

El cambio tecnológico en el uso de las aguas subterráneas en la España del siglo XX. Un enfoque regional¹

● SALVADOR CALATAYUD GINER
Universidad de Valencia

● JOSÉ MIGUEL MARTÍNEZ CARRIÓN
Universidad de Murcia

Introducción

La importancia del regadío como factor transformador de la agricultura en España ha sido señalada tanto por los contemporáneos como por los historiadores actuales. Como para otros países mediterráneos, ello deriva de las condiciones adversas que el medio natural ofrecía a la agricultura, especialmente a causa de los elevados índices de aridez. En efecto, la mayor parte de la península ibérica presenta balances hídricos adversos para la agricultura. Precipitaciones inferiores a los 600 milímetros y una evapotranspiración potencial superior a los 800 se dan en buena parte del territorio. Desde la perspectiva edafoclimática, la mayor parte del territorio tendría regímenes de humedad xérico y árido y, por tanto, sólo permitiría el cultivo de plantas anuales durante el invierno. En la estación seca sólo el riego artificial posibilitaría la práctica agrícola. Además, el grado de aridez condicionaba la gama potencial de cultivos, mantenía bajos los rendimientos, dificultaba la supresión del barbecho, generaba oscilaciones anuales amplias y hasta limitaba la cabaña ganadera que podían sostener los pastos naturales (y, por tanto, la oferta de fertilizante orgánico y de fuerza de tiro)². El agua ha sido, pues, uno de los factores que ha afectado más negativamente al crecimiento agrario. Por ello, además de

1. Una primera versión de este trabajo fue presentada al *XIII Congreso Internacional de Historia Económica*, sesión 17: Transferencias de tecnología, modos de producción y usos del agua en Europa y América Latina (desde la antigüedad hasta el siglo XX), celebrado en Buenos Aires (julio 2002). Este trabajo cuenta con la ayuda del proyecto de Investigación BHA2002-01006 del Ministerio de Ciencia y Tecnología, del que es miembro S. Calatayud.

2. Pujol, González de Molina, Fernández Prieto, Gallego y Garrabou (2001), p. 55; Simpson (1997) y Pérez Picazo (2000).

la adaptación que representaban los cultivos arbóreos, el recurso al riego artificial ha sido la técnica fundamental para hacer frente a estas limitaciones y, simultáneamente, poder aprovechar las ventajas comparativas que las temperaturas templadas ofrecían para determinados cultivos.

Históricamente, la mayor parte del regadío ha procedido del uso de las aguas superficiales. Estos recursos hídricos han sido captados y canalizados a través de acequias y la gravedad ha sido la fuerza motriz para la movilización del agua, en iniciativas colectivas que implicaban diversos grados de coordinación entre los agricultores. Sólo en el siglo XX el riego procedente de las aguas subterráneas ha alcanzado unas dimensiones relevantes. Puede decirse, por tanto, que, en los últimos cien años, el riego con aguas subterráneas ha sido la modalidad que ha mostrado un mayor dinamismo.

Pero esta forma de riego presenta diferencias esenciales respecto al regadío de las acequias, tanto en el aspecto técnico como en su dimensión económica y social. Desde el punto de vista de la tecnología empleada, el riego procedente de pozos precisa de una fuente de energía externa y de algún tipo de mecanismo o maquinaria para su elevación. Ello marca una diferencia importante e hizo esta modalidad más sensible a la innovación relacionada con la evolución de la ingeniería y la industria de construcciones mecánicas. Desde una perspectiva socio-económica también se daban contrastes en relación con el riego tradicional. La extracción de aguas subterráneas se ha basado en iniciativas normalmente individuales y ha requerido, de cada agricultor implicado, una inversión importante. En relación con ello, el agua tenía una importancia como coste de producción mayor que en el caso de las acequias y adquiría un carácter de mercancía que, normalmente, no tenía en aquellas. Por otra parte, las explotaciones de regadío basadas en el agua subterránea han estado vinculadas a transformaciones agrarias altamente intensivas, con preferencia dedicadas a productos de elevado valor en el mercado como las hortalizas y las frutas. Han constituido, pues, un componente destacado del crecimiento agrario del último siglo³.

La tecnología de riego utilizada por los agricultores para este fin fue tan variada como lo fue su impacto territorial⁴. Junto a los sistemas tradicionales de regadío, que se incrementaron y se perfeccionaron, destaca la mecanización y motorización de la captación de aguas subterráneas. El uso de motores de bombeo para riego, aplicados también a las aguas superficiales, constituyó el sistema tecnológico más avanzado. En ambos casos se trataba de tecnologías asociadas a los pequeños regadíos y al alcance de las iniciativas particulares.

El objetivo del trabajo es conocer la implantación regional de las diversas técnicas que contribuyeron a este proceso. Al mismo tiempo, se tratará de explicar los cambios producidos en el tiempo y cómo alteraron la posición de las distintas regio-

3. Garrabou, Barciela y Jiménez Blanco (1986); Simpson (1997).

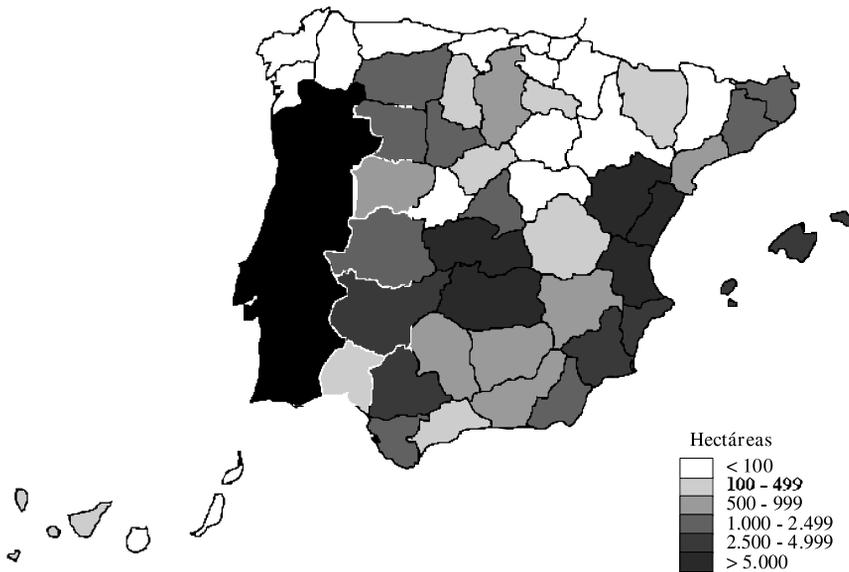
4. Hemos tratado los aspectos técnicos de esta evolución en Calatayud y Martínez Carrión (1999).

nes. Una panorámica general de la presencia de estas formas de riego puede verse en el Mapa 1, correspondiente a las primeras décadas del siglo XX. En términos generales, las regiones donde el riego con aguas subterráneas tuvo importancia eran las mismas que también destacaban en el riego con aguas superficiales. Sin embargo, existieron algunas diferencias. Así, hasta bien entrado el siglo XX, Castilla-La Mancha, que poseía una superficie total de riego modesta, fue la región con mayor importancia en el uso de aguas subterráneas. Junto a Baleares, fueron, además, las regiones en que esta modalidad de riego tuvo un peso relativo mayor. Por el contrario, en las tres zonas con mayor superficie total de riego, Aragón, Andalucía y el País Valenciano, las importantes cifras de tierras regadas mediante pozos representaban un porcentaje muy bajo del conjunto. En unos casos, pues, la existencia de un regadío tradicional importante parece haber inducido la difusión de las extracciones de aguas subterráneas. En otros, en cambio, era la mala dotación en aguas superficiales la que estimulaba aquel procedimiento de riego.

Desde 1950-1960, las nuevas bases tecnológicas y socio-institucionales propiciaron un fuerte desarrollo del regadío que benefició, sobre todo, a grandes áreas de

MAPA 1

SUPERFICIE DE REGADÍO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CON ARTEFACTOS (1916)



Fuente: ver Ministerio de Fomento (1918).

la España árida. Los secanos de Almería y Murcia protagonizaron desde entonces una auténtica transformación y se situaron en la vanguardia de la agricultura intensiva española. Este incremento fue acompañado de un intenso proceso de modernización tecnológica en los sistemas de regadío. Junto a la mejora y el perfeccionamiento de los sistemas de bombeo y transporte de agua, destacan la ampliación de la superficie agrícola protegida mediante acolchados, enarenados, invernaderos y túneles, y la amplia difusión de las modernas técnicas de riego localizado o por aspersión. En conjunto, las nuevas técnicas supusieron una mejora de la eficiencia de los regadíos y permitieron el crecimiento de la horticultura intensiva.

La evolución de las técnicas tradicionales de elevación de agua

Desde mediados del siglo XIX los instrumentos y máquinas utilizados en la elevación de las aguas del subsuelo conocieron un rápido progreso. Se trató de una secuencia de nuevos artefactos y sucesivos cambios en las fuentes de energía que mejoró los resultados de esta operación agrícola y amplió la oferta de técnicas disponibles para los agricultores. La máquina tradicional más difundida en la Península era la noria, tanto de origen romano como árabe⁵. En 1916, como puede verse en el Cuadro 1, las norias representaban el 70% de las máquinas dedicadas a la extracción de agua y abastecían algo menos de la mitad de la superficie regada por estos procedimientos.

En sus versiones tradicionales, las norias presentaban características tecnológicas localmente diferenciadas. Ello se debía a que eran los carpinteros y artesanos de cada pueblo quienes las construían y, en ese proceso, probablemente las adaptaban a las condiciones ambientales y socio-económicas de cada zona. Los materiales de construcción eran la madera en la práctica totalidad de los componentes y el barro en los recipientes para el agua y la fuerza motriz procedía de animales de tiro. Exigía, por tanto, que la explotación contara con ganado de labor lo que, unido a la inversión en la adquisición y los gastos de mantenimiento, introducía diferenciaciones sociales en el acceso a esta técnica. De ella estaban excluidos los campesinos pobres. Pese a todo, las norias configuraban regadíos a pequeña escala y habían permitido tradicionalmente a los cultivadores con recursos limitados acceder a la intensificación agraria en las áreas donde no llegaba el regadío con aguas superficiales.

Una cuestión destacada es que la aparición de nuevas máquinas que veremos en las páginas siguientes no redujo el uso de estas norias. No se trató, pues, de un proceso de relevo entre técnicas sustitutivas. Por el contrario, las norias fueron adaptándose a los nuevos patrones tecnológicos y experimentaron una transformación apreciable en el período que va desde mediados de siglo XIX

5. Caro Baroja (1954).

hasta la década de 1930. Estas innovaciones afectaron a las principales limitaciones técnicas que tenían estos artefactos: la tosquedad de los engranajes, la frecuencia de las averías y la limitada capacidad de extracción. En este sentido, las mejoras introducidas en las norias tradicionales supusieron el uso de nuevos materiales como el hierro, la mejora de los mecanismos de engranaje y, por tanto, de la eficiencia en la transmisión de la fuerza rotatoria. Aumentaba así el volumen de agua extraída por unidad de energía incorporada⁶. La ventaja de las norias de hierro sobre las antiguas de madera parece notable: sabemos que, en Sevilla y hacia 1916, las norias de hierro aprovechaban el 70-80% de la fuerza de tiro animal, mientras los viejos aparatos de madera sólo permitían aprovechar el 50%.

Pese a todo, los modelos más primitivos persistieron y los agrónomos coetáneos justificaban su utilización cuando se tratara de regar superficies muy reducidas. Como en el resto de tecnologías mecánicas aplicadas a la agricultura, la existencia de una red de talleres de reparación y piezas de repuesto era una condición necesaria; la persistencia de las norias tradicionales podía ser también un modo de escapar a esta restricción de la oferta tecnológica. Resulta difícil conocer el grado de extensión de las norias modernas pero informaciones cualitativas nos indican que el proceso de sustitución de los aparatos tradicionales estaba avanzado en las primeras décadas del siglo XX. Así, en Ciudad Real, provincia que concentraba en 44% de las norias instaladas en España, "...las que se emplean son las más perfeccionadas, generalmente de fundición, con cangilones de barro o de chapa de palastro galvanizado"⁷.

En general, el uso de las norias de cualquier tipo desempeñó un papel destacado en la expansión de la agricultura campesina de regadío. Y era el procedimiento más adecuado para explotaciones situadas por debajo de cierto umbral de extensión⁸. Los inconvenientes, fundamentalmente su limitada capacidad de extracción y la escasa profundidad de los pozos a los que se podía aplicar, eran compensados por ventajas tales como la reducida inversión y la sencillez del funcionamiento, compatible, además, con los conocimientos campesinos en el terreno de la pequeña hidráulica⁹. Por otra parte, la fabricación industrial de nuevas norias de hierro había creado una oferta más diversificada de aparatos, que podían atender a necesidades y condiciones diferentes. La noria pudo adaptarse a las condiciones de los acuíferos y a las necesidades de riego de las pequeñas explotaciones.

6. Abela (1898); Calatayud (1990).

7. *Ibidem*, p. 60.

8. Guillén (1905), p. 396.

9. Soroa (1921), pp. 97-98. En el mismo sentido argumentaba A. Llauradó: "...[con las norias] se obtiene el agua con tanta economía que difícilmente podrá ser sustituido este grosero procedimiento por otro más perfeccionado a menos que el adelanto general de la industria permita disponer de los medios de atender con prontitud y economía a las reparaciones de otros aparatos más complicados o más perfectos"; Llauradó (1878), p. 261.

CUADRO 1
ARTEFACTOS PARA RIEGO EN ESPAÑA, 1916

	Aguas superficiales		Aguas subterráneas	
	N. ^a	Ha	N. ^a	Ha
Norias	2.538	5.145	45.287	60.148
Ruedas hidráulicas	241	4.140	—	—
Manual	2.359	224	10.838	1.769
Bombas	229	15.630	5.969(1)	21.844
— animal	1	8	1	1
— turbina	19	2.165	—	—
— molino viento	5	5	3.132	3.428
— gas pobre	9	1.248	226	4.856
— vapor	46	3.131	168	2.626
— gasolina	6	78	223	1.153
— eléctricas	143	8.995	219	2.780
Pozo artesiano	—	—	165	26.929
Total	5.367	25.139	62.259	110.690

(1) Los datos de este cuadro son parciales porque no incluyen la superficie que la fuente no atribuye a ningún sistema y sólo los ofrece agregados. Por ello, habría 12.035 has. más regadas con aguas subterráneas. Por esta razón la cifra total no coincide con la de los cuadros 2 y 3.

(2) La fuente no especifica la modalidad de bombeo para la provincia de Valencia a la que atribuye globalmente 2.000 bombas y 7.000 ha.

Fuente: Ministerio de Fomento (1918). Elaboración propia.

CUADRO 2
SUPERFICIE REGADA (HA) CON USO DE MAQUINARIAS Y POZOS ARTESIANOS POR
COMUNIDADES AUTÓNOMAS EN ESPAÑA, 1916

Comunidades autónomas	(a) aguas subterráneas	(b) aguas superficiales	(c) (a) + (b)	(d) superficie total riego	(e) (c) / (d)
Galicia	14	8	22	69.420	0,03
Asturias	0	0	0	66.000	—
Cantabria	0	0	0	—	—
País Vasco	42	45	87	536	16,23
Navarra	0	2.417	2.417	34.402	7,02
La Rioja	123	543	821	36.275	2,26
Castilla-León	6.364	3.452	9.816	142.538	6,88
Castilla-La Mancha	33.304	5.564	38.868	95.564	40,67
Madrid	1.316	527	1.843	30.205	6,10
Extremadura	4.267	85	4.937	17.746	27,82
Aragón	25.180	3.664	28.844	218.537	13,19
Cataluña	7.492	253	7.745	180.532	4,29
País Valenciano	27.024	4.750	31.774	186.432	17,04
Murcia	3.421	1.701	5.122	57.478	8,91
Baleares	4.275	0	4.275	6.255	68,34
Andalucía	9.728	4.250	13.978	218.077	6,40
Canarias	175	0	175	6.444	2,71
España	122.725	27.259	149.984	1.366.441	10,97

Fuente: Ministerio de Fomento (1918). Elaboración propia.

CUADRO 3
MÁQUINAS Y SUPERFICIE REGADA EN AGUAS SUBTERRÁNEAS POR
COMUNIDADES AUTÓNOMAS, 1916

Comunidades Autónomas	Manual		Norias		Bombas		Pozos artesianos		Total
	N.º	Ha	N.º	Ha	N.º	Ha	N.º	Ha	Total ha
Galicia	73	5	2	2	30	7	0		14
Asturias	0		0		0		0		0
Cantabria	0		0		0		0		0
País Vasco	205	25	45	17	0		0		42
Navarra	0		0		0		0		0
La Rioja	15	2	68	68	8	53	0		123
Castilla-León	7.085	1.342	3.524	4.462	43	261	17	128	6.364
Castilla-La Mancha	1	1	24.127	33.299	4	4	0		33.304
Madrid	117	33	1.432	1.199	41	31	16	53	1.316
Extremadura	—	—	>1.010	—	0		0		4.267
Aragón	2.962	110	33	24	13	27	7	25.019	25.180
Cataluña	—	210	898	968	97	—	—	1.204	7.492
País Valenciano	200	30	6.606	12.468	2.530	14.494	2	32	27.024
Murcia	0		503	1.323	454	1.806	110	292	3.421
Baleares	0		3.540	1.770	2.505	2.505	0		4.275
Andalucía	280	10	3.499	3.432	170	2.422	9	201	9.728
Canarias	0		0		74	175	0		175
España									122.725

Nota: En Castilla-León, Cataluña, Andalucía y Extremadura, el total no iguala la suma de los 4 sistemas porque incluye superficie no atribuida en la fuente a ningún sistema.

Fuente: Ministerio de Fomento (1918). Elaboración propia.

Por lo que respecta a la distribución regional de las norias, que puede seguirse en el Mapa 2 y el Cuadro 3, más de la mitad de las que existían en España se encontraban en Castilla-La Mancha y, especialmente, en la provincia de Ciudad Real. Aquí este sistema constituía prácticamente la única modalidad de riego. El fundamento físico de esta presencia era la poca profundidad del manto freático y la abundancia de recursos hídricos subterráneos¹⁰. Para los técnicos de la época, estos recursos hubieran posibilitado un número sustancialmente mayor de perforaciones pero existía una barrera: la disponibilidad de fuerza de tiro¹¹. Se trataba de aprovechamientos de reducido tamaño puesto que cada noria regaba, como media, 1,4 hectáreas. Estas explotaciones, que incluían combinaciones de cosechas durante todo el año, configuraban un paisaje agrario peculiar en el que, a menudo, los pozos se encontraban muy próximos entre sí y daban lugar a una zona regada amplia compuesta por la yuxtaposición de pequeños perímetros. En la vecina Toledo la perforación de pozos y la instalación de norias había progresado muy rápidamente durante las primeras décadas del siglo XX, lo que parece haber respondido a la disminución de las aguas superficiales disponibles¹².

Este tipo de máquinas tenían también una presencia destacada en el País Valenciano, con una superficie regada que era algo más de un tercio de la de

10. Naredo y Gascó (1990).

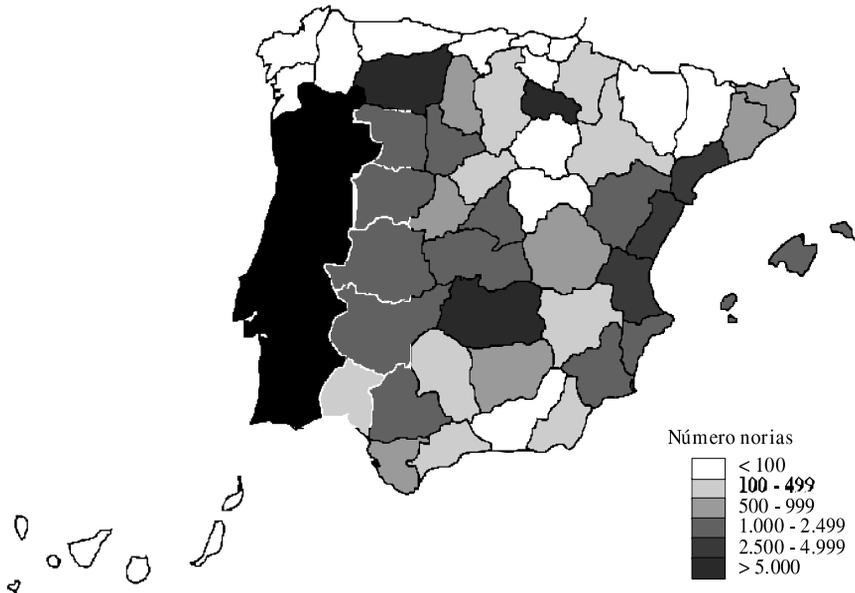
11. Ministerio de Fomento (1918), *Médios.....*, vol. 1, p. 61.

12. Ministerio de Fomento (1918), vol. 1, p. 79.

Castilla-La Mancha. Su localización era, sin embargo, menos concentrada y se repartían por todo el litoral. Alimentaban pequeñas superficies que se dedicaban, sobre todo, al naranjo puesto que los cultivos anuales se encontraban en las huertas regadas con aguas superficiales. A cierta distancia de las regiones anteriores, las norias tenían cierta importancia en Castilla-León. La mayoría se encontraban en Valladolid, León y Zamora y se empleaban para pequeñas huertas.

La evolución cronológica del uso de norias muestra su persistencia junto al avance de otras máquinas de mayor capacidad. En 1916 eran, como hemos dicho, el sistema más extendido: un mínimo de 48.000 aparatos en el territorio español, la mayoría de ellos aplicados a la extracción de aguas subterráneas (y sólo una pequeña parte a la elevación de aguas superficiales, lo que constituía un recurso complementario al riego de acequias y canales). En 1932 su número había aumentado hasta 72.725 aparatos y, como puede verse en el Mapa 2, su localización era muy semejante a la de quince años antes: predominaban en el litoral mediterráneo, en Ciudad Real y en León. Sin embargo, habían cobrado importancia también en las provincias occidentales limítrofes con Portugal y en zonas

MAPA 2
NORIAS DE RIEGO EN ESPAÑA, 1932



Fuente: Ministerio de Agricultura (1933). Elaboración propia.

como La Rioja. El aumento en el número de norias se prolongó en muchas zonas hasta mediados del siglo XX. Las dificultades energéticas de la post-Guerra Civil y los problemas para importar componentes, debieron retardar la sustitución de las norias por motores de bombeo. En algunas zonas, sin embargo, esta sustitución fue más rápida y el número de norias disminuyó entre estas fechas: es el caso de provincias como Ciudad Real, Castellón o Baleares.

Dentro del ámbito de las tecnologías tradicionales, existían otros muchos procedimientos, además de las norias. Revestían, sin embargo, mucha menor importancia cuantitativa. Los métodos manuales debían estar presentes en todas partes, como sugieren las fuentes de la época, pero era un procedimiento que escapaba muchas veces al recuento estadístico a causa de su escasa visibilidad y lo reducido de las superficies regadas. Por tanto, las cifras incluidas en el Cuadro 1 deben considerarse un mínimo. Eran un sistema especialmente presente en algunas regiones septentrionales como Aragón, Castilla y León y el País Vasco. El procedimiento más difundido era el cigoñal o cigüeñal, pero también se empleaban bombas manuales o simplemente se extraía agua a brazo con polea y pozal. El achicador de algunas zonas del Mediterráneo como Alicante –donde se denominaba *tahona* o *carabasi*– era un sencillo artefacto de madera destinado a elevar aguas superficiales.

Existieron también soluciones técnicas a medio camino entre los viejos métodos y las innovaciones del siglo XIX. Es el caso de la aplicación de la fuerza animal a bombas de nueva construcción mediante un sistema de malacate semejante al de las norias. La industria mecánica ofrecía varios modelos de estas características y, en general, permitían un mejor aprovechamiento de la fuerza de tiro al situar la bomba en el interior del pozo. Su difusión, sin embargo, fue escasa porque exigían personal especializado para su instalación y reparaciones¹³. Por tanto, y a diferencia de las norias, implicaban una ruptura con los conocimientos campesinos.

Finalmente, hay que referirse a dos sistemas de captación de agua diferenciados respecto a los anteriores: el riego con aguas superficiales elevadas mediante máquinas y el riego procedente de pozos artesianos. Cada uno alimentaba una superficie no desdeñable, superior a las 25.000 hectáreas.

La aplicación de procedimientos mecánicos a la elevación de aguas superficiales tenía cierta importancia en lugares concretos de ambas Castillas (Toledo, Valladolid y Palencia), del este peninsular (Alicante y Murcia), de Andalucía (Sevilla y Córdoba) y en Zaragoza. Desde el punto de vista técnico, la elevación de este agua hacía uso de los mismos motores que en el caso de los acuíferos subterráneos: norias y bombas. Pero, además, añadía una técnica propia: la rueda hidráulica movida por la misma corriente de la que se extraía el agua. Este procedimiento, que tenía la ventaja de sus bajos costes de mantenimiento, estaba

13. Llauradó (1878), p. 268.

muy difundido en el río Segura, tanto en Murcia como en Alicante, y también en Córdoba. En muchos casos se trataba de ruedas de gran tamaño: una de las más conocidas, la de La Ñora tenía más de 10 m. de diámetro¹⁴. También se empleaban norias. Unas y otras fueron objeto de mejora tecnológica durante las primeras décadas del siglo XX. En 1916 muchas ruedas hidráulicas eran ya de hierro y las norias habían sido sustituidas por bombas que, muy frecuentemente, utilizaban motores eléctricos, dada la posibilidad de generar energía en el mismo curso fluvial donde estaban instaladas. Así sucedía en Toledo, pero en Talavera de la Reina las nuevas bombas eran accionadas todavía por fuerza animal. En cualquier caso, estas innovaciones aumentaban la capacidad de extracción de agua y ello generó, en lugares como Murcia, conflictos con los regantes de las huertas ya que muchas de las ruedas estaban ubicadas en las mismas acequias¹⁵. Hubo también grandes explotaciones que hicieron uso de este procedimiento. El mejor ejemplo lo constituye, sin duda, las cerca de 4.000 ha que, mediante un motor eléctrico de gran potencia, regaba la Sociedad “Nuevo Progreso” en la desembocadura del Segura en Alicante.

El riego procedente de pozos artesianos no puede asimilarse a los sistemas anteriores, en el sentido de que no empleaba máquinas para la obtención del agua. Sin embargo, compartía con ellos el conjunto de intervenciones técnicas para perforar y acondicionar el pozo, los mecanismos de conducción del agua y, en ocasiones, el uso de máquinas elevadoras en momentos específicos del año. Este tipo de captaciones conoció un desarrollo notable en Francia y Argelia durante el siglo XIX y, como consecuencia de ello, se popularizó entre los técnicos y los escritores sobre temas agrarios, entre quienes llegó a haber verdaderos “apóstoles del artesianismo”¹⁶.

En España, desde la década de 1830, se hicieron muchos intentos de impulsar este sistema, que tenía la ventaja de no precisar el uso de energía para elevar el agua¹⁷. Sin embargo, un siglo después los pozos artesianos se habían difundido poco y en muchos de los perforados era necesario emplear medios mecánicos para bombear el agua. El fracaso de estas iniciativas debe relacionarse con las condiciones estratigráficas de los terrenos que impedían su buen funcionamiento y ello a pesar del interés que geólogos e ingenieros de minas prestaron a las condiciones físicas para este tipo de perforaciones¹⁸. Pese a ello, en algunas regiones tuvieron una mayor importancia. Es el caso de las provincias del sudeste, especialmente Murcia, donde se contabilizaban más de cien pozos en 1900, con una profundidad media de 35 metros¹⁹. Estas dimensiones exigieron el uso de máqui-

14. Montaner (1982), p. 85.

15. Ministerio de Fomento (1918), vol. 1, p. 450.

16. Fernández Navarro (1922), p. 179.

17. López Gómez (1974), p. 196.

18. Vilanova (1860); Botella (1868); Calvo (1908).

19. Bentabol (1900), pp. 235-237.

nas perforadoras accionadas por vapor y fueron deudoras de la experiencia en sondeos y perforaciones propia de la minería de esta región.

En Barcelona las primeras perforaciones en 1894 dieron lugar a grandes explotaciones dedicadas a la agricultura intensiva en el Bajo Llobregat. Unos sesenta pozos alimentaban cerca de 1.200 hectáreas de hortalizas y forrajes²⁰. Sin embargo, la elevada cifra total que aparece en el Cuadro 3 se debe, sobre todo, a un acuífero de la provincia de Teruel. Este aprovechamiento no puede considerarse, en realidad, un pozo artesiano puesto que se trataba de una fluencia natural. La realización de algunas intervenciones técnicas en ella, sin embargo, justifica su inclusión en este apartado. Las aguas conflúan en el llamado río Cella que regaba, de forma desigual, casi 25.000 hectáreas²¹.

En suma, la necesidad de elevar el agua y aprovechar así los acuíferos subterráneos, hasta entonces menos explotados que los superficiales, había dado lugar al empleo de técnicas muy diversas que se adaptaban a diferentes condiciones físicas y tipos de explotaciones. Es de notar, asimismo, que la difusión de estos procedimientos no se limitaba a las zonas que consideraríamos representativas del regadío y que coincidirían con el litoral mediterráneo. En provincias del interior peninsular la extracción de aguas subterráneas y la elevación de las superficiales tuvieron cierta importancia y ello nos indica que la producción agraria debió verse afectada, aquí también, por la mejora de las condiciones de cultivo que implicaba la disponibilidad del riego.

Innovación tecnológica en el primer tercio del siglo XX: los motores de bombeo

En el primer tercio del siglo XX se produjo un proceso intenso de innovación en las técnicas de elevación de aguas que consistió en la sustitución de los procedimientos tradicionales que empleaban fuerza motriz animal por bombas y motores que hacían uso de diversas formas de energía inanimada. Esta transformación, sin embargo, se había gestado en la segunda mitad de la centuria anterior. Desde el punto de vista agrario, constituyó una respuesta a la situación cercana al bloqueo a la que se enfrentaban los recursos hídricos aplicados al cultivo de la tierra. En la etapa anterior a las grandes obras hidráulicas destinadas a regular la disponibilidad de las aguas superficiales, en muchas regiones españolas se estaban agotando, a la altura de la segunda mitad del siglo XIX, las posibilidades técnicas de aprovechamiento de las aguas superficiales. Las huertas irrigadas con el caudal corriente de los ríos podían crecer difícilmente tanto por razones topográficas como por la propia dotación hídrica. En estas circunstan-

20. Codina (1971), pp. 364-365.

21. Ministerio de Fomento (1918), vol. 1, p. 323.

cias, la ampliación de la agricultura intensiva requería nuevos procedimientos, mientras el cultivo se extendía hacia cotas topográficas con mayor profundidad del manto freático. Ahora, además, nuevos sistemas de perforación de pozos permitían alcanzar profundidades inusuales hasta entonces y todo ello exigía máquinas nuevas y aumentos en la energía motriz disponible. Las bombas, asociadas a distintos tipos de motores, constituyeron la respuesta a la situación creada.

El empleo de motores y bombas implicaba un salto tecnológico notable respecto a los métodos tradicionales que hemos visto en el apartado anterior. Y, en consecuencia, impulsaban un modelo de explotación también diferente: el sujeto de la innovación se veía condicionado por la dirección que seguía la innovación tecnológica. Desde el punto de vista técnico, frente al bajo coste de instalación y la baja intensidad energética de los sistemas tradicionales, motores y bombas implicaban una elevada inversión inicial y un consumo elevado de energía.

Las bombas, conocidas desde antiguo, recibieron un gran impulso con la aplicación de los nuevos motores. La bomba de pistones, en un primer momento, y la centrífuga, que acabó imponiéndose, representaron la secuencia tecnológica en este ámbito²². La difusión de los nuevos sistemas siguió las pautas energéticas comunes al proceso de industrialización²³: de los motores de vapor y las turbinas se pasó, ya en el siglo XX, a los motores de gas pobre, aceites pesados, electricidad y gasolina. Con el tiempo, se impondrían los motores eléctricos pero la disponibilidad de esta forma de energía condicionó mucho los ritmos de su difusión y retrasó, en algunos casos, su generalización hasta la segunda mitad de la centuria.

La máquina de vapor proporcionó el impulso inicial y, en las décadas finales del siglo XIX, aparecía como el signo decidido del progreso agrícola. La abundante oferta industrial de máquinas de vapor y la posibilidad de aplicarlas también a las labores del campo hizo concebir ilusiones acerca de su uso polivalente en las explotaciones intensivas. Estos motores, sin embargo, precisaban de un flujo suficiente de carbón y, en algunos modelos, del concurso de operarios cualificados²⁴. La posibilidad de disponer de un maquinista experto sólo estaba al alcance de explotaciones de cierto tamaño, en las cuales la maquinaria tuviera que operar un número elevado de horas al año.

Sin embargo, la aparición de motores de gas pobre, gasolina y electricidad vino a superponerse al uso de las máquinas de vapor²⁵. Pese a todo, como en tantas ocasiones de la historia del cambio técnico, las máquinas de vapor se resistieron a la desaparición y ello se debió a la mejora energética –con la generalización del vapor recalentado– y al desarrollo de su aplicabilidad a diversos tipos de explotaciones²⁶. En el País Valenciano (Cuadro 4 y Mapa 3), donde se concen-

22. Llauradó (1878).

23. Garrabou (1985), p. 53.

24. Echarry (1879), p. 205.

25. Guillén (1905), p. 397.

26. Milano (1914), p. 10m.

CUADRO 4
MOTORES DE RIEGO EN ESPAÑA POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS, 1932

Comunidades Autónomas	Aeromotor	Aceites pesados	Gas pobre	Vapor	Gasolina	Eléctricos	Total
Galicia	153			3		12	168
Asturias	5						5
Cantabria	8		2		10		20
País Vasco	6				8	95	109
Navarra	12	21	2		111	132	278
La Rioja	651	94			286	92	1.123
Castilla-León	41	74	38	6	1.010	1.710	2.879
Castilla-La Mancha	82	116	55	22	289	102	666
Madrid	27	17	16	16	150	227	453
Extremadura	69	14	17	2	145	83	330
Aragón	110	45	–	3	201	146	505
Cataluña	1.208	212	16	1	2.108	2.744	6.289
País Valenciano	510	1.704	233	506	1.024	2.196	6.173
Murcia	113	271	135	21	223	388	1.151
Baleares	3.124	1.080	15	12	680	576	5.487
Andalucía	332	551	42	27	264	1.537	2.753
Canarias	625	81	78	15	227	28	1.054
España	7.076	4.280	649	634	6.736	10.068	29.443

Fuente: Ministerio de Agricultura (1933), pp. 323-324. Elaboración propia.

traba el mayor número de motores, es bien visible esta pervivencia. En 1932 operaban todavía un elevado número de máquinas de vapor, pese a que la opción por la electricidad era ya mayoritaria.

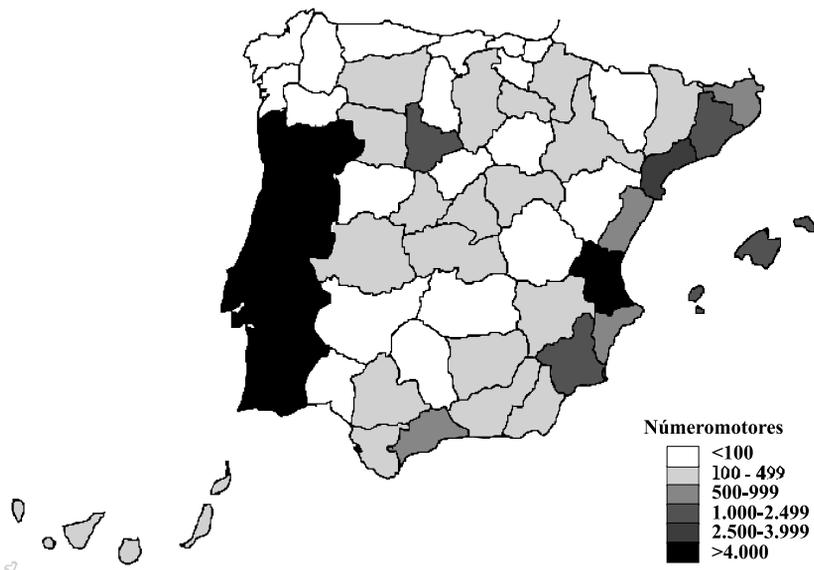
Los motores de gas pobre presentaban muchos problemas de funcionamiento y exigían personal cualificado, pero tenían la ventaja de utilizar combustibles de muy diverso origen, incluidos subproductos de la actividad agraria (orujo de aceituna, cáscara de almendra)²⁷. Por su parte, la difusión de los motores a gasolina se vio condicionada por la carestía del combustible en España, superior a la del carbón. Los técnicos confiaban, sin embargo, que el aumento de la producción española de combustible permitiría generalizar los motores Diesel²⁸.

En las primeras etapas, la difusión de las bombas adquirió una forma muy concentrada. En 1916 sólo tres regiones, el País Valenciano, Baleares y Murcia, reunían el 90% de ellas, mientras en la mayoría de las zonas de la Península la presencia de estos artefactos era prácticamente nula. Tal localización contrastaba fuertemente con la de las norias que, como hemos visto en el apartado anterior, estaban presentes en un buen número de regiones. La innovación comenzó, pues, por aquellas regiones con mayor desarrollo de la agricultura intensiva de regadío

27. García Ros (1922), p. 123; Guillén (1905), pp. 488-489.

28. Milano (1914), p. 12m.

MAPA 3
MOTORES DE RIEGO EN ESPAÑA, 1932



Fuente: Ministerio de Agricultura (1933). Elaboración propia.

y sólo más tarde se fue extendiendo. Ello evidencia algunos de los mecanismos de la difusión de tecnología: cuanto mayor es el grado de complejidad técnica, más decisivo resulta el papel que desempeñan los efectos acumulativos derivados de la existencia, en una determinada área, de canales de comercialización, asesoramiento técnico y facilidades de reparación. Sin embargo, en pocos años, a la altura de 1932, las bombas con motores de energías inanimadas tenían ya una importancia apreciable en la mitad de las regiones españolas.

El grado de concentración regional, aún alto, había disminuido en 1932, según sugiere el Mapa 3. El País Valenciano, Cataluña y Baleares contaban con el 60% de la cifra total. El aspecto más relevante es, sin duda, el extraordinario avance que había experimentado la electrificación del regadío. Aunque no es posible precisar el número de bombas eléctricas que había en España en 1916, seguramente no pasaban de 1.000²⁹. En cambio, quince años después eran más de

29. Según el Cuadro 1 había 363 contabilizadas, a las que habría que añadir un número indeterminado correspondiente a Valencia, provincia para la cual la fuente no desglosa por tipos de motores. En cualquier caso, y dado el predominio del vapor que otras fuentes señalan (Janini, 1911), es razonable estimar que, de las 2.000 bombas existentes en Valencia, no más de 600 serían eléctricas. Por tanto, la cifra total española estaría en torno al millar.

10.000, como puede verse en el Cuadro 4. Esta evolución comportaba un esfuerzo inversor importante y un destacado proceso de innovación técnica. Las bombas eléctricas estaban muy difundidas en Cataluña y el País Valenciano, pero también tenían una implantación reseñable en Castilla-León y Andalucía.

En las dos primeras regiones, las provincias de Tarragona y Valencia, con un número semejante de aparatos –en torno a los 1.850– reunían la mayor parte. Era aquí, pues, donde se había concentrado en mayor medida la renovación tecnológica de la extracción de agua. Por su parte, en Valencia los motores eléctricos se habían difundido, sobre todo, como consecuencia de la expansión del naranjo. En Castilla-León, prácticamente todos los motores se encontraban en la provincia de Valladolid y se dedicaban tanto a las aguas subterráneas como a las superficiales. En Andalucía estaban distribuidos por gran parte del territorio, pero estaban especialmente implantados en Málaga. Aquí las grandes explotaciones que elevaban agua del río Guadalhorce (los cortijos propiedad de Larios y los del Marqués de Heredia que, durante algún tiempo, estuvieron arrendados a la Sociedad Azucarera Española) habían adoptado también la electricidad.

En general, el uso de estos motores se daba en explotaciones de cierto tamaño, dedicadas a la agricultura intensiva, y muy capitalizadas, fueran las grandes fincas de Valladolid o los huertos de cítricos de Valencia. Pero el acceso a la energía necesaria fue un factor de primer orden en la localización. Ya en los inicios de la energía eléctrica habían aparecido casos de aprovechamiento agrario: en 1893, el fabricante textil Rosal, de Berga, generaba energía hidroeléctrica que empleaba en la fábrica y para tres bombas de extracción de agua que permitían regar tierras colindantes, en lo que un especialista de la época consideraba uno de los primeros casos de Europa³⁰. Desde entonces los motores eléctricos se expandieron aunque condicionados por la disponibilidad de fluido. En el litoral catalán, la producción de energía por la *Sociedad de Riegos y Fuerza del Ebro* propició la adopción generalizada de bombas eléctricas³¹. También en Valencia, la rápida difusión de estas bombas puede relacionarse con la oferta energética: la provincia era la primera del Estado en número de centrales eléctricas en 1933³². A la inversa, la expansión era limitada allí donde no concurría esta circunstancia. Normalmente no era posible contar, en las proximidades de las explotaciones, con centrales de generación de energía y el transporte a larga distancia estaba fuera del alcance de los usuarios del riego. No siempre, sin embargo: durante la segunda década del siglo, la empresa Compañía de Riegos de Levante había resuelto la provisión de energía para sus extensos regadíos en el sur de Alicante mediante la construcción de una central eléctrica aguas arriba del río Segura³³.

30. Guillén (1905), pp. 475-479.

31. Ministerio de Fomento (1918), pp. 266-267.

32. Hernández, (1981)

33. Serra (s.f.), p. 242.

Los costes elevados de estas instalaciones y el alto umbral de rentabilidad exigieron, muchas veces, la constitución de sociedades de riego, bien por parte de grandes inversores o bien por iniciativa de los propios agricultores de uno o más municipios. En la cuenca del Segura existían en 1931 unas 25 sociedades de este tipo³⁴. En cualquier caso, la inexistencia de ayuda pública, en forma de servicios de asesoramiento y formación de personal cualificado, debió crear obstáculos a la difusión de las nuevas técnicas y, en especial, de la electricidad. El fracaso de muchas iniciativas lo explicaba un autor contemporáneo con este factor y con “... *la sugestión de las casas vendedoras de maquinaria, más atentas a sus intereses que al éxito del aprovechamiento*”³⁵.

Por tanto, en 1932, los motores eléctricos eran la modalidad predominante de bomba. Les seguían en importancia los aeromotores y los de gasolina. Los aparatos que utilizaban aceites pesados seguían en importancia, mientras los motores de gas pobre habían sido sustituidos a lo largo de la década de 1920, cuando la oferta de energía eléctrica se fue generalizando. Las máquinas de vapor, por su parte, habían pasado a tener una importancia muy reducida en la totalidad de las regiones y la mayoría de ellas se encontraba en el País Valenciano, precisamente donde habían aparecido de forma más temprana.

Los aeromotores constituían, después de los eléctricos, el sistema con mayor número de unidades. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que se trataba, en general, de explotaciones pequeñas, por lo que su contribución a la superficie regada debió ser menor que la de los motores de gasolina. Eran especialmente abundantes en Baleares y en el Campo de Cartagena, donde accionaban bombas de pistón y constituían la combinación de una modalidad energética tradicional y un aparato moderno. Constituían un ejemplo de adaptación a condiciones locales –características atmosféricas, poca profundidad del manto freático– que permitía reducir costes energéticos en explotaciones de pequeño tamaño³⁶. En Mallorca, algunas zonas como la huerta situada al este de la capital, dedicada a hortalizas y frutales, se regaban mediante la multiplicación de estos aparatos que presentaban aquí una densidad extraordinaria³⁷.

En definitiva, con anterioridad a la Guerra Civil se había producido un proceso intenso de renovación tecnológica en la extracción de aguas subterráneas que había ampliado notablemente las posibilidades de riego. Se habían roto en parte los límites que existían a finales del siglo XIX para la expansión del regadío. Este proceso se había acelerado especialmente en la tercera década del novecientos cuando se produjo un empuje decidido en la electrificación de los motores de elevación. Sin embargo, la característica más destacada del regadío con aguas subterráneas era la convivencia entre técnicas con grados de complejidad

34. Mancomunidad Hidrográfica del Segura (1931).

35. García Ros (1922), p. 18.

36. *Ibidem*, p. 353.

37. Roselló (1959), pp. 540-541.

muy diversa y esta coexistencia incluía desde las norias de tracción animal, todavía muy numerosas en muchas regiones –y no precisamente en las menos dinámicas en este terreno– hasta las modernas bombas eléctricas.

La explotación intensiva de las aguas subterráneas en la segunda mitad del siglo XX

La notable expansión de los aprovechamientos de aguas subterráneas durante el primer tercio del siglo XX experimentó un freno en el período de la Guerra Civil y el primer Franquismo. El proceso de intensificación agraria anterior y, en particular, el del regadío con máquinas perdió, entre 1936 y 1950, algunas de sus bases y aparecieron dificultades en el suministro de energía eléctrica, escasez de combustibles y de piezas de repuesto, además de las limitaciones para importar componentes. Al mismo tiempo, el aislamiento exterior afectó a las posibilidades de desarrollo de producciones agrarias que tenían buena parte de sus mercados en la exportación. Esta evolución forma parte de la quiebra –temporal pero prolongada– que conoció el modelo de crecimiento de la agricultura iniciado en la etapa previa³⁸.

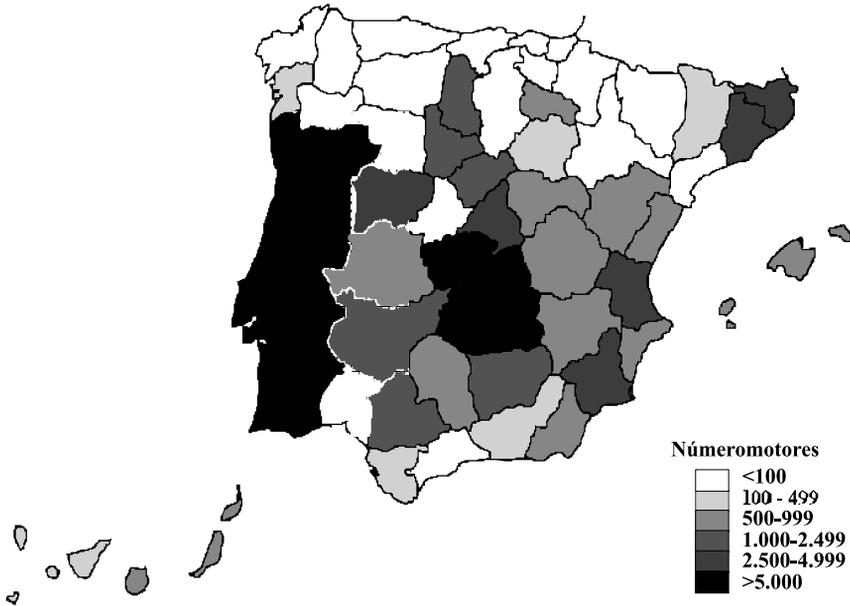
En general, esta situación afectó al proceso de renovación tecnológica de los sistemas de riego y reforzó el uso de equipos técnicos más tradicionales. Así, el proceso de sustitución de norias por motores de bombeo se ralentizó y las primeras recuperaron posiciones en la extracción de aguas subterráneas. De 1932 a 1962 el número de norias en España pasó de 72.725 a 85.306. Este fenómeno tuvo una mayor presencia en regiones del interior de la península, como La Mancha y Castilla y León. En cambio, en algunas zonas del litoral caracterizadas por la gran importancia del regadío, como Valencia, las transformaciones no registraron ningún parón: el número de motores eléctricos instalados entre 1941 y 1951 superó ampliamente los de la década siguiente. Este caso, sin embargo, pudo ser excepcional.

En la década de 1950, con el abandono de la política económica autárquica y el retorno al crecimiento, volvió también la expansión de los sistemas de regadío que estudiamos. Se iniciaba así el período de máximo auge de la superficie regada en España y la contribución de los pozos con máquinas elevadoras fue importante. Las 122.725 ha de regadío estimadas para 1916 se habían convertido en 359.316 en 1972, 749.074 en 1982 y 919.461 en 1993³⁹. Las zonas más beneficiadas por este crecimiento fueron las regiones mediterráneas y la España insu-

38. Garrabou (1997), Barciela (1997).

39. Para 1972 y 1982, *Censos agrarios*; la cifra de 1993, en Martínez Beltrán (1993), p. 32. Otra estimación para el año 1971 corregía al alza las cifras de los inicios de la década de los setenta, con 517.700 has.; cf. en Informe de Murcia Viudas en Asociación Nacional de Ingenieros de Minas (ANIM), (1978).

MAPA 4
MOTORES DE RIEGO EN ESPAÑA, 1952-1960



Fuente: Datos a partir de INE, *Anuario Estadístico de España* (1962).

lar, áreas donde los recursos hídricos superficiales eran más escasos y se encontraban más explotados.

El Mapa 4 muestra que, en los años cincuenta, los motores de riego habían ganado importancia en muchas zonas del interior peninsular, especialmente en La Mancha, Madrid, Extremadura y algunas provincias de Castilla la Vieja. Sin romper el predominio mediterráneo en este tipo de aprovechamientos, el hecho muestra la difusión de las técnicas y los inicios de la modernización agraria en zonas tradicionalmente de secano. En algunos casos, como Ciudad Real y Toledo, se trataba de la sustitución definitiva de las norias de tracción animal por motores. En otros, eran nuevas captaciones las que habían comportado la instalación de equipos modernos de elevación de agua.

El número de estos aprovechamientos creció de forma vertiginosa. En 1970 existían 210.000 captaciones de aguas subterráneas⁴⁰. Este incremento fue muy rápido en regiones como Murcia y Valencia, donde se multiplicaron los pozos entre 1955 y 1985. Algunas comarcas más específicas, como Dalías (Almería), Águilas-Mazarrón-Lorca y el Campo de Cartagena (Murcia) conocieron un cre-

40. Asociación Nacional de Ingenieros de Minas (1978), p. 31.

cimiento espectacular del área regada por este mecanismo⁴¹. Los períodos de aceleración en la perforación de pozos fueron 1956-1965 y 1978-1985, con un ritmo anual de casi 200 pozos en el primero y una media de 400 en el segundo. La entrada en vigor de la Ley de Aguas de 1985 detuvo las concesiones para perforar al declarar los recursos subterráneos propiedad pública. Según fuentes oficiales, sólo en los inicios de la década de 1990 y como respuesta a la sequía prolongada, volvieron a aumentar las concesiones⁴². La situación ha sido algo distinta, y veinte años más tarde de la entrada en vigor de aquella legislación, el número total de perforaciones aún está por conocer y el registro o inventario de aguas subterráneas está sin concluir⁴³.

En cualquier caso, esta etapa de avance del riego procedente de pozos significó un cambio cualitativo respecto al período anterior a la Guerra Civil, en varios sentidos. Por un lado, el proceso implicaba una elevada capitalización de la agricultura puesto que las transformaciones eran costosas y el equipo sofisticado. Los grandes propietarios tuvieron, como en la etapa anterior, un papel importante, pero fueron cobrando protagonismo las sociedades mercantiles y las cooperativas. Asimismo, el papel del Estado fue mayor también en esta época. El Instituto Nacional de Colonización (I.N.C.) y, desde 1973, el IRYDA, dedicó algunos esfuerzos a la investigación y regulación del uso de las aguas subterráneas⁴⁴. Un último factor resultó también decisivo: las mejoras en las técnicas de perforación y bombeo, muy relacionadas con el mejor conocimiento geológico del subsuelo. En este último aspecto, la labor conjunta del Instituto Geológico y Minero de España y el I.N.C. permitió contar con estudios hidrogeológicos de zonas como la cuenca del Guadalquivir o la comarca Cazorla-Hellín-Lorca. La región murciana se convirtió en un laboratorio para la aplicación de métodos hidrogeológicos difundidos más tarde en otras zonas⁴⁵. Los estudios de varias zonas y cuencas desde esta perspectiva contaron desde entonces con un Programa Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (1972) y el Programa Nacional de Estudios para Gestión y Conservación de Acuíferos (1976) y, con posterioridad, programas ligados a los Planes Hidrológicos. En conjunto, todo ello supuso un avance sin precedentes en el conocimiento de los balances hídricos y el estado medioambiental de las diversas zonas⁴⁶ y significó un cambio notable: se abandonaron las prácticas tradicionales de los zahoríes para la localización de los acuíferos y se redujo la incertidumbre y el riesgo asociados a ellas. Al final del siglo XX, una cuarta parte del agua que se utiliza en España es de origen subterráneo. Con ello se atiende a algo menos de un tercio de la superficie total de

41. Para la provincia de Murcia, Senent y Aragón (1995) y Martínez Carrión (2002). Para la de Almería, ver Sánchez Picón (1997). Una visión general, en Calatayud y Martínez Carrión (1999).

42. Senent y Cabezas, (1995); Consejo Económico y Social de la Región de Murcia (1995).

43. Del Saz, S., Fornés, J. M. y Llamas, M. R. (eds.) (2002),

44. Pérez Pérez (1982).

45. Murcia (1966).

46. ANIM (1978), pp. 11 y ss.

regadío y a las necesidades de más de un tercio de la población. En las zonas más secas, el uso de las aguas subterráneas se convierte en un recurso fundamental.

El cambio técnico en los sistemas de perforación y en las máquinas empleadas resultó decisivo para el éxito de los nuevos aprovechamientos. Nuevas máquinas taladradoras, uso de tuberías de presión y bombas eléctricas sumergibles constituyeron una secuencia tecnológica que permitió aumentar considerablemente la profundidad de los pozos y acceder a nuevos acuíferos situados, con frecuencia, a más de 200 metros. Las cifras referidas a la provincia de Valencia muestran que la profundidad media de los pozos pasó de 23 metros en 1940 a 86 en 1970, lo que llevaba aparejado un aumento en la potencia de los motores para extraer el agua, que pasó de 28 cv a 77 entre las mismas fechas⁴⁷.

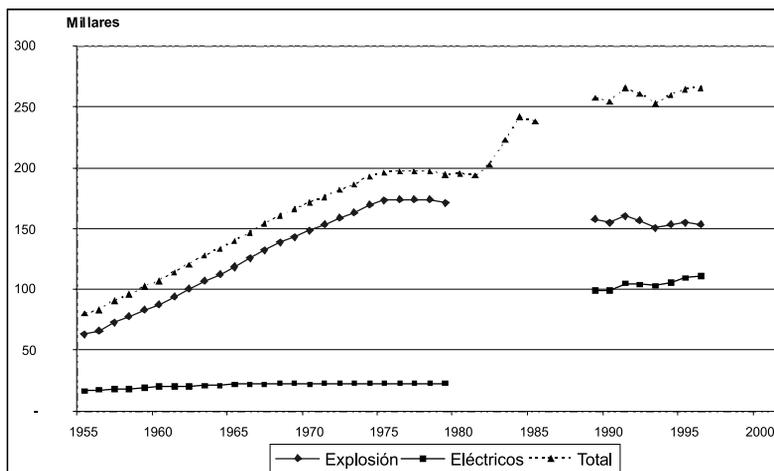
Este conjunto de innovaciones implicó la definitiva electrificación del regadío con aguas subterráneas. Los motores eléctricos presentaban ventajas claras: continuidad de funcionamiento, sencillez de manejo, fácil mantenimiento. Además, la aparición de nuevas bombas de eje vertical y sumergible aumentó la capacidad de aspiración. En determinadas áreas geográficas alejadas de centros urbanos, este proceso se ralentizó más a causa, sobre todo, de la escasez de suministro eléctrico.

La evolución del número de motores muestra, sin embargo, ritmos desiguales y algunas interrupciones. La motorización en general experimentó un notable crecimiento: de 29.443 motores en 1932 se pasó a 79.962 en 1955 y a 259.578 en 1994. Con anterioridad a la Guerra Civil, los motores eléctricos se habían impuesto en algunas provincias y suponían el 34% de los instalados en España. En la postguerra, sin embargo, hubo un retroceso relativo de los mismos a favor de los motores de explosión que se explicaría por el lento avance de la electrificación del medio rural. El Gráfico 1 muestra la extraordinaria importancia de los motores de explosión durante este período. Sólo en la década de los ochenta, los motores eléctricos retomaron el crecimiento y desplazaron en pocos años al resto de sistemas.

La movilización de un volumen considerablemente mayor de agua para el riego implicó la mejora de sistemas complementarios para almacenar, transportar y distribuir el recurso y aumentar la eficiencia de su uso a través, sobre todo, de la reducción de pérdidas. Se generalizó el sistema de almacenar el agua extraída en pequeños embalses, primero de mampostería y más tarde de hormigón y plastificados para evitar las filtraciones. Por su parte, los canales y los elementos de distribución, primero en barro y madera, pasaron a construirse de cemento y hierro, para ceder el paso después a conducciones cerradas mediante tuberías de hormigón que permiten elevar el agua y transportarla a presión a distancias con-

47. Datos procedentes de los Libros-Registro de pozos de la División de Minas de Valencia, antigua Delegación Provincial del Ministerio de Industria. Una evaluación de las dimensiones de las excavaciones a lo largo del siglo XX en Canarias, en Rodríguez (1996), pp. 23 y ss.

GRÁFICO 1
EVOLUCIÓN DE LOS MOTORES DE RIEGO EN ESPAÑA, 1955-1996



Fuente: Elaboración propia a partir de los Anuarios del INE y Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Esta serie dejó de publicarse en la información publicada desde 1997.

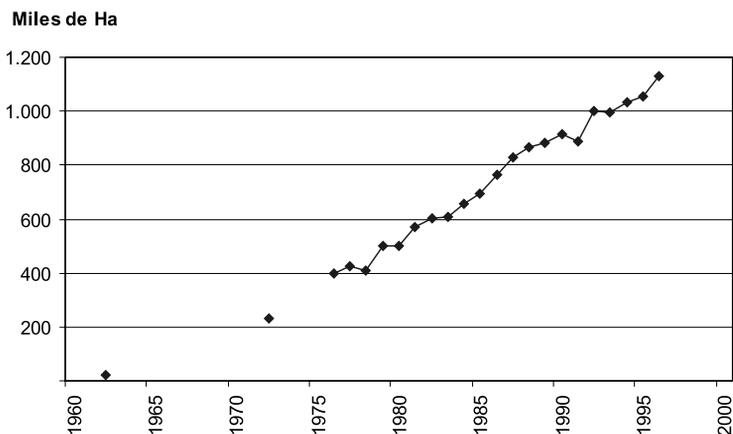
siderables⁴⁸. El salto tecnológico producido en los últimos cuarenta años se refleja en la multiplicación de nuevos componentes de la infraestructura de riego: tuberías de fibrocemento, contadores de agua, válvulas de retención, ventosas y llaves de paso. Todo ello ha configurado un modelo tecnológico totalmente distinto al del pasado. Sin embargo, la mejora técnica no siempre ha estado acompañada de eficiencia organizativa. El hecho de que las extracciones de agua constituyeran iniciativas individuales llevadas a cabo sin coordinación, ha generado duplicidades en las perforaciones y en las canalizaciones. En zonas como las islas Canarias ello condujo a un aprovechamiento caótico, a la sobreexplotación de los acuíferos y a la caída de la productividad de las extracciones (medida en m³/s. por metro de excavación)⁴⁹.

Finalmente, este nuevo paradigma tecnológico ha ido acompañado por cambios en las prácticas de riego y por una transformación profunda de los sistemas agrarios. Frente a los tradicionales métodos de riego por inundación, basados en la circulación por gravedad, se han generalizado tanto el riego por aspersión como el riego por goteo. El primero registró un avance espectacular desde 1960, al pasar de 22.435 ha en 1962 a 1.032.220 en 1994 (véase Gráfico 2). Su importancia relativa ha sido mayor en las regiones del interior peninsular.

48. Sánchez Pallarés (1995), pp. 88-90.

49. Vera, (1990), p. 78. Aguilera y Nunn, (1989).

GRÁFICO 2
 SUPERFICIE DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN ESPAÑA, 1962-1996



Fuente: Elaboración propia a partir de los Anuarios del INE y Ministerio de Agricultura.

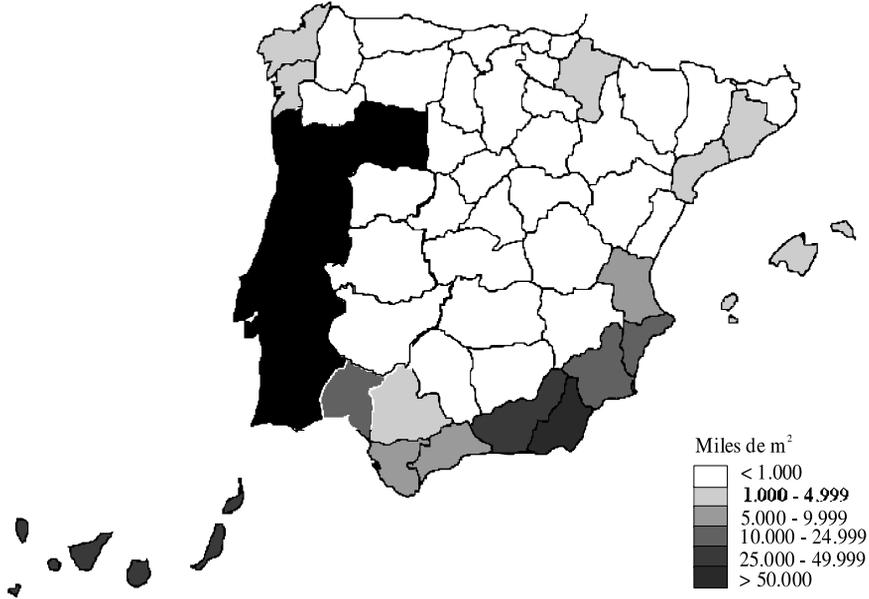
Por su parte, el riego por goteo o localizado ha constituido el sistema técnico más avanzado y ha encontrado mayor difusión en las regiones mediterráneas, más afectadas por la escasez de los recursos hídricos⁵⁰. Ha constituido una mejora notable en el aprovechamiento del recurso, aumentando la eficiencia al reducir al mínimo el consumo de agua, pero contiene el peligro de salinización del suelo. La mayor difusión se ha dado en áreas de Canarias, Almería y Murcia. En esta última región, el crecimiento ha sido vertiginoso: las 30 ha existentes en 1975 se habían convertido en 53.591 en 1992. En el conjunto español, el riego por goteo afectaba en 1989 a 231.677 ha.

Estos cambios han estado relacionados con la aparición de nuevos sistemas de cultivo, altamente tecnificados, y que genéricamente pueden denominarse cultivos forzados. El acolchado, las instalaciones fijas o invernaderos, los túneles o enarenados se han ido introduciendo como fórmulas para contrarrestar el déficit hídrico. No es casual que haya sido en Canarias, Almería y Murcia, que reúnen además las mejores condiciones climáticas, donde estos cultivos se hayan desarrollado más.

Para acabar, algunas consideraciones críticas. La otra cara del intenso aprovechamiento de los recursos hídricos subterráneos ha sido el impacto medioambiental inducido por la intensidad de los cambios técnicos y económicos. En

50. Un ejemplo de la difusión de esta modalidad de regadío en el País Valenciano, en Ramón (1995).

MAPA 5
SUPERFICIE DEDICADA A CULTIVOS FORZADOS: INSTALACIONES FIJAS
EN ESPAÑA, 1995-1996



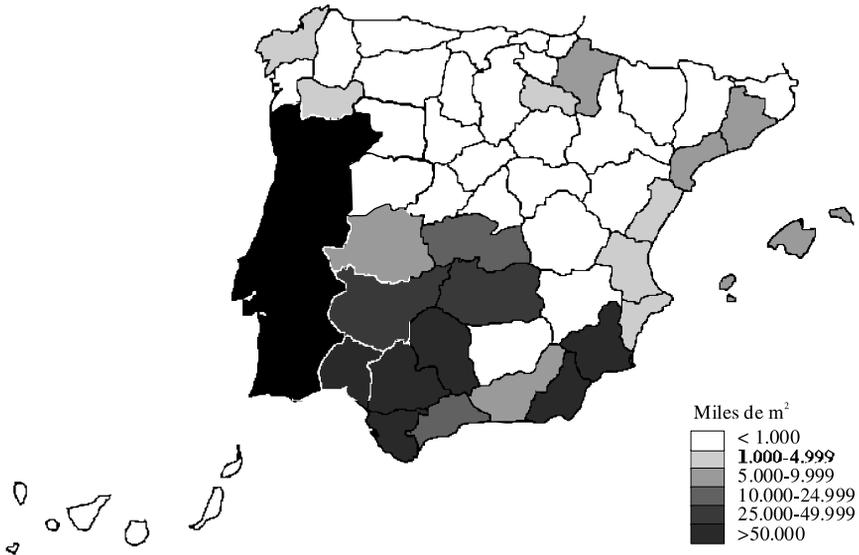
Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

general, ha afectado a todo el territorio, pero con mayor gravedad allí donde el crecimiento del regadío y el uso de las aguas subterráneas han sido mayores. Como puede verse en el Cuadro 5, el avance del regadío en general y de las aguas subterráneas en España ha sido espectacular durante el siglo XX, al menos entre 1916 –año en que se conoce la primera estadística nacional relativa al regadío– y 2000 –aunque la fuente no lo cita expresamente, sospechamos que sería más bien el año 1996–. Por su importancia territorial y económica, las comunidades más afectadas hoy en día por el riego de las aguas subterráneas son Andalucía, Murcia, Canarias, Valencia y las dos Castillas, cuyo crecimiento secular ha sido también significativo. En suma, las regiones más meridionales y mediterráneas, las más frágiles desde un punto de vista ambiental.

La sobreexplotación de los acuíferos españoles y, especialmente los mediterráneos, ha supuesto el consiguiente descenso del nivel freático y el desacoplamiento de los cultivos respecto a la disponibilidad natural de agua en los suelos han sido los fenómenos más visibles⁵¹. La denominada contaminación difusa no

51. Naredo y Gascó (1990); Cruces (1998).

MAPA 6
SUPERFICIES DEDICADAS A CULTIVOS FORZADOS EN ESPAÑA: ACOLCHADOS,
1995-1996



Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

ha sido menos importante: el exceso de nitratos en el abono de los campos ha sobrepasado los límites permitidos en las zonas donde este tipo de riego es vital, en las zonas cálidas donde las cosechas son tempranas y de alta calidad. De los 88 sistemas acuíferos censados en el Atlas nacional en 1992, la mitad presentaban concentraciones de nitrato superiores a 50 mg/L. Sólo una cuarta parte han evolucionado favorablemente en la última década. La situación es preocupante en las cuencas de los ríos Guadiana y Júcar, y también en algunas del Duero y del Tajo, viéndose afectadas en especial las provincias de Badajoz, Ciudad Real y Albacete y algunas zonas de las Canarias. Por último, cabe señalar el aumento de la concentración salina por intrusión marina u otros materiales, cuyo impacto puede establecerse a través de dos parámetros. La concentración de cloruros y de sulfatos.

Al deterioro ambiental, se suma la incertidumbre en la que se encuentran muchos de los pozos de aguas subterráneas⁵². Casi veinte años después de la aprobación de la Ley de Aguas, se desconoce la situación real de importantes zonas de aprovechamientos y el número aproximado de los que existen. El mismo Libro Blanco del Agua en España calificó en el año 2000 esta situación

52. Del Saz, S., Fornés, J. M. y Llamas, M. R. (eds.) (2002),

CUADRO 5
CRECIMIENTO DE LA SUPERFICIE DE REGADÍO Y DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS ENTRE 1916 Y 2000

Comunidades Autónomas	Superficie aguas subterráneas hacia 2000 (b)	Superficie total riego hacia 2000 (c)	% aguas subterráneas hacia 2000 (d)	Riego total en ha entre 1916 y 2000 (e)	Aguas subterráneas en la entre 1916 y 2000 (f)	Tasa de crecimiento anual del regadío (g)	Tasa de crecimiento anual del regadío de aguas subterráneas (h)
Andalucía	224.670	779.880	28,81	561.803	214.942	1,53	3,81
Aragón	20.315	394.522	5,15	175.985	-4.865	0,71	-0,26
Asturias	232	4.342	5,34	-61.658	232	-3,19	
Baleares	15.895	17.376	91,48	11.121	11.620	1,22	1,58
Canarias	26.277	29.379	89,44	22.935	26.102	1,82	6,15
Cantabria	3	2.603	0,12		3		
Castilla-La Mancha	228.528	353.801	64,59	258.237	195.224	1,57	2,32
Castilla-León	113.164	486.676	23,25	344.138	106.800	1,47	3,49
Cataluña	52.043	264.793	19,65	84.261	44.551	0,46	2,33
Com. Valenciana	154.821	350.482	44,17	164.050	127.797	0,75	2,10
Extremadura	3.151	210.488	1,50	192.742	-1.116	2,99	-0,36
Galicia	92	85.490	0,11	16.070	78	0,25	2,27
Madrid	1.789	27.973	6,40	-2.232	473	-0,09	0,37
Murcia	93.810	192.698	48,68	135.220	90.389	1,45	4,02
Navarra	1.682	81.673	2,06	47.271	1.682	1,03	
País Vasco	1.208	13.126	9,20	12.590	1.166	3,88	4,08
Rioja	3.564	49.335	7,22	13.060	3.441	0,37	4,09
Total	941.244	3.344.637	28,17	1.975.593	818.519	1,07	2,46

Fuente: Elaboración propia a partir del cuadro 2 de este artículo, Ministerio de Fomento (1918), y Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2001), pp. 136 y 204.

de “*muy desalentadora*”, y advertía de la “*insumisión hidrológica*”, pues siguió perforándose, en muchos casos sin permiso ni concesión del Organismo de cuenca correspondiente, fuera por falta de compromiso, por falta de medios, incluso de apoyo técnico⁵³.

Conclusiones

En la era de las grandes obras hidráulicas, en las que España ha tenido una participación destacada, el regadío a pequeña escala conoció un dinamismo todavía mayor. Como ha ocurrido en otras partes del mundo, a lo largo del siglo XX el riego con aguas subterráneas aumentó de forma mucho más rápida que el conjunto de la superficie regada, de tal modo que, al final de la centuria, representaba una proporción mayor del total: el 28% en el 2001, frente a sólo el 9% en 1916. Hoy, la mitad de la producción agraria de regadío española se debe al uso intensivo de las aguas subterráneas. Las razones hay que buscarlas tanto en los limitados recursos hídricos superficiales característicos del territorio peninsular, como en la mayor flexibilidad que el riego mediante pozos y máquinas presenta para adaptarse a espacios y cultivos. El impulso tecnológico ha sido decisivo. El extraordinario proceso de mejora técnica que experimentaron los procedimientos de extracción e impulsión de agua, desde la invención de la bomba de turbina hasta la mejora de las técnicas de perforación de pozos y el progreso de la ciencia hidrogeológica, ha sido importante. En conjunto, este avance supuso un aumento muy notable del capital fijo en la agricultura, fenómeno que está todavía por cuantificar.

Desde el punto de vista regional, la modalidad de riego que hemos estudiado aquí se ha caracterizado por una elevada concentración. Las tres regiones con mayor superficie han representado, a lo largo del siglo, en torno a los dos tercios del total. Entre ellas, Castilla-La Mancha ha ocupado siempre la primera posición y el País Valenciano ha mantenido también un lugar destacado. En cambio, Aragón y Cataluña han sido superadas, en cuanto a la importancia de las aguas subterráneas, por Andalucía, Murcia y Castilla-León, regiones dónde la expansión de estos aprovechamientos ha sido más rápida. El regadío ha seguido siendo una práctica agrícola propia, sobre todo, de las áreas mediterráneas, pero ha adquirido una importancia creciente también en zonas del interior peninsular como la submeseta norte, Extremadura o la Rioja.

Por su parte, el peso relativo de las aguas subterráneas en el regadío total ha sido muy desigual según las regiones. En la actualidad las áreas insulares de Baleares y Canarias se caracterizan por la presencia abrumadora de estos sistemas de riego que abastecen al 90% de la superficie regada total. En la península,

53. Fornés Azcoiti, de la Hera Portillo y Llamas Madurga (2004).

las aguas subterráneas contribuyen a regar una parte mayoritaria de la superficie solamente en La Mancha (el 65%), donde ya eran muy importantes a principios de siglo, mientras en Murcia fertilizan el 49% y en el territorio valenciano el 44% del área regada total. En el resto de regiones, la importancia relativa de estos procedimientos es menor, aunque variable.

Son especialmente destacables por el extraordinario crecimiento experimentado los casos de Canarias, Andalucía y Murcia. En el archipiélago el uso de aguas subterráneas ha pasado desde valores muy bajos a superar las 25.000 hectáreas. En las otras dos regiones, la superficie fertilizada por pozos se ha multiplicado por más de 25. Aquí, en las décadas más recientes, este crecimiento ha ido acompañado de un proceso de cambio más global en el que han estado implicados los sistemas de riego y cultivo, lo que ha configurado un nuevo modelo de desarrollo agrario. Esta renovación técnica ha requerido importantes inversiones, incluso de origen no agrario, que han significado no sólo una importante capitalización del sector sino también la generalización de nuevas formas empresariales. A su vez, estos procesos han redefinido a los sujetos del cambio. Los agricultores han desarrollado una adaptación a los cambios ocurridos en la composición de la demanda en mercados más competitivos. Aunque el protagonismo institucional no se ha destacado en este trabajo, no por ello ha sido menos importante. La actuación pública en los procesos de electrificación, en la colonización del campo, y en la explotación de acuíferos han sido destacados en algunos casos, como se ha mostrado para el caso de Dalías (Almería)⁵⁴. Igualmente, han proliferado las sociedades de riegos, comunidades de regantes y otras fórmulas institucionales por iniciativa particular.

El reverso de esta situación ha sido el impacto medioambiental de tales cambios, general a todo el territorio pero especialmente grave allí donde el crecimiento del regadío ha sido mayor. La sobreexplotación de los acuíferos y el consiguiente descenso del nivel freático, la salinización, así como el desacoplamiento de los cultivos respecto a la disponibilidad natural de agua en los suelos han sido los fenómenos más visibles⁵⁵. Y no menos importante ha sido el impacto de la elevada concentración de nitratos como abono en los campos hasta límites peligrosos para la salud.

Finalmente, esta perspectiva regional tuvo otra dimensión que apenas hemos apuntado aquí y que debería ser objeto de futuros estudios: la contribución de la mecanización del regadío al proceso industrializador de determinadas áreas del país. La demanda de máquinas y componentes mecánicos -inicialmente para talleres y pequeños establecimientos manufactureros, después para empresas de cierta importancia- y la necesidad de servicios de instalación, mantenimiento y reparación, debieron ser localmente significativas y, en algu-

54. Rivera (1997).

55. Naredo y Gascó (1990); Cruces *et al.* (1998).

nos casos, reforzaron el auge de determinados núcleos industriales. La fabricación de norias metálicas ocupó a algunos talleres ya durante la segunda mitad del siglo XIX (Del Río, en Madrid; La Fundición Primitiva, en Valencia). Pero fue la demanda de bombas y máquinas de vapor a finales de ese siglo la que consolidaría un subsector dedicado también a otras máquinas, relacionadas o no con la agricultura. Ello fue especialmente importante en Barcelona, con nombres como Alexander Hermanos, La Maquinista Terrestre o Amador Pfeiffer, y, en menor medida, en Valencia donde se configuró un tejido de industrias mecánicas muy vinculado a las necesidades de la agricultura, entre las que destacaban la Primitiva Valenciana, o Hijos de Andrés Ferrer. Estas empresas materializaron transferencias tecnológicas desde algunos países industrializados al importar inicialmente máquinas e introducir con posterioridad adaptaciones que permitirían fabricar productos nuevos adecuados a las características de la demanda interior.

Por su parte, la excavación de pozos estuvo, históricamente, en manos de equipos de poceros y pequeñas empresas con medios técnicos limitados. Pero, cuando las técnicas manuales fueron dejando paso a la perforación mecanizada, surgieron empresas que alcanzarían cierta implantación regional. Es el caso de La Fertilizadora y Francisco Sánchez Madrid, en Murcia, y Perforaciones Figuerola, en Valencia, nacidas todas durante el primer tercio del siglo XX. Si añadimos la vinculación que la excavación de pozos tuvo con la industria química de explosivos, nos encontramos con un conjunto de actividades que contribuyeron a conformar esa nebulosa industrial surgida en torno a la agricultura.

BIBLIOGRAFÍA

- ABELA y SAINZ DE ANDINO, E. (1898), *Máquinas agrícolas. Manual práctico dedicado al conocimiento de los instrumentos y máquinas agrícolas que ofrecen mayor interés en España*. Madrid.
- AGUILERA KLINK, F. Y NUNN, S.C. (1989), *Problemas de la gestión del agua subterránea. Arizona, Nuevo México y Canarias*. La Laguna: Universidad de La Laguna.
- ASOCIACIÓN NACIONAL DE INGENIEROS DE MINAS (ANIM) (1978), *Las aguas subterráneas en España. Presente y futuro*. Madrid: ANIM.
- BARCIELA, C. (1997), “La modernización de la agricultura y la política agraria”, *Papeles de Economía Española*, 73, pp. 112-133.
- BARCIELA, C. y MELGAREJO, J. (eds.) (2001), *El agua en la historia de España*. Alicante, Universidad de Alicante.
- BENTABOL Y URETA, H. (1900), *Las aguas de España y Portugal. Evaluación y aprovecha-*

miento urbano, agrícola e industrial de las mismas y atenuación de los daños causados por los arrastres. Inundaciones e insalubridad, debido al defectuoso régimen hidrológico actual. Madrid, Imp. M. Tello.

- BOTELLA, F. de (1868), *Descripción geológica minera de la provincia de Murcia.* Madrid.
- CALATAYUD, S. (1990), “Los inicios de la mecanización del regadío valenciano, 1850-19530”, *Áreas. Revista de Ciencias Sociales.* 12, pp. 201-211.
- CALATAYUD, S. y MARTÍNEZ CARRIÓN, J. M. (1999), “El cambio técnico en los sistemas de captación e impulsión de aguas subterráneas para riego en la España Mediterránea”, en Garrabou, R. y Naredo, J.M. (eds), *El agua en los sistemas agrarios. Una perspectiva histórica.* Madrid, Argenteria/Visor, pp. 15-41.
- CALVO, L. (1908), *Hidrografía subterránea. Conocimientos sobre los terrenos para la investigación de manantiales.* Gandía, L. Catalá.
- CARO BAROJA, J. (1954), *Norias, Azudas, Aceñas.* Madrid, CSIC-Centro de Etnología Peninsular.
- CODINA, J. (1971), *El delta del Llobregat i Barcelona. Gèneres i formes de vida dels segles XVI al XX,* Barcelona, Ariel.
- CONSEJO ECONÓMICO Y SOCIAL (CES) (1995), *Recursos hídricos y su importancia en el desarrollo de la Región de Murcia.* Murcia: CES.
- CRUCES de ABIA, J. et alii (1998), *De la noria a la bomba. Conflictos sociales y ambientales en la cuenca alta del río Guadiana,* Bilbao, Bakeaz.
- DEL SAZ, S., FORNÉS, J. M. y LLAMAS, M. R. (eds.) (2002), *Régimen jurídico de las aguas subterráneas.* Madrid, Fundación Marcelino Botín y Ediciones Mundi-Prensa.
- ECHARRY, A. (1879), “Aparatos hidráulicos más usuales”, *Gaceta Agrícola del Ministerio de Fomento,* vol. XII, pp. 196-206.
- FERNÁNDEZ NAVARRO, L. (1922), *Aguas subterráneas. Régimen, investigación y aprovechamiento,* Madrid, Calpe.
- FERRER, R. (1936), *Abastecimiento de aguas. Bombas e instalaciones hidráulicas.* Barcelona, Ed. Susanna.
- FORNÉS AZCOITI, J. M., DE LA HERA PORTILLO, A. y LLAMAS MADURGA, R. (2004), El registro / catálogo de derechos de aguas subterráneas en España. (www.us.es/ciberico/archivos_word/97b.doc)
- GARCÍA ROS, L. (1922), “Los pequeños riegos en la región de Valencia. Manera de estimularlos y propagarlos en el resto de la nación”, *III Congreso Nacional de Riegos,* tomo III, Valencia, pp. 99-152.
- GARRABOU, R. (1985), *Un fals dilema. Modernitat o endarreriment de l'agricultura valenciana, 1850-1900.* Valencia, Institució Alfons el Magnànim.

- (1990), “Sobre el atraso de la mecanización agraria en España (1850-1933)”, *Agricultura y Sociedad*, 57, pp. 41-78.
- GARRABOU, R., BARCIELA, C. y JIMÉNEZ BLANCO (eds.) (1986), *Historia agraria de la España contemporánea. Vol. III: La crisis de la agricultura tradicional*. Barcelona, Crítica.
- GARRABOU, R. y NAREDO, J.M. (eds.) (1999), *El agua en los sistemas agrarios. Una perspectiva histórica*. Madrid, Argenteria/Visor.
- GINER ALIÑO, B. (1893), *Tratado completo del naranjo*. Valencia.
- GUILLÉN GARCÍA, G.J. de (1905), *El agua. Sus aplicaciones a la agricultura*. Barcelona, F. Puig.
- HERNÁNDEZ ANDREU, J. (1981), “Orígenes, expansión y limitaciones del sector eléctrico en España, 1900-1936”, *Información Comercial Española*, 577, pp. 137-150.
- JANINI, R. (1911), *Datos de riegos con aguas subterráneas elevadas por maquinarias en la provincia de Valencia*. Valencia, Imp. de F. Vives.
- LLAURADÓ, A. (1878), *Tratado de aguas y riegos*, Madrid, Moreno Rojas, 2 vols.
- LÓPEZ GÓMEZ, A. (1974), “Nuevos riegos de Valencia en el siglo XIX y comienzos del XX”, en J. Nadal y G. Tortella (eds.), *Agricultura, comercio colonial y crecimiento económico en la España contemporánea*. Barcelona, Ariel, pp. 188-205.
- MANCOMUNIDAD HIDROGRÁFICA DEL SEGURA (1931), *Relación general de los motores instalados para riegos en la cuenca del río Segura*. Murcia
- MARTÍNEZ BELTRÁN, J. (1993), “El regadío y las aguas subterráneas”, en *Las Aguas Subterráneas. Importancia y perspectivas*. ITGE & Real Academia de Ciencias Exactas, pp. 29-47.
- MARTÍNEZ CARRIÓN, J. M. (2002), *Historia Económica de la Región de Murcia, Siglos XIX y XX*. Murcia, Editora Regional.
- MILANO, Miguel (1914), “Máquinas elevadoras de agua para riego”, *Primer Congreso Nacional de Riegos*. Zaragoza, vol. II, pp. 1-13.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA. DIRECCIÓN GENERAL DE AGRICULTURA, SECCIÓN 5ª. ESTADÍSTICA Y ECONOMÍA AGRÍCOLA (1933), *Anuario estadístico de las producciones agrícolas. Año 1932 y 1933 para los agríos y el olivo*. Madrid.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN (2001), *Plan Nacional de Regadíos. Horizonte 2008*. Madrid.
- MINISTERIO DE FOMENTO. DIRECCIÓN GENERAL DE AGRICULTURA, MINAS Y MONTES (1918), *Medios que se utilizan para suministrar el riego a las tierras. Distribución de los cultivos en la zona regable. Resumen hecho por la Junta Consultiva Agronómica de las Memorias de 1916, remitidas por los ingenieros del Servicio agronómico provincial*. 2 vols, Madrid: Imp. de Hijos de M.G. Hernández.

- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2000), *Libro Blanco del Agua en España*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente.
- MONTANER SALAS, M^a E. (1982), *Norias, aceñas, artes y ceñiles en las Vegas murcianas del Segura y Campo de Cartagena*. Murcia, Editora Regional.
- MOREU, J. L. (2002), “Los problemas de la legislación sobre aguas subterráneas en España: posibles soluciones”, en S. Del Saz, J.M. Fornés y M.R. Llamas (eds.), *Régimen jurídico de las aguas subterráneas*. Fundación Marcelino Botín y Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, pp. 1-46.
- MURCIA VIUDAS, A. (1966), *Investigación de aguas subterráneas en el sudeste español*.
- (1976), *Aguas subterráneas. Prospección y alumbramientos para riegos*. Madrid: Ministerio de Agricultura (1^a ed. 1953).
- NAREDO, J.M. y GASCÓ, J.M. (1990), “Enjuiciamiento económico de la gestión de los humedales. El caso de las Tablas de Daimiel”, *Revista de Estudios Regionales*, 26, pp. 71-110.
- PÉREZ PÉREZ, E. (1982), *Aguas subterráneas. Competencia propia del Instituto Geológico y Minero de España sobre las aguas subterráneas*. Madrid, Ministerio de Industria y Energía.
- PIMIENTA, J. (1973), *La captación de aguas subterráneas*. Barcelona, Ed. Técnicos Asociados.
- PÉREZ PICAZO, M. T. (2000), “Nuevas perspectivas en el estudio del agua agrícola”, *Historia Agraria*, 22, pp. 37-56.
- PUJOL, J.; GONZÁLEZ DE MOLINA, M., FERNÁNDEZ PRIETO, L., GALLEGU, D., y GARRABOU, R. (2001), *El pozo de todos los males. Sobre el atraso en la agricultura española contemporánea*. Barcelona, Crítica.
- RAMÓN MORTE, A. (1995), *Tecnificación del regadío valenciano. Análisis territorial de la difusión del sistema del regadío localizado*. Madrid, MAPA.
- RIVERA MENÉNDEZ, J. (1997), *La política de colonización en el Campo de Dalías (Almería)*, 2 vols. Tesis Doctoral en humanidades, Universidad de Almería.
- RODRÍGUEZ BRITO, W. (1996), *Agua y agricultura en Canarias*, La Laguna, Consejería de Agricultura.
- ROSSELLÓ VERGER, V. (1959), “La huerta de Levante en Palma de Mallorca”, *Estudios geográficos*, XX, 77, pp. 523-578.
- SÁNCHEZ PALLARÉS, A. (1995), *100 años de estudios hidrogeológicos en la huerta de Murcia y valle del Guadalentín (1870-1970)*. Murcia, Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura.
- SÁNCHEZ PICÓN, A. (1997), “Los regadíos de la Andalucía árida (siglos XIX y XX). Expansión, bloqueo y transformación”, *Áreas. Revista de Ciencias Sociales*. 17, pp. 109-128.
- SENENT ALONSO, M. y ARAGÓN RUEDA, R. (1995), “Recursos hídricos subterráneos: situa-

ción actual y gestión futura”, en M. Senent y F. Cabezas Calvo-Rubio (eds.), *Agua y futuro en la Región de Murcia*, Murcia, Asamblea Regional, pp. 105-127.

SEMENT ALONSO, M. y CABEZAS CALVO-RUBIO, F. (eds.), (1995), *Agua y futuro en la Región de Murcia*. Murcia, Asamblea Regional.

SERRA, J. M^a, (s. f.), “Nuevos cultivos de regadío e intensificación de los existentes en la provincia de Alicante”, en *III Congreso Nacional de Riegos ...*, pp. 237-248.

SIMPSON, J. (1997), *La agricultura española (1765-1965): la larga siesta*. Madrid, Alianza.

SOROA, J. M^a. de (1921), *Riegos. Manual de aplicación del agua al cultivo*. Madrid.

VERA MUÑOZ, J. (1990), *Notas sobre el regadío de la región de Murcia*. Murcia, CSIC.

VILANOVA y PIERA, J. (1860): *Manual de geología aplicada a la agricultura y a las artes industriales*. Madrid, Imp. Nacional.

APÉNDICE
MOTORES DE RIEGO POR PROVINCIAS Y COMUNIDADES AUTÓNOMAS EN ESPAÑA,
1932

Provincias / CCAA	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	Total
Coruña					3		3
Lugo						150	150
Orense				12		3	15
Pontevedra							0
GALICIA				12	3	153	168
ASTURIAS						5	5
CANTABRIA	10	2				8	20
Guipúzcoa				81			81
Vizcaya	4			2			6
Álava	4			12		6	22
PAÍS VASCO	8			95		6	109
NAVARRA	111	2	21	132		12	278
LA RIOJA	286		94	92		651	1.123
Palencia	17			4		12	33
Salamanca	68	2	2	5	3	2	82
León	185	4	19	49	3	1	261
Zamora	134						134
Valladolid	350	30	50	1.622			2.052
Burgos	110		2	6		1	119
Ávila	130			15		25	170
Segovia	5			4			9
Soria	11	2	1	5			19
CASTILLA-LEÓN	1.010	38	74	1.710	6	41	2.879
Albacete	30	3	18	65		10	126
Ciudad Real	5	10	10			19	44
Toledo	95	40	80	15	22	40	292
Guadalajara	112	2	6	22		4	146
Cuenca	47		2			9	58
CASTILLA-LA MANCHA	289	55	116	102	22	82	666
MADRID	150	16	17	227	16	27	453
Cáceres	97	11	11	58		3	180
Badajoz	48	6	3	25	2	66	150
EXTREMADURA	145	17	14	83	2	69	330

(Continúa)

(Continuación)

Huesca	7		6	8		4	25
Zaragoza	142		39	110	3	22	316
Teruel	52			28		84	164
ARAGÓN	201	0	45	146	3	110	505
Lérida	113		25				138
Barcelona	180	10	90	750		650	1.680
Tarragona	1.035	6	85	1.851	1	21	2.999
Gerona	780		12	143		537	1.472
CATALUÑA	2.108	16	212	2.744	1	1.208	6.289
Castellón	249	60	127	148	7		591
Valencia	605	126	1.470	1.852	480	310	4.843
Alicante	170	47	107	196	19	200	739
PAÍS VALENCIANO	1.024	233	1.704	2.196	506	510	6.173
MURCIA	223	135	271	388	21	113	1.151
BALEARES	680	15	1.080	576	12	3.124	5.487
Jaén			150	150			300
Granada		8	28	105			141
Málaga	185	5	245	493	6	65	999
Almería	14	18	98	243	15	57	445
Sevilla	21	6	12	376	3	9	427
Córdoba	25	5	10			30	70
Huelva	1			5	2	21	29
Cádiz	18		8	165	1	150	342
ANDALUCÍA	264	42	551	1.537	27	332	2.753
Las Palmas	35	68	53	28	15	585	784
Santa Cruz de Tenerife	192	10	28			40	270
CANARIAS	227	78	81	28	15	625	1.054
							0
ESPAÑA	6.736	649	4.280	10.068	634	7.076	29.443

(1) Gasolina.

(2) Gas pobre.

(3) Aceites pesados.

(4) Eléctricos.

(5) Vapor.

(6) Aeromotor.

Fuente: Elaboración propia a partir de Ministerio de Agricultura (1933), pp. 323-324.



Technological Change in Ground Water Use in Spain During the 20th Century. A Regional View

ABSTRACT

Recent specialized literature emphasizes the importance of water as a constricting factor in Spanish agriculture development. Hence, the emphasis given to the technological change during the last century, that diminished water deficit and stimulated irrigation expansion. This study is a contribution to the literature on the use of ground water for irrigation from the World War. The authors analyze the process of technical innovations applied to ground water irrigation systems and also the economic and environmental involvement in Spanish agrarian systems, particularly in the latest 20th century. The study about the process of technical change follows a regional perspective.

KEY WORDS: Technology, Ground Water, Spain, Regional Analysis.



El cambio tecnológico en el uso de las aguas subterráneas en la España del siglo XX. Un enfoque regional

RESUMEN

La reciente literatura especializada señala la importancia del agua como factor limitante del desarrollo de la agricultura española. De ahí, el énfasis que se ha puesto en el cambio tecnológico del último siglo, que palió los déficit hídricos y actuó como acicate de la expansión del regadío. Este trabajo contribuye al estudio del impulso que cobró el uso de las aguas subterráneas para el riego desde la Primera Guerra Mundial. Los autores analizan el proceso de innovaciones técnicas aplicado a los sistemas de riego con aguas subterráneas y las implicaciones económicas y ambientales que provocó en los sistemas agrarios españoles, destacando sobre todo su impacto en el último tercio del siglo XX. El estudio de proceso del cambio técnico se lleva a cabo desde una perspectiva regional.

PALABRAS CLAVE: Tecnología, Aguas subterráneas, España, Análisis regional.

