

AGUA Y ENERGÍA EN EL RIEGO, EN LA ÉPOCA DE LA SOSTENIBILIDAD

Joan Corominas

Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca
c/Tabladilla s/n, 41013 Sevilla
juan.corominas@juntadeandalucia.es

Resumen: La expansión del regadío a lo largo de las últimas décadas, y en los últimos quince años su modernización, ha necesitado incorporar gran cantidad de energía para la captación, transporte y distribución del agua a los cultivos. Esta transformación ha convertido al sector del regadío, que ocupa el 20 % de la superficie cultivada en España, en el preponderante con casi el 60 % de la producción final agraria.

Al mismo tiempo se está avanzando rápidamente en la mejora de la eficiencia en el uso del agua, espoleado el sector por la falta de recursos suficientes en los años secos. Pero esta reducción unitaria de agua usada, del orden de un 21 % desde 1950, debe ponerse en relación con la mayor intensidad de energía aportada al agua de riego que ha crecido desde 1950 en un 1800 %: la mayor eficiencia hídrica va ligada a una mayor ineficiencia energética.

Los costes de la energía aportada al regadío crecen rápidamente año tras año, y pueden ser limitativos ante procesos de encarecimiento brusco del precio de la energía, especialmente el petróleo que sigue teniendo un gran peso en el *mix* energético español. Este riesgo se pondrá de manifiesto en los regadíos poco intensivos que utilizan aguas subterráneas o que se han implantado a cotas elevadas respecto a los puntos de captación.

Los nuevos enfoques del uso de los recursos naturales a que nos obliga el cambio climático, y de manera más amplia la sostenibilidad, aconsejan introducir los balances energéticos del regadío, la huella hídrica y energética y los conceptos de agua y energía virtual, como maneras de acercarnos a las tendencias que deberán marcar los cambios necesarios para adaptar los regadíos a la sostenibilidad.

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA RELACIÓN AGUA Y ENERGÍA

Todas las culturas que nos han precedido supieron aprovechar la energía del agua para mover molinos, hacer funcionar forjas o batanes, elevar el agua mediante norias o represarla con azudes y conducirla a puntos distantes del río o manantial utilizando acequias, sifones y acueductos. Las tecnologías utilizadas nos muestran ingeniosos procedimientos de ingeniería "*avant la lettre*", que han unido a su utilidad una gran belleza y constituyen un gran patrimonio histórico de obras hidráulicas.

Salvo en las norias movidas por el giro rutinario de animales para elevar el agua de pozos, el hombre utilizaba la energía potencial o cinética del agua, se aprovechaba de ella, una energía gratuita y renovable.

Pero el descubrimiento de la máquina de vapor, y después de la electricidad, introdujo cambios sustanciales en la relación del hombre con el agua y la energía. Se podían aprovechar grandes desniveles para generar energía y se podía utilizar energía para utilizar el agua en sitios dis-

tantes, o a mayores cotas respecto del punto de captación.

Las posibilidades de utilizar la energía potencial del agua aumentaron enormemente con la unión de turbina y alternador, transformando la energía mecánica en eléctrica, que podía transportarse y usarse a largas distancias. Las bombas hidráulicas utilizaban energía para dar presión al agua, invirtiendo su camino natural en los ríos o acuíferos.

El agua y la energía de ella obtenida que siempre se habían utilizado en las cercanías del río podían disociarse y trasladarse a lugares distantes: se abrió una revolución energética y de intensificación de usos del agua para el abastecimiento de poblaciones, el regadío y la industria.

Hoy, más de un siglo después de haberse iniciado este proceso, consideramos como natural esta intensa relación del agua y la energía, pero es conveniente que reflexionemos sobre los límites que deberemos introducir en esta relación, en una época que nos preocupa nuestro bienestar actual, pero también la sostenibilidad del mismo. Se trata de un debate abierto en Es-

paña desde hace una década, similar al desencadenado en California desde los años 80 del siglo pasado (Arrojo y Naredo, 1997).

El modelo de sociedad actual lleva implícito un empleo intensivo de agua y energía para la mayor parte de actividades tanto productivas como domésticas o de ocio, y que se ha ido acelerando a lo largo a lo largo del siglo XX. En la Tabla 1 se detallan los valores de la energía producida o consumida con relación al agua usada en las principales actividades.

Hemos pasado de aprovechar la energía potencial de saltos inferiores a 10 m, a turbinar aguas con 500m de caída para producir energía eléctrica, o a proporcionar 700 de altura manométrica al agua de mar para que atravesase membranas semipermeables para obtener agua dulce: grandes cambios de escala y de intensidad de usos del agua y la energía.

En la Figura 1 se observa el gran crecimiento de la energía hidroeléctrica a partir de 1950 hasta 1975, fecha a partir de la cual se estabiliza al haberse aprovechado los saltos más productivos, y las limitaciones de rentabilidad económica y más tardíamente las restricciones ambientales, han relegado el crecimiento a los aprovechamientos catalogados de *minihidráulica*. También ha adquirido gran importancia el uso del agua para refrigeración de centrales térmicas y nucleares, y muy recientemente de plantas termosolares; estos últimos usos del agua aunque no producen energía son imprescindibles para transformar la energía térmica del vapor de agua en electricidad.

dad.

A partir de mitad de la década los 70 del siglo pasado empieza a utilizarse de manera generalizada, y cada vez más intensiva, la energía para nuevos sistemas de riego a presión, potabilización de aguas y depuración de las mismas, grandes trasvases y en la última década grandes proyectos de desalación de agua de mar.

Estas técnicas de obtención de agua dulce a partir del agua del mar o de grandes trasvases, como el derogado Trasvase del Ebro hasta Murcia y Almería son altamente consumidores de energía, que alcanza entre 3,5 y 4 Kwh/m³, quedando reservadas para abastecimiento a poblaciones, agricultura de regadío muy intensiva, como los invernaderos, la industria, el turismo o los campos de golf (Corominas, 2008).

Mientras la producción de energía a partir del uso del agua está estabilizada actualmente (dependiendo exclusivamente del ciclo hidrológico de cada año), la demanda de energía para los usos del agua en el abastecimiento, regadío o industria crece cada año, aunque el balance energético de todos los usos del agua es claramente positivo.

Los principales usos del agua ligada a la energía son el regadío (49%) y la producción hidroeléctrica (30,6%), aunque si nos atenemos al consumo de agua (descontados los retornos), el regadío es claramente mayoritario (92%). Además la intensidad de uso de energía en el sector del riego ha crecido muy rápidamente en los últimos años (Tabla 2).

INDICADORES DE PRODUCCION Y CONSUMO DE ENERGIA POR USOS DEL AGUA			
		USO	KWH/ M3.
PRODUCCION	ELECTRICO	HIDROELECTRICIDAD (SALTO DE 100M.)	0,21
		REFRIGERACION CENTRAL DE CICLO COMBINADO (CIRCUITO CERRADO)	345
		REFRIGERACION CENTRAL TERMOSOLAR (CIRCUITO CERRADO)	245
		REFRIGERACION CENTRAL TERMICA (CIRCUITO ABIERTO)	17,5
CONSUMO	RIEGO	BOMBEO (100 M.)	0,42
		RIEGO LOCALIZADO	0,18
		RIEGO POR ASPERSION	0,23
	ABASTECIMIENTO Y SANEAMIENTO	POTABILIZACION (ETAP)	0,18
		DEPURACION SECUNDARIA (EDAR)	0,3 - 0,5
		DEPURACION TERCIARIA	0,15 - 0,25
	TRANSPORTE	PROYECTO TRASVASE EBRO (ALTURA MANOM. MEDIA 723 M.)	3,7
	DESALACION	DESALACION DE AGUA MARINA	3,5 - 4
DESALACION DE AGUA SALOBRE		1,4 - 1,8	

Fuente: elaboración propia

Tabla 1.

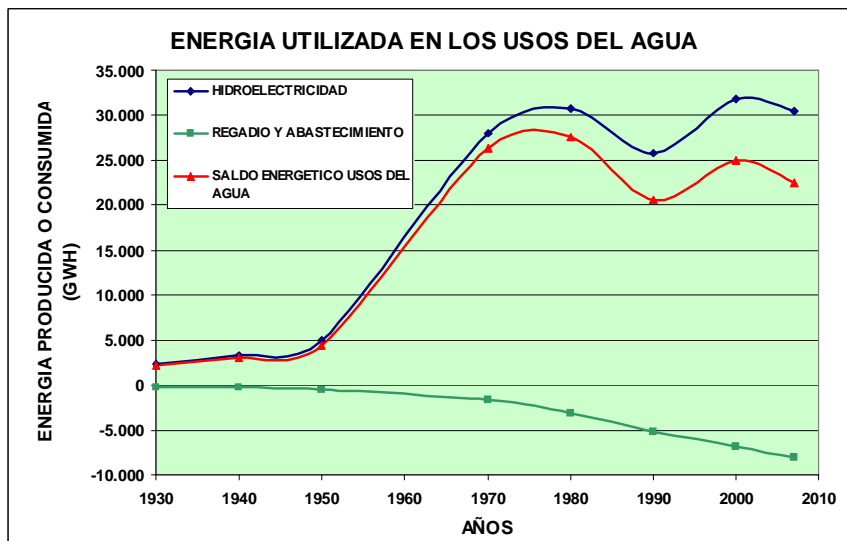


Figura 1. Elaboración propia con datos de UNESA (2005), MMARM (2008) y MITYC (2008)

AGUA Y ENERGIA EN ESPAÑA - 2007					
SECTOR	HIDROELECTRICO	REFRIGERACION	REGADIO	ABASTECIMIENTO Y DEPURACION	TOTAL
AGUA UTILIZADA (HM3)	15250	5153	24440	5005	49848
AGUA CONSUMIDA (HM3)	381	589	20163	751	21884
ENERGIA PRODUCIDA O CONSUMIDA (GWH)	30500		-5866	-2152	22482
ENERGIA/ AGUA UTILIZADA (KWH/M3)	2		-0,24	-0,43	0,45
ENERGIA/ AGUA CONSUMIDA (KWH/M3)	80		-0,29	-2,87	1,03

Notas: La energía hidroeléctrica incluye la producida en returbidados, que han requerido 4350 GWH para su bombeo
 La energía producida en las centrales térmicas y nucleares, que utilizan el agua para refrigeración, es de 249000 GWH

Fuente: Elaboración propia con datos de MMARM (2008) y MITYC (2008)

Tabla 2.

La energía de procedencia hidráulica producida es del orden de 2 Kwh/m³, incluyendo los returbidados que requieren bombeos de 0,29 Kwh/m³ de media, por lo que la producción neta ascendería a 1,71 Kwh/m³. El sector de abastecimiento, tratamiento y depuración de aguas consume 0,43 Kwh/m³ utilizado y el regadío 0,24 Kwh/m³.

LA ENERGÍA EN LA AGRICULTURA DE REGADÍO

Los regadíos tradicionales superaban el millón de Ha al inicio del siglo XX, utilizando aguas

de manantiales, pozos someros o derivadas de pequeños azudes en los ríos. La nueva política hidráulica surgida del impulso de los Regeneracionistas, con Joaquín Costa a la cabeza, impulsó la construcción de embalses con fines de regulación e hidroeléctricos, y el aprovechamiento de sus aguas para el regadío, con una participación decisiva del Estado y con la colaboración de los regantes, utilizando para ello los mecanismos económico financieros de la ley Gaset de 1911.

El período de la Guerra Civil y la posguerra paralizó esta política de impulso al regadío, que volvió a convertirse en una de las políticas estre-

lla de la Dictadura de Franco desde 1950 hasta el final de la misma. A partir de los años 80 del siglo pasado la iniciativa pública fue decayendo, tomando el relevo la privada. Los nuevos regadíos se han implantado en terrenos generalmente menos adecuados productivamente, situados a mayores cotas y distancias del punto de captación, generalmente en terrenos con pendiente y con un uso cada vez más intensivo de las aguas subterráneas. La tecnología del riego ha requerido en la mayoría de los casos importantes aportes de energía para la elevación, transporte y distribución del agua.

Los apoyos públicos al regadío en los últimos 15 años se han dedicado en su mayor parte a la modernización de regadíos, con la consiguiente mejora de la eficiencia hídrica, lo que reduce la vulnerabilidad ante los años de escasez de aguas, pero comporta también la progresiva distribución del agua de riego a presión, a través de conducciones cerradas, y la implantación de sistemas de riego por aspersión o localizados, con aumento del consumo energético.

En la Tabla 3, se observan los cambios en la relación de los usos del agua y la energía para regadíos en el último siglo, evidenciándose que en el período 1950-2007 la superficie de regadíos se ha multiplicado por 2,5 y los consumos energéticos del mismo por 19, requiriendo actualmente del orden de 1560 Kwh/Ha y 0,24 Kwh/m³, como media.

La eficiencia en el uso del agua en este período ha mejorado un 21 %, pero el consumo de agua solo se ha disminuido un 3,5 %, habiéndose producido una importante minoración de los retornos de riego. La menor utilización de agua permite un mejor uso del agua y una disminución de

su contaminación, aunque el consumo descienda poco, al estar ligado a las necesidades de evapotranspiración de los cultivos implantados en el regadío.

Comparando los datos actuales con los de 1995, utilizados para la elaboración del Plan Nacional de Regadíos (H-2008), se pone de manifiesto que mientras la superficie de riego ha aumentado un 12 %, el consumo de energía lo ha hecho en un 33 %, corroborando esta tendencia de intensificación energética del regadío (Tabla 4).

No todos los regadíos siguen esta pauta, con grandes diferencias según Comunidades Autónomas, muy ligada a la intensidad productiva, concentrada en el levante y sur peninsular y en las islas. La idoneidad climática, unida a la escasez relativa de recursos superficiales, ha propiciado una agricultura de regadío basada fuertemente en las aguas subterráneas, con aportes de trasvases como el Tajo-Segura, Negratín-Almanzora, Guadiaro-Majaceite y recientemente el Júcar-Vinalopó, y el creciente uso de aguas desaladas y regeneradas. Además la orografía de las nuevas zonas a regar ha obligado a mayores elevaciones respecto de los puntos de captación.

El origen de esta energía, sobre todo en las grandes superficies de riego, es mayoritariamente eléctrica (73,3 %) y en menor medida procedente de motores de gasoil (26,7 %). Probablemente en los últimos años ha aumentado mucho el uso de energía eléctrica en detrimento de los motores de combustión, al aumentar las líneas de distribución de energía eléctrica, requerir más energía el riego y encarecerse relativamente el gasoil frente a la electricidad.

EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA PARA RIEGO EN ESPAÑA				
Año	Superficie (miles de Ha)	Uso de Agua (Hm ³)	Consumo de Agua (Hm ³)	Consumo de Energía (GWH)
1900	1000	9000	5400	0
1930	1350	12150	7594	182
1940	1500	12750	8288	191
1950	1500	12375	8353	309
1970	2200	17600	12320	1056
1980	2700	20925	14648	2093
1990	3200	24000	17400	3480
2000	3410	23870	18499	4893
2007	3760	2440	20163	5866
2007/1950	2,5	2,0	2,4	19,0

Fuente: Elaboración propia con datos de MIMAM (1998), MMARM (2008) y MITYC (2008)

Tabla 3.

CONSUMOS DE ENERGIA PARA RIEGO POR COMUNIDADES AUTONOMAS (1995)					
COMUNIDAD AUTONOMA	SUP. REGADA (1998)	CONSUMO DE ENERGIA PARA RIEGO			
		ELECTRICO (MWH)	GASOIL (TN)	TOTAL EQUIVALENTE (MWH)	(KWH EQUIVALENTES/HA)
Canarias	29.379	139.294	9.419	193.453	6.585
Murcia	192.698	543.662	15.226	631.212	3.276
Valenciana	350.482	598.868	14.903	684.560	1.953
Baleares	17.376	21.961	1.901	32.892	1.893
Castilla-La Mancha	486.676	595.817	22.044	722.570	1.485
Andalucía	779.880	530.863	48.047	807.133	1.035
Castilla y León	353.801	190.330	27.627	349.185	987
Madrid	27.973	10.111	1.710	19.944	713
Extremadura	210.488	58.686	13.813	138.111	656
Cataluña	264.793	46.221	14.334	128.642	486
Pais Vasco	13.126	2.963	519	5.947	453
Navarra	81.673	26.281	1.450	34.619	424
Aragón	394.522	103.254	7.058	143.838	365
Rioja	49.335	7.353	864	12.321	250
Cantabria	2.603	39	99	608	234
Galicia	85.490	525	3.260	19.270	225
Asturias	4.342	0	104	598	138
TOTAL	3.344.637	2.876.228	182.378	3.924.902	1.173
(% DE ENERGIA EQUIVALENTE)		73,3	26,7		

Fuente: elaboración propia con datos del Plan Nacional de Regadíos H-2008 (MAPA, 2002)

Tabla 4.

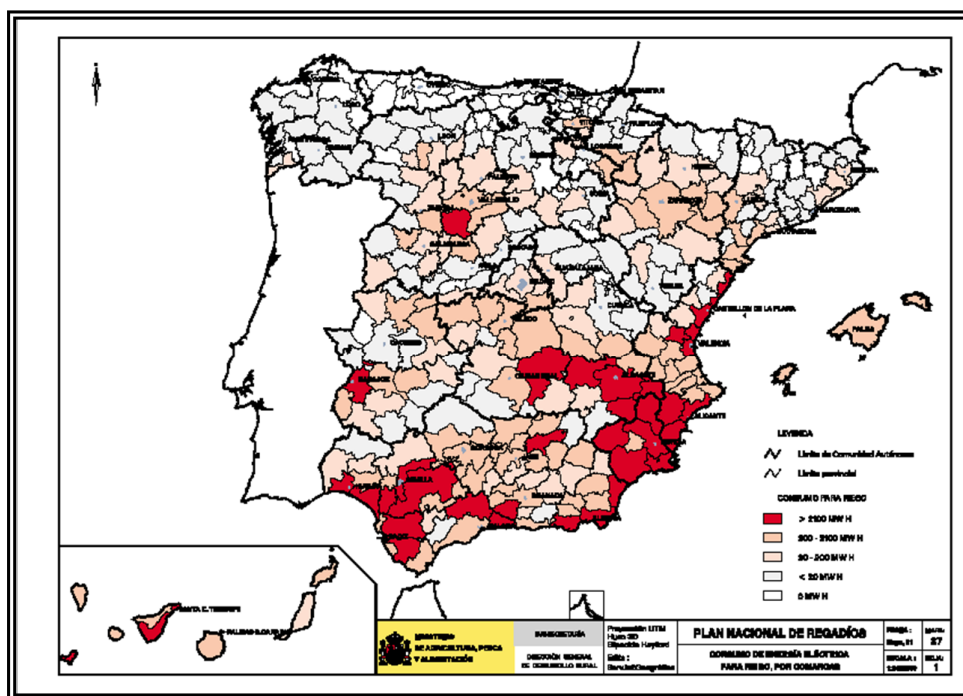


Figura 2. Consumo de energía eléctrica para riego por comarcas (PNR H-2008. MAPA, 2002)

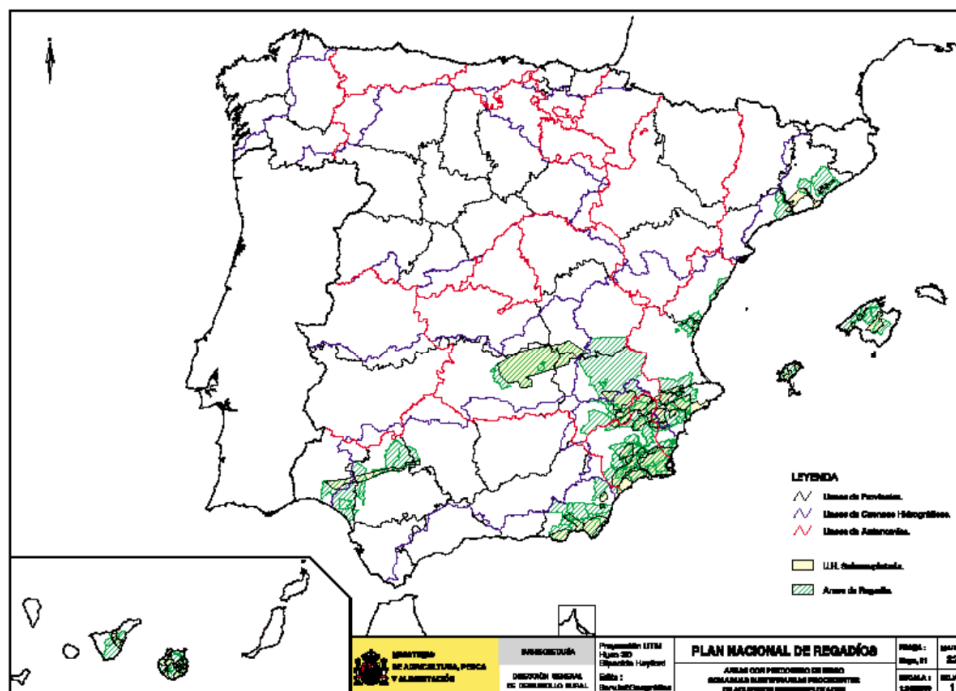


Figura 3. Areas con predominio de riego con aguas subterráneas procedentes de acuíferos sobreexplotados (PNR H-2008, MAPA, 2002)

Canarias, Murcia, la Comunidad Valenciana, Baleares y Castilla-La Mancha superaban en 1995 la media de intensidad energética de los regadíos españoles y probablemente en la actualidad Andalucía también la habrá superado, por la implantación de nuevos regadíos de olivar. Los regadíos de aguas superficiales, con un peso importante del riego por gravedad de Castilla-León, Extremadura o Aragón siguen utilizando menos energía que la media.

La comparación de las Figuras 2 y 3, pone de manifiesto que las zonas de riego de mayor consumo energético se corresponden claramente con las que utilizan agua subterránea y que ejercen mayor presión sobre los acuíferos. Adicionalmente se han ido añadiendo en los últimos años nuevos regadíos de olivar con grandes elevaciones desde los puntos de captación.

NECESIDADES DE ENERGÍA SEGÚN TIPOS DE RIEGOS

Tradicionalmente los regadíos con aguas superficiales o de manantiales y regados por gravedad no utilizaban practicante energía externa. Pero el desarrollo de sistemas de distribución del agua a presión en parcela, tales como la aspersión, los sistemas automotrices y más tardíamente el gran auge de los riegos localizados, que ya son los mayoritarios, ha exigido aportar energía

para la distribución del agua de riego.

Se ha producido también una diversificación de las fuentes de suministro de agua, aumentando los usos de aguas subterráneas hasta alcanzar un 28,4 % del total, y apuntando con un 4 % los aportes muy intensivos en consumo energético como son los trasvases, desalación y reutilización de aguas regeneradas, que irán en aumento en las zonas del litoral mediterráneo dedicados a agricultura intensiva.

En la Tabla 6 se han estimado las necesidades de energía con relación al agua utilizada para los diversos sistemas de riego y fuentes de suministro, que alcanzan como media los 0,28 Kwh/m³ para la captación y distribución del agua de riego (Riego en Baja), y aumentan a 0,34 Kwh/m³ cuando se incluye el transporte y tratamiento de las aguas (Riego en Alta y Baja).

Pero estos valores medios de intensidad energética del regadío varían fuertemente desde los 0,02 Kwh para sistemas de gravedad con aguas superficiales, hasta los 0,68 Kwh/m³ para riegos localizados que utilicen aguas subterráneas. Los cultivos intensivos que utilizan agua desalada pueden llegar a consumir cerca de los 4 Kwh/m³. Por tanto, gran diversidad de consumo energético, y los datos de la Tabla 6 pueden considerarse medios para el conjunto de regadíos españoles.

CARACTERISTICAS DE LOS REGADIOS ESPAÑOLES							
SISTEMA DE RIEGO	SUPERF. RIEGO 2008 (HA)	ORIGEN DEL AGUA (%)					USO MEDIO DE AGUA (M3/HA)
		SUPERFICIAL	SUBTERRANEO	TRASVASES	DESALACION	REUTILIZACION	
Gravedad	1.082.602	84	13,2	2,7		0,1	7500
Aspersión y automotriz	727.523	71	28,6	0,1		0,3	6500
Localizado	1.482.054	54	39,3	4,5	1,1	1,1	5000
Otros y sin información	16.464						
TOTAL REGADIOS	3.308.643	67,6	28,4	2,9	0,5	0,6	6.154

Superficie en invernadero	65.991
----------------------------------	---------------

Fuente: Elaboración propia con datos de la Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos 2008 (MMARM, 2008)

Tabla 5.

SISTEMA DE RIEGO	ENERGIA GASTADA (KWH/M3)								
	BAJA				ALTA			TOTAL	
	SISTEMA DE RIEGO	CAPTACION		TRANSPORTE Y TRATAMIENTO			ZONA RIEGO (BAJA)	INCLUIDO TRANSPORTE Y TRATAMIENTO (ALTA Y BAJA)	
		SUPERFICIAL	SUBTERRANEO	TRASVASES	DESALACION	REUTILIZACION			
Gravedad		0,02	0,15	1,20	3,70	0,25	0,04	0,07	
Aspersión y automotriz	0,24	0,05	0,25	1,20	3,70	0,25	0,35	0,35	
Localizado	0,18	0,10	0,50	1,20	3,70	0,25	0,43	0,53	
Otros y sin información						0,25			
TOTAL REGADIOS	0,13	0,06	0,39	1,20	3,70	0,25	0,28	0,34	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 6.

Con estas estimaciones se determina en la Tabla 7 las necesidades energéticas de los diversos tipos de sistemas de riego en Alta y en Baja. El total de energía consumida por el regadío en Baja es de 5752 GWH, equivalente al 1,98 % del total de la energía eléctrica consumida en España. Esta cifra es muy aproximada a la información estadística del MITYC.

EL COSTE DE LA ENERGÍA PARA RIEGO

La energía eléctrica se ha ido encareciendo en los últimos años siguiendo la estela de los precios del petróleo, aunque la actividad reguladora del Estado aminoraba los crecimientos bruscos. No obstante, desde los últimos años los grandes consumidores podían acceder al mercado de la energía o seguir utilizando el régimen tarifario. En estos primeros años de apertura a los mer-

cados la competencia fue muy pequeña y casi la mitad de los riegos optaron por el tradicional sistema de tarifas, con un precio unitario medio de 8,32 céntimos de euro por Kwh, y representaron el 1,44 % del total de consumo de energía eléctrica bajo el régimen de tarifas.

A partir de Julio de 2009 el precio de la energía eléctrica, excepto para pequeños consumidores,

se fija en el mercado, habiendo desaparecido las tarifas que regulaban este sector. No es de esperar en estos primeros años que los precios se ajusten rápidamente debido a la competencia. En este momento los precios medios de mercado son inferiores a los de los años 2007 y 2008 por el descenso del precio del petróleo que ha ido asociado a la crisis económica.

SISTEMA DE RIEGO	ENERGIA CONSUMIDA (KWH/ HA)	
	ZONA RIEGO (BAJA)	INCLUIDO TRANSPORTE Y TRATAMIENTO (ALTA Y BAJA)
Gravedad	275	519
Aspersión y automotriz	2256	2268
Localizado	2153	2640
Otros y sin información		
TOTAL REGADIOS	1.738	2.077

TOTAL ENERGIA PARA REGADIO (GWH)	5.752	6.873
% SOBRE TOTAL ENERGIA ELECTRICA EN ESPAÑA	1,98	2,37

Fuente. Elaboración propia

Tabla 7.

ENERGIA ELECTRICA PARA REGADIO EN 2007 (MERCADO A TARIFA)											
	CONTRATOS		POTENCIA			ENERGIA			FACTURACION (MILL. EUROS)	PRECIO UNITARIO (CENTIMOS €/ KWH)	PRECIO SOBRE EL MEDIO EN ESPAÑA (%)
	Nº	(% S/ TOTAL)	TOTAL (GW)	(% S/ TOTAL)	MEDIA (KW)	TOTAL (GWH)	(% S/ TOTAL)	MEDIA (KWH)			
SUMINISTRO EN ALTA TENSION (< 36 KV)	15560	0,07	1622	1,23	104	2010	1,16	129192	159,9	7,95	89
SUMINISTRO EN BAJA TENSION (380 V)	43595	0,19	677	0,51	16	491	0,28	11253	48,4	9,86	110
TOTAL	59155	0,26	2299	1,74	39	2501	1,44	94624	208,3	8,32	93

Fuente: La energía en España 2007 (MITYC, 2008)

Tabla 8.

En la Tabla 9 se han calculado los costes medios de energía para tres grupos de cultivos en sistemas de riego modernizados, en función de los bombeos medios que requieren, poniéndose de manifiesto lo importante de la factura energética en el total de costes de las explotaciones

Estos indicadores son medios, pero no es extraño, como ejemplo, que en riegos de olivar las alturas manométricas totales, tanto en riegos con aguas superficiales, como subterráneas, superen los 400 m, con lo que los costos energéticos alcancen los 0,12 euros/m³ y los 179 euros/ha.

Estos elevados consumos energéticos, y sus correlativos costes, pueden poner en entredicho recientes transformaciones en regadío con elevados bombeos, en un escenario de paulatino aumento del coste de la energía. Se constata que el mayor coste energético del agua se correlaciona en una mejor eficiencia del uso de la misma (Corominas, 2001).

El Inventario y Caracterización de Regadíos de Andalucía (2002) aporta información sobre los costes del agua para el agricultor, incluyendo los Cánones y Tasas Públicas, los gastos de gestión del sistema de riego y la factura de la energía necesaria para el riego (Tabla 10).

COSTE UNITARIO DE ENERGIA EN BOMBEO PARA REGADIOS (PRECIOS 2009)			
TIPO DE CULTIVOS	CULTIVOS INTENSIVOS DE INVIERNO (FRESA, INVERNADEROS)	CULTIVOS DE VERANO	OLIVAR (RIEGO DEFICITARIO)
CONSUMO DE AGUA (M3/HA.)	4500	5500	1500
ALTURA DE BOMBEO MEDIA (M.)	195	100	245
ENERGIA NECESARIA (KWH/ HA. Y AÑO)	3680	2307	1541
COSTE TOTAL ENERGIA (EUROS/ HA. Y AÑO)	274	168	110
COSTE TOTAL ENERGIA POR M3.(EUROS/ M3.)	0,061	0,031	0,073
COSTE MEDIO ENERGIA (EUROS/ KWH)	0,074	0,073	0,071
VALOR DE LA PRODUCCION (EUROS/HA)	44000	2420	2200
COSTE ENERGIA/ VALOR PRODUCCION (%)	0,6	7,0	5,0

NOTA: COSTES SIN IVA

Fuente: elaboración propia

Tabla 9.

COSTES DEL AGUA EN ANDALUCIA (2002)			
		COSTE UNITARIO (CENTIMOS DE EURO/ M3)	COSTE AGUA/ VALOR PRODUCCION (%)
COSTE MEDIO		3,74	5,18
ORIGEN DEL AGUA	Aguas superficiales	3,01	5,48
	Aguas subterráneas	6,18	4,42
SISTEMA DE RIEGO	Gravedad	2,42	5,22
	Aspersión	3,51	8,68
	Localizado	6,3	3,23
CULTIVOS	Arroz	2,56	11,75
	Extensivos de verano	2,69	7,95
	Olivar	3,01	3,61
	Cítricos	5,48	5,72
	Invernaderos	10,26	1,55

Fuente: Inventario de Regadíos de Andalucía 2002 (CAP)

Tabla 10.

El coste medio del agua era, para el año 2002, de 3,74 céntimos de euro/m³ y representaba un 5,18% del valor de la producción del regadío andaluz. La actualización de estos costes al año actual los acercaría a 4,5 céntimos de euro/m³.

El sistema de riego por gravedad, mayoritariamente con aguas superficiales y con bajo aporte de energía tenía unos costes de 2,42 céntimos de euro/m³ y puede considerarse la referencia para estimar el sobrecoste de la energía consumida por los demás sistemas de riego: así las aguas subterráneas tendrían un coste energético medio cercano a los 4 céntimos de euro/m³, y los invernaderos casi 8 céntimos de euro/m³.

En los estudios llevados a cabo para determinar la recuperación de costes de los servicios del agua en España (MIMAM, 2007) se elevan los costes de la energía necesaria para la extracción de aguas subterráneas para regadío a 11,2 céntimos de euro/m³, con un mínimo de 9 céntimos de euro/m³ en el Júcar y un máximo de 21 céntimos de euro/m³ en el Segura.

Estos elevados costes de la energía utilizada en el regadío obligan a una atención especial a la eficiencia energética desde el proyecto del regadío a las fases de mantenimiento y gestión del mismo (IDEA, 2005).

UNA MIRADA HACIA LA SOSTENIBILIDAD

El modelo de crecimiento económico seguido por los países desarrollados está basado en un consumo creciente de recursos naturales y energía fósil, unas emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes y en unas relaciones de intercambio favorables con los países pobres o en fase de desarrollo. Es un modelo poco eficiente ecológicamente, escasamente respetuoso con nuestro entorno natural e injusto con el

Tercer Mundo.

El riesgo del Cambio Climático, junto con otras degradaciones de nuestro medio ambiente, ha generado un consenso científico y político de que debe frenarse esta espiral de crecimiento económico basado en un crecimiento acelerado de la entropía ambiental.

En esta línea de pensamiento científico se han ido desarrollando propuestas de valoración de la presión que hacemos sobre los recursos naturales y su impacto sobre el medio ambiente: caben citarse los Balances de Materias y Energías en los procesos productivos, las Huellas Ecológica, Hídrica o Energética, las Capacidades de Carga de un territorio, el consumo de Agua Virtual y podría añadirse el de Energía Virtual. Estos nuevos enfoques científicos son paralelos a la elaboración de una nueva ética en materia de gestión de aguas (Arrojo, 2006).

Al mismo tiempo desde las decisiones políticas se han dictado normas o acordado Convenios Internacionales para hacer frente a este problema. Cabe señalar con relación al agua y la energía la Directiva Marco Europea de gestión del Agua (2000) y el Protocolo de Kioto para hacer frente al Cambio Climático.

La crisis económica en que estamos instalados ha sido en buena parte resultado de la monetarización del crecimiento económico, olvidando las externalidades en que incurrimos, del tipo de la desigualdad social y el deterioro ambiental. Deberíamos todos los países abogar por un desarrollo sostenible que buscara el bienestar social de toda la población mundial, respetando los equilibrios básicos de nuestros ecosistemas. En otras palabras, ir dando contenido al concepto de desarrollo sostenible tan en boga, pero vacío.

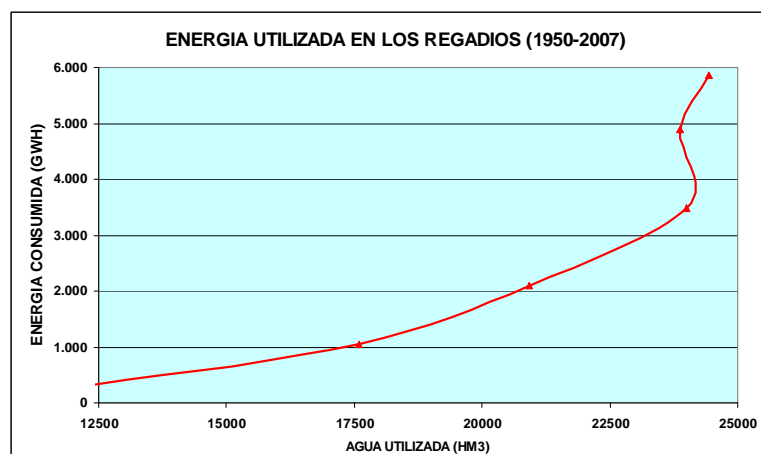


Figura 4. Fuente: elaboración propia con datos de MMARM (2008) y MITYC(2008)

Un ejemplo de lo incardinados que están todos los factores que definen la presión sobre los recursos naturales y su correspondiente degradación, vía residuos y contaminantes, lo representa la evolución del consumo de agua y energía para riego desde 1950 a 2007, que se muestra en la Figura 4: a partir de 1990 los esfuerzos en modernización de regadíos han contenido la demanda de agua, mejorando la eficiencia hídrica, a costa de aportar mucha más energía al riego, empeorando fuertemente la eficiencia energética.

Este intercambio de eficiencias se estima en la Tabla 11, para el período 1970-2007, mejorando la eficiencia hídrica en un 23% y empeorando la eficiencia energética en un 69%.

Esta tendencia se irá haciendo más acusada

en los próximos años, teniendo poco margen de mejora la eficiencia hídrica y empeorando rápidamente la eficiencia energética. Los nuevos regadíos, dedicados en su mayor parte a cultivos intensivos son muy demandantes de energía, así como las modernizaciones de antiguos regadíos por gravedad para automatizarlos y transformarlos en riegos localizados.

Las emisiones de CO₂ de la energía consumida por el regadío pueden ser otro indicador del su nivel de sostenibilidad (Tabla 12), y representan el 2,5% de las producidas por el sector eléctrico y el 0,6% de todas las correspondientes a la energía primaria española. Asume así el riego su cuota parte de responsabilidad ante los programas para prevenir y adaptarse a los riesgos del Cambio Climático.

CAMBIOS EN EL USO DEL AGUA Y LA ENERGÍA EN EL RIEGO		
Año	Uso de Agua (m ³ /Ha)	Consumo de Energía (Kwh/Ha)
1950	8250	206
1970	8000	480
1980	7750	775
1990	7500	1088
2000	7000	1435
2007	6500	1560
2007/1970 (%)	-23	69

Fuente: Elaboración propia con datos de MMARM (2008) y MITYC (2008)

Tabla 11.

EMISIONES DE CO2 POR LOS REGADIOS			
SISTEMA DE RIEGO	SUPERF. RIEGO 2008 (HA)	EMISIONES DE CO2 (KG CO2/ HA)	
		ZONA RIEGO (BAJA)	INCLUIDO TRANSPORTE Y TRATAMIENTO (ALTA Y BAJA)
Gravedad	1.082.602	106	201
Aspersión y automotriz	727.523	873	878
Localizado	1.482.054	833	1.022
Otros y sin información	16.464	0	0
TOTAL REGADIOS	3.308.643	673	804
(TN CO2/ GWH DEL MIX ESPAÑOL)	387		
MILES DE TONELADAS DE CO2 DEL REGADIO		2.226	2.660

Fuente: elaboración propia con datos de MICYT (2008) y PNR-H2008 (MAPA, 2002)

Tabla 12.

Una manera novedosa de internalizar el conjunto de usos del agua en la producción de diversos bienes, haciendo un balance a través del conjunto de procesos productivos, de comercialización y transporte, a nivel mundial, lo representan los trabajos para determinar el Agua Virtual, incluyendo el balance de importaciones y exportaciones implícitas de agua a nivel del comercio mundial (Llamas, 2005).

Las cantidades de Agua Virtual incorporadas a los productos de la Tabla 12, son los correspondientes al conjunto de procesos productivos, de comercialización y transporte precisos para ponerlos a disposición del consumidor final (Aldaya

y otros, 2008).

Para las actividades productivas del regadío español puede estimarse restrictivamente el Agua Virtual en los procesos productivos, sin tener en cuenta el resto de agua precisa para transformarlos hasta que llega al consumidor final. En la Tabla 14, se detalla esta concepción restringida del Agua Virtual de diversos productos procedentes del regadío, y se ha extrapolado a la Energía Eléctrica Virtual y a la correspondiente Energía Primaria precisa. Este tipo de cuentas pone de manifiesto la intensidad de consumo de estos recursos por los productos de la agricultura de riego

Cantidades de agua (litros) para producir una unidad de algunos bienes

Botella de cerveza (250 ml)	75
Vaso de leche (200 ml)	200
Rebanada de pan (30 gr)	40
Una camiseta de algodón (500 gr)	4.100
Una hoja de papel A4 (80gr/m ²)	10
Una hamburguesa (150 gr)	2.400
Un par de zapatos (piel de vaca)	8.000
Carne de vaca (1 Kg)	15.000
Carne de cordero (1 Kg)	10.000
Carne de pollo (1 Kg)	6.000
Cereales (1 Kg)	1.500
Aceite de Palma (1 Kg)	2.000
Cítricos (1 Kg)	1.000

Fuente: Chapagain & Hoekstra, 2004, Tabla 4.2 y N.U. 2003 Tabla 8.3

Tabla 13.

AGUA VIRTUAL Y ENERGIA VIRTUAL DE LA PRODUCCION EN REGADIO			
PRODUCTO	AGUA DE RIEGO (LITROS)	ENERGIA DE RIEGO (KWH)	ENERGIA PRIMARIA PRECISA (GRAMOS EQUIVALENTES DE PETROLEO)
1 KG DE CARNE DE TERNERA	12000	4,04	712,5
1 LITRO DE ACEITE DE OLIVA	2300	0,775	136,6
1 LITRO DE LECHE	400	0,135	23,8
1 KG DE AZUCAR	330	0,111	19,6
1 KG DE CITRICOS	240	0,081	14,3
1 KG DE PATATAS	130	0,044	7,7
1 KG DE TOMATES	35	0,012	2,1

Fuente: elaboración propia

Tabla 14.

Los balances energéticos de la agricultura española (Carpintero y Naredo, 2006), y también de la valenciana (Roselló-Oltra *et al.*, 2000), ponen de manifiesto que los cambios en la agricultura desde los años 50 del siglo pasado hasta el año 2000, en un proceso de evolución desde una agricultura tradicional a otra intensiva, muy ligada al regadío, con sustitución del trabajo humano y animal por el mecánico y con incorporación de nuevas semillas, y grandes dosis de abonos químicos y pesticidas de síntesis, ha disminuido la eficiencia global de la agricultura (de 6,1 a 1,3) y de la energía eléctrica consumida en el regadío (de 57,7 a 8,2). Esta transformación del modelo de agricultura se ha realizado aportando grandes cantidades de energía externa a través de los inputs de producción, la mayoría no renovable.

Siendo ciertos estas disminuciones de las eficiencias de la agricultura, hay que partir de la referencia que el modelo de agricultura de los años 50 del siglo pasado era totalmente ineficiente socialmente, al no ser capaz de alimentar a la población de la fecha (recuérdese que estaba España condenada a la *Cartilla de Racionamiento*).

A partir de la mitad de los años 60 del siglo pasado, la capacidad de la agricultura de alimentar a la población era suficiente, y este debería ser el momento de referencia para evaluar esta pérdida de eficiencia. En la Tabla 15 se observa que a partir de 1977, la eficiencia global (Kcal. producidas/ Kcal. input externo) prácticamente

se ha estabilizado desde estas fechas; sin embargo la eficiencia de la energía utilizada en el regadío (Kcal. producidas/ Kcal. electricidad) se ha dividido por 5 en este período (de 41,6 a 8,2), manteniendo la tendencia, puesta de manifiesto en otros apartados de este trabajo, de que seguirá empeorando en los próximos años (Figura 5).

Como resumen de estos cambios desde una agricultura tradicional a una agricultura moderna e intensiva, puede señalarse que ha sido capaz de atender adecuadamente, quizás con exceso, a las necesidades alimenticias de una población que ha crecido un 44 %, utilizando menos superficie cultivada (-13 %), quintuplicando la productividad por ha, con una reducción extraordinaria del trabajo humano (-96 %). Estos logros se han realizado a costa de la disminución de la sostenibilidad ya señalada.

Los inputs de fuera del sector más intensivos en la agricultura española actual, valorados en orden decreciente de sus consumos energéticos para producirlos, son los piensos concentrados, los fertilizantes, los carburantes, la electricidad para riego, la maquinaria, los pesticidas y las semillas importadas.

Es el momento de corregir estos desequilibrios de eficiencia ecológica y energética, aún a costa de ligeras disminuciones de los logros de productividad alimentaria, que en este momento de apertura del comercio mundial de alimentos podrán compensarse con mayores compras en el extranjero.

EVOLUCION DE DIVERSOS INDICADORES DE EFICIENCIA ENERGETICA DE LA AGRICULTURA EN ESPAÑA (1950-2000)					
AÑOS	1950-1951	1977-1978	1993-1994	1999-2000	2000/ 1950 (%)
POBLACION (MILES HAB.)	28.117	36.709	40.230	40.500	144
SUPERFICIE CULTIVADA (MILES HA)	20.980	20.590	19.055	18.321	87
MILES KCAL. PRODUCIDAS/ HA	1.445	4.928	6.530	7.358	509
MILES KCAL. PRODUCIDAS/ HABITANTE	1.078	2.764	3.093	3.329	309
KCAL. PRODUCIDAS/ KCAL. DE TRABAJO HUMANO	56,5	439,5	928,6	1.332,1	2.357
KCAL. PRODUCIDAS/ M3. DE AGUA DE RIEGO CONSUMIDA	3.389	6.892	6.714	7.009	207
KCAL. PRODUCIDAS/ KCAL. INPUT EXTERNO	6,1	1,2	1,4	1,3	21
KCAL. PRODUCIDAS/ KCAL. ELECTRICIDAD	57,7	41,6	9,9	8,2	14

Fuente: Elaboración propia con datos de Oscar Carpintero y José Manuel Naredo (2006)

Tabla 15.

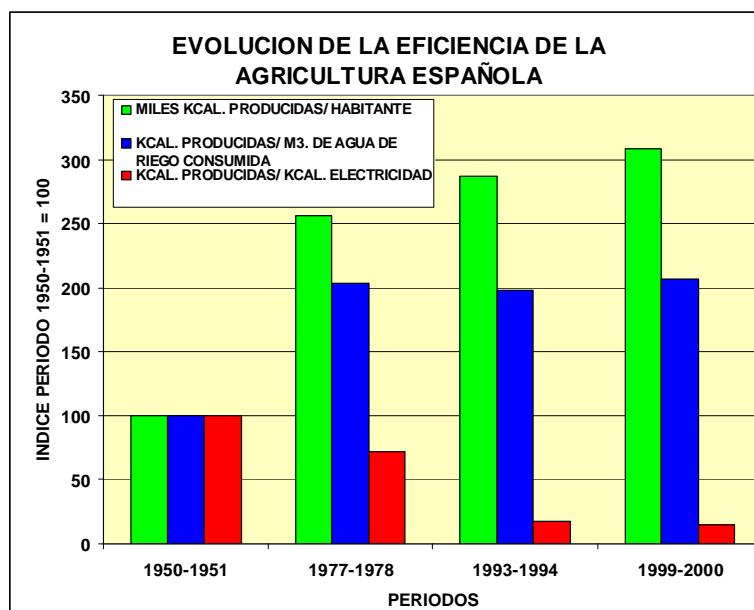


Figura 5. Fuente: Elaboración propia con datos de Oscar Carpintero y José Manuel Naredo (2006)

EL FUTURO DEL REGADÍO

Los sectores del agua y la energía se hallan afectados por profundas adaptaciones para cumplir con los objetivos de la Directiva Marco de Aguas y el Protocolo de Kioto sobre el Cambio Climático. El regadío es tributario de ambos procesos, y muy preocupado con los cambios de la Política Agraria Europea que se preocupa de la seguridad alimentaria, la calidad de las producciones, el mantenimiento de las rentas y el desarrollo rural que incentive nuevas actividades en el medio rural.

En política de aguas el objetivo principal es recuperar el buen estado ecológico de nuestros ríos, acuíferos y humedales, lo que obligará a una menor presión sobre los recursos hídricos y a disminuir la contaminación difusa. La política energética buscará disminuir las emisiones de CO₂, mejorar la eficiencia y sustituir energía procedente de combustibles fósiles por energías renovables.

El regadío español para adaptarse a este marco normativo deberá renunciar a seguir creciendo, condicionando nuevas transformaciones en regadío al abandono de otros poco rentables o eficientes. Hay que recordar que en las últimas décadas se ha aumentado la superficie en riego transformando tierras menos aptas que las tradicionales de regadío y que han requerido grandes bombeos para captar, transportar y distribuir el agua.

Las modernizaciones en regadío deben continuar buscando la mejor eficiencia hídrica, y por consiguiente una mayor garantía de suministro en años de sequía, pero evitando incrementar excesivamente las demandas de energía. Debe superarse la creencia que deben transformarse todos los riegos por gravedad en riegos a presión: es posible, y aún ecológicamente deseable, mejorar la eficiencia del uso del agua en muchos regadíos por gravedad, manteniendo el sistema de riego. Esta conservación de riegos por gravedad tiene una importancia ecológica y paisajística en los regadíos de montaña.

Es muy posible que el encarecimiento de la energía, en paralelo con la aplicación del principio de recuperación de costes de los servicios del agua, obligue a abandonar regadíos recientes que necesitan alturas de bombeo superiores a los 400 m., salvo en condiciones climáticas óptimas y para cultivos muy intensivos, como los invernaderos. Esta reducción puede afectar a regadíos deficitarios de olivar, tradicionalmente de secano, que con alguna frecuencia superan estas impulsiones.

La disminución del uso de fertilizantes y pesticidas, usando las técnicas de la *agricultura integrada*, mejorará la calidad alimentaria, disminuirá la contaminación difusa de las aguas y mejorará el balance energético de la actividad del regadío, puesto que la energía necesaria para su producción equivale al 16% de la total incorporada a los inputs agrarios.

REFERENCIAS

- Aldaya, M.M., Llamas, M.R., Garrido, A. y Varela, C., (2008). Importancia del conocimiento de la huella hidrológica para la política española del agua. Encuentros Multidisciplinares N. 29, Vol. X, Madrid.
- Arrojo, P. y Naredo, J.M., (1997). La gestión del agua en España y California. Bilbao, Bakeaz.
- Arrojo, P., (2006). El reto ético de la nueva cultura del agua. Barcelona, Paidós.
- Carpintero, O. y Naredo, J.M., (2006). Sobre la evolución de los balances energéticos de la agricultura española. Historia Agraria N. 40, Girona, Sociedad Española de Estudios Agrarios.
- CAP (2003). Inventario y Caracterización de Regadíos de Andalucía 2002. Sevilla, CAP.
- Corominas, J., (2001). Los regadíos y la política agrícola común en Andalucía. En El debate del agua desde el sur, Granada, Ecorama.
- Corominas, J., (2008). Regadíos agrícolas, territorio y sostenibilidad. Anuario Agricultura familiar en España, Madrid, Fundación de Estudios Rurales.
- Chapagain, A.K. y Hoekstra, A.Y., (2004). Water footprints of nations. Value of Water Research Series, No. 16, UNESCO-IHE.
- IDEA (2005). Ahorro y eficiencia energética en agricultura de regadío. Madrid, IDAE.
- Llamas, R., (2005). Los colores del agua, el agua virtual y los conflictos hídricos. Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Vol. 99, Madrid, RACEFN.
- MAPA (2002). Plan Nacional de Regadíos Horizonte 2008. Madrid, MAPA.
- MARM (2008). Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos 2008. Madrid, MARM.
- MIMAM (1998). Libro Blanco del agua en España. Madrid, MIMAM.
- MIMAM (2007). Precios y costes de los servicios de agua en España. Madrid, MIMAM.
- MITYC (2008). La energía en España 2007. Madrid, MITYC.
- Roselló-Oltra, J., Domínguez-Gento, A. y Gastón, A.V., (2000). Comparación del balance energético y de los costos económicos en cítricos y hortícolas valencianas en cultivo ecológico y convencional. Actas IV Congreso SEAE, Baleares, Fundació Càtedra Iberoamericana, Universitat de les Illes Balears.
- UNESA (2005). El sector eléctrico a través de UNESA 1944-2004. Madrid, UNESA.