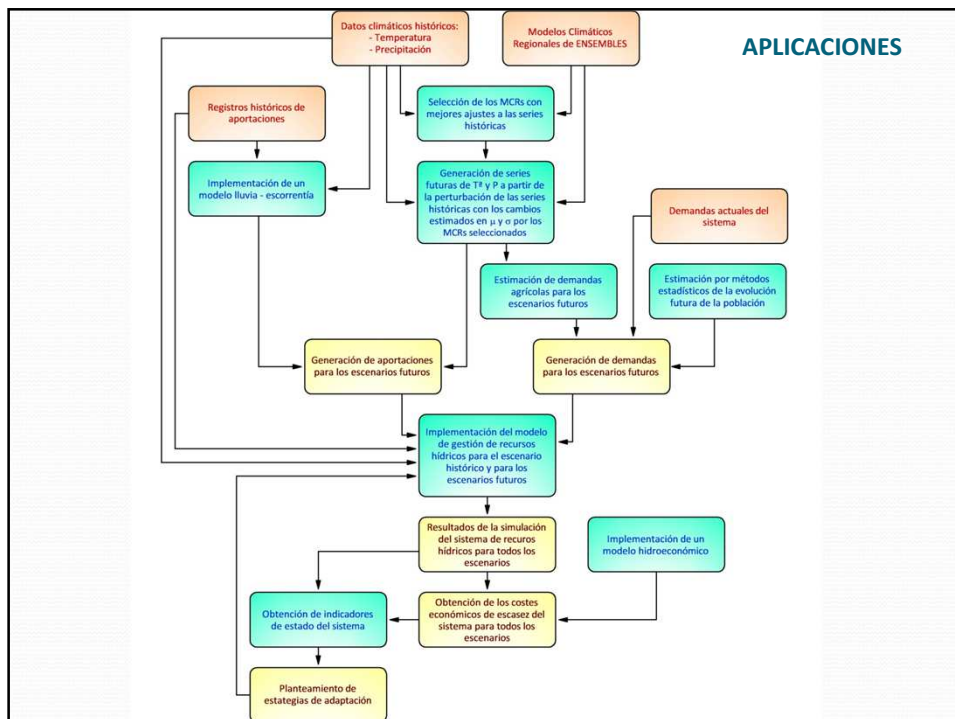
# IMPACTO DEL CC EN CUENCA DEL RÍO JÚCAR y ADAPTACIÓN

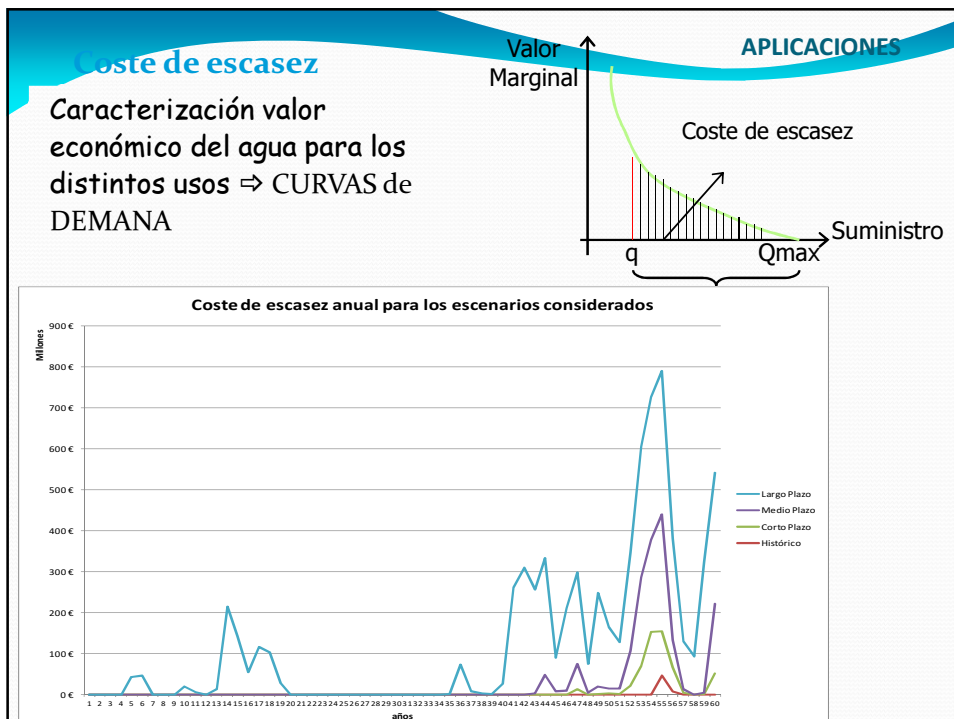
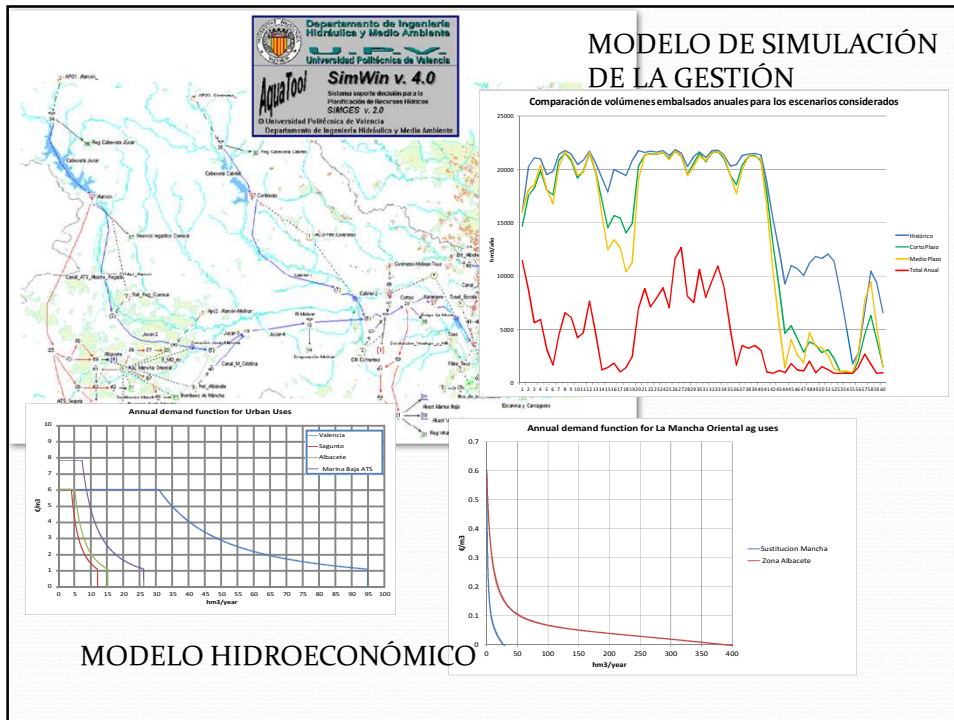


Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE ALBANYIA

23





## Estrategias de ADAPTACIÓN APLICACIONES

- Actuaciones sobre la **DEMANDA**:
  - Mejora de eficiencias en los regadíos de la Ribera del Júcar
  - Reducción de la demanda en la Mancha Oriental: sólo cultivos dispuestos a pagar  $> 0,06 \text{ €/m}^3$   $\rightarrow$  reducción del 75%
- Actuaciones sobre **GESTIÓN** del sistema:
  - Cambio en prioridades
  - Mercados

**Coste de escasez anual para las hipótesis consideradas**

# CONTROL ÓPTIMO DE CONTAMINACIÓN POR NITRATOS

## CS: ACUÍFERO MANCHA ORIENTAL



Instituto de Ingeniería del  
Agua y Medio Ambiente

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE ALBANYA

28



## Control de contaminación por nitratos

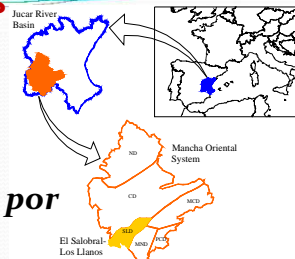

### MANCHA ORIENTAL (Spain)


**Objetivos:**

- *Gestión óptima de la contaminación por nitratos* mediante *cuotas*
- *Cuotas* vs. *precios* de fertilizante

**Metodología:**

- Modelo HidroEconómico / distribución ópt. de fertilizantes que max B (min pérdidas) s.a. restricciones ambientales (50 mg/l)





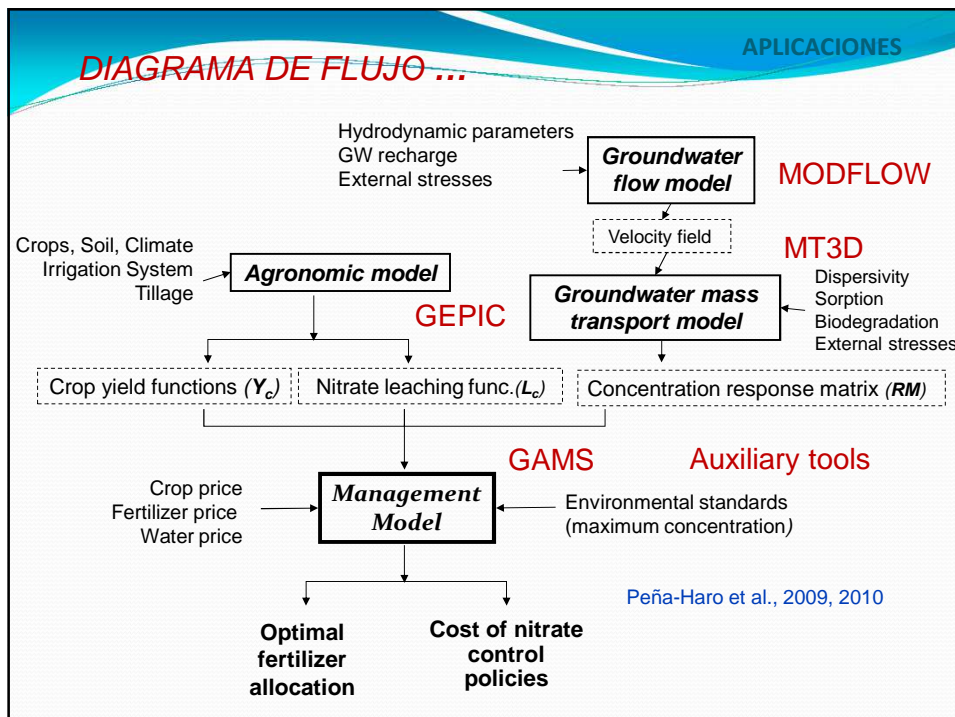


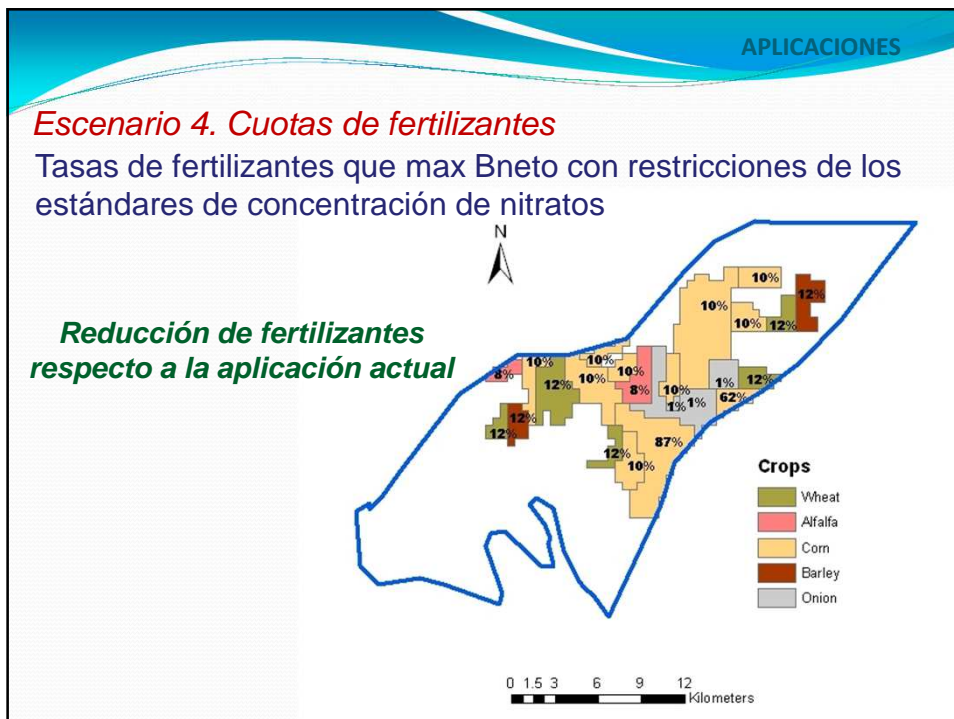
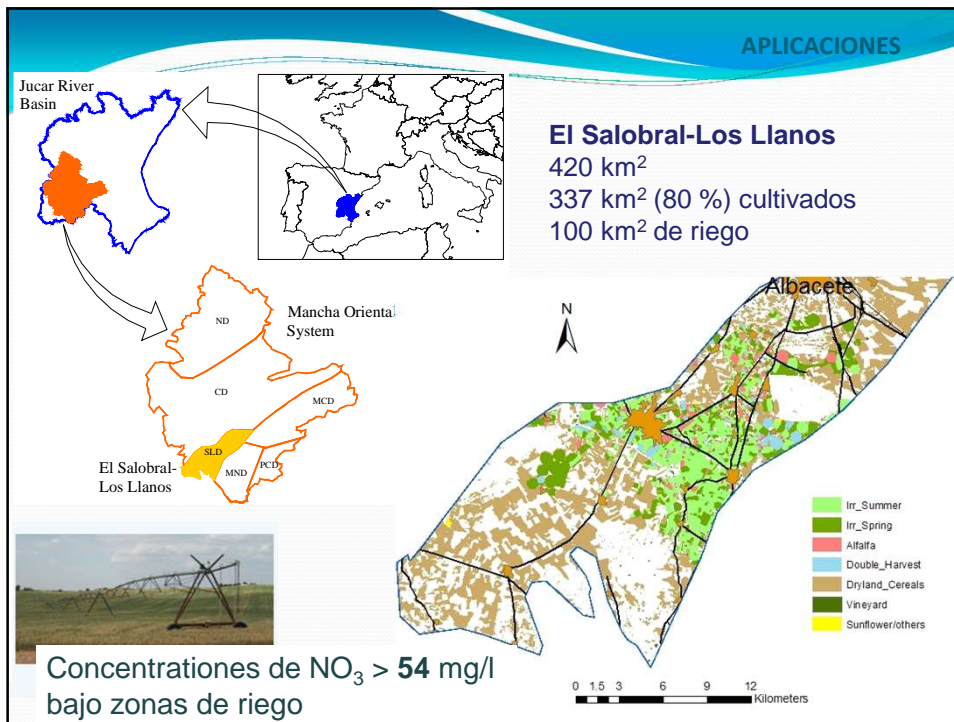
Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

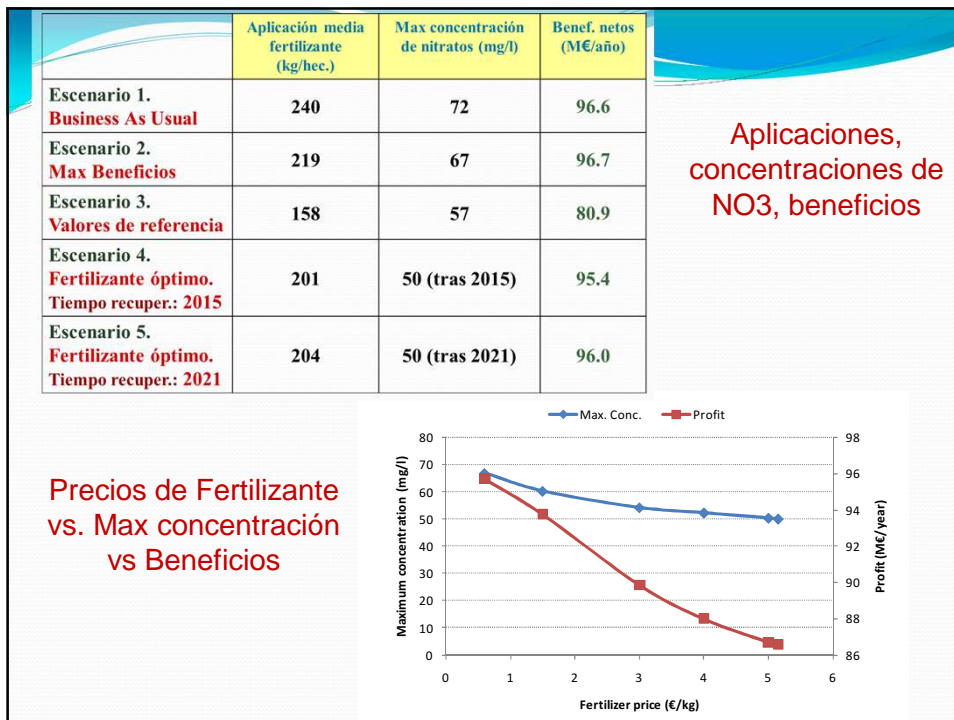
29













## POLÍTICAS EFICIENTES DE PRECIOS A ESCALA DE CUENCA INCLUYENDO COSTES DE OPORTUNIDAD



Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente  
IIAMA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

34



APLICACIONES

**DMA, UE** (2000): **Principios, Métodos, Instrumentos Económicos**

- **Política de PRECIOS del Agua** (para 2010 !; art. 9):
  - ✓ Incentivo para un uso eficiente
  - ✓ Contribución adecuada de los diferentes usos a la recuperación del coste de los servicios del agua ...
  - “...incluyendo **Coste del RECURSO y AMBIENTALES ...**”?

**Coste del Recurso ⇔ Coste de Oportunidad**



Metodología y Herramientas SIMULACIÓN de Políticas de Precios  
DISEÑO

 Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA 35 

APLICACIONES

**Costes Marginal de Oportunidad del Recurso CMOR** (en un tiempo y lugar determinado) = costes para el sistema de tener una unidad menos de agua disponible en ese lugar y t

- Indicador del impacto agregado de la escasez & WTP para mitigar la escasez
- *Varía en s-t* ⇒ **Modelos HidroEconómicos** integrando recursos, infraestructura y demandas
- Ausencia de precios reales del agua: **precios sombra** (precios sintéticos ≈ valor ec. marginal del agua)

 Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA 36 

APLICACIONES

## SIMULACIÓN CMOR OPTIMIZACIÓN EC.

Comparando resultados ecs., caso base vs. 1 unidad más en cada t y lugar (pseudo  $\lambda$ )

CMOR como precios sombra de las restricciones de balance (multiplicadores de Lagrange)

$$MROC = \frac{\Delta \text{ total net benefit}}{\Delta \text{ water available}}$$

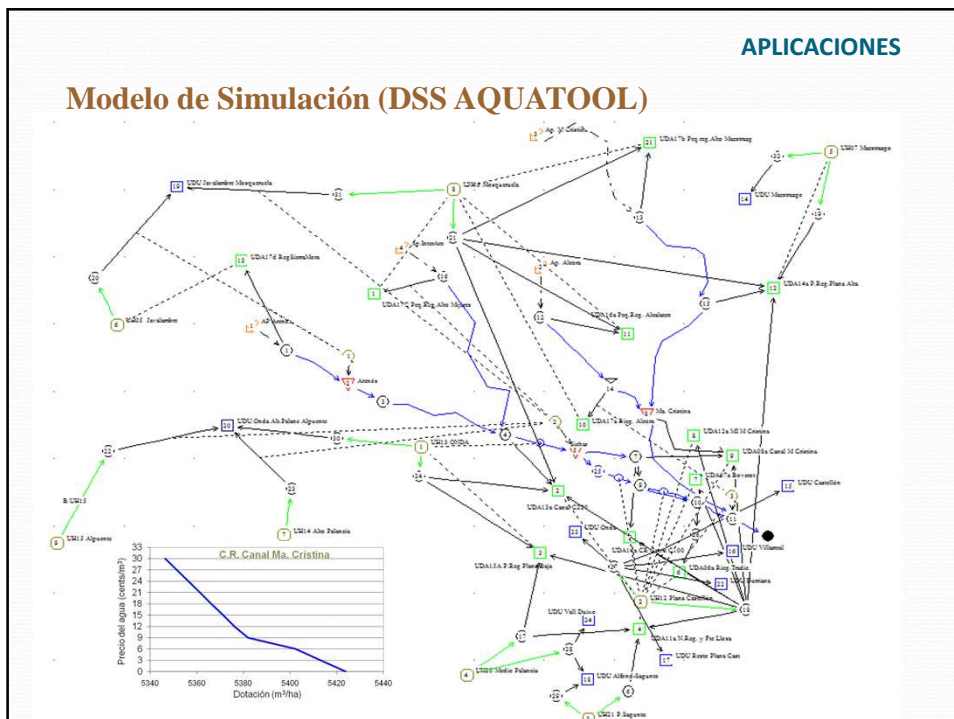
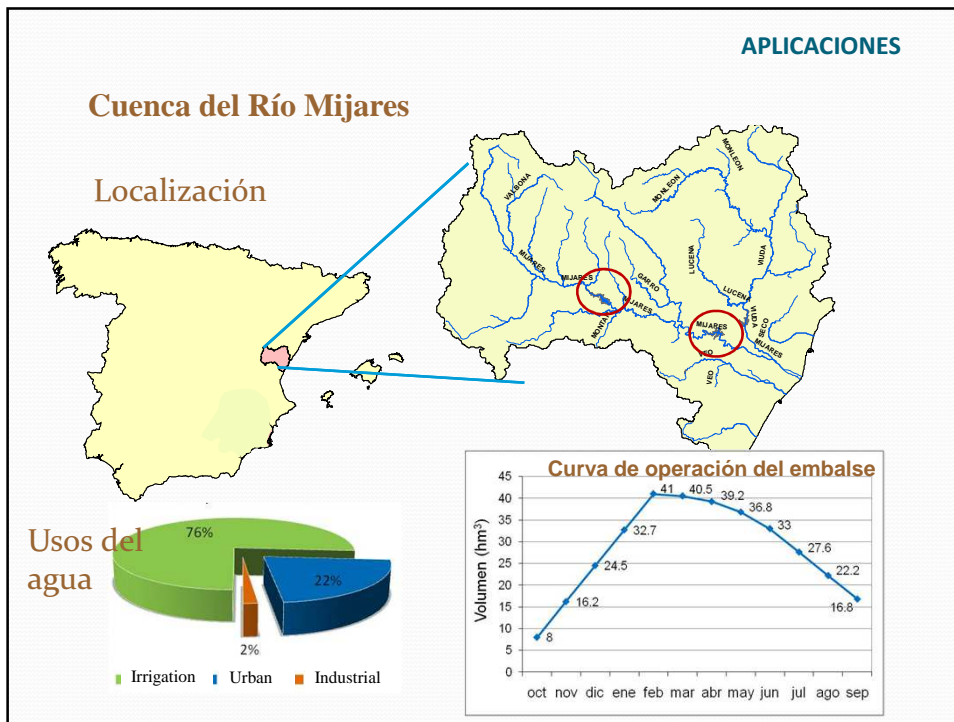
$$\lambda(Q) = \frac{\partial FO^*(Q)}{\partial Q}$$

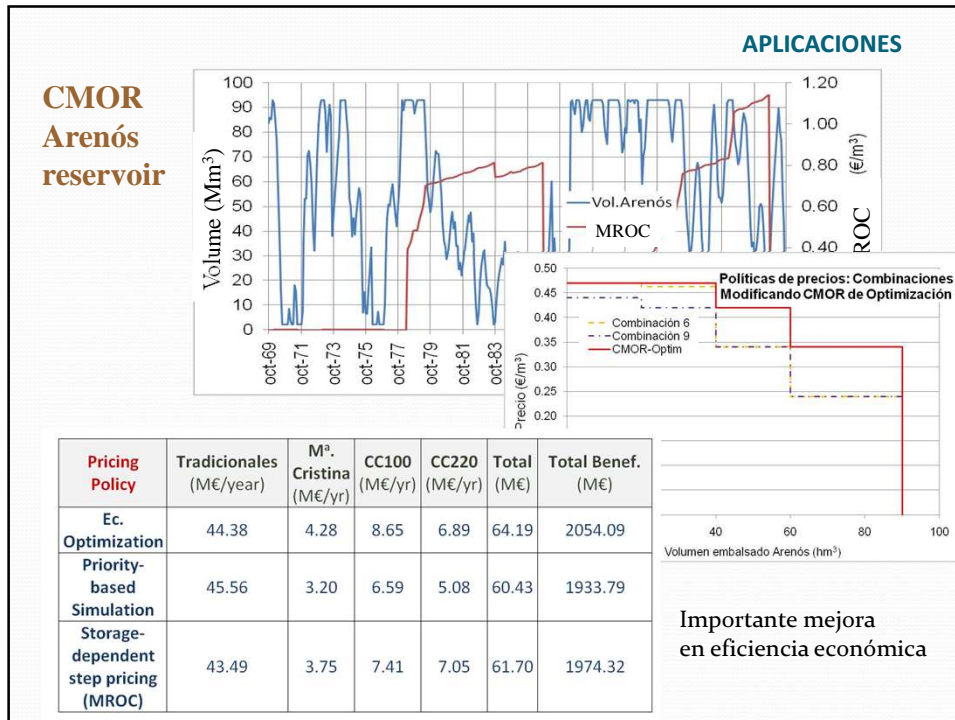
Ej. MROC vs. volumen en embalse de Cenajo (cuenca del Segura)

### Política de precios basada en relación V\_almacenado - CMOR

Effect of price =  $\Delta$  quantity demanded at each use

Step pricing schedule depending on storage





- APLICACIONES, RETOS, CONCLUSIONES.**
- Muchas ...
  - MEH, mucho más que opt. económica de la gestión del agua .... Muchas aplicaciones ...
  - Creciente campo multidisciplinar de investigación (2 special issues recientes: JWRPM & EE). Gran reto de investigación !
  - Integran impactos económicos de alternativas de planificación y gestión, considerando no sólo actuaciones de O (recursos) sino también de D (ej. políticas de precios)
  - MHE a escala de cuenca, herramientas útiles para analizar política óptima de gestión del agua, tradeoffs entre objetivos e indicadores de comportamiento del sistema
  - Representación realista de gestión de SRH e Hidrología para producir resultados fiables
- 42