

EJEMPLO DE GESTIÓN CONJUNTA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES: LA CUENCA DEL RÍO MIJARES

Joaquín Andreu Álvarez, Andrés Sahuquillo Herráiz, Abel Solera Solera, Manuel Pulido Velázquez, David Pulido Velázquez y Javier Paredes Arquiola

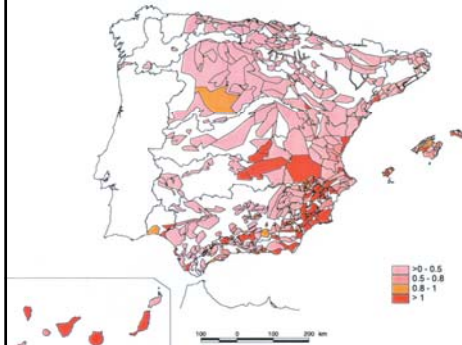
Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA) Universidad Politécnica de Valencia

e-mail: ximoand@upv.es www.upv.es/iiama/
www.upv.es/aquatool/

CC-IIAMA-09 1

Cuencas españolas:

- elevado desarrollo del uso de los RH
- Indicador D/RR en una cuenca alto: falta de garantías, problemas calidad y medioambientales
- Indicador B/RN en un acuífero > 0,8: sobreexplotación (estado cuantitativo no satisfactorio)



AMBITO	DEMANDA	REC.RENOVABLE	D/RR
Galicia Costa	819	12.250	0,07
Norte I	617	12.689	0,05
Norte II	589	13.881	0,04
Norte III	486	5.337	0,09
Duero	3.860	13.660	0,28
Tago	4.065	10.883	0,37
Guadiana I	2.312	4.414	0,52
Guadiana II	219	1.061	0,21
Guadalquivir	3.760	8.601	0,44
Sur	1.350	2.351	0,57
Segura	1.834	803	2,28
Júcar	2.962	3.432	0,86
Ebro	10.378	17.967	0,58
C.I. Cataluña	1.357	2.787	0,49
Baleares	288	661	0,44
Canarias	427	409	1,04
Total España	35.323	111.186	0,32

CARACTERÍSTICAS DE RECURSOS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEOS



- Recursos superficiales: Caudales importantes, poca o ninguna energía, grandes inversiones iniciales, pérdidas por evaporación en los embalses, variabilidad mayor, y más fáciles de contaminar.
- Recursos subterráneos: inversiones iniciales menos costosas, más energía para la extracción, no hay pérdidas por evaporación en los acuíferos, buena pureza biológica, su contaminación no es tan fácil, descontaminación puede ser muy difícil y costosa, y pasar mucho tiempo sin ser advertida.
- **distinta velocidad** de circulación del agua.
- Acuíferos con volúmenes de agua de orden de magnitud comparable e incluso varias veces superior al del total de aportaciones superficiales
- las relaciones entre las aguas superficiales y subterráneas son importantes en las cuencas mediterráneas españolas,

CC-IIAMA-09 5

USO INCONEXO Y USO CONJUNTO



- **Uso inconexo:** efectos indeseados:
 - uso intensivo de aguas superficiales: subidas de niveles piezométricos, problemas de drenaje y de salinización, disminución de recargas en tramos de río afectando a manantiales dependientes de esas filtraciones, necesidad de construir embalses de gran capacidad.
 - uso de aguas subterráneas: descensos de niveles piezométricos, subsidencia, secado de manantiales, disminución de caudales drenados a los cauces superficiales (llegando en algunos casos a invertir la relación), afección a zonas húmedas dependientes del acuífero, e intrusión salina.
- El **uso conjunto:** utilización **de forma consciente y coordinada** de ambas fuentes de recursos con el objetivo de obtener mejoras sobre el uso inconexo o descoordinado de las mismas.

CC-IIAMA-09 7

USO CONJUNTO



- aprovechar las características de cada una de las fuentes de la forma más ventajosa para:
 - aumento de **disponibilidades**,
 - mejora de **garantías**, (sobre todo en situaciones de sequía)
 - mejora de la **calidad** del agua,
 - resolver problemas de **drenaje**, o de **subsistencia**,
 - resolver problemas de **sobreexplotación**,
 - resolver problemas de **intrusión salina**,
 - resolver problemas **medioambientales**,
 - disminuir los **costes globales de desarrollo y explotación**.
- mayor parte de las aplicaciones reales: los mayores beneficios se derivan de aprovechar la **capacidad de almacenamiento** de los acuíferos, las **interconexiones** entre aguas superficiales y subterráneas, y las **diferentes dinámicas de circulación** del agua superficial y subterránea.

CC-IIAMA-09 8

RECARGA ARTIFICIAL



- introducción en los acuíferos de aguas superficiales para su **almacenamiento**, o para mejorar su **calidad**, o contra la **subsistencia**, o la **intrusión marina**, ...
- Procedencia: **excedentes** de ríos, o **efluentes** de EDAR's.
- Método recarga:
 - inyección en pozos,
 - infiltración en balsas ad-hoc,
 - infiltración en canales, o en cauces permeables de ríos.
 - embalse permeable,
- puede ser necesario un **tratamiento previo** del agua para evitar colmatación rápida del dispositivo de infiltración.
- Cuando el agua procede de **EDAR's**, **el tratamiento debe ser lo más avanzado posible**, aún cuando en muchas ocasiones en que esto se hace es para aprovechar la capacidad depuradora del proceso de infiltración a través de la zona no saturada y del propio acuífero.

CC-IIAMA-09 9

RECARGA ARTIFICIAL EN EL MUNDO

- Muy utilizado en el mundo: California (grandes volúmenes), Israel, Alemania y Holanda (mecanismo purificador del agua).



Tomado de: "Battling Seawater Intrusion in the Central & West Coast Basins", Ted Johnson, WRD, 2007

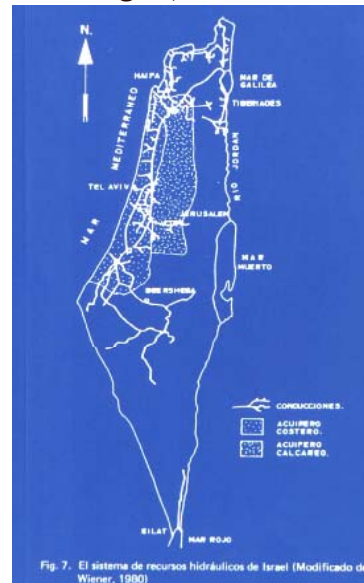
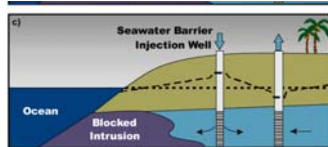


Fig. 7. El sistema de recursos hidráulicos de Israel (Modificado de Wiener, 1990)

RECARGA ARTIFICIAL EN EL MUNDO

- técnicamente compleja en instalación y operación, y requiere supervisión y observación permanente.
- Costos elevados, difícil repercusión (identificar beneficiarios) (alto grado desarrollo institucional).
- no resulta factible en algunos casos (países en desarrollo) (regadíos poco rentables).

RECARGA ARTIFICIAL EN ESPAÑA



- **EN ESPAÑA:** ríos Besós y Llobregat (Barcelona), y experiencias piloto del ITGE. Río Belcaire (Castellón). (50 hm³/año en toda España), **muy poco significativa en comparación con otras UC.**
- no cabe esperar un aumento significativo de recursos, pero es posible resolver problemas locales, mejorando su garantía de suministro.
- **recarga artificial pasiva** en ríos cauce permeable (sobre todo en llanuras costeras), o zonas cársticas, recarga por filtraciones en el lecho del río. Embalses construidos en estas zonas para otros fines se convierten involuntariamente en dispositivos que aumentan la recarga de forma permanente y artificial. El volumen recargado puede llegar a ser mucho más importante que el que se maneja en instalaciones realizadas expresamente para recarga artificial.
- **diseñar expresamente embalses** en terrenos cársticos para este fin, (embalse de Algar, río Palancia: protección frente avenidas y recarga artificial del acuífero de la Plana de Sagunto).

CC-IIAMA-09 12

USO CONJUNTO ALTERNATIVO/ALTERNANTE



- Aprovecha la **capacidad de almacenamiento del acuífero**, utilizando para satisfacer los usos.
 - agua superficial: en épocas húmedas
 - mayor uso del agua subterránea en épocas secas.
- volumen almacenado acuífero: experimenta importantes variaciones, inter-anales o intra-anales
- **relativamente sencillo:** en muchos casos, iniciativa de usuarios:
 - Palancia, en la Plana de Sagunto (primer cuarto del siglo XX), aumentar garantía y trueque con zonas más altas, intrusión salina, sistema centralizado de distribución a.sup y subt, ahorro considerable en volumen de agua utilizada, en energía consumida, en mejora del acuífero, en ahorro de costes de personal, mantenimiento, etc.; mecanismo para hacer frente a las sequías.
 - Riegos de la Plana de Castellón (río Mijares) "Convenio de bases para la ordenación de las aguas del río Mijares" (1970, OM-MOP-73) Variaciones de 600hm³ (5 veces cap. embalses), filtraciones en Sicha y M^a Cristina:

CC-IIAMA-09 13

MIJARES-PLANA DE CASTELLÓN

AGUAS SUPERFICIALES

LA SENTENCIA DEL CONDE DE RIBAGORZA PARA EL REPARTO DE LAS AGUAS DEL RIO MIJARES



20 DE MARZO DE 1347

VICENTE GARCÍA EDO

AGUAS SUBTERRÁNEAS

VILA-REAL:
Pozo Carlos Sarthou:
 1878/79
Pozo José Latorre:
 1889/91
Pozo Vte. Amorós (abto. Municipal):
 1893/94

CASTELLÓN:
 En 1902 >2000
 hanegadas regadas con pozos

COMUNIDAD DE LABRADORES DE VILLARREAL



MEMORIA DEMOSTRATIVA DE SUS SERVICIOS Y DE SU LABOR AGRO-SOCIAL.

AÑOS 1899-1913


1914
 IMP. DE F. GUARDIA SERRA
 VILLARREAL

Holceto Facsímil 1994


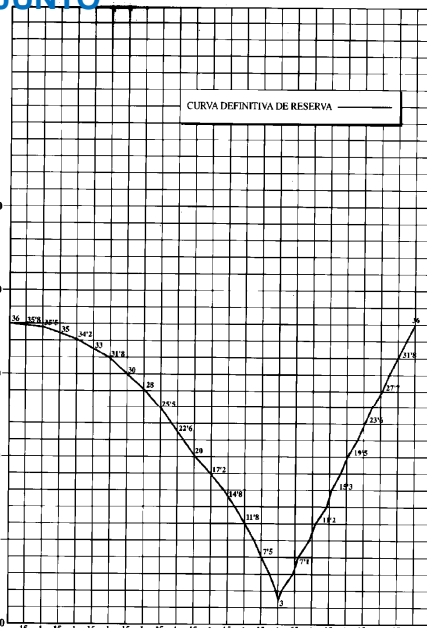
MIJARES-PLANA DE CASTELLÓN

USO CONJUNTO

CONVENIO DE BASES PARA LA ORDENACION DE LAS AGUAS DEL RIO MIJARES



REGlamento DEL SINDICATO CENTRAL DE AGUAS DEL RIO MIJARES

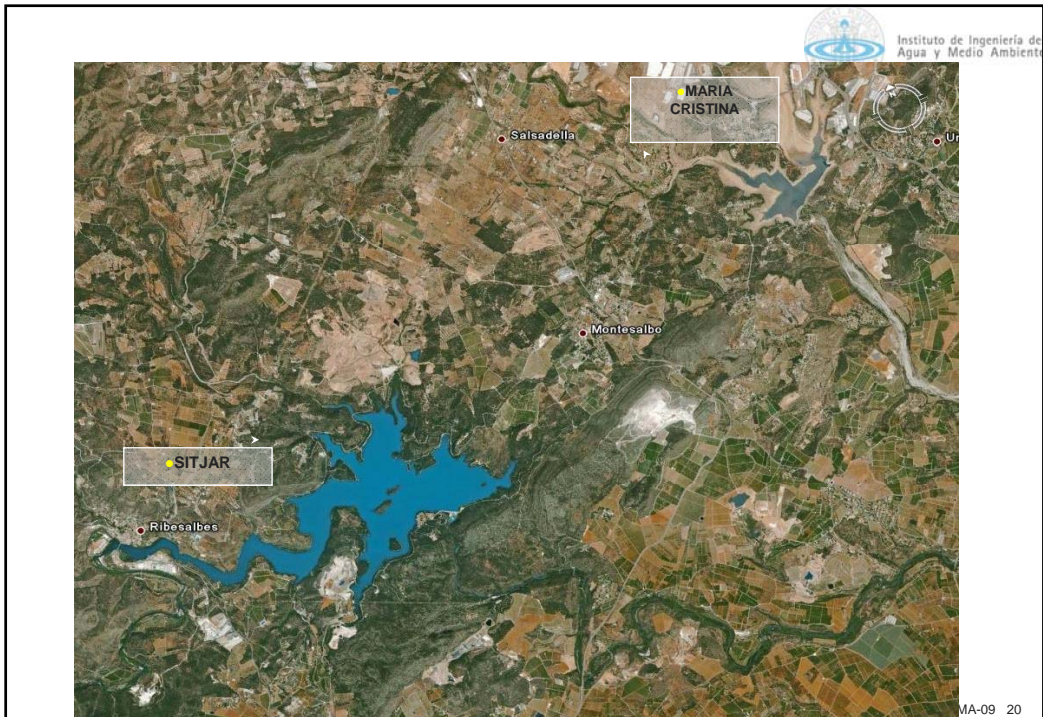
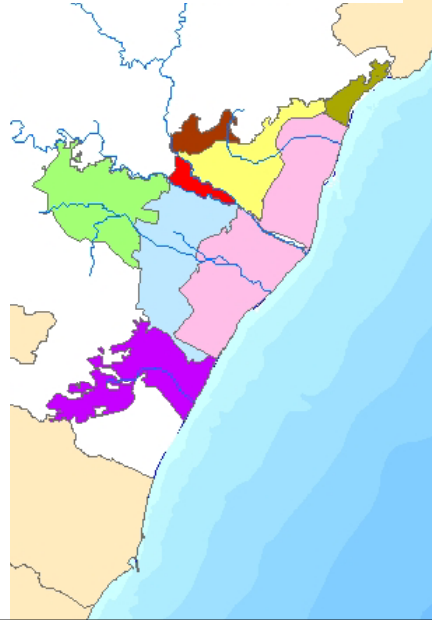



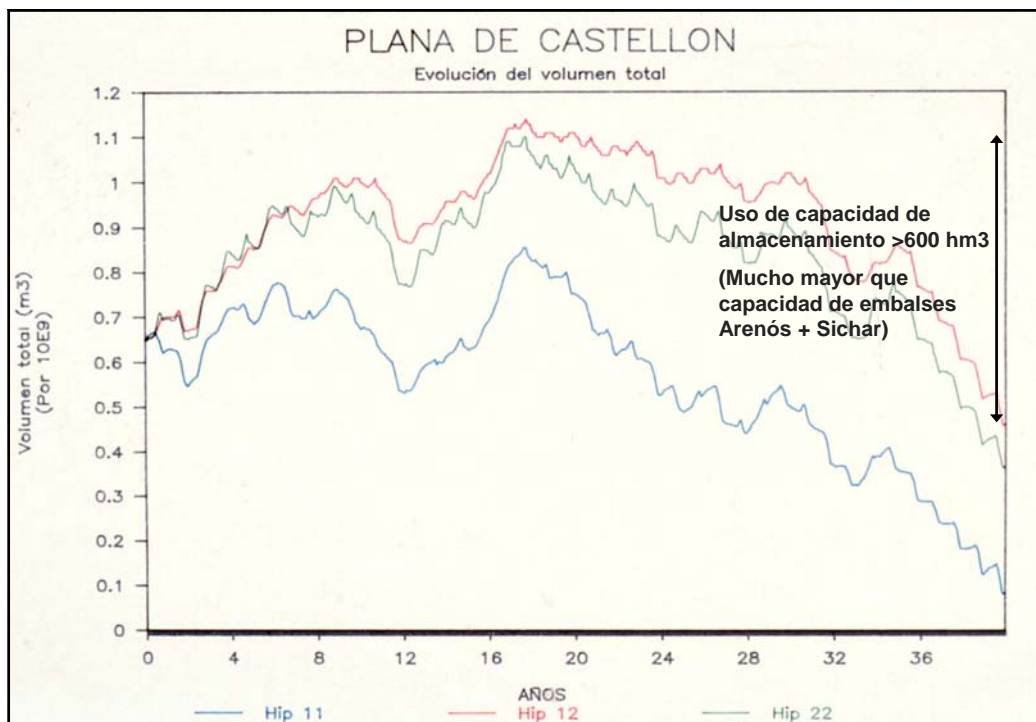
USO CONJUNTO EN EL MIJARES Y ACUÍFERO LITORAL DE LA PLANA DE CASTELLÓN

Aprovechamiento de la capacidad de almacenamiento del acuífero para realizar uso alternativo (usar agua superficial en años húmedos, y más agua subterránea en años secos)

Durante los años húmedos, el acuífero se recupera:

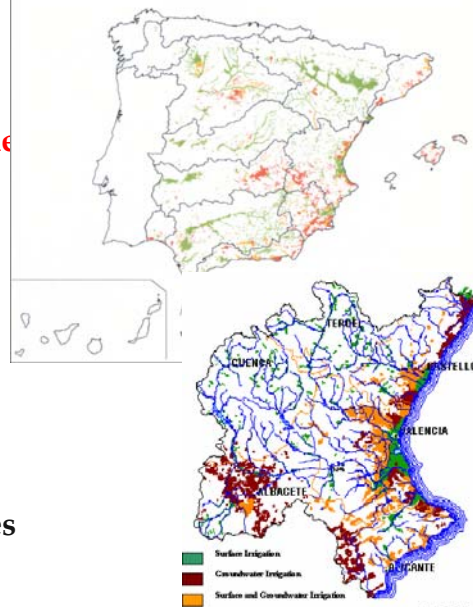
- Filtraciones en embalses de Sichar y M^a Cristina
- Filtraciones en cauce río Mijares
- Excedentes riegos tradicionales
- Recarga en ramblas a través de acequias





USO CONJUNTO ALTERNATIVO

- en casi todas las cuencas españolas es posible hacer uso del concepto de utilización alternativa en mayor o menor medida.
- Las posibilidades dependen de:
 - aportaciones superficiales y su variabilidad
 - capacidad de embalses,
 - localización y cuantía de demandas
 - las características y posibilidades de los acuíferos, y
 - relaciones de éstos con los ríos.
- caso destacable: cuenca del Duero, puede proporcionar ahorros importantes en obras de regulación superficial.



CC-IAMA-09 23

USO CONJUNTO RELACIÓN RÍO-ACUÍFERO

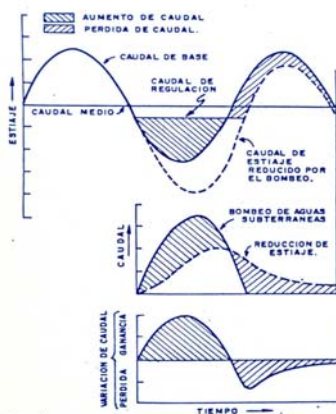
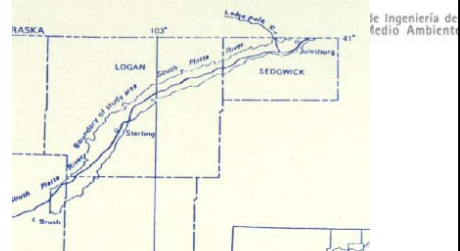


- aprovechar fundamentalmente la **dinámica de la relación acuífero-río o acuífero-manantial**.
- Extracciones en zonas alejadas del río, o del manantial, en épocas de bajos caudales:
 - disponibilidad mayor de recursos en ese momento, o aumento de caudales con fines ambientales
 - pequeña afección al caudal del río, difiriendo en el tiempo la mayor parte de esta hasta épocas en que no afecten a la disponibilidad y/o en que los caudales superficiales sean mayores y menos aprovechables.
- **requieren de un mejor conocimiento de las relaciones acuífero-río**, y análisis más profundo de estrategias de bombeo. Los tiempos son muy importantes: **optimización**
- Ganancias en rendimiento conjunto, y en garantía

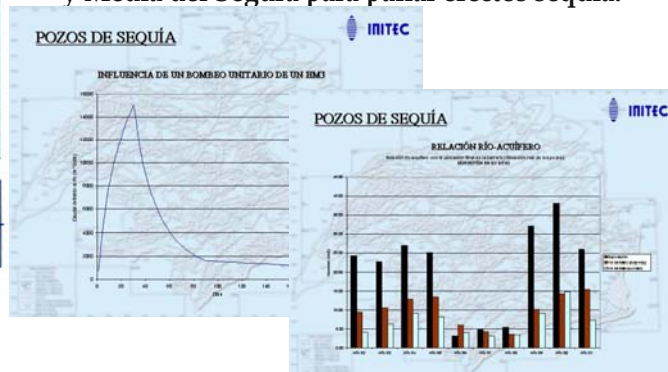
CC-IIAMA-09 24

USO CONJUNTO RELACIÓN RÍO-ACUÍFERO

- Ejemplos: Reino Unido, y río South Platte (U.S.A) (Andreu et al., 1982).

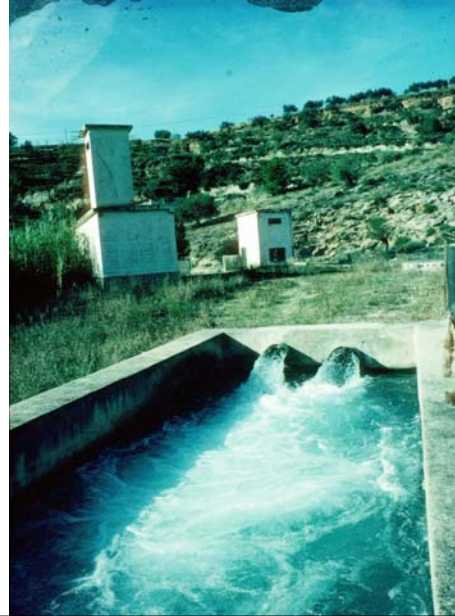


- acuíferos de Sinclinal de Calasparra, la Vega Alta y Media del Segura para paliar efectos sequía.



REGULACIÓN DE MANANTIALES CÁRSTICOS

- bombeos en el acuífero para complementar los caudales necesarios para satisfacer la demanda
- Ejemplos: manantial de los Santos (Valencia) (1200 l/s 2 p.); manantial de Deifontes (Granada) (2000 l/s 5 p.); ...
- S. Explotación Marina Baja (Alicante) (800 l/s 2p):



Uso conjunto en la Marina Baja:

- Embalses de Guadalest y Amadorio.
- Bombeo en Fuentes del Algar se eleva a emb. Guadalest
- Alta Conectividad del sistema
- Reutilización por regantes tradicionales de aguas depuradas y desalinizadas, cediendo superficial para abastecimiento urbano
- Muy apto para optimización económica



INFRAESTRUCTURAS DE LA MARINA BAJA

ANÁLISIS DEL USO CONJUNTO



- aparecen problemas asociados cuya solución requiere de **estudios y análisis más profundos**.
- los estudios y el análisis pueden proporcionar formas de operar el uso conjunto **mejores desde el punto de vista económico y medioambiental**.
- Análisis **en el marco del uso integrado de todas las fuentes del recurso, a la escala de cuenca**, y con el objetivo de ordenar las demandas y las disponibilidades, proporcionando garantías de suministro adecuadas, con especial atención a las épocas de sequía, y de forma sostenible, tanto medioambientalmente, como económicamente.
- **normas de explotación** que han de utilizarse como reglas para la operación del sistema en distintas situaciones, con énfasis en las situaciones de sequía, llegando incluso a definir el régimen económico del uso integrado en los casos en que este factor sea clave en su funcionamiento y factibilidad,

CC-IIAMA-09 28

ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN



- **Complejidad** de los SE e **Interacción** entre elementos
- Búsqueda y validación de las **soluciones integradoras** de las fuentes debe realizarse mediante un **riguroso análisis** de los sistemas:
 - a **escala de cuenca**, o de SE como mínimo (soluciones aparentemente adecuadas para problemas locales pueden no ser las mejores, o incluso causar perjuicios, cuando se analiza su efecto a escala de cuenca)
 - Integrar aspectos de calidad de aguas, medio ambiente, y economía, así como aspectos legales y sociales
 - capturar de forma adecuada las interacciones entre los elementos del sistema
 - evaluar las **implicaciones de las soluciones propuestas**
 - información sobre **intercambios** que se producen **entre** unas soluciones y otras en términos de **objetivos** de distinto tipo.

CC-IIAMA-09 29

ANÁLISIS DEL USO CONJUNTO

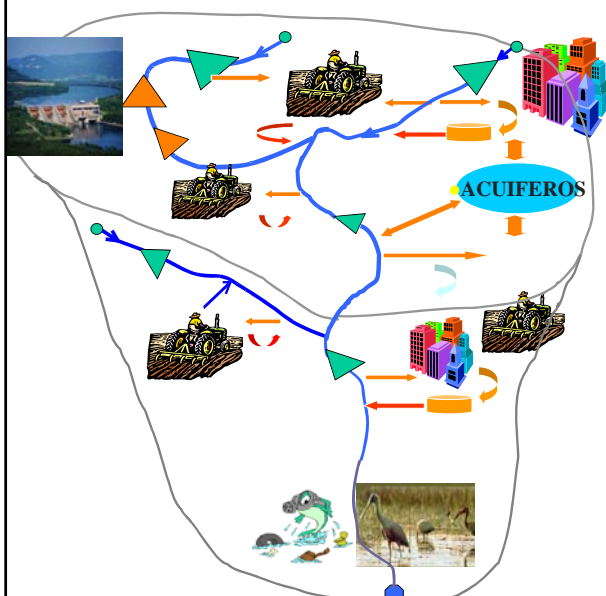


- **la gestión juega un papel decisivo:** el modelo integrador utilizado para el análisis debe ser capaz de incorporar prioridades y reglas de gestión que contemplen el uso conjunto, y determinen cuando se hace uso de cada fuente de recursos, y en qué cantidad, y que demandas las utilizan.
- las reglas de gestión que se utilicen en el modelo deben de ser realistas, y corresponderse con las normas de explotación a aplicar en la vida real, las cuales deben de ser factibles, pues está comprobado que factores económicos, sociales, culturales, o de otros tipos, pueden hacer inaplicables normas de explotación que inicialmente parecen óptimas.
- **simular y analizar un gran número de alternativas y escenarios,** (el número de simulaciones realmente efectuadas puede acabar siendo en torno al millar): esencial que las herramientas de simulación y análisis sean lo más **eficientes** posibles, para facilitar el desarrollo del estudio en un tiempo razonable.

CC-IIAMA-09 33

Los S.R.H. INTEGRAN a escala de cuenca: Masas de agua, Usos (Demandas), Infraestructuras, ...

Ingeniería de
Medio Ambiente



Relaciones complejas
que afectan la
disponibilidad y
calidad del agua,
tanto en ESPACIO,
como en TIEMPO

FLV-09 34

SSD Integrativo



- **crucial** para el desarrollo de actividades posteriores en la evaluación del impacto del CC en RH: **SSD integrativo (SSDI) a escala de cuenca (o sistema de explotación)**.
- Un SSD integrando, en un modelo único, y para toda la cuenca, todos los elementos relevantes, tanto superficiales (ríos, lagos, ...), como acuíferos, infraestructuras (presas, embalses, derivaciones, vertidos, pozos, ...), usos del agua (urbanos, agrícola, industriales, ...), requerimientos ambientales, derechos de agua y prioridades, y reglas de operación del sistema.

CC-IIAMA-09 35

AQUATOOL:

Herramienta para SSD diseñada para la gestión integrada de sistemas complejos de recursos hídricos



- **J. Andreu, J. Capilla, y E. Sanchis, “Generalized decision support system for water resources planning and management including conjunctive water use”, *Journal of Hydrology*, Vol. 177, pp. 269-291, 1996.**

CC-IIAMA-09 36

● SIMULACION Modelos ya disponibles y utilizados en PGRH de cuencas españolas

Para combinaciones de escenarios de CC en hidrología, demandas, ...

CC-IAMA-09 37

ACUÍFEROS

VARIAS POSIBILIDADES MODELACIÓN ACUÍFEROS: Del más sencillo al más complejo
Depósito, Autovalores, ...

CONEXIÓN: Entre las aguas superficiales y subterráneas mediante diferentes elementos:

- Bombeos de demandas
- Filtraciones de conducciones (Tipo-2)
- Conexiones hidráulicas con las conducciones (Tipo-3)
- Filtraciones desde embalse a acuíferos
- Recargas a acuíferos

AQUIVAL: Modulo desarrollado para modelo distribuido por método de Autovalores



● MODULO DE SIMULACIÓN DE CALIDAD DE AGUAS

Enlazado con el modelo de simulación de gestión..

SIMULA la CALIDAD PARA EL SISTEMA COMPLETO

Modelo Mecanicista para ríos y embalses

Constituyentes

Temperatura

Constituyentes arbitrarios

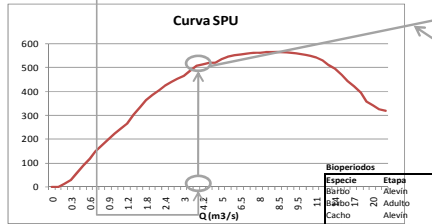
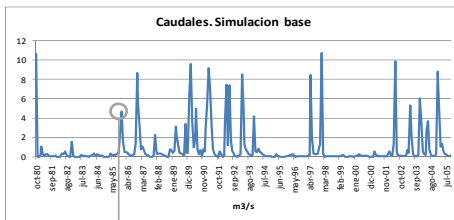
OD + MO

Ciclo Nitrógeno

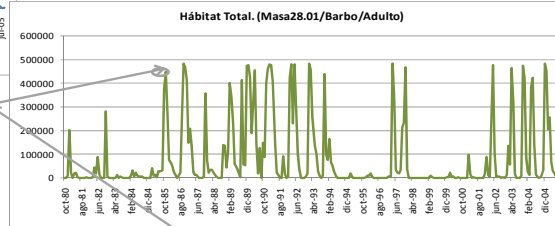
Eutrofización

CAUDECO- Módulo de requerimientos ambientales

de Ingeniería de Medio Ambiente



OBJECTIVO del MODULO
Estimación de Series de Hábitat Total en diferentes masas de agua, especies y etapas para diferentes alternativas de gestión



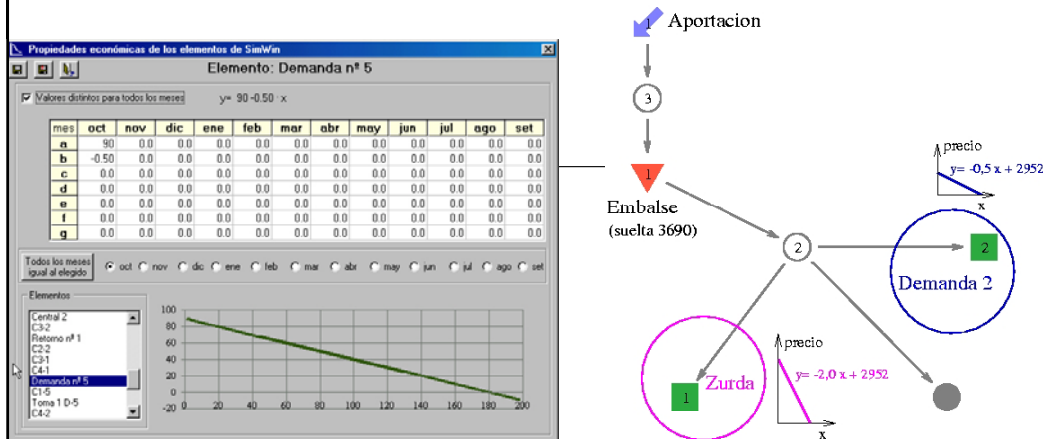
Bioperiodos		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Especie	Etapa												
Barbo	Alevin												
Barbo	Adulto												
Cacho	Alevin												
Cacho	Juvenil												
Cacho	Adulto												

- Pueden predecirse los impactos sobre el cumplimiento de las necesidades de las especies

CC-IAMA-09 45

MÓDULO DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN ECONÓMICA

- Valor económico de una alternativa
- Pueden predecirse los impactos económicos en los elementos del sistema

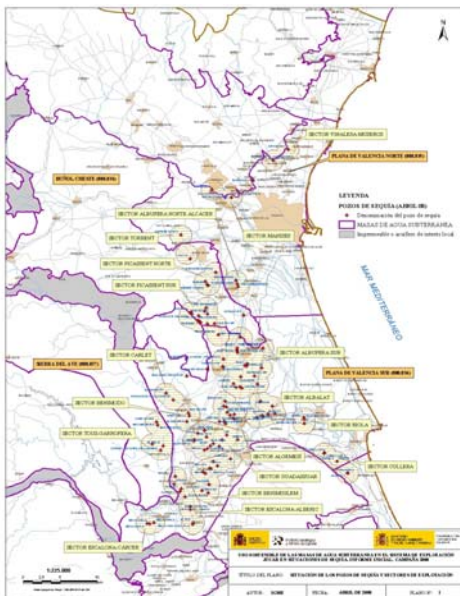


USO CONJUNTO Y GESTIÓN DE SEQUÍAS

- es durante las sequías cuando mayor uso de agua subterránea se realiza,
- UC: gran importancia en la mitigación de sequías en las cuencas mediterráneas españolas.

Gestión de la sequía 2004/05 a 2007/08 en la cuenca del río Júcar:

- se movilizaron en los años más críticos, del orden de 35 hm³ adicionales sobre lo normal de extracciones en pozos privados, y del orden de 40 hm³ adicionales mediante pozos de sequía
- esquema económico en el que los usuarios de esta zona ceden parte de sus reservas de aguas superficiales a otros usuarios (fundamentalmente urbanos), y a cambio, estos compensan por los costes de extracción a los primeros.



Pozos de Sequía Júcar Activación con “Convenio de Alarcón”

Acuíferos y sectores 2008

2008	Pozos	Rebombeos	Total instalaciones
Acequia Real del Júcar	66	2	68
Real Acequia de Escalona	7		7
Real Acequia de Carcaixent	3		3
Sindicato de Riegos de Sueca		8	8
Sindicato de Riegos de Cullera	6	8	14
Acequia Mayor de la Villa y Honor de Corbera	4	1	5
Comunidad General del Canal Júcar-Turia	40		40
Total	126	19	145

USO CONJUNTO Y GESTIÓN DE SEQUÍAS



- se movilizaron **recursos no convencionales** consistentes en dos tipos de reutilización:
 - Drenajes de los arrozales en la Ribera del Júcar (“rebombes”) (hasta 60 hm³/a), (costes compensados por otros usuarios), y
 - Reutilización (hasta 94 hm³/a) de aguas residuales depuradas del AM Valencia (que se permutaron parcialmente por aguas superficiales de la Vega del Turia, para abastecimiento del AM, liberando recursos del Júcar.
- uso conjunto de todas las fuentes de recursos disponibles, incluyendo una gestión conjunta de las cuencas de los ríos Júcar y Turia.
- uso de los SSD, contribuyó, a una mejor comprensión de las alternativas por parte de todos los involucrados.
- **gran esfuerzo de seguimiento del estado del sistema**, tanto superficial como subterráneo, y tanto en términos cuantitativos (caudales, niveles piezométricos, etc.), como de calidad de aguas.

CC-IIAMA-09 57

CONCLUSIONES



- 1.- La intensa utilización de recursos hídricos: políticas de agua (planificación y una gestión de cuencas) que, además de actuar sobre la demanda para su racionalización, **se consideren de forma integrada todos los tipos de fuentes de recursos**, convencionales y no convencionales, aprovechando las características de cada una de forma lo más optimizada posible.
- 2.- Dentro de este enfoque tiene un **destacado papel la UC de aguas superficiales y subterráneas**, tanto por los volúmenes de los flujos de agua que puede generar, como por incidir en el subconjunto de fuentes renovables por el ciclo hidrológico y que están íntimamente relacionadas con el estado ecológico de las masas de agua continentales y costeras.
- 3.- Se han revisado los distintos tipos de esquemas de utilización conjunta, poniendo de relieve que en las cuencas españolas, **el esquema que más posibilidades de aplicación tiene para producir disponibilidades adicionales y mejoras de garantías es la utilización alternativa de aguas superficiales y subterráneas.**

CC-IIAMA-09 58

CONCLUSIONES



- 4.- El análisis de alternativas de uso conjunto debe realizarse con **herramientas capaces de modelar los sistemas superficiales y subterráneos, y sus interacciones de forma adecuada**. Así mismo, se han revisado las herramientas y metodologías para el análisis, y las características de este para que las soluciones obtenidas sean coherentes con el sistema real.
- 5.- Se hace énfasis en que la utilización conjunta tiene una **componente muy fuerte de gestión, y que esta gestión debe ser optimizada** si se quieren obtener todas las ventajas que puede proporcionar, minimizando los efectos adversos que pueden derivarse de una práctica mal diseñada.
- 6.- El resultado del diseño de reglas de gestión óptimas debiera desembocar en el establecimiento de unas **normas de explotación del sistema de uso conjunto** (de uso integrado de todas las fuentes, en general).

CC-IIAMA-09 59

CONCLUSIONES



- 7.- Es de destacar el importante papel de los usuarios en la factibilidad, gestión, organización y seguimiento de la utilización conjunta.
- 8.- Es necesario mejorar los mecanismos de control de los flujos de agua en los sistemas de recursos hídricos y del estado de los acuíferos, y la continua monitorización de los mismos.
- 9.- Aunque no se ha abordado en la ponencia por limitación de la misma, hay al menos un aspecto importante adicional a considerar en el uso conjunto, y es el aspecto económico. Como ya se ha mencionado, existen herramientas con capacidad para ese análisis, y con la ayuda de estas, o de otras no mencionadas, es necesario incluir esta faceta en el diseño de esquemas de uso conjunto
- 10.- Esfuerzo permanente para incrementar y mejorar las prácticas de uso conjunto, de todas las fuentes disponibles de recursos (enormes ventajas de todo tipo que proporciona esta práctica de gestión integral, especialmente en situaciones de sequía, y ante escenarios futuros como consecuencia de variaciones climáticas).

CC-IIAMA-09 60

FIN



**¡Muchas gracias por su
atención!**

**AEUAS: 'GARANTÍAS DE LA GESTIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS: DIAGNOSIS DE
LA SITUACIÓN**

Vila-Real, 4 de Noviembre de 2010.

**EJEMPLO DE GESTIÓN CONJUNTA DE AGUAS
SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES: LA CUENCA DEL
RÍO MIJARES**

**Joaquín Andreu Álvarez, Andrés Sahuquillo Herráiz, Abel Solera
Solera, Manuel Pulido Velázquez, David Pulido Velázquez y
Javier Paredes Arquiola**

Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA) Universidad Politécnica de Valencia

e-mail: ximoand@upv.es

www.upv.es/iiama/

www.upv.es/aquatool/

CC-IIAMA-09 61