

RAMÓN GARRABOU SEGURA  
JOSÉ MANUEL NAREDO PÉREZ (EDS.)

EL AGUA EN LOS SISTEMAS AGRARIOS.  
UNA PERSPECTIVA HISTÓRICA



COLECCIÓN  
ECONOMÍA Y NATURALEZA  
SERIE «TEXTOS APLICADOS»

CAPÍTULO 1  
EL CAMBIO TÉCNICO EN LOS SISTEMAS  
DE CAPTACIÓN E IMPULSIÓN  
DE AGUAS SUBTERRÁNEAS PARA RIEGO  
EN LA ESPAÑA MEDITERRÁNEA\*

Salvador Calatayud Giner  
Universidad de Valencia

José Miguel Martínez Carrión  
Universidad de Murcia

**Introducción**

La escasez de recursos hídricos ha sido durante mucho tiempo uno de los factores esgrimidos por los historiadores en el atraso relativo de la agricultura española. A finales del siglo XIX la cuestión del agua es planteada por los regeneracionistas como un problema agrario «nacional», y, aunque desde entonces el intervencionismo del Estado es el eje de la «política hidráulica» que se diseña en el primer tercio del siglo XX, la realización de grandes obras de riego no llegó a ser efectiva hasta mediados del siglo XX. Mientras tanto, los agricultores, de manera individual u organizados en sociedades, desempeñaron un papel destacado en la expansión del regadío y emplearon en ello todos los medios técnicos a su alcance. La captación y el aprovechamiento de las aguas subterráneas (incluyendo las aguas subterráneas de «capa colgada») constituyó, en mayor medida que la elevación de las aguas superficiales, una de las principales vías para incrementar la capacidad de riego en las primeras décadas del siglo XX<sup>1</sup>. La fórmula se revelaría como un ensayo de lo que aconteció posteriormente. Entre 1955 y 1985 el regadío de aguas subterráneas se multiplicó y superó incluso a la superficie de riego de las aguas superficiales que provenían de los proyectos estatales sobre expansión del regadío.

En este trabajo se muestra que desde finales del siglo pasado se asiste a un proceso de innovaciones técnicas que tiene como objetivo mejorar los sistemas de riego y aumentar las dotaciones de agua de acuerdo con las necesi-

\* Este trabajo forma parte del proyecto DGICYT PS94-0182. Los autores desean expresar su agradecimiento a J. M. Naredo y R. Garrabou por los comentarios vertidos a las primeras versiones de este texto.

<sup>1</sup> Cfr. en GARRABOU, R., C. BARCIELA y J. I. JIMÉNEZ BLANCO (eds.) (1986); SIMPSON, J. (1997).

dades hídricas de los nuevos cultivos. La intensificación de las producciones de cítricos, frutas y hortalizas que se inicia a mediados del siglo XIX no hubiera sido posible sin el incremento de los recursos hídricos. La tecnología de riego utilizada por los agricultores para este fin fue tan variada como lo fue su impacto territorial. Junto a los sistemas tradicionales de regadío, que se incrementan y se perfeccionan, destaca la mecanización y motorización de la captación de aguas subterráneas. El uso de motores de bombeo para riego, aplicado también a las aguas superficiales, constituye el sistema tecnológico más avanzado. En ambos casos se trata de tecnologías asociadas a los pequeños regadíos y al alcance de las iniciativas particulares.

El estudio presenta datos globales y se centra principalmente sobre las regiones mediterráneas donde los nuevos sistemas de captación e irrigación tuvieron mayor difusión y aplicación, ya que dichas regiones experimentaron los procesos de intensificación más notorios de la agricultura española. Los regadíos de Levante presentaban complejos sistemas de rotación de cultivos altamente comerciales desde mediados del siglo XIX y, en consecuencia, disponían de las condiciones idóneas para que las nuevas tecnologías encontraran una mayor receptividad entre los agricultores. Desde 1950-60, las nuevas bases tecnológicas y socioinstitucionales propician un fuerte desarrollo del regadío que beneficia sobre todo a grandes áreas de la España árida. Los secanos de Almería y Murcia protagonizan desde entonces una auténtica transformación, originan procesos de sobreexplotación de acuíferos y soportan una fuerte presión sobre las escasas disponibilidades de agua. El espectacular incremento de las extracciones de recursos hídricos subterráneos que se produce entre 1950 y 1980, se acompañó 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. El riego a manta o por gravedad que venía siendo practicado desde tiempo inmemorial comenzó a quedar obsoleto. En conjunto, las nuevas técnicas supusieron una mejora de la eficiencia de los regadíos y permitieron el crecimiento de la horticultura intensiva.

La información que se suministra en este estudio muestra el desigual impacto que los nuevos sistemas de captación e irrigación tuvieron en las distintas regiones españolas. Al respecto se señalan algunos de los factores que intervinieron en la adopción y su difusión. Las fuentes al uso son desiguales y muy limitadas desde el punto de vista estadístico, pero permiten señalar aspectos de la cronología de las técnicas de impulsión. El punto de partida arranca de la información vertida en la literatura especializada desde mediados del siglo XIX. De este modo, podemos atisbar los cambios tecnológicos producidos antes de la guerra civil. Las estadísticas de 1916 y 1932, publicadas por los ministerios de Fomento (1918) y Agricultura (1933) respectiva-

mente, y de la década de 1950, publicadas por el INE en sus Reseñas provinciales, sirven de base para algunas comparaciones. La primera de ellas es la más completa de todas pues diferencia las técnicas empleadas entre los sistemas de aguas superficiales y subterráneas y proporciona información sobre la superficie regable. Los datos de 1932 y de los años cincuenta son generales y los últimos ni siquiera presentan información desagregada para todas las provincias sobre los motores y bombas instaladas para riego. Para el período de 1950 a 1980, además de la información general sobre el proceso de motorización de la agricultura de riego, se suministran datos sobre las nuevas técnicas aplicadas a los nuevos regadíos en las provincias de la España árida.

### 1. Las técnicas tradicionales de captación de aguas y la mejora de sus aplicaciones para el regadío

Entre los artefactos tradicionales más difundidos para la captación de aguas se encontraban las norias y toda una gama de instrumentos o bombas manuales que se aplicaban a pozos de poca profundidad. La noria en muchos casos elevaba el agua somera a menos de un metro de profundidad, disponible por la vegetación aunque difícilmente utilizable por los cultivos: la elevación y el riego sólo pretendían en este caso mejorar la disponibilidad del agua para el cultivo. Las norias árabes o romanas, *sènia*, aceña, cenia o ceña según la terminología local, tenían una larga tradición en España<sup>2</sup>. La importancia de su difusión en la geografía española ha quedado recogida en numerosos estudios etnográficos y su aplicación a la captación de aguas subterráneas está bien documentada en 1916. Según el censo de ese año las norias suponían la mitad aproximadamente de la maquinaria de extracción de recursos hídricos subterráneos (cuadro 1.1) y estaban muy arraigadas en las zonas del interior y en las regiones mediterráneas (cuadro 1.3)<sup>3</sup>. Durante siglos habían posibilitado la expansión del regadío en pequeña escala y cooperado en los procesos de intensificación agrícola, siendo unos artefactos al alcance, en la mayoría de los casos, de propietarios con escasos recursos. Desde el punto de vista tecnológico presentaban una cierta diversidad más allá de su característica común —la construcción en madera: mayor o menor solidez y tosquedad de los elementos constitutivos, sobre todo en lo que respecta a las piezas de rozamiento, cuyo desgaste era uno de los problemas centrales que condicionaba la eficiencia de las norias. Las diferencias existentes en las características de los engranajes, ejes, puentes y cojinetes, en la regularidad de las ruedas, etc., debían repercutir en los resultados. La heterogeneidad venía dada por el hecho de que eran los carpinteros y los herre-

<sup>2</sup> CARO BAROJA, J. (1954).

<sup>3</sup> Las cifras recogidas en el cuadro 1.2 son superiores a las obtenidas en los cuadros 1.1 y 1.3 debido a que en el primero se incluye superficie que en la fuente no se atribuye a ningún sistema de captación de aguas para riego.

Cuadro 1.1

## ARTEFACTOS PARA RIEGO EN ESPAÑA, 1916

	Aguas superficiales		Aguas subterráneas	
	N.º	Ha	N.º	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 <sup>a</sup>	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

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

<sup>a</sup> 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. El total de bombas incluye estas cifras de Valencia, que no hemos podido desagregar por tipos de motores.

Cuadro 1.2

## SUPERFICIE REGADA (HA) CON USO DE MAQUINARIAS Y POZOS ARTESIANOS POR ÁREAS EN ESPAÑA, 1916

	Aguas		Total superficie regada		
	Subterráneas (1)	Superficiales (2)	(1) + (2) (3)	(4)	$3/4 \times 100$ (5)
Norte	14	30	44	135.517	0,03
Interior	70.596	16.275	86.871	692.558	12,54
Mediterráneo	42.212	6.704	48.916	313.845	15,58
Sur	9.728	4.250	13.978	218.077	6,40
Canarias	175	—	175	6.444	2,71
ESPAÑA	122.725	27.259	149.984	1.366.441	10,97

Fuente: Ministerio de Fomento (1918), 2 vols., elaboración propia.

Nota: La división por áreas comprende las siguientes regiones: Norte: Galicia, Asturias, Cantabria, País Vasco (excepto Álava). Interior: Castilla y León, Castilla-La Mancha, Madrid, Navarra, Álava, La Rioja, Extremadura, Aragón y la provincia de Lleida. Mediterráneo: Cataluña (excepto Lleida), País Valenciano, Baleares, Murcia. Sur: Andalucía.

Cuadro 1.3

## MÁQUINAS Y SUPERFICIE REGADA EN AGUAS SUBTERRÁNEAS, 1916

	Manual		Norias		Bombas		Pozos artesianos	
	N.º	Ha	N.º	Ha	N.º	Ha	N.º	Ha
Norte	73	5	2	2	30	7	—	—
Interior	10.285	1.514	30.239	40.185	109	376	40	25.200
Mediterráneo	200	240	11.547	16.529	5.586	18.864	116	1.528
Sur	280	10	3.499	3.432	170	2.422	9	201
Canarias	—	—	—	—	74	175	—	—
Total	10.838	1.769	45.287	60.148	5.969	21.844	165	26.929

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

ros de los pueblos quienes las construían y las adaptaban a las condiciones sociales, económicas y ambientales de la zona.

La noria es el arquetipo del aprovechamiento hidráulico tradicional y, lejos de ser arrinconada o sustituida por los nuevos artefactos, fue adaptándose de acuerdo con los patrones de la modernización tecnológica. El hecho se pone de manifiesto desde mediados del siglo XIX y cobra su mayor empuje con el cambio de siglo. Las limitaciones técnicas que imponían sus mecanismos, contruidos con madera y barro cocido—caso de los arcaduces— en su mayoría y que restringían la capacidad de extracción, fueron superadas modificando aquellos elementos susceptibles de mejora técnica. Básicamente, las limitaciones eran de orden técnico y energético. A medida que se aceleraron los procesos de intensificación agrícola y aumentaron las necesidades hídricas, debió de aumentar la frecuencia de las averías por roturas y desgaste de las piezas. Este problema, junto a la exigencia de una excesiva fuerza de tracción en relación con la carga elevada, hacían que mermara la eficiencia en el uso de la energía utilizada—los animales de tiro— y se redujera la capacidad de extracción.

Las mejoras introducidas en la noria tradicional consistieron en: i) la adopción del hierro en la fabricación de las piezas sometidas a mayor rozamiento y de engranajes cónicos en lugar de linterna con clavijas de madera; ii) la separación, mediante un eje común, del engranaje y el carro transportador de la carga y construcción de éste en hierro; iii) y la sustitución de la maroma de esparto y de los arcaduces de barro, denominados cangilones, por una cadena y unos recipientes de hierro. Los resultados aventajaban el sistema primitivo, por reducirse el excesivo rozamiento y por aumentar la eficiencia en la transmisión de la fuerza rotatoria, exigiendo menos fuerza y presentando una mayor capacidad, seguridad y longevidad<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> ABELA, E. J. (1898), p. 222; CALATAYUD, S. (1990).

Durante el primer tercio del siglo XX, las norias presentan por el coste de su instalación y reparación una enorme utilidad para los agricultores modestos y cierta eficiencia para la economía campesina del regadío; de hecho los especialistas siguieron recomendando la noria para los riegos de reducida extensión, aquellos cuya exigencia energética para la elevación no superara los 2 caballos de vapor (en adelante, cv)<sup>5</sup>. Los inconvenientes tales como la pérdida de energía por los rozamientos, la imperfección y el desgaste de los engranajes, así como el hecho de elevar el agua a una altura mayor que la del suelo receptor, se veían compensados por las ventajas: «[...] es un mecanismo tan sencillo, tan fácil de ser reparado y de ser llevado de una a otra parte, que lo hace recomendable en términos generales»<sup>6</sup>. Se trataba de las norias de hierro. Los nuevos modelos fabricados por la industria ofrecían un conjunto amplio de posibilidades que permitían adaptarse a circunstancias y necesidades diversas.

Los datos de las estadísticas de 1916 y 1932 revelan la importancia de estos artefactos. Los primeros muestran la amplia extensión de superficie que regaban en proporción a las nuevas máquinas de bombeo. La noria era la máquina más utilizada en 1916: un mínimo de 48.000 aparatos en el conjunto del Estado, la mayoría de ellos aplicados a pozos y extracción de aguas subterráneas (cuadro 1.1). En 1932, la cifra aumenta hasta alcanzar la cantidad de 72.725 norias. La evolución seguida por estos artefactos tras la primera guerra mundial no fue unidireccional. En algunas provincias donde se hallaban muy difundidas, su presencia disminuyó a favor de los motores; es el caso de Ciudad Real, Mallorca o Castellón. En la mayor parte de la Península, la tendencia fue de crecimiento, hecho que se prolongó hasta la década de 1950 en bastantes áreas del Interior y en el Mediterráneo. Los datos de 1950-60, obtenidos de las respectivas Reseñas provinciales que edita el INE, no son completos y probablemente sean poco fiables, pero la evolución seguida en las provincias de Castilla y León, Extremadura, País Valenciano y en otras es inequívocamente alcista. La eficiencia alcanzada en los riegos y el coste de instalación la convierten en el artefacto preferido del pequeño agricultor. La noria pudo adaptarse cómodamente a las condiciones ambientales del terreno y a las características y necesidades hídricas de las pequeñas explotaciones campesinas. Tras las dificultades energéticas y de obtención de maquinaria durante la posguerra, la situación antes descrita debió acentuarse y pudo ser uno de los factores que retardó la sustitución de norias por motores de bombeo con mayor capacidad de extracción.

La información disponible revela que el proceso inicial de modernización tecnológica no fue exclusivo del País Valenciano. El fenómeno se

<sup>5</sup> GUILLÉN, G. J. DE (1905), p. 396.

<sup>6</sup> De SOROA, J. M. (1921), pp. 97-98.

había extendido a otras regiones mediterráneas y también había arraigado en zonas del interior en las dos primeras décadas del siglo XX. Aunque las fuentes estadísticas no ofrecen datos al respecto, diversas indicaciones permiten deducir que las nuevas norias estaban muy difundidas en 1916, particularmente donde el uso de este procedimiento de elevación era importante. En referencia a Ciudad Real, provincia donde se concentraba nada menos que el 44% de los artefactos instalados en España: «las norias que se emplean son de las más perfeccionadas, generalmente de fundición, con cangilones de barro o de chapa de palastro galvanizado»<sup>7</sup>. En cambio, en aquellos lugares donde el empleo de norias era escaso o marginal, la modernización se había difundido poco. Así ocurría en Cuenca, donde «son de tipo primitivo, de madera todo su armazón y arcaduces de barro, siendo contadísimas las que tienen ruedas y cangilones de hierro»<sup>8</sup>.

La ventaja de las modernas norias de hierro sobre las antiguas de madera parece evidente si se generaliza el cálculo realizado en Sevilla sobre la mejora en el aprovechamiento energético: las norias de hierro aprovechaban el 70-80% de la fuerza generada por los animales de tiro, frente a un 50% como máximo en los viejos aparatos de madera. Sin embargo, la permanencia de norias antiguas parecía justificada a los agrónomos cuando se trataba de regar extensiones reducidas; en Baleares, por ejemplo, se decía que «a pesar de los múltiples inconvenientes del sistema y de lo imperfecto de su construcción, estas máquinas se encuentran muy extendidas debido a la economía de su instalación y a la facilidad con que puede ser reparado cualquier desperfecto»<sup>9</sup>. La facilidad de reparación sería un factor a tener en cuenta allí donde la escasa presencia de talleres mecánicos y operarios cualificados creaba barreras para la adopción de norias de hierro.

Además de las norias existían otras máquinas accionadas por la fuerza animal para captar aguas subterráneas. Es el caso del rosario hidráulico: una cadena de hierro con tapones de caucho sujetos a una distancia regular que se hacía pasar por el interior de un tubo cuyo extremo se encontraba sumergido en el pozo. Aunque en la documentación no aparece reflejada su aplicación en ninguna provincia —probablemente por estar englobados con las norias—, existían algunos. La fuerza animal podía aplicarse también a una bomba mediante un sistema de malacate semejante al de las norias. Esta solución permitía maximizar el aprovechamiento energético de los animales al poderse situar la bomba dentro del pozo y, por lo tanto, próxima al agua. Estas bombas de pequeño tamaño presentaron muchos inconvenientes antes del siglo XX por «exigir mayor cuidado de conservación, descomponerse con mayor facilidad, exigir obreros especia-

<sup>7</sup> Ministerio de Fomento (1918), vol. I, p. 60.

<sup>8</sup> *Ibidem*, p. 130.

<sup>9</sup> *Ibidem*, p. 349.

les para las reparaciones, y deteriorarse rápidamente por las arenas que llevan en suspensión las aguas»<sup>10</sup>.

El escaso peso de los métodos manuales, según reflejan los cuadros para 1916, no debe ocultar el hecho de que eran muy numerosos en algunas regiones septentrionales y del interior como Aragón, Castilla y León y el País Vasco<sup>11</sup>. Aunque el instrumento más utilizado era el cigñal o cigüeñal<sup>12</sup> aplicado sobre todo a pozos de poca profundidad, también se utilizaban bombas manuales en Galicia o Álava 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 *carabastí*, era un sencillo artefacto de madera normalmente destinado a elevar o trasladar aguas superficiales.

Los regadíos de poca extensión podían abastecerse también mediante molinos de viento. La amplia presencia de este sistema en las granjas norteamericanas era un argumento esgrimido frecuentemente por los especialistas. Su ventaja residía en el tipo de energía utilizada, que reducía los costes al mantenimiento (engrasado y pequeñas reparaciones). Los inconvenientes eran importantes: la irregularidad en su funcionamiento y en la intensidad del mismo, de acuerdo con el régimen de vientos. Esta irregularidad no era tan grave cuando los molinos se aplicaban a la desecación de terrenos, como en Holanda, pero sí tratándose del riego. Éste requiere una cantidad determinada de agua en un tiempo fijo. La solución era disponer de un depósito para almacenar el agua pero esto encarecía el coste de instalación.

## 2. La difusión de los nuevos sistemas de captación de aguas antes de la guerra civil: los motores de bombeo

En la segunda mitad del siglo XIX tuvieron lugar importantes cambios tecnológicos que modificaron y cambiaron las formas tradicionales de captación e impulsión de aguas. La oferta de maquinaria al alcance de los agricultores vino determinada por los nuevos sistemas de perforación, ya que los pozos alcanzaron una dimensión hasta entonces desconocida, y la aplicación de motores y bombas, que supuso incrementar la potencia energética necesaria para elevar y conducir el agua hasta límites inusuales. Las nuevas condiciones de la oferta de maquinaria de riego se habían debido en buena parte a la presión de la demanda, en particular a la situación de bloqueo de los recursos hídricos. No hay que olvidar que gran parte de la difusión de estos

<sup>10</sup> LLAURADÓ, A. (1878), p. 268.

<sup>11</sup> De todos modos se trata del sistema más susceptible de haber escapado al recuento, dada su escasa visibilidad y lo limitado de las superficies regadas.

<sup>12</sup> Balancín en Álava; palanca en Girona.

nuevos artefactos estuvo determinada por el agotamiento de las posibilidades técnicas de aprovechamiento de las aguas superficiales. La capacidad de riego con acequias y canales había tocado fondo y, aunque eran todavía útiles en las zonas tradicionales de huerta, la expansión de los nuevos cultivos, sobre todo agrios y frutales, requería la intervención de los nuevos procedimientos ya que la superficie de cultivo se había desplazado a zonas con el manto freático más profundo y crecientes desniveles topográficos.

Frente a la baja intensidad energética y el bajo coste de instalación de los sistemas de riego tradicionales, los motores y las bombas implicaban a menudo fuertes desembolsos de capital y un consumo elevado de energía. Ésta era tan diversa como las tecnologías al uso. La difusión de los nuevos sistemas de riego siguió las pautas de la motorización asociadas al proceso de industrialización<sup>13</sup>. La secuencia seguida se ajustaba a un patrón general pero no fue en la misma dirección en todas partes. Primeramente comenzaron a difundirse los motores de vapor y las turbinas, para dar paso, con el cambio de siglo, a los motores de gas pobre, aceites pesados, eléctricos y gasolina. Además de los motores se desarrollaron materiales que permitieron construir tuberías capaces de resistir varias atmósferas de presión, cuya ausencia constituyó el principal factor que limitaba la posibilidad de elevar agua a grandes alturas. La difusión de muchos de estos motores dependió de las condiciones geofísicas y ambientales de los terrenos y de las implicaciones socioeconómicas e institucionales de las explotaciones agrícolas. La disponibilidad de fuentes de energía, caso de la electricidad, condicionó su adopción y retrasó en algunos casos su generalización entre las comunidades campesinas hasta 1950-60.

La aplicación de bombas a las aguas subterráneas pudo verse favorecida en algunos casos por las tempranas perforaciones de pozos artesianos. Los primeros ensayos datan de la década de 1830<sup>14</sup> y en las siguientes se llevan a cabo numerosos sondeos por todo el territorio; a tal fin se crean sociedades con el ánimo de explotar fincas con acceso al riego. A la altura de 1916 la construcción de pozos artesianos había tenido una difusión limitada. La profundidad de los mismos y las condiciones de las aguas exigían la instalación de motores de bombeo. Los informes de ese año reiteran el fracaso con que se saldó la mayor parte de las tentativas y el efecto disuasorio que tuvo sobre posteriores iniciativas. En las provincias del sureste español, las exploraciones se vieron favorecidas por la experiencia minera en sondeos y perforaciones. Su éxito dependía de las condiciones estratigráficas del terreno. En la huerta de Murcia proliferaron ensayos afortunados desde la década de 1870, contabilizándose más de 100 antes de 1900<sup>15</sup>. La profun-

<sup>13</sup> GARRABOU, R. (1985), p. 53.

<sup>14</sup> LÓPEZ GÓMEZ, A. (1974), p. 196.

<sup>15</sup> Ver BENTABOL y URETA, H. (1900), pp. 235-237.

didad media de los pozos era de 35 metros, con un surtido medio de 8 a 9 litros por segundo y con una elevación máxima de un metro sobre el terreno. Las perforaciones exigieron potentes máquinas de sondeos de percusión accionadas por vapor de 15-20 cv, habida cuenta que en ocasiones alcanzaban los 200 metros de profundidad.

Las bombas eran conocidas desde antiguo pero con la aplicación de la máquina de vapor recibieron un impulso decisivo. Desde mediados del siglo XIX los técnicos habían venido considerando que para elevaciones superiores a 6 metros había que emplear bombas en lugar de norias<sup>16</sup>. Las opciones variaban en función del tipo de bomba y del motor destinado a accionarla. La bomba de pistón parece ser la más difundida en un primer momento. Hacia la década de 1870 abundaban las llamadas bombas aspirantes-impelentes (o angloamericanas), tanto de uso manual como movidas por tracción mecánica. Las bombas de pistones permitían elevar agua a grandes alturas pero presentaban algunos inconvenientes: dificultad y carestía de la instalación, complejidad del mantenimiento y vulnerabilidad cuando el agua llevaba arena o barro en suspensión. Por ello, a principios de siglo su uso parece restringirse a explotaciones que precisaran elevar un pequeño caudal a grandes alturas<sup>17</sup>.

Los avances técnicos acabaron por imponer la bomba centrífuga en las primeras décadas del siglo XX. Hacia 1913 se afirmaba: «Hace veinte años, la bomba centrífuga era considerada en el arte del ingeniero como cantidad casi despreciable, pero desde entonces ha sido tan cuidadosamente estudiada, que hoy es la más empleada y hay instalaciones que sin ellas no hubieran podido ejecutarse»<sup>18</sup>. Sus ventajas residían en la sencillez del mecanismo sin válvulas y con menores rozamientos, lo que abarataba su coste de adquisición y mantenimiento<sup>19</sup>. Además, poseían una gran capacidad de adaptación a alturas variables de elevación mediante la regulación de la velocidad, podían elevar un gran volumen de agua y la arena en suspensión no afectaba al mecanismo.

El motor aplicado en los primeros momentos a las bombas fue la máquina de vapor. Hacia 1880 se recomendaban para el riego las máquinas verticales y de alta presión<sup>20</sup>, con mayor consumo de carbón que las máquinas horizontales pero de más fácil manejo por no requerir operarios muy cualificados. La adopción del vapor aparecía como el signo del progreso agrícola. La abundante oferta industrial de máquinas de vapor móviles (locomóviles) hacía concebir esperanzas de un aprovechamiento diversificado de las mismas: en verano para las operaciones de riego y en el resto del año para diversas labores agrícolas y de transformación.

<sup>16</sup> Ello era especialmente recomendado para las explotaciones naranjeras del valle del Júcar, que se ubicaban en piedemontes donde la capa freática se encontraba más profunda, GINER ALIÑO, B. (1893), p. 98.

<sup>17</sup> MILANO, M. (1914), p. 8M.

<sup>18</sup> *Ibidem*, p. 9M.

<sup>19</sup> Cfr. en LLAURADÓ, A. (1878).

<sup>20</sup> Cfr. en ECHARRY, A. (1879), p. 205.

La aparición de los motores de gasolina, gas pobre y eléctricos hizo que los vapores fueran progresivamente desplazados. Las máquinas a vapor fueron desaconsejadas por los técnicos, excepto para explotaciones de gran tamaño<sup>21</sup>. Los inconvenientes eran, básicamente, la carestía del combustible, la exposición a averías al estar en manos de personal poco o nada cualificado y sobre todo la dificultad de reparación en zonas rurales<sup>22</sup>. Era frecuente la rotura de la biela y su manejo inadecuado reducía de modo considerable la vida activa de la caldera. La solución era disponer de un maquinista cualificado pero su mantenimiento sólo estaba al alcance de los regadíos de cierta importancia con un número elevado de horas de trabajo al año. En algunos casos, la resistencia del vapor a ser desplazado vino por su mejora y perfeccionamiento técnico, y se adaptó así a las necesidades de determinadas explotaciones agrarias como señalan los especialistas: «las máquinas de vapor de movimiento alternativo han llegado a tan alto grado de perfeccionamiento que todavía sostienen brillantemente la competencia con todos los motores térmicos modernos»<sup>23</sup>. La mejora de estas máquinas con la generalización del vapor recalentado las hacían todavía rentables en determinadas explotaciones agrícolas. El hecho es visible en el Levante español. En 1932 el 80% de las máquinas de vapor instaladas en España se encontraban funcionando en el País Valenciano y la mayoría de ellas en la provincia de Valencia. Sin embargo, las instalaciones eléctricas constituían la opción mayoritaria y eran cada vez menos las de vapor que se instalaban. En 1936, se reconocía que eran pocas las instalaciones existentes de este tipo y se aconsejaba su uso «para abastecimientos de gran importancia»<sup>24</sup>.

Los motores de explosión a gasolina se enfrentaban al problema de la carestía del combustible en España, superior a la del carbón. De todos modos, los motores Diesel, de gran difusión desde la Exposición de Milán de 1906, ofrecían grandes esperanzas a los técnicos si se incrementaba, como de hecho estaba sucediendo, la producción española de combustible<sup>25</sup>. Por su parte, los motores de gas pobre presentaban problemas de funcionamiento y exigían personal cualificado, pero podían utilizar combustibles muy diversos: desde carbón hasta subproductos de la actividad agrícola, como el orujo de la aceituna o la cáscara de almendra. Por este motivo, los motores de gas eran la opción recomendada en determinados medios técnicos, habida cuenta del menor consumo de combustible y siempre que el agua no llevara materia en suspensión que pudiera acarrear algunos problemas de funcionamiento<sup>26</sup>.

<sup>21</sup> GUILLÉN, G. J. DE (1905), p. 492.

<sup>22</sup> *Ibidem*, p. 397.

<sup>23</sup> MILANO, M. (1914), p. 10M.

<sup>24</sup> FERRER, R. (1936), p. 184.

<sup>25</sup> MILANO, M. (1914), p. 12M.

<sup>26</sup> GARCÍA ROS, L. (1922), p. 123; GUILLÉN, G. J. DE (1905), pp. 488-489.

Los motores eléctricos contaron desde su aparición con el juicio favorable de los especialistas, que resaltaban la facilidad de manejo, el bajo coste de mantenimiento e incluso de adquisición, y el hecho de constituir una sola máquina juntamente con la bomba. El motor trifásico acoplado a una bomba centrífuga era considerado «el grupo elevatorio más sencillo, económico, fácil de instalar y de manejar que pueda emplearse»<sup>27</sup>. Sin embargo, su limitación era evidente: la disponibilidad de energía eléctrica era muy baja en la mayor parte del territorio, especialmente en las zonas rurales, y la marcada estacionalidad de la demanda de electricidad que generaba el riego —concentrada en unos meses al año— encarecía el abastecimiento. Por otra parte, las interrupciones en el fluido y las oscilaciones del voltaje hacían pensar a muchos técnicos que los motores térmicos ofrecían mayor seguridad y autonomía a la explotación<sup>28</sup>.

Como se ha dicho, las bombas constituían el sistema técnicamente más avanzado, sobre todo porque implicaban casi siempre el uso de nuevas formas de energía. La distribución regional muestra, en 1916, una concentración mayor que en el caso de las norias: sólo tres regiones, Baleares, País Valenciano y Murcia, reunían el 91,9% de las bombas para extracción de aguas subterráneas que se encontraban instaladas en España. Sin duda cuanto mayor era el nivel de complejidad técnica, más decisivo era el papel que desempeñaban los efectos acumulativos derivados de la existencia de canales de comercialización, asesoramiento técnico y facilidades de reparación. Existían grandes diferencias por su complejidad técnica y a menudo su difusión estaba asociada a la disponibilidad de las distintas fuentes energéticas del país. Las bombas de pistón accionadas con molinos de viento eran abundantes en Baleares y, aunque hacían uso de una modalidad energética tradicional, se adaptaban muy bien a las condiciones atmosféricas de las islas. En general, regaban superficies reducidas (1 ha como media) y sustituían a las norias cuando el propietario tenía recursos para hacerlo, puesto que el ahorro energético parecía ser importante<sup>29</sup>. Su presencia era también considerable en el Campo de Cartagena.

Las bombas accionadas con gas pobre, vapor y gasolina tenían una presencia muy semejante en 1916. En cambio, las accionadas con motores eléctricos eran más numerosas a pesar de que la disponibilidad de energía constituía una restricción importante. Sin embargo, su difusión estaba claramente asociada a las zonas de producción de electricidad y no dependía por tanto de la elección del usuario. Como es lógico, existían más facilidades en aquellos lugares donde la concentración urbana o industrial favore-

<sup>27</sup> MILANO, M. (1914), p. 10M.

<sup>28</sup> GARCÍA ROS, L. (1922), p. 123.

<sup>29</sup> Ministerio de Fomento (1918), vol. I, p. 353.

cía la producción de electricidad. Es el caso del litoral barcelonés, donde la disponibilidad de energía de la Sociedad de Riegos y Fuerza del Ebro propició la adopción generalizada de bombas eléctricas<sup>30</sup>. También en Valencia el elevado número de estas bombas se relaciona con la disponibilidad energética<sup>31</sup>. Por el contrario, su expansión estaba limitada allí donde no concurrían estas circunstancias: en Castellón se encontraban «en escaso número... por falta de energía»<sup>32</sup>. El predominio de los motores eléctricos en muchas provincias era patente en 1932. Le seguían en importancia los de gasolina y aceites pesados. Los motores de gas pobre fueron sustituidos a lo largo de la década de 1920 cuando la oferta de energía eléctrica se fue generalizando. Aunque las estadísticas de 1932 no especifican su aplicación al tipo de aguas, parece razonable sostener que la gran mayoría de las bombas para riego estaba dirigida a la extracción de aguas subterráneas (cuadro 1.4). Entre 1916 y 1932 se había producido un gran salto en la difusión de los nuevos sistemas.

Cuadro 1.4

MOTORES DE RIEGO EN ESPAÑA, 1932

	<i>Aeromotor</i>	<i>Vapor</i>	<i>Gas pobre</i>	<i>Gasolina</i>	<i>Aceites pesados</i>	<i>Eléctricos</i>	<i>TOTAL</i>
Norte	166	3	2	14	—	95	280
Interior	998	49	128	2.309	406	2.504	6.394
Mediterráneo	4.955	540	399	3.922	3.242	5.904	18.962
Sur	332	27	42	264	551	1.537	2.753
Canarias	625	15	78	227	81	28	1.054
Total	7.076	634	649	6.736	4.280	10.068	29.443

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

### 3. La expansión de los pozos de aguas subterráneas hasta la Ley de 1985

La guerra civil y la política agraria del primer franquismo truncaron el proceso de expansión del regadío que se venía desarrollando en el primer tercio del siglo XX. La etapa de 1936 a 1955 supone la ruptura de un

<sup>30</sup> Ministerio de Fomento (1918), pp. 266-267.

<sup>31</sup> La provincia era la primera del Estado en número de centrales eléctricas y la tercera en kw producidos en 1933; *vid.* HERNÁNDEZ ANDREU, J. (1981).

<sup>32</sup> Ministerio de Fomento (1918), p. 389.

modelo de crecimiento agrario que venía liderado por la agricultura intensiva de riego desde finales del siglo XIX en las regiones mediterráneas<sup>33</sup>. En la década de 1940, las rigideces en el suministro de energía eléctrica, la escasez de combustibles y repuestos para máquinas y motores de explosión y, sobre todo, la caída del comercio exterior de los productos alimenticios provocaron dificultades para la agricultura de exportación que había arraigado en las regiones de Valencia y Murcia. La autarquía trajo consigo el aislamiento y el estancamiento del sector agrario. Las consecuencias para la agricultura especializada de regadío, que tenía su mirada puesta en los mercados exteriores, fueron desastrosas y se prolongaron hasta comienzos de la década de 1950, en que la política económica del régimen de Franco comenzó a dar tímidas señales de liberalización.

Una de las consecuencias más visibles fue la paralización del proceso de modernización tecnológica en los sistemas de riego y el reforzamiento del equipo técnico más tradicional y de menor consumo energético. El proceso de sustitución de viejas norias por motores de bombeo que se había intensificado desde la década de 1920 debió moderarse por falta de equipamiento y escasez de combustible. En estas condiciones, no es extraño observar un aumento de las norias en gran parte de las regiones españolas. Entre 1932 y 1962 el número de norias pasa de 72.725 a 85.306 y su mayor incidencia se registra en las regiones del Interior, La Mancha y Castilla y León. Aunque el proceso de cambio tecnológico no está suficientemente estudiado para la etapa del primer franquismo, la información recogida sobre motores elevadores de aguas subterráneas en la provincia de Valencia desde 1941 a 1955 sugiere que las consecuencias de la posguerra no fueron tan negativas como cabría esperar. Los datos revelan que el número de motores eléctricos instalados entre 1941 y 1951 fue espectacular si se compara con los de la década siguiente. El caso de Valencia pudo ser excepcional.

La liberalización progresiva del régimen franquista en la década de 1950 condujo a un mayor abastecimiento de insumos en el sector agrario, que se vio impulsado por el crecimiento de los mercados de consumo interno y las exportaciones. A los factores de demanda se sumaban los de oferta. La disponibilidad de fuentes energéticas y de maquinaria para riego posibilitó la expansión de las superficies de regadío. Una gran parte de los secanos comenzó a transformarse en regadío mediante la captación de aguas subterráneas. El crecimiento de la superficie regada por pozos fue notable desde 1960: 359.316 ha en 1972, 749.074 ha en 1982 y 919.461 ha en 1993. Una estimación realizada por el ingeniero agrónomo Andrés Murcia para 1971 corregía al alza la primera cifra y la elevaba a

<sup>33</sup> GARRABOU, R. (1997); BARCIELA, C. (1997).

517.700 ha<sup>34</sup>. En cualquier caso, el avance ha sido significativo si se contrasta con las 122.725 ha estimadas en 1916. La vertiente mediterránea, sobre todo el sureste, y la España insular han venido a ser las zonas de mayor aprovechamiento, dada la escasez de recursos hídricos y la expansión de la demanda agrícola de agua.

La explotación de los acuíferos se intensificó desde 1955. El número de pozos creció a un ritmo vertiginoso en las regiones mediterráneas y, en particular, en las zonas de la España árida o semiárida. Hasta 1970, la iniciativa privada había conducido a la explotación de 210.000 captaciones de aguas subterráneas<sup>35</sup>. En Murcia y Valencia, los datos que hemos recogido sobre las instalaciones elevadoras de aguas subterráneas procedentes de los antiguos Registros de Minas, muestran un fuerte incremento entre 1955 y 1985, y, sobre todo, en la primera de las provincias. Entre los campos del litoral levantino, destacaron Dalías (Almería), Águilas-Mazarrón-Lorca y el Campo de Cartagena (Murcia), que conocieron un espectacular crecimiento del área regable por este mecanismo<sup>36</sup>. Los períodos más intensos de alumbramientos de aguas documentados en la región de Murcia tienen lugar en los años 1956-1965 y 1978-1985, con un ritmo anual de 170/200 pozos en el primer período, y una media de 400 en el segundo (gráfico 1.1). A partir de este período, las concesiones se detuvieron al entrar en vigor la Ley de Aguas de 1985 que declaró el recurso agua de propiedad pública, incluidas las aguas subterráneas. La Ley no derogó los derechos adquiridos por las anteriores Leyes de 1866 y 1879, y los respeta por un plazo de 50 años. A comienzos de los años noventa, las concesiones de instalaciones elevadoras prosiguieron, pero en esta ocasión lo hicieron por los efectos que ocasionó la sequía de esos años<sup>37</sup>.

La expansión del regadío debida a la explotación de los acuíferos entre las décadas de 1950 a 1980 debe contemplarse como un síntoma de capitalización de la agricultura, dado el coste de inversión inicial que suponía la exploración de pozos a gran profundidad. La iniciativa de los sondeos partía, como en las primeras décadas del siglo XX, de los grandes propietarios y las comunidades de regantes y cobran ahora mayor protagonismo las sociedades mercantiles y las cooperativas. También fue decisiva la intervención del Estado a través del Instituto Nacional de Colonización (INC), cuyas competencias pasarían al IRYDA en 1973. El *salto adelante* que protagonizan los regadíos de aguas subterráneas desde mediados de los años cincuenta debe ponerse en relación con el apoyo institucional que pro-

<sup>34</sup> Cfr. de 1972 y 1982, *Censos agrarios*; 1993, en MARTÍNEZ BELTRÁN, J. (1993), p. 32; datos de MURCIA VIUDA, A. en ANIM (1978).

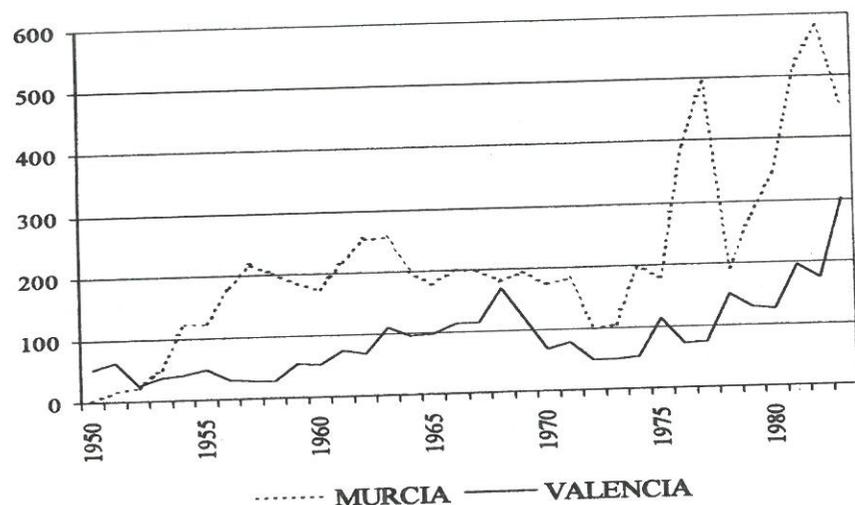
<sup>35</sup> Asociación Nacional de Ingenieros de Minas (ANIM) (1978), p. 31.

<sup>36</sup> Para Almería, ver SÁNCHEZ PICÓN, A. (1997); para Murcia, SENENT ALONSO, M. y R. ARAGÓN RUEDA (1995).

<sup>37</sup> SENENT ALONSO, M. y F. CABEZAS CALVO-RUBIO (1995), CES (1995).

Gráfico 1.1

EVOLUCIÓN ANUAL DE POZOS-SONDEO PARA CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN MURCIA Y VALENCIA, 1952-1985



mueve el INC. Este organismo declara en 1954 de «alto interés nacional y de reconocida urgencia» los trabajos de investigación y alumbramiento de aguas para regadíos. En 1955, se crea una Comisión Especial de los ministerios de Obras Públicas, Industria y Agricultura para el «aprovechamiento total de las cuencas de los ríos o unidades geográficas determinadas», y se crean normas sobre utilización de aguas subterráneas destinadas a riego<sup>38</sup>. Murcia y Canarias son las primeras regiones en donde se regula el aprovechamiento y alumbramiento de aguas.

Las investigaciones geológicas de los terrenos y las mejoras técnicas de perforación y bombeo tuvieron bastante que ver con el éxito de los sondeos y pozos perforados a gran escala durante la década de 1960. En el campo de las investigaciones destacó la labor de estudio desempeñada conjuntamente por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y el INC entre 1960 y 1962. El proyecto regional de mayor envergadura fue el estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalquivir (1966-1969). Le siguió el de la comarca Cazorla-Hellín-Yecla (1969-1972). Hasta entonces sólo se habían realizado estudios concretos y con carácter localista. La provincia de Murcia se convirtió en un laboratorio nacional al aplicarse allí las primeras metodologías hidrogeológicas de uso común en la actualidad, que supusie-

<sup>38</sup> PÉREZ PÉREZ, E. (1982).

ron el abandono progresivo de las prácticas tradicionales de los zahoríes (varas, péndulos, venas subterráneas, etc.). El primer bombeo de ensayo con las nuevas técnicas metodológicas se llevó a cabo en Mazarrón en 1961<sup>39</sup>. Desde entonces, los estudios hidrogeológicos de zonas y cuencas se inscribieron en el Programa Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS, 1972), en los que colaboraban el IGME (actualmente Instituto Tecnológico Geominero de España, ITGE) y el IRYDA, en el Programa Nacional de Estudios para Gestión y Conservación de Acuíferos (PGCA, 1976) y, finalmente, en los Planes Hidrológicos de las respectivas cuencas. El objetivo común a todos ellos era dotarse de una infraestructura en la que pudieran apoyarse los estudios de las redes piezométricas y de balances hídricos, así como de planificación, ordenación territorial y medio ambiente<sup>40</sup>.

Desde el punto de vista técnico, las perforaciones alcanzaron mayor profundidad debido a la mejora de la maquinaria y, sobre todo, a la instalación de grupos motobombas sumergibles en pozos de pequeño diámetro, denominados comúnmente *bombas-buzo*, bombas de impulsión y tuberías de presión. Las nuevas máquinas taladradoras a rotación y percusión, con diámetros que pasaban de los 140 mm a los 300 y posteriormente a los 400 y 600 mm, permitieron extender las captaciones de aguas a zonas del interior incluso en áreas montañosas. La principal dificultad existente, relativa a la falta de espacio para el montaje de la maquinaria elevadora, quedó salvada gracias a la difusión de bombas centrífugas de eje vertical con diámetros comprendidos entre 300 y 500 mm<sup>41</sup>. La fabricación de grupos elevadores sumergibles de diámetro reducido, cuyo motor eléctrico podía incluso colocarse debajo del nivel acuífero, supuso un fuerte impulso en la perforación de pozos. La explotación de los acuíferos llegó a alcanzar con mayor frecuencia profundidades de más de 200 metros. La información recogida para la provincia de Valencia muestra un avance notable de la profundidad media de los pozos entre las décadas de 1940 y 1970 que se multiplica por tres gracias a las nuevas máquinas de perforación y bombeo: de 23,56 m pasa a 86,66 metros. Cabe destacar también en este sentido el aumento de la potencia media de los motores medida en caballos de vapor: de 28,46 cv en la década de 1940 pasa a 77,93 cv en la de 1970<sup>42</sup>. Esta evolución está asociada a los avances producidos en las industrias eléctricas y de construcciones mecánicas.

La maquinaria empleada en pozos de gran diámetro variaba según se construyeran de sección circular, rectangular o elíptica. Dependiendo de la naturaleza de los terrenos que debían atravesar, se establecía la sección útil

<sup>39</sup> MURCIA VIUDAS, A. (1966).

<sup>40</sup> ANIM (1978), pp. 11 y ss.

<sup>41</sup> MURCIA VIUDAS, A. (1976), pp. 104-105.

<sup>42</sup> Datos procedentes de los Libros-Registro de pozos de la División de Minas de Valencia, antigua Delegación Provincial del Ministerio de Industria.

más conveniente. En el País Valenciano predominaban los de sección elíptica y oval, valiéndose al principio de máquinas de vapor y motores de explosión, accionados mediante complicadas transmisiones a bombas de distintos sistemas. En Canarias se excavaban pozos del mismo tipo accionados con bombas de émbolo. La mayoría de ellas eran de manejo sencillo, movidas a mano o por aeromotores, pero con el tiempo fueron imponiéndose los motores de explosión. Dado que en Canarias el precio de los carburantes era inferior al de la energía eléctrica, unido al alto rendimiento que producían en pozos de pequeña altura, las bombas de émbolo por motores de explosión se mantuvieron hasta bien tarde<sup>43</sup>.

La electrificación del campo español hizo que las bombas centrífugas o helicoidales se fueran imponiendo en la mayor parte del territorio. Las primeras o radiales para pequeños caudales y grandes alturas manométricas, mientras que las de tipo axial o helicoidal se adoptaban para los caudales importantes y pequeñas alturas manométricas. Fueran del tipo que fueran, dependiendo de la profundidad de las captaciones, lo cierto es que los motores eléctricos presentaban notables ventajas. Entre ellas destaca la continuidad de su funcionamiento, la sencillez de su manejo, la fácil conservación y revisión de todos sus elementos en caso de que la estación de bombeo se montara sobre la superficie del suelo, y el bajo coste de su montaje. El inconveniente de su bajo rendimiento de aspiración pronto fue salvado con la difusión de bombas de eje vertical y sumergibles por debajo del nivel freático. Pero en determinados sectores sociales y geográficos, los grupos eléctricos sumergibles, con motor y bomba acoplados, tardaron en difundirse, no tanto por el coste de su implantación sino por la escasez de suministro eléctrico. Aunque en los años cincuenta los técnicos se pronunciaban favorablemente por los grupos electro-bombas, la disponibilidad de energía eléctrica seguía condicionando su difusión en zonas alejadas de los centros urbanos, quedando a merced de la red de electrificación del país.

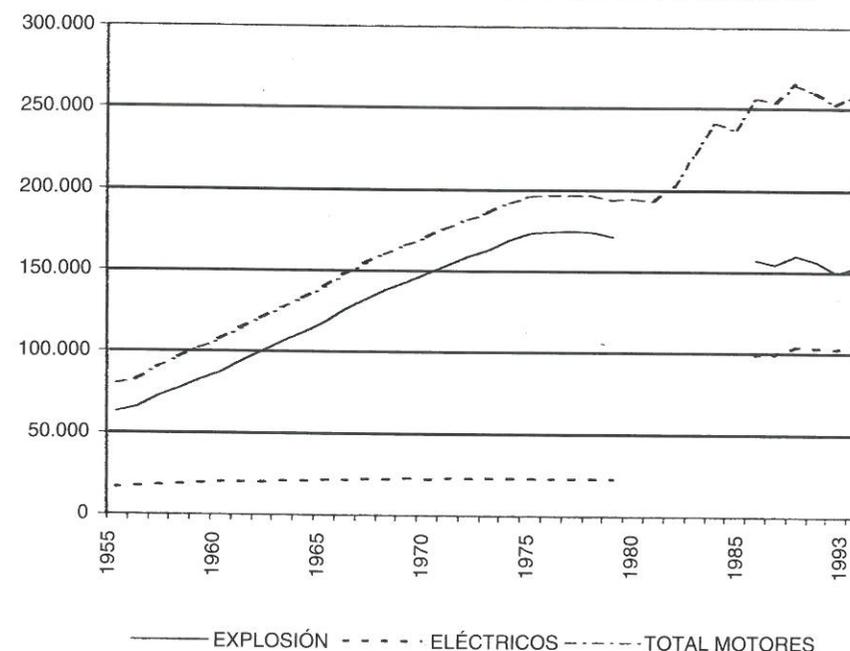
El hecho se manifiesta en la evolución de los motores de riego entre 1932 y 1994. En conjunto, la motorización de las aguas protagoniza un fuerte crecimiento: de 29.443 motores instalados en 1932, se pasa a 79.962 en 1955 y a 259.578 en 1994. Los motores eléctricos habían conseguido imponerse en muchas provincias antes de la guerra civil y en 1932 suponían el 34% de los motores de riego instalados, incluidos los aeromotores. Sin embargo, las series estadísticas de 1955 a 1994 revelan un descenso relativo de éstos a favor de los motores de explosión hasta 1980, hecho que contradecía la opinión de los expertos<sup>44</sup>. A pesar de que las

<sup>43</sup> MURCIA VIUDAS, A. (1976), pp. 107-108, 202.

<sup>44</sup> Un reconocido experto extranjero en los sistemas de captación de aguas señalaba en 1973 «que con la electrificación del campo, las bombas de motor de combustión apenas se usan», PIMIENTA, J. (1973), p. 158. Los datos de España revelan, pues, el atraso técnico relativo en comparación con otros países. Situación que se corrige a finales de los años ochenta y comienzo de los noventa.

Gráfico 1.2

EVOLUCIÓN DE LOS MOTORES DE RIEGO EN ESPAÑA



bombas de motor de combustión alcanzaban en ocasiones un mayor coste de adquisición, la restricción de suministro eléctrico en zonas rurales explica el avance tan espectacular que registran hasta finales de la década de 1970 en detrimento de los motores eléctricos (gráfico 1.2). Durante los años ochenta se produjo la electrificación de buena parte de las zonas rurales más alejadas y, asimismo, una implantación fuerte de los motores eléctricos. Éstos suponen el 40% del parque de maquinaria de riego existente en España en 1990 cuando en 1970 representaban el 11,7%.

La mejora de los sistemas de captación e impulsión llevó consigo mejoras en los sistemas de embalse, canalización y transporte de aguas. En general, desde comienzos de los años sesenta se advierte una mayor eficiencia en el aprovechamiento y canalización de las aguas, con mayor rotundidad en las zonas de la España árida. La captación de aguas subterráneas era conducida por tuberías a pequeños embalses de mampostería que con el tiempo pasaron a ser de mayor dimensión, de obra y plastificados para evitar filtraciones y pérdidas de aguas. Los embalses de plástico son de materiales diversos: butilo si queda a la intemperie o polietileno cuando se protege de la radiación solar mediante un manto de grava. También las acequias, con sus partidores, compuertas de hierro y tabla-

chos de madera, más tarde de cemento y obra –típica arquitectura del regadío tradicional–, han ido cediendo paso a los sistemas de conducción cerrados mediante tuberías de hormigón o cemento armado que permiten elevar el agua decenas de metros y transportarla a presión a distancias considerables (en ocasiones hasta veinte kilómetros)<sup>45</sup>. En general, las infraestructuras hidráulicas de las aguas subterráneas se componen de tuberías de fibrocemento, contadores de agua, válvulas de retención, ventosas y llaves de paso, y cuentan a veces con pequeñas presas de retención. Todo ello ha configurado un modelo tecnológico bien diferenciado respecto del señalado para principios de siglo. Sin embargo, la mejora técnica no siempre ha estado acompañada de la eficiencia organizativa. El hecho de que las extracciones constituyeran iniciativas individuales llevadas a cabo sin coordinación alguna, ha generado la multiplicación innecesaria de perforaciones y la duplicidad en la canalización<sup>46</sup>. El resultado ha sido, en casos como el de Canarias, un aprovechamiento caótico, la sobreexplotación de los acuíferos y la caída de la productividad (medida en m<sup>3</sup>/s por metro de excavación) de las extracciones<sup>47</sup>.

La expansión del regadío por aguas subterráneas y superficiales en la España de las últimas décadas ha ido pareja a la diversificación y mejora de los sistemas de riego. Éstos han sufrido profundas transformaciones desde 1960, incorporando tecnologías que aprovechan más eficientemente los escasos recursos hídricos. Frente a los tradicionales sistemas de riego por inundación o a manta, por gravedad, surcos, tablas, destacan los riegos por aspersión y a goteo. El primero que se difundió en España fue el riego por aspersión, que registró un avance espectacular desde 1960: de 22.435 ha en 1962 pasó a 1.032.220 ha en 1994 (ver gráfico 1.3). Su importancia relativa frente a los otros métodos de irrigación es manifiesta sobre todo en las regiones del Interior (cuadro 1.5). El riego localizado constituye un sistema más avanzado y ha encontrado mayor difusión en las regiones del Mediterráneo que son las más afectadas por la escasez de recursos hídricos<sup>48</sup>. Sin duda, supone una mejora importante en el aprovechamiento y control de las aguas y el ahorro que permite lo convierte en el sistema de riego más eficiente, siempre que vaya acompañado de una planificación adecuada que evite la salinización de los suelos y una evaluación de los recursos disponibles, es decir, de una concepción integrada del ciclo hídrico. Canarias, Murcia y Almería son las zonas donde el riego por goteo ha tenido un mayor impacto desde

<sup>45</sup> Cfr. en SÁNCHEZ PALLARÉS, A. (1995), pp. 88-90.

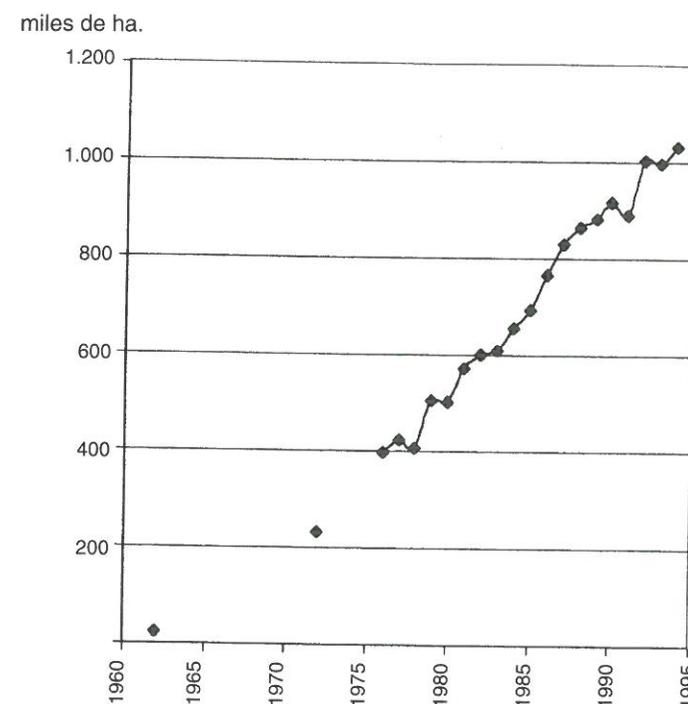
<sup>46</sup> VERA MUÑOZ, J. (1990), p. 78.

<sup>47</sup> AGUILERA, F. y S. C. NUNN (1989).

<sup>48</sup> Un ejemplo de la difusión de esta técnica puede encontrarse para el País Valenciano en RAMÓN MORTE, A. (1995).

Gráfico 1.3

SUPERFICIE REGADA POR ASPERSIÓN EN ESPAÑA, 1962-1994



Cuadro 1.5

DISTRIBUCIÓN (%) DE LA SUPERFICIE REGADA SEGÚN EL MÉTODO, 1989 (totales en miles de ha)

	Aspersión	Localizado	Gravedad	Otros	TOTALES
Norte	5,12	1,83	84,89	8,14	96,6
Interior	33,36	2,33	62,89	1,40	1.362,1
Mediterráneo	6,31	18,53	74,25	0,89	516,1
Sur	24,33	18,28	56,16	1,41	508,7
Canarias	14,81	30,59	53,44	1,14	33,9
España	24,65	9,20	64,58	1,55	2.517,8

Fuente: Censo Agrario de España, 1989. Elaboración propia.

Cuadro 1.6

SUPERFICIES DEDICADAS A CULTIVOS FORZADOS  
EN ESPAÑA. 1974/75-1993/94 (ha)

	<i>Acolchados</i>	<i>Invernaderos</i>	<i>Enarenado</i>	<i>Túneles</i>
1974/75	14.043	9.069	—	5.229
1982/83	24.340	14.240	—	2.180
1986/87	55.873	20.529	8.795	5.468
1989/90	68.373	24.913	3.575	12.774
1990/91	62.895	25.785	5.303	10.378
1991/92	65.576	36.427	21.924	9.363
1992/93	42.693	37.084	19.093	9.707
1993/94	54.172	39.608	20.065	9.634

Fuente: *Anuario de Estadística Agraria* (1981 a 1994).

que comenzó a difundirse a mediados de los años setenta. En Murcia, de 30 ha en 1975 se ha pasado a 53.591 ha en 1992. En 1989 la superficie regada en España por dicho sistema era de 231.677 ha.

El avance tecnológico en los regadíos incorporó técnicas de cultivo que aprovecharon más eficientemente el agua. La agricultura forzada o superficie protegida en cultivos herbáceos se impulsó desde comienzos de la década de 1970. Las técnicas de acolchado, las instalaciones fijas o invernaderos, los túneles o los enarenados se introdujeron como fórmulas para mejorar y paliar los déficit hídricos. Al igual que la técnica de riego localizado, las instalaciones fijas tuvieron mayor acogida en Almería, Murcia y en las islas Canarias. Esta técnica, y la más reciente del enarenado que también tiene su mayor difusión en Almería y Canarias, absorben la mayor parte del crecimiento de los cultivos forzados mientras que el acolchado muestra una notable regresión tras el auge observado hace unos años.

En definitiva, la introducción y difusión de nuevas tecnologías en los sistemas de captación e impulsión de aguas subterráneas, como de riego y drenaje que aprovechan buena parte de las mismas, ha supuesto un salto adelante notable en la extensión del regadío y en el aprovechamiento del recurso más escaso del litoral mediterráneo español. En las últimas décadas, estas nuevas técnicas han configurado un proceso de cambio más global en el que han estado implicados los sistemas de riego y cultivo, lo que constituye un nuevo modelo de desarrollo agrario. Asimismo, los cambios técnicos han requerido importantes inversiones de capital incluso de origen no agrario, lo cual nos alerta sobre el grado de capitalización del sector que ha sabido hacer frente a las limitaciones del medio físico. El papel desempeñado por los agricultores en las últimas décadas demuestra una

vez más la capacidad de adaptación y versatilidad a los cambios ocurridos en la estructura de la demanda y naturaleza de los mercados ahora más competitivos. El reverso de esta situación, como ya hemos apuntado, es la aparición de fenómenos de sobreexplotación de acuíferos y la consiguiente baja de los niveles freáticos, así como el desacoplamiento de los cultivos de la disponibilidad natural del agua de que disponen los suelos<sup>49</sup>. También se acusa un mayor deterioro de los suelos al acentuarse la aridez en los secanos y la salinización en los regadíos.

## Bibliografía

- ABELA y SAINZ DE ANDINO, E. J. (1898), *Máquinas agrícolas. Manual práctico dedicado al conocimiento de los instrumentos y máquinas agrícolas que ofrecen mayor interés en España*, Madrid: Imprenta de los Hijos de M. G. Hernández.
- AGUILERA KLINK, F. y S. C. NUNN (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.
- BENTABOL Y URETA, H. (1900), *Las aguas de España y Portugal. Evaluación y aprovechamiento 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.
- CALATAYUD, S. (1990), «Los inicios de la mecanización del regadío valenciano, 1850-1953», *Áreas. Revista de Ciencias Sociales*, 12, pp. 201-211.
- CARO BAROJA, J. (1954), *Norias, Azudas, Aceñas*, Madrid: CSIC-Centro de Etnología Peninsular.
- Consejo Económico y Social (CES) (1995), *Recursos hídricos y su importancia en el desarrollo de la Región de Murcia*, Murcia: CES.
- DE SOROA, J. M.<sup>a</sup> (1921), *Riegos. Manual de aplicación del agua al cultivo*, Madrid: Ruiz Hermanos Editores.
- ECHARRY, A. (1879), «Aparatos hidráulicos más usuales», *Gaceta Agrícola del Ministerio de Fomento*, vol. XII, pp. 196-206.
- FERRER, R. (1936), *Abastecimiento de aguas. Bombas e instalaciones hidráulicas*, Barcelona: Susanna.

<sup>49</sup> NAREDO, J. M. y J. M. GASCÓ (1990).

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.

GARRABOU, R. (1990), «Sobre el atraso de la mecanización agraria en España (1850-1933)», *Agricultura y Sociedad*, 57, pp. 41-78.

GARRABOU, R. (1997), «Políticas agrarias y desarrollo de la agricultura española contemporánea: unos apuntes», *Papeles de Economía Española*, n.º 73, pp. 141-148.

GARRABOU, R., C. BARCIELA y J. I. JIMÉNEZ BLANCO (eds.) (1986), *Historia agraria de la España contemporánea*. Vol. III: *La crisis de la agricultura tradicional*, Barcelona: Crítica.

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.

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.

MILANO, M. (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 5.ª Estadística y Economía Agrícola (1933): *Anuario estadístico de las producciones agrícolas. Año 1932 y 1933 para los agrios y el olivo*, 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.

MURCIA VIUDAS, A. (1966), *Investigación de aguas subterráneas en el sudeste español*, Madrid, Ministerio de Agricultura.

MURCIA VIUDAS (1976), *Aguas subterráneas. Prospección y alumbramientos para riegos*, Madrid: Ministerio de Agricultura (1.ª ed. 1953).

NAREDO, J. M. y J. M. GASCÓ (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: Técnicos Asociados.

RAMÓN MORTE, A. (1995), *Tecnificación del regadío valenciano. Análisis territorial de la difusión del sistema del regadío localizado*, Madrid: MAPA.

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 R. ARAGÓN RUEDA (1995), «Recursos hídricos subterráneos: situación 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.

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

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

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