

presente volumen recoge los textos de dos encuentros entre técnicos e historiadores agrarios, organizados por la Fundación Argentinaria y la Universidad Autónoma de Barcelona, sobre «El agua en los sistemas agrarios. Una perspectiva histórica». Estos encuentros se celebraron los días 3 y 4 de octubre de 1996, en el Centro de Educación Ambiental en Valsain (Segovia), y los días 8 y 9 de junio de 1998, en el marco de los seminarios promovidos por la Fundación Argentinaria y la Universidad de Verano de Castilla y León.

Este libro, que viene a complementar uno anterior también editado en esta colección, con el título *La fertilización en los sistemas agrarios. Una perspectiva histórica*, pretende establecer el funcionamiento físico de los sistemas agrarios en el contexto del territorio en el que se insertan, en tanto que diferentes datos acerca del rendimiento de los suelos, existencias hídricas, dosis de abonado, etc., no pueden ser interpretados directamente si no se tienen presentes las diferencias edafoclimáticas de los territorios en los que se insertan los sistemas agrarios.

Este libro está estructurado en tres partes. En una primera, donde se plantea la problemática general, se analiza el instrumental analítico que permite precisar las exigencias hídricas de los distintos cultivos y aprovechamientos en relación con las disponibilidades que brindan diferentes zonas climáticas, así como la incidencia de las prácticas agrarias sobre el régimen de humedad de los suelos. La segunda parte se centra en los aspectos institucionales, analiza la política de riego y drenajes desarrollada en distintas zonas climáticas, así como las instituciones de gestión del agua y las formas de facturación y distribución de costes de abastecimiento y drenaje en relación con los precios y mercados. Finalmente, en un tercer apartado, se estudian todos los aspectos técnicos y económicos de la gestión del agua en los sistemas agrarios, aplicándolos a casos concretos que cubren un amplio horizonte espacio-temporal.

ISBN 84-7774-982-5



9 788477 174982

12

Ramón Garrabou y José Manuel Naredo (eds.)

El agua en los sistemas agrarios. Una perspectiva histórica



FUNDACION
ARGENTINARIA

VISOR
(dis., s.a.)

ECONOMÍA Y NATURALEZA

El agua en los sistemas agrarios. Una perspectiva histórica

Ramón Garrabou y José Manuel Naredo (eds.)

RAMÓN GARRABOU SEGURA
JOSÉ MANUEL NAREDO PÉREZ (EDS.)

EL AGUA EN LOS SISTEMAS AGRARIOS.
UNA PERSPECTIVA HISTÓRICA

COLECCIÓN
ECONOMÍA Y NATURALEZA
SERIE «TEXTOS APLICADOS»

EL AGUA EN LOS SISTEMAS AGRARIOS. UNA PERSPECTIVA HISTÓRICA

GARRABOU SEGURA, RAMÓN
NAREDO PÉREZ, JOSÉ MANUEL (EDS.)

ÁVILA CANO, JOSÉ CARLOS
BATISTA MEDINA, JOSÉ ANTONIO
BOIXADERA LLOBET, JAUME
CALATAYUD GINER, SALVADOR

CAZZOLA, FRANCO
FERNÁNDEZ PRIETO, LOURENZO
GASCÓ GUERRERO, ANTONIO MARÍA

GASCÓ MONTES, JOSÉ MARÍA
GONZÁLEZ DE MOLINA NAVARRO, MANUEL
IBARRA BENLLOCH, PALOMA

KHELLADI, MAYA
LABRADOR MORENO, JUANA
LANA BERASAIN, JOSÉ MIGUEL

LÓPEZ-GÁLVEZ, JOSÉ
LOSADA VILLASANTE, ALBERTO
MARTÍNEZ CARRIÓN, JOSÉ MIGUEL

MATEU TORTOSA, ENRIC
MORAL IRIARTE, LEANDRO DEL
OLARIETA ALBERDI, JOSÉ RAMÓN

ORTEGA CANTERO, NICOLÁS
PARRA SUPERVIA, FERNANDO
PINILLA NAVARRO, VICENTE

SAGUER I HOM, ENRIC
SÁNCHEZ REGUEIRO, ALFONSO
SANTOS REDONDO, MANUEL

TELLO ARAGAY, ENRIC
VICEDO RIUS, ENRIC

 FUNDACION
ARGENTARIA

VISOR
(dis., s.a.)

ÍNDICE

PRESENTACIÓN. <i>Ramón Garrahou Segura y José Manuel Naredo Pérez</i>	11
Primera parte	
PROBLEMÁTICA GENERAL	
CAPÍTULO 1. EL CAMBIO TÉCNICO EN LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN E IMPULSIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS PARA RIEGO EN LA ESPAÑA MEDITERRÁNEA. <i>Salvador Calatayud Giner y José Miguel Martínez Carrión</i>	15
CAPÍTULO 2. <i>BONIFICA</i> Y TÉCNICAS DE CONTROL DE LAS AGUAS EN LA HISTORIA AGRARIA ITALIANA (SIGLOS XV-XX). UNA CRONOLOGÍA ESENCIAL. <i>Franco Cazzola</i>	41
CAPÍTULO 3. CONSIDERACIONES ECONÓMICAS SOBRE EL PAPEL DEL AGUA EN LOS SISTEMAS AGRARIOS. <i>José Manuel Naredo Pérez</i>	63
CAPÍTULO 4. ALGUNAS REFLEXIONES SOBRE LA COMPOSICIÓN DEL AGUA DESDE QUE CAE AL SUELO COMO LLUVIA. <i>Fernando Parra Supervia</i>	77
CAPÍTULO 5. ADAPTACIÓN DE LOS CULTIVOS Y LAS LABORES AL RÉGIMEN DE HUMEDAD DE LOS SUELOS EN LA AGRICULTURA TRADICIONAL. <i>José María Gascó Montes y Antonio María Gascó Guerrero</i>	85
CAPÍTULO 6. ASPECTOS AGROECOLÓGICOS DE LA RELACIÓN ENTRE LA MATERIA ORGÁNICA Y EL AGUA EN EL SUELO. <i>Juana Labrador Moreno</i>	95

Las ideas contenidas en esta publicación son responsabilidad exclusiva de los autores.
La Fundación Argentina no se identifica necesariamente con las mismas.

Diseño portada: Aitor Méndez y Raquel de la Fuente

© Fundación Argentina - Visor Dis., 1999
Tomás Bretón, 55 - 28045 Madrid
www.visordis.es

ISBN: 84-7774-982-5
Depósito Legal: M-43.884-1999

Visor Fotocomposición
Impreso en España - Printed in Spain
Gráficas Rógar. Navacarnero (Madrid)

Segunda parte

MARCO INSTITUCIONAL

CAPÍTULO 7. LAS INSTITUCIONES DE GESTIÓN DEL AGUA EN LAS ZONAS SEMIÁRIDAS. <i>Maya Kbelladi</i>	121
CAPÍTULO 8. PRECIOS, MERCADOS Y DERECHOS DE PROPIEDAD DEL AGUA EN LA AGRICULTURA ESPAÑOLA. <i>Manuel Santos Redondo</i>	147
CAPÍTULO 9. LA POLÍTICA HIDRÁULICA ESPAÑOLA HASTA 1936. <i>Nicolás Ortega Cantero</i>	159
CAPÍTULO 10. LA POLÍTICA HIDRÁULICA EN ESPAÑA DE 1936 A 1996. <i>Leandro del Moral Iriarte</i>	181

Tercera parte

ESTUDIOS DE CASOS

CAPÍTULO 11. EL AGUA COMO RECURSO LIMITANTE EN LOS SISTEMAS AGRARIOS DE CATALUÑA (SIGLOS XIX Y XX). <i>Ramón Garrabou Segura, Enric Tello Aragay, Enric Seguer i Hom y Jaume Boixadera Llobet</i>	199
CAPÍTULO 12. SISTEMA HIDRÁULICO, ORGANIZACIÓN DE LOS RIEGOS Y USOS DEL AGUA EN LA HUERTA DE LLEIDA (1830-1950). <i>Enric Vicedo Rius, Jaume Boixadera Llobet y José Ramón Olarieta Alberdi</i>	225
CAPÍTULO 13. EL USO DEL AGUA EN EL CULTIVO DEL ARROZ EN EL PAÍS VALENCIANO (SIGLO XIX). <i>Salvador Calatayud Giner y Enric Mateu Tortosa</i>	255
CAPÍTULO 14. EL AGUA COMO FACTOR LIMITANTE DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN ANDALUCÍA ORIENTAL. LA VEGA DE GRANADA, SIGLOS XIX Y XX. <i>José Carlos Ávila Cano y Manuel González de Molina Navarro</i>	275
CAPÍTULO 15. LA AGRICULTURA DE REGADÍO EN UNA COMUNIDAD DEL NE DE LA PALMA (ISLAS CANARIAS): LOS SAUCES. <i>José Antonio Batista Medina</i>	317

CAPÍTULO 16. EL USO DE LAS AGUAS EN EL SISTEMA AGRARIO GALLEGO (SIGLOS XIX Y XX). <i>Alfonso Sánchez Regueiro y Lourenzo Fernández Prieto</i>	339
CAPÍTULO 17. DESEQUILIBRIOS HÍDRICOS Y TRANSFORMACIONES DEL REGADÍO EN LA NAVARRA SECA, 1841-1936. <i>José Miguel Lana Berasain</i>	365
CAPÍTULO 18. REGADÍO Y TRANSFORMACIONES AGRARIAS EN ARAGÓN (1880-1990). <i>Paloma Ibarra Benilloch y Vicente Pinilla Navarro</i>	391
CAPÍTULO 19. EVOLUCIÓN DE TÉCNICAS DE RIEGO EN EL SUDESTE DE ESPAÑA. <i>José López-Gálvez y Alberto Losada Villasante</i>	427

PRESENTACIÓN

Ramón Garrabou Segura
Universidad Autónoma de Barcelona

José Manuel Naredo Pérez
Director del Programa «Economía y Naturaleza»
de la Fundación Argentaria

Al apreciar que la distinta naturaleza de los territorios y de los sistemas agrarios puede hacer engañosa la interpretación de las diferencias espaciales temporales de datos de rendimientos, dosis de abonado..., etc., convocamos, con el respaldo de la Fundación Argentaria, varios encuentros entre historiadores y técnicos agrarios con ánimo de arrojar alguna luz sobre el funcionamiento físico de los sistemas agrarios y de su relación con el complejo territorial en el que se insertan. Tuvieron lugar así, en 1994 y 1995, dos seminarios, organizados por la Fundación Argentaria en colaboración con la Universidad Autónoma de Barcelona y el Centro Nacional de Educación Ambiental (CENEAM), sobre «La fertilización en los sistemas agrarios». El primero de estos seminarios se centró en la problemática general y los instrumentos de análisis que permiten detectar la reposición y las carencias de nutrientes en distintas zonas edafoclimáticas y sistemas agrarios, corriendo a cargo de los técnicos el mayor peso de las exposiciones. El segundo seminario versó sobre los estudios de casos preparados por los historiadores participantes. Ambos dieron lugar al libro *La fertilización en los sistemas agrarios. Una perspectiva histórica*, publicado en la colección «Economía y Naturaleza» que la Fundación Argentaria coedita con Visor.

Los días 3 y 4 de octubre de 1996 tuvo lugar, respondiendo a las mismas preocupaciones de fondo, un seminario sobre «El agua en los sistemas agrarios». Este seminario, organizado también por la Fundación Argentaria en colaboración con la Universidad Autónoma de Barcelona y el Centro Nacional de Educación Ambiental (CENEAM), se centró en los aspectos técnicos e institucionales. Entre los primeros, se pasó revista al instrumental analítico que permite precisar las exigencias hídricas de los distintos cultivos y aprovechamientos en relación con las disponibilidades que brindan las diferentes zonas climáticas, así como a la incidencia de las prácticas agrarias

sobre el régimen de humedad de los suelos. Se hizo hincapié no sólo en las zonas áridas, en las que el agua es un factor limitante para el desarrollo de la agricultura, sino también en las de clima húmedo, en las que el drenaje es condición necesaria para que la agricultura pueda prosperar; y, dentro de aquéllas, no sólo en el manejo del agua en los regadíos, sino también en la captación del agua de los secanos, mediante los trabajos y labores de adaptación del terreno, la selección de cultivos, los marcos de plantación, etc. En los aspectos institucionales, se centró en la política hidráulica desarrollada en España tendiente a facilitar las obras públicas necesarias para regar allí donde hiciera falta y la «bonifica», en Italia, para drenar las zonas húmedas del norte, así como los mecanismos y formas de organización que permitieron la instalación y el mantenimiento de los sistemas colectivos de riego y de drenaje. Se pasó revista también a las instituciones de gestión del agua en zonas áridas y a las formas de facturación y distribución de costes de abastecimiento y drenaje en relación con los precios y mercados en este campo. En el citado encuentro se acordó celebrar otro seminario con un margen de tiempo suficiente para que los historiadores pudieran preparar estudios de casos y para rematar los textos referentes a los aspectos técnicos e institucionales con vistas a su publicación.

El segundo seminario previsto sobre «El agua en los sistemas agrarios» se celebró en Segovia durante los días 8 y 9 de junio de 1998, en el marco de los encuentros promovidos por la Fundación Universidad de Verano de Castilla y León y organizado por la Fundación Argentina en colaboración con la Universidad Autónoma de Barcelona. El mismo se centró en la presentación y discusión de estudios de casos, en cubrir las lagunas apreciadas en los aspectos técnicos e institucionales tratados en el seminario anterior y en ultimar los textos correspondientes a tales aspectos. La presente publicación es fruto de los dos seminarios mencionados.

Primera parte

PROBLEMÁTICA GENERAL

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 diseñó 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 XX¹. 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.

¹ Cfr. en GARRABOU, R., C. BARCELÁ 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*, *acèña*, *cenia* o *ceña* según la terminología local, tenían una larga tradición en España². 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)³. 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-

² CARO BAROJA, J. (1954).

³ 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 ^a	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.

^a 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 Subterráneas		Superficiales		Total superficie regada	
	(1)	(2)	(1) + (2)	(3)	(4)	3/4x100 (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 longevidad⁴.

⁴ 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)⁵. 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»⁶. 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

⁵ GUILLÉN, G. J. DE (1905), p. 396.

⁶ 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»⁷. 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»⁸.

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»⁹. 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 taponos 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-

⁷ Ministerio de Fomento (1918), vol. I, p. 60.

⁸ *Ibidem*, p. 130.

⁹ *Ibidem*, p. 349.

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

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 Vasco¹¹. Aunque el instrumento más utilizado era el cigñal o cigüeñal¹² 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 *carabasi*, 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

¹⁰ LLAURADÓ, A. (1878), p. 268.

¹¹ 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.

¹² 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 industrialización¹³. 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 artesanos. Los primeros ensayos datan de la década de 1830¹⁴ 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 artesanos había tenido una difusión limitada. La profundidad de los pozos 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 1900¹⁵. La profun-

¹³ GARRABOU, R. (1985), p. 53.

¹⁴ LÓPEZ GÓMEZ, A. (1974), p. 196.

¹⁵ 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 norias¹⁶. 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 alturas¹⁷.

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»¹⁸. Sus ventajas residían en la sencillez del mecanismo sin válvulas y con menores rozamientos, lo que abarataba su coste de adquisición y mantenimiento¹⁹. 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 presión²⁰, 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.

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 tamaño²¹. 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 rurales²². 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 técnicos modernos»²³. 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.²⁴ 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»²⁵.

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 combustible²⁵. 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 funcionamiento²⁶.

²¹ GUILLÉN, G. J. DE (1905), p. 492.

²² *Ibidem*, p. 397.

²³ MILANO, M. (1914), p. 10M.

²⁴ FERRER, R. (1936), p. 184.

²⁵ MILANO, M. (1914), p. 12M.

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

¹⁶ 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.

¹⁷ MILANO, M. (1914), p. 8M.

¹⁸ *Ibidem*, p. 9M.

¹⁹ Cfr. en LLAURADÓ, A. (1878).

²⁰ Cfr. en ECHARRY, A. (1879), p. 205.

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»²⁷. 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 explotación²⁸.

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 importante²⁹. 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-

²⁷ MILANO, M. (1914), p. 10M.

²⁸ GARCÍA ROS, L. (1922), p. 123.

²⁹ 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 eléctricas³⁰. También en Valencia el elevado número de estas bombas se relaciona con la disponibilidad energética³¹. Por el contrario, su expansión estaba limitada allí donde no concurrían estas circunstancias: en Castellón se encontraban «en escaso número... por falta de energía»³². 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

	Aeromotor	Vapor	Gas pobre	Gasolina	Aceites pesados	Eléctricos	TOTAL
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

³⁰ Ministerio de Fomento (1918), pp. 266-267.

³¹ 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).

³² 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 mediterráneas³³. 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

³³ GARRABOU, R. (1997); BARCELÀ, C. (1997).

517.700 ha³⁴. 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 subterráneas³⁵. 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 Dalias (Almería), Águilas-Mazarrón-Lorca y el Campo de Cartagena (Murcia), que conocieron un espectacular crecimiento del área regable por este mecanismo³⁶. 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 respetó 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 años³⁷.

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 explotación 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-

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

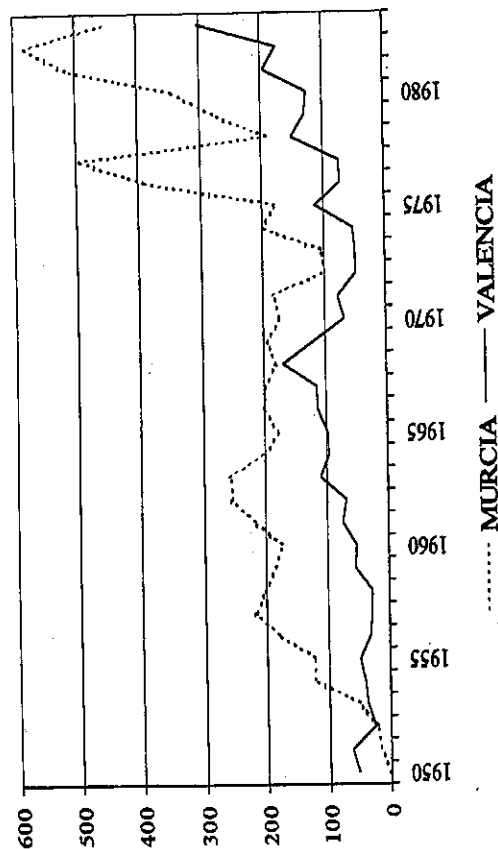
³⁵ Asociación Nacional de Ingenieros de Minas (ANIM) (1978), p. 31.

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

³⁷ 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 riego³⁸. 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-

³⁸ 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 1961³⁹. 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 Geomínero 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 ambiente⁴⁰.

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 mm⁴¹. 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 1970⁴². 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

³⁹ MURCIA VIUDAS, A. (1966).

⁴⁰ ANIM (1978), pp. 11 y ss.

⁴¹ MURCIA VIUDAS, A. (1976), pp. 104-105.

⁴² 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 tarde⁴³.

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.

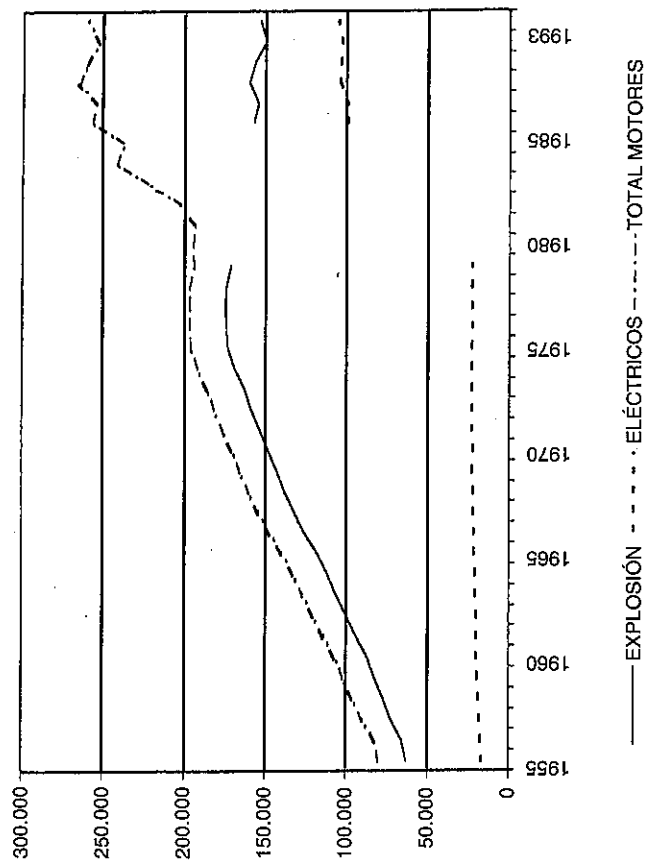
El hecho se manifiesta en la evolución de los motores de riego entre 1932 y 1994. En conjunto, la motorización de las aguas protagoniza un fuerte crecimiento: de 29.443 motores instalados en 1932, se pasa a 79.962 en 1955 y a 259.578 en 1994. Los motores eléctricos habían conseguido imponerse en muchas 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 expertos⁴⁴. A pesar de que las

⁴³ MURCIA VTUDAS, A. (1976), pp. 107-108, 202.

⁴⁴ 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», PIMENTA, 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: burilo 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)⁴⁵. 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 canalización⁴⁶. 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 m³/s por metro de excavación) de las extracciones⁴⁷.

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. Estos 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 hídricos⁴⁸. 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

⁴⁵ Cfr. en SÁNCHEZ PALLARÉS, A. (1995), pp. 88-90.

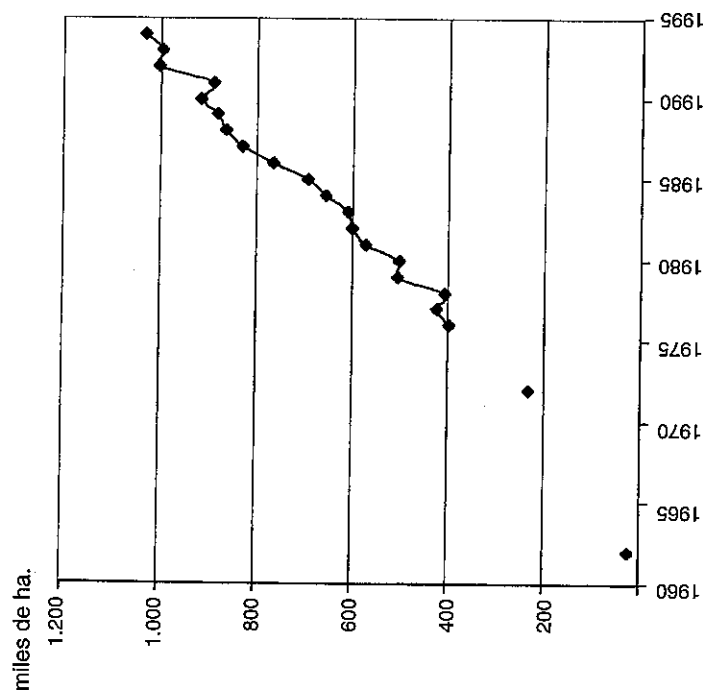
⁴⁶ VERA MUÑOZ, J. (1990), p. 78.

⁴⁷ AGUILERA, F. y S. C. NUNN (1989).

⁴⁸ 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.

**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 suelos⁴⁹. 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, Azudus, 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.^a (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.

⁴⁹ 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: Institutió 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 nananjo*, 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.

LIAURADO, 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.

PIÑENTA, 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.

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

CAPÍTULO 2

BONIFICA¹ Y TÉCNICAS DE CONTROL DE LAS AGUAS EN LA HISTORIA AGRARIA ITALIANA (SIGLOS XV-XX). UNA CRONOLOGÍA ESENCIAL*

Franco Cazzola
Universidad de Bolonia

1. Agua y agricultura en Italia

En la historia agraria europea, las tierras deprimidas, periódicamente inundadas por aguas provenientes de las lluvias o de los desbordamientos de los ríos, han sido objeto a menudo de tentativas de desecación y saneamiento por parte de los agricultores. Antes de la llegada de los abonos artificiales, las tierras bajas y el fondo de las tierras pantanosas presentaban niveles de fertilidad y de productividad claramente superiores a los de las tierras de las colinas y los altiplanos dedicados al cultivo desde mucho tiempo atrás. Si se conseguía, por un lado, evitar el exceso de agua del estrato superficial del suelo mediante obras de drenaje y canalización, y, por otro, defender con diques las tierras más bajas de las aguas del mar o de aguas provenientes de terrenos más elevados, las tierras pantanosas podían ofrecer cosechas abundantes de trigo, legumbres, lino y cáñamo, además de abundante forraje para la ganadería bovina. En el valle del Po, las tierras pantanosas o ricas en turba fueron utilizadas, desde finales del siglo XVI, también para la producción de maíz, que conoció después en toda la Italia septentrional una extraordinaria difusión como sustituto del trigo en la alimentación humana (Levi, 1991: 155-162; Cazzola, 1991).

El desarrollo de los sistemas de drenaje y canalización para recuperar nueva tierra cultivable de las zonas húmedas costeras y de los grandes depósitos de turba, situados en las proximidades de las desembocaduras de los

¹ Sistema de saneamiento agrario e hidráulico ligado a la colonización de los terrenos inundados.

* Traducción realizada por María Naredo Molero

grandes ríos, ha sido un presupuesto fundamental de la actividad agrícola, sobre todo en las tierras de la costa del Mar del Norte (Países Bajos, Frisia y, en general, toda la franja de *Marschen* que se extiende desde la península de Jutlandia hasta las desembocaduras del Reno y del Mosa). También en las tierras pantanosas inglesas se realizaron, durante la Edad Moderna, obras de drenaje para obtener tierras de cereal (Merchant, 1983; Darby, 1983).

Entre los factores que llevaron a estos territorios poco hospitalarios a los distintos flujos de colonización agrícola en los siglos XI-XII y XVI-XVII y a las consistentes inversiones de capital destinadas a la construcción de diques y obras de canalización, se pueden recordar, además de la fertilidad de los suelos, la cercanía de los centros urbanos y la facilidad de acceso a las más importantes vías de comercio internacional marítimo y fluvial (Ciriaco, 1994: 246-252).

El objeto específico de este capítulo es facilitar, incluso con fines comparativos, un cuadro esquemático de la evolución de aquella particular forma de relación que los hombres han venido estableciendo con el agua en la península italiana, considerando que Italia, aunque está colocada geográficamente en la franja climática mediterránea, debido a su irregular orografía goza de abundantes precipitaciones y por lo tanto su disponibilidad de recursos hídricos (actuales o potenciales) es relativamente elevada.

En particular, el valle atravesado por el río Po es sede de una doble y opuesta relación con los recursos hídricos. La parte occidental, cuyos suelos están constituidos por gravas y depósitos de aluviones ordinarios, y que por tanto es la más necesitada de riego, en los meses estivales puede, sin embargo, contar con abundantes afloramientos de agua y aguas superficiales, además de con importantes reservas hídricas acumuladas en los grandes lagos glaciales, donde afluyen las aguas de la cadena alpina. Los agricultores de la parte occidental del valle del Po han sabido crear desde el Medioevo una admirable y compleja red de distribución del agua para usos agrícolas y de navegación.

La parte centro-oriental del valle del Po —la llanura del Véneto y la llanura *romañola*— se ha encontrado, sin embargo, en la situación opuesta. Se ha visto constreñida a combatir el exceso de agua en el suelo con sistemas de desagüe y drenaje y a defender los campos de los desbordamientos destructivos de los ríos con diques y muros de contención de ríos, torrentes y otros cursos de agua.

La Toscana es otra parte de la Península, densamente urbanizada y cultivada, pero necesitada de continuas intervenciones para contener el corrimiento hidrogeológico y para obtener nuevos terrenos de cultivo en las pocas llanuras colmatadas con los sedimentos aportados por las aguas y saneados artificialmente.

Las pocas llanuras del Sur y de las Islas, afectadas por un secular descenso hidráulico o por efectivas carencias hídricas, han entrado en último

lugar en la larga historia de la *bonifica* italiana. En estas tierras, que han permanecido durante siglos vinculadas a regímenes agrarios dominados por el latifundismo y el binomio cereales-pastos, se han realizado las más recientes intervenciones directas del Estado para el desarrollo del regadío y la colonización agrícola. En el centro, en el sur y en las islas, más allá del desorden hidráulico y los desastres hidrogeológicos, se encuentran los déficits hídricos estivales más relevantes, con aportaciones de los cursos de agua inferiores a los 5 litros/segundo por kilómetro cuadrado (Grinovero, 1954: 6).

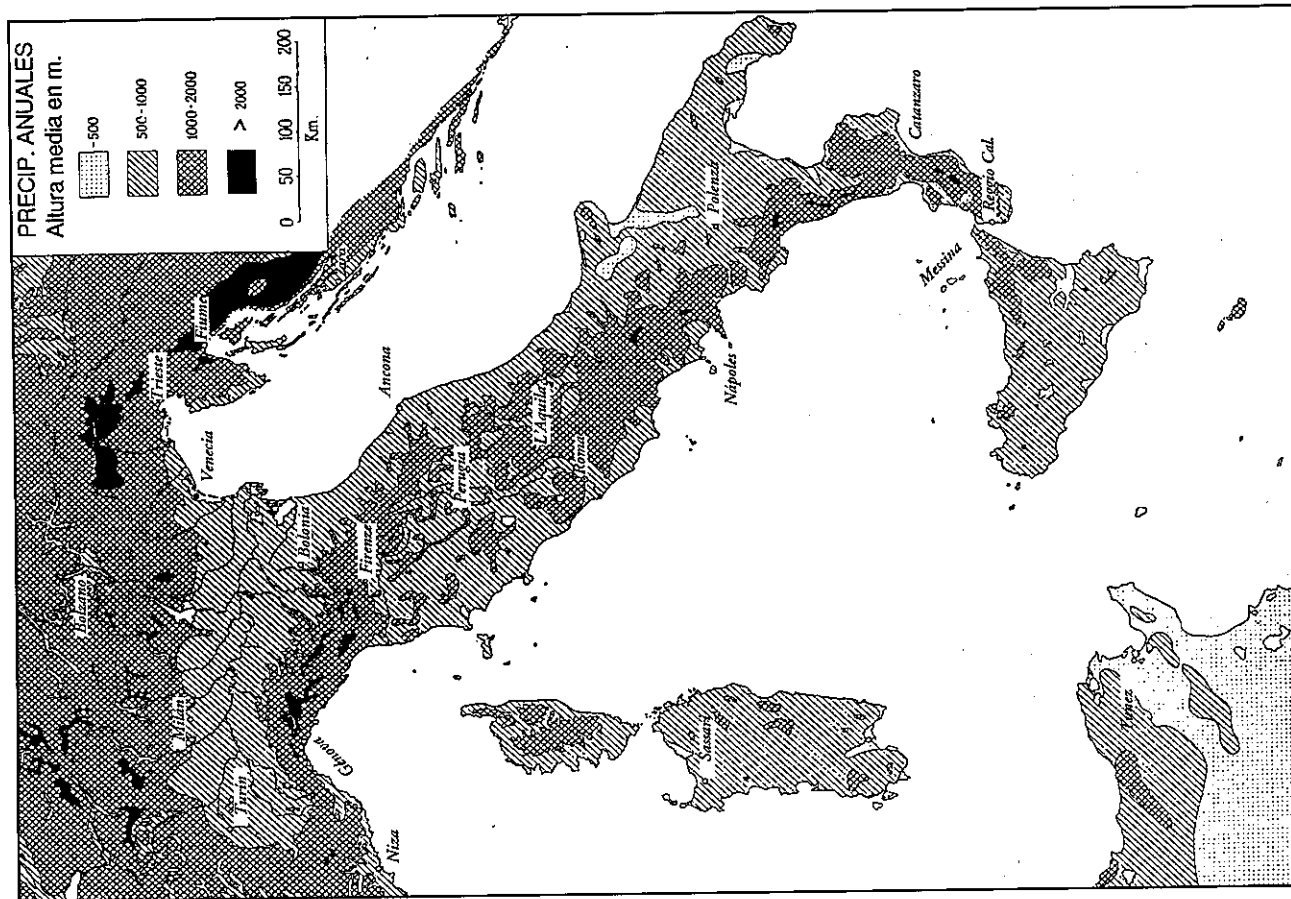
En el epígrafe siguiente se indican algunas características ambientales que dan idea de la complejidad del problema del agua en Italia. Otro epígrafe tratará, de forma sistemática, de las técnicas tradicionales de drenaje, elaboradas en algunas regiones de la Península a escala macro y microhidráulica. En la última parte de este trabajo se aportará una cronología sumaria del desarrollo de la *bonifica* y del regadío en la península italiana del Medioevo en adelante, reseñando las obras y los momentos más significativos de la difícil relación con el agua, que ha marcado profundamente la historia agraria, social y económica de algunas de las más importantes regiones italianas. Por razones de espacio, la amplísima bibliografía italiana en materia de agua y de *bonifica* se limitará a las obras más recientes y generales, aparte de citar las obras dedicadas a los temas que se abordan en el texto.

2. El agua: un recurso abundante y hostil

Como se ha indicado más arriba, en la península italiana, donde las llanuras representan sólo una quinta parte de la superficie del territorio, los problemas de gestión, control y utilización de las aguas son diferentes con respecto al resto de los países mediterráneos. Desde el punto de vista de las lluvias, Italia se sitúa entre el clima *subárido superior* (pluviosidad comprendida entre 450-600 mm) y *subhúmedo* (500-900 mm). Pero las zonas de la falda de las montañas de los Alpes y la cordillera de los Apenninos se mantienen, en general, en la franja climática húmeda (800-1.200 mm) e incluso por encima de estos límites (1.200-1.500 mm), lo que favorece enormemente los procesos erosivos (Dainelli, 1954: 24; Haussmann, 1972: 64-65). Sólo una pequeña parte de la Península y de las islas sufre, por tanto, de lluvias insuficientes o mal distribuidas (mapa 2.1). El problema del agua en la zona de colinas y montañas del país, convertida a la agricultura desde la Antigüedad, consiste sobre todo en controlar la fuerza erosiva y la violencia con que el agua desciende hacia los valles y el mar, que frecuentemente son fuente de desastrosos aluviones.

Mapa 2.1

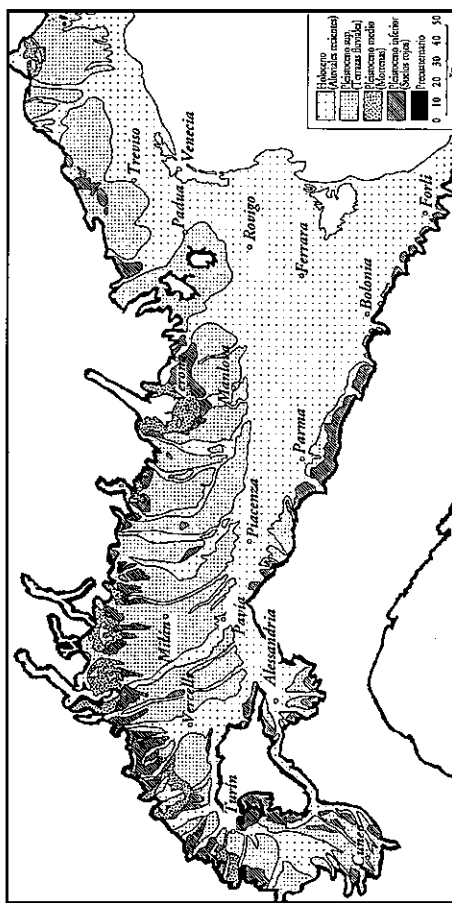
DISTRIBUCIÓN ANUAL DE LAS LLUVIAS EN ITALIA



La gran llanura atravesada por el río Po, precisamente por su peculiar formación orográfica, concentra más de un tercio del valor añadido de la agricultura nacional y se caracteriza por una excepcional disponibilidad de aguas de superficie y subterráneas, parte de las cuales se acumulan en los grandes lagos que coronan el arco de los Alpes, y en los glaciares que los alimentan. Estas aguas clarificadas en los grandes lagos bajan hacia el Po a través de ríos de caudal regular y abundante en los meses de verano, tras el deshielo de las nieves alpinas (Ticino, Adda, Oglio, Moncio) (mapa 2.2). Gracias a estas aguas, la agricultura de la parte occidental del valle del Po ha podido orientarse precozmente hacia el desarrollo de la ganadería y de la producción láctea, superando la escasez de precipitaciones del período estival y, sobre todo, la crisis hídrica de los cultivos provocada por la naturaleza gravosa, arenosa y poco compacta de muchas tierras del altiplano lombardo y piamontés (Hausmann, 1972: 70-71).

Mapa 2.2

TERRENOS CUATERNARIOS EN LA LLANURA DEL PO



De la cadena de los Apeninos, que cierra al sur el valle del Po, descenden numerosos afluentes, caracterizados por tener un caudal irregular y unas aguas muy ricas en transportes aluviales. Los materiales de erosión más finos (arcillas y limos) se acumulan en la baja llanura sobre la margen derecha del mayor río italiano y crean graves problemas de deflujo de las aguas en los estratos impermeables de las depresiones, donde se estanca el agua de manera creciente hasta la desembocadura. Los cauces del río Po y los de sus afluentes, en el tramo que va desde Piacenza hasta el mar Adriático, se caracterizan por tener pendientes mínimas, del orden de 10-15 cm

por kilómetro. Esto tiene su origen en el carácter colgante de los lechos fluviales y crea la necesidad de contener el agua de las crecidas de los ríos con obras de defensa, como muros de contención, que deben elevarse a 8-10 metros, o más, sobre el nivel de los campos.

Numerosos y complejos problemas de estancamiento hídrico y de control de las crecidas otoñales y primaverales han estado presentes también en las pocas llanuras de la costa y del interior que recogen las aguas de los ríos de la parte central y meridional de los Apeninos. (Val di Chiara, pianura Pisana, Maremma Senese, Argo Romano, Paludi Pontine, Tavoliere di Puglia, etc.). (Barsanti, 1982; Barsanti y Rombai, 1986; Ciasca, 1928). Es preciso recordar que, tanto el poblamiento humano como la agricultura de la Italia centro-meridional y de las islas, se dirigieron forzosamente hacia las zonas de colinas y montañas, pues las escasas llanuras sufrieron importantes epidemias de paludismo en la forma más grave: la malaria provocada por el *plasmodium falciparum*. Ésta provocaba fiebres estacionales en verano y otoño, a menudo seguidas de la muerte de quienes las sufrían. Sólo la derrota de la malaria, tras la segunda guerra mundial, hizo posible una verdadera acción de *bonifica* y de colonización agraria de las marismas y de las llanuras costeras centro-meridionales (Bevilacqua y Rossi-Doria, 1984: 73-75).

Desde la época medieval hasta la moderna, el agua ha planteado en Italia la problemática del control de su agresividad y de su transformación en un recurso útil para la agricultura de regadío. Primero, la aparición de la máquina de vapor, llamada «hidróvora»², supuso un avance importante en el drenaje y, más recientemente, gracias a la gran difusión de los motores, el saneamiento y el riego se realizan a menudo conjuntamente. Muchas de las obras de canalización creadas para el desagüe de los terrenos, gracias a la extracción mecánica del agua, aseguran hoy tanto la desecación del suelo en momentos de exceso de disponibilidad hídrica, como la distribución del agua de riego en los meses de relativa carencia. Sólo algunas regiones del sur (Sicilia, Basilicata, Puglia) conocen problemas de escasez de precipitaciones y de búsqueda y distribución del agua para regadío análogos a los de otros países del Mediterráneo.

Para dar una idea aproximada de las dimensiones del problema de la *bonifica* en la Italia contemporánea, considérese que, en el momento de la unificación política del Reino de Italia (1861), más de un millón de hectáreas las constituían tierras pantanosas, charcas, valles y arrozales estables y, por tanto, necesitados de una acción de saneamiento hidráulico (Serpieri, 1947: 68-69; Dainelli, 1954; Bevilacqua y Rossi-Doria, 1984: 48).

² Máquina «devoradora» de agua.

3. La *bonifica* en Italia: evolución de las técnicas

3.1. *Macrohidráulica*

Hasta la aparición de las bombas de vapor, la relativa abundancia del agua que caracteriza a gran parte de la península italiana se controlaba, con fines agrícolas, utilizando para ello el principal agente de movimiento de las masas hídricas: la fuerza de la gravedad. Las dos formas principales de saneamiento hidráulico y agrario de las tierras pantanosas fueron, como ya se ha dicho, por un lado, la recogida de las aguas en canales de drenaje y, por otro, la elevación y protección de los terrenos mediante muros de contención y diques. Dejando a un lado los saneamientos realizados mediante extracción mecánica, podemos agrupar los métodos de *bonifica* en tres grandes categorías. Se excluye de esta clasificación el saneamiento de aguas de montaña, cuyos problemas sobrepasan los límites de este trabajo.

3.1.1. *Bonifica* por desagüe natural mediante canalización

El principio base de toda *bonifica*, del cual los técnicos eran plenamente conscientes desde el siglo XV, es la separación de las «aguas altas» de las «aguas bajas». El agua que vierte desde los terrenos superiores ha de ser recogida por medio de muros de contención o diques para alejarla de las tierras bajas que se pretenden sanear. Las cuencas deprimidas son a menudo protegidas con diques, a través de los cuales se pasan las aguas drenadas. Algunos instrumentos de regulación (esclusas, alcantarillas) se abren o se cierran en relación con el nivel del curso de las aguas o del mar en el que las aguas de saneamiento se vierten, con el fin de impedir que en los canales de drenaje afluyan aguas altas de los ríos o del mar. En el valle del Po, el escaso viento impide la utilización de molinos y técnicas de extracción del agua como los elaborados en los Países Bajos desde el siglo XVI.

3.1.2. *Bonifica* por desagüe artificial con extracción mecánica del agua

Disponer de grandes bombas o ruedas movidas por energía mecánica permite descargar las «aguas bajas» directamente en los ríos o en los colectores de aguas altas superando los desniveles existentes entre las dos masas hídricas. Teniendo en cuenta el principio de la separación de los dos tipos de aguas, las bombas permiten un flujo de las aguas de precipitación atmosférica mucho más rápido que por medio del desagüe natural. La rápida desecación de las tierras, especialmente las turbosas, genera a menudo un fenómeno de rápido y sensible descenso de los suelos (sub-

sidencia), que obliga a una continua adaptación de las bombas instaladas. La sustitución de las norias por bombas centrífugas de tipo *guyne* y el uso de motores diesel y eléctricos, en sustitución de las máquinas de vapor, aumentó mucho la capacidad de desecación desde el siglo pasado a éste.

3.1.3. *Bonifica* por colmatación

Éste es el método de desecación y de creación de suelo agrario más lento, pero más seguro. Desarrollado en los países nórdicos, con efecto mareal acusado, y aplicado en Italia, se empleó desde la Baja Edad Media en Romaña (Gambi, 1994) y, sobre todo, en Toscana. Con este método, se aprovechaba la gran masa de materiales de erosión transportados por las aguas de crecida de los ríos de los Apeninos, que venían artificialmente encauzados hasta depósitos protegidos con muros de contención (depósitos de colmatación). Estas aguas se dejaban reposar hasta que se desprendían de las sustancias transportadas. Entonces, las aguas decantadas se descargaban en el exterior del recipiente de colmatación. Así, el nivel del suelo se podía elevar alrededor de diez centímetros en pocos decenios, hasta garantizar al suelo su desagüe natural. En el depósito de colmatación del río Lemone, creado en la provincia de Ravena tras la inundación de 1839, y en otros depósitos de colmatación de la provincia de Bolonia, se practicaba también el cultivo de arroz, aprovechando la gran masa de agua acumulada en estos recintos amurallados (Nardi, 1962).

3.2. *Microhidráulica*

Agricultores y granjeros de la llanura lombarda han sabido elaborar y perfeccionar con el tiempo el saber y las técnicas de control y distribución de las aguas de riego, hasta crear una compleja red de canales, acequias y pequeños canales de riego que distribuyen a los campos, a los prados y a los arrozales millones de metros cúbicos de agua de riego cada año (Chitolini, 1979; Roveda, 1984). Los agricultores y los colonos aparceros de la llanura emilio-romañola y véneta, en cambio, han desarrollado al máximo todos los sistemas para asegurar una rápida eliminación de las aguas de precipitación atmosférica en sus campos, que la naturaleza arcillosa e impermeable de los suelos llevaría a estancar durante tiempo, dañando con ello las plantas y los cultivos. El sistema agrario dominante, elaborado a partir del siglo XV, prevé de hecho la presencia constante del agricultor en la finca, la obligación de este último de llevar a cabo inversiones para crear o perfeccionar el sistema de desagüe excavando todos los años decenas de

metros de foso; la plantación de filas de árboles a distancia regular a lo largo de las márgenes de los fosos de desagüe, de modo que el arbolado aumente la evaporación del agua del subsuelo; el subsolado capaz de aveñar el terreno; la nivelación, capaz de crear la «baulatura»³ de los terrenos, elevando la parte central de los campos para facilitar que las aguas escurran a ambos lados hacia los fosos; el mantenimiento de los espacios verdes en los extremos de cada campo cultivado, para facilitar la rotación del arado y con funciones de drenaje de las aguas, etc. (Poni, 1964; 1982).

4. Riego y *bonifica* en Italia: una cronología esencial

4.1. *El agua y las comunidades ciudadanas: 1000-1450*

La consolidación de las comunidades ciudadanas en la Italia del norte y la reivindicación de autonomía política contra el Imperio, se acompañó de la afirmación del carácter público de las aguas y de las primeras obras que sirvieron para el drenaje y el riego colectivo de las tierras. Eran usos naturalmente prioritarios, los usos para la navegación y los usos industriales de las aguas, para lo cual se derivaban éstas a los canales navegables lombardos y emilianos. La actividad de *bonifica* de las tierras pantanosas y de colonización agrícola, a lo largo del curso del Po, tuvo como protagonistas principales a los grandes monasterios benedictinos y cistercienses asentados en el valle del Po (Chiaravalle, Morimondo, S. Colombano, Sta. Giulia di Brescia, S. Zeno di Verona, S. Benedetto in Polirone, Nonantola, Pomposa, etc.) (Fumagalli, 1980; Castagnetti, 1977).

Siglos XI-XII. La estructura fundamental de distribución del agua de riego en la provincia de Milán y en Lombardía se realizó en el siglo XII por obra de los monjes cistercienses de la Abadía de Chiaravalle y del Ayuntamiento de Milán y extraía agua del río Ticino con el Canal Grande (1177-1179), obra que conseguía asegurar la navegación hacia la capital lombarda y a la vez extraer agua para usos agrícolas (Fantoni, 1990: 27-39).

Siglo XIII. Otra obra de riego de primera magnitud, realizada en la época de las comunidades, es el Canal Muzza (iniciado en 1230). Éste liberaba agua del río Adda y desde siempre representó el eje principal de riego del territorio de Lodi. La ciudad de Cremona tomaba agua del río Oglio a través de los canales de navegación Cívico y Vecchio Pallavicino. Parma creó el canal ducal de Enza. Otros canales, navegables y de riego, se excavaron desde las ciudades de Bérgamo, Brescia, Módena y otras. Tam-

³ Esta expresión hace referencia a la forma redondeada de la parte alta de los terrenos, que se asemeja a la tapa de un baúl.

bién se construyeron en los campos de Padua y Vicenza canales para uso agrícola, derivando agua del río Brenta (Bigatti, 1995: 34-45; *Atlantico de la bonifica*, s. f.).

Siglos XIV-XV. A pesar de la crisis demográfica se realizaron diversas obras de regadío en las regiones del Piamonte y la Lombardía, en las provincias de Bérgamo, Novara, Vercelli y Cuneo.

4.2. La «carrera por la tierra»: saneamiento y «rescate» de tierras en la Italia centro-septentrional: 1450-1600

El Renacimiento fue el período de máxima expansión de la conquista de nuevas tierras mediante obras de drenaje y desecación de tierras pantanosas. Se completó también la estructura principal de distribución del agua de riego en la parte occidental del valle del Po. En concomitancia con el declive de las actividades comerciales y mercantiles, se destinan a la tierra y a la agricultura conspicuas inversiones. Las dificultades financieras de muchas órdenes religiosas y hospitalarias favorecieron el avance, sobre todo en la zona occidental del valle del Po, de inversores agrícolas que, alquilándoles las tierras, prepararon la conversión en prados o en tierras de cultivo de forraje de muchos terrenos áridos y gravosos de la parte alta de la llanura, mediante obras de regadío. Del mismo modo, difundieron el cultivo del arroz en las tierras más bajas. En el Véneto y en las tierras de la región Emilia-Romaña de la margen derecha del Po, se realizó la desecación a escala cada vez más amplia de los bajos fondos (Cazzola, 1991b).

La expansión de la República de Venecia hacia la «tierra firme» dio lugar a una política hidráulica organizada y sistemática, cuyo momento central fue la institución de magistraturas como los Savi ed Essecutori alle Acque (1510) y los Poveditori sopra i Beni Inculti (1556). Estos últimos asumieron en primera persona la tarea de aprobar y coordinar todos los proyectos de saneamiento (*rescate*) promovidos por inversores privados, consorcios de propietarios y comunidades (Ciriaco, 1994; Ventura, 1968). En las tierras bajas de la llanura del Po, fueron los príncipes y los especuladores privados los protagonistas de proyectos de desecación, que posibilitaron la recuperación de decenas de miles de hectáreas de tierras destinadas al cultivo de trigo.

Desde la mitad del Cuatrocientos, los Estensi, señores de Ferrara, promovieron obras de contención de las crecidas y de defensa frente a los aluviones del territorio ferrarés e invirtieron cantidades ingentes de capital en desecar cientos de hectáreas de sus tierras. Lo mismo hicieron muchos exponentes de la nobleza local, de la Corte y de la burguesía ciudadana, individualmente o reunidos en los primeros *consorcios de bonifica*. También se realizaron programas de desagüe entre el Cuatrocientos y el Quinientos,

por parte de grandes familias boloñesas, como los Bentivoglio, los Bevilacqua, los Pepoli, los Malvezzi (Cazzola, 1977; 1987a; 1987b). Del mismo modo, en Toscana, los Médicis llevaron a cabo obras de revalorización del territorio y de desecación, con construcción de diques en los ríos y, sobre todo, con el perfeccionamiento de las técnicas de *bonifica* por colmatación. Estas últimas aprovechaban la fuerza erosiva del agua en las zonas de colinas con el fin de utilizar los materiales de erosión para llenar las zonas deprimidas (Barsanti y Rombai, 1986).

No faltó algún intento de afrontar los más complejos problemas del saneamiento en la Italia meridional: la *bonifica* de las *Paludi Pontine* que intentó el papa Sixto V y la *bonifica* de los Regi Lani en el reino de Nápoles (Ciasca, 1928; Fiengo, 1985).

4.3. Regulación de los ríos y controversias hidráulicas: 1600-1750

El sensible empeoramiento climático que tuvo lugar en la segunda mitad del siglo XVI («pequeña época glaciaria») contribuyó a un agravamiento de los ya complejos problemas hidráulicos en toda la cuenca del Po (Sereni, 1981; Pfister, 1988). Los efectos más evidentes y documentados del incremento de las lluvias y de un enfriamiento climático son el avance de los glaciares alpinos, el crecimiento importante de los cauces de los ríos y el aumento de los aluviones en el Po y en sus afluentes, desde el Piamonte hasta el Delta. La atención de los gobiernos y de las administraciones públicas se concentró en los problemas creados por los ríos y por las siempre frecuentes inundaciones. Las inversiones para la defensa de los campos y de las ciudades frente a los aluviones eran cada vez más costosas. A esto hay que añadir la creciente carga de impuestos que los campesinos debían pagar, en corveas o prestaciones de trabajo. El fuerte fraccionamiento político de la Península agravó los contrastes entre los estados, que se alzaron precisamente a causa del desorden hidráulico.

Las controversias más relevantes se encontraron en la República de Venecia, el ducado de Mantua y el Estado de la Iglesia. Este último, desde el año 1598 había recuperado la posesión del ducado de Ferrara y limitaba ahora con el territorio veneciano. Los episodios más relevantes que caracterizaron el primer Seiscientos son el gran *Corte* y la desviación del curso principal del Po, por obra de los venecianos (1599-1604) (Cessi, 1915), y la separación del Reno del cauce del Po (1604), instado por los ferrareses para poner fin al peligro de inundaciones producidas por las crecidas del río Reno. Esta intervención liberó las aguas del Reno, que se expandieron a las zonas deprimidas de la llanura existente entre Ferrara y Bolonia, creando nuevos y más extensos fenómenos de empantanamiento de tierras, incluso entre las ya cultivadas. A principios del siglo XVII se tuvo que tomar en

consideración que las ramas meridionales del río Po (Po de Ferrara, de Priamar, de Volano) se habían perdido y que sobre ellas la navegación era imposible (Giacomelli, 1983).

Tras el gran *Corte* de 1604, la República veneciana persiguió con tenacidad el fin de alejar, con potentes muros de contención, todos los ríos que desembocaban en la gran Laguna. Esto tuvo lugar con la excavación de la Brenta Novissima (1610), con la desviación del río Piave, que antes confluía en el Levenza en Santa Margarita (1664) y después en Cortellazzo, fuera del área lagunar (1683), y con la desviación de los otros ríos menores. La política veneciana de aguas concentró, por otra parte, ingentes recursos financieros en la clausura sistemática de todas las nuevas desembocaduras que el río Po abría en dirección a Venecia y al área de la Laguna. Así, en el siglo XVII, cambió profundamente la macroestructura hidráulica de la zona oriental del valle del Po. Una espantosa inundación del Po en 1705, que sumergió todas las tierras de su curso inferior, desde Mantua al mar, cerró un período de grandes dificultades, marcado por carencias y pérdidas demográficas.

4.4. Los ríos bajo control y las nuevas condiciones de la bonifica: 1750-1850

La nueva expansión económica y demográfica de la segunda mitad del siglo XVIII estuvo marcada, en el área oriental del valle del Po, por el reemprendimiento de importantes obras de *bonifica* y regulación de los cauces de los ríos. En la República de Venecia, en la que ya en 1677 se había creado una magistratura «expresa» para gestionar las aguas del río Adigio, fue en 1797 cuando se finalizó el proyecto de delimitación del área de la Laguna, consistente en definir con obras de contención, con la construcción de diques en el mar (*murazzi*) y con la fijación de mojones, el perímetro ocupado por el área lagunar (Bevilacqua, 1995: 95-108).

También en la región de Bolonia y en la parte meridional del ex ducado de Ferrara, sujetos al poder del Papa, donde los problemas de desorden hídrico eran particularmente complejos, se consiguió delinear en 1765 (y realizar en el decenio siguiente) el proyecto de un nuevo y definitivo encauzamiento del río Reno en el ramo meridional del Po, tras haber excavado y adaptado el cauce. La decisión política de realizar la obra puso fin a una controversia hidráulica entre las dos provincias que duró desde 1604 y sentó las bases para la recuperación agraria de los territorios boloníes y ferrareses afectados por las periódicas y violentas inundaciones del Reno (Giacomelli, 1983). A lo largo del siglo XVIII, también el territorio de Ravenna fue defendido de las inundaciones de los ríos Ronco y Montone, que cercaban la ciudad y amenazaban las construcciones, con una obra de encauzamiento de dos ríos en un solo cauce artificial que permitió

que llegara al mar alejado de la ciudad: los Ríos Unidos (1733-1739) (Gambi, 1994).

En el curso del siglo XVIII, en la llanura lombarda se continuó también aquella «carrera contra el agua» que había sido un rasgo recurrente en la historia de esas tierras. Las inversiones de extensión del regadío se destinaron sobre todo a la producción de forraje para el ganado de leche y para el cultivo de arroz, este último en fuerte expansión especialmente en el Pavese y en la Lomellina (Canetta, 1976; Zappa, 1980: 203-210; Faccini, 1976 y 1988: 242; Bigatti, 1995: 78-79).

En el Gran Ducado de Toscana, bajo Pedro Leopoldo de Lorena, se afrontó de forma definitiva el problema de la sistematización hidráulica del valle de Chiana, un territorio pantanoso situado en el límite entre Toscana y el Estado Pontificio. Según un plano del hidráulico Vittorio Fossombroni, una colmatación general debería haber alzado el nivel de la parte centro-meridional del valle de Chiana, de modo que se invirtiera en dirección al río Arno el plano de caída de todas las aguas de la provincia. En 1780, fue creado para ello un largo muro de separación entre la zona toscana del valle de Chiana y la zona pontificia, con el objetivo fundamental de servir de vertiente en la lenta tarea de colmatación, destinada a durar algunos decenios (Barsanti y Rombai, 1986: 104-105). El joven soberano lorenés, apenas asentado, había promovido también intervenciones de reducción de las áreas pantanosas y maláricas del interior de la Toscana (Barsanti, 1990: 333-340). Éste concedió particular atención al saneamiento de las tierras pantanosas formadas por el Ombrone y otros ríos de la provincia de Grosseto, financiando el proyecto del matemático padre Leonardo Ximenes, de regulación del lago Castiglione, fuente principal de infección malárica (Barsanti y Rombai, 1986: 124-125).

También los pontífices romanos intentaron «embarcarse» de algún modo en el reto general de la *bonifica* que caracterizó la segunda mitad del Setecientos, apuntando al saneamiento higiénico y a la sistematización hidráulica de las Paludi Pontine, una vasta cuenca aluvial, de más de 20.000 hectáreas al sur de Roma, afectada por una grave desregulación hidráulica y cuyo saneamiento se había intentado ya en el siglo XVI por obra de Sixto V. El papa reformista Pío VI, en 1775, recién elegido pontífice, trajo de Bolonia al hidráulico más acreditado, Gaetano Rappini, y le confió la dirección técnica de una obra de regulación hidráulica de dimensión y de coste importantes (Giacomelli, 1995), que permitió desecar permanentemente al menos 10.000 hectáreas de tierras y distribuirlas entre los colonos, pagando un canon anual de 3 escudos por *rubbio* de tierra (1,85 ha) (Bevilacqua y Rossi-Doria, 1984: 33-35). Menor dimensión y menor empeño recibieron tierras necesitadas de saneamiento hidráulico del *Mezzogiorno* borbónico. Aparte de la tentativa esporádica de *bonifica* del valle de Diano y de la llanura de Fondi, en el límite con el Estado de la Iglesia, el esfuerzo del

gobierno napolitano en el Setecientos no fue más allá de la manutención de obras realizadas en épocas precedentes, como los Regi Lagni, en la margen izquierda del río Volturno. Los límites más graves de la intervención estatal borbónica en la regulación hidráulica fueron sobre todo la dispersión de las intervenciones y la falta de un plan coordinado de obras (Ciasca, 1928; Bevilacqua y Rossi-Doria, 1984: 45-48; Bruno y Lembo, 1982).

4.5. La bonifica con las máquinas de vapor: 1850-1915

Un momento decisivo en las técnicas de desagüe y drenaje de los terrenos pantanosos tuvo lugar en Italia en torno a la mitad del siglo XIX. La introducción de las máquinas de vapor en el accionamiento de las bombas para la extracción mecánica del agua modifica radicalmente las condiciones técnicas del saneamiento, haciendo posible superar los límites que la fuerza de la gravedad impone a las masas líquidas y permitiendo el desagüe rápido de vastas superficies de tierra permanentemente sumergida, en cuanto situada a cotas de altitud nulas o negativas respecto al nivel medio del mar. Se abrió, de este modo, el gran período de los desagües rápidos y del saneamiento especulativo, que trajo consigo, por otra parte, nuevos problemas hidráulicos y agrarios.

Durante el dominio austríaco del Véneto (1854), se llevó a cabo el saneamiento de los Grandes Valles veroneses y ostiglieses, que descargó una gran masa de agua en los territorios orientales de Rovigo e impuso nuevos métodos de reordenación del sistema hidráulico (Malesani, 1952). Entre los primeros en emplear la máquina de vapor para desecar las tierras sumergidas figuran algunos propietarios vénetos de tierras pantanosas situadas entre el delta del Po y la desembocadura del Adigio, en los municipios de Adria y Cavazzere. Siguen el ejemplo los propietarios de Ferrara. Las primeras máquinas de vapor movían simples norias o ruedas-bomba que elevaban el agua de los canales de drenaje excavados en el fondo de las tierras húmedas y la descargaban en los cursos de agua cercanos. El sistema, muy similar al de la *noria*, por cuanto poco eficiente, generaba buenos resultados en terrenos sumergidos de escasa entidad permitiendo un rápido desagüe de cientos de hectáreas de valles y de tierras sumergidas periódicamente. Siempre en el delta del Po, muchos propietarios usaban, sin embargo, máquinas de vapor móviles también para traer agua a los arrozales plantados en el fondo.

Las primeras desecaciones mecánicas de los años cincuenta conocieron también fracasos, debido al consumo excesivo de energía de las primeras máquinas, al todavía imperfecto cálculo de los coeficientes de desecación y al rápido hundimiento de los terrenos desaguados (Isenburg, 1971: 12-19; Porisini, 1978: 14-35).

Pocos años más tarde, a principios de la década de 1870, la difusión de las nuevas bombas centrífugas movidas a vapor permitió la desecación de los terrenos más deprimidos, ya que estas nuevas bombas podían elevar grandes masas de agua a gran velocidad, superando desniveles de hasta tres metros y más. En los años 1873-1875, entraron en funcionamiento, en la provincia de Ferrara, las primeras instalaciones grandes y modernas de extracción mecánica del agua que se servían de bombas centrífugas tipo *guyne*. Para desecar otras zonas húmedas de la provincia se emplearon máquinas de menores dimensiones.

Entre 1873 y 1893 se sometieron a saneamiento mecánico, sólo en esta provincia, más de 75.000 hectáreas de tierras pantanosas. Los primeros resultados suscitaron gran entusiasmo entre los propietarios de las regiones del Véneto y de Emilia-Romaña. Gracias también a una ley expresa de 1882 que tomó el nombre del ministro de Obras Públicas Alfredo Baccarini, la *bonifica* de las tierras húmedas se convirtió en obra de utilidad pública, tras lo cual sería financiada por el Estado y las administraciones locales una gran parte de las instalaciones necesarias. Entre finales del XIX e inicios del XX se construyeron, así, nuevos consorcios de propietarios para sanear otras tierras pantanosas y se presentaron modernos proyectos de canalización y control del suelo mediante bombas: el *Consorzio dell'agro reggiano-mantovano* (1889), el *Consorzio de la bonifica renana* en la provincia de Bolonia (1909) para más de 100.000 hectáreas. Y además: el *Consorzio interprovinciale della bonifica di Burana* (Módena, Mantua, Ferrara), que ocupó una superficie de 85.000 hectáreas, inauguró en el año 1899 la obra principal: un «túnel» que permitió a las aguas de desagüe de la circunscripción pasar bajo el cauce del río Panaro. Esta obra ya fue construida en la época napoleónica (1811) pero no pudo nunca entrar en funcionamiento por las divisiones políticas surgidas en la Restauración.

Entre 1885 y 1901 se realizaron las obras fundamentales para asegurar la extracción de las aguas de la provincia de Rovigo, situada entre los cauces de los ríos Po y Adigio y sobre la cual afluyen las aguas de desagüe de las provincias de Verona y Mantua, que corren a través del Canabianco. En 1907 se construyó aquí el *Consorzio per la bonifica padana*.

En cuanto al riego, tras la unificación política del nuevo Reino de Italia recibieron un nuevo impulso dos obras de modernización y expansión considerable de la disponibilidad de aguas para riego en la zona occidental del valle del Po: el canal Cavour y el canal Villorresi (Segre, 1983).

4.6. La «bonifica integrale»: 1920-1945

A principios de los años veinte se elabora en Italia el concepto de «*bonifica integrale*», adoptado enseguida como línea de la política agraria

oficial del régimen fascista (Stampacchia, 1983). Según las definiciones del máximo teórico del saneamiento (Serpieri 1947: 139), por *bonifica* se entiende una acción programada de saneamiento hidráulico combinada con una multiplicidad de otras obras (de riego, hidrogeológicas, civiles, etc.) y con unas actividades coordinadas de transformación urbanística, que conforman la base de una acción más general de modificación de los regímenes agrarios, de la orientación productiva de los asentamientos y de las relaciones sociales agrarias de la circunscripción sujeta a *bonifica* integral. En la parte baja del valle del Po, y en la región de Emilia-Romaña en particular, gran parte de la superficie agraria fue incluida en circunscripciones de *bonifica* integral y, por tanto, en régimen de consorcio para la ejecución y la manutención de las obras de desagüe. En 1948, la superficie gestionada mediante consorcio era de 247,6 mil hectáreas en Lombardía, de 682,9 en el Véneto y de 1.069,2 en Emilia-Romaña.

Tuvieron gran resonancia a nivel propagandístico, aunque la consistencia territorial fue limitada, algunas obras de saneamiento y de colonización realizadas por el régimen fascista en el Agro Pontino, en Cerdeña y en la Puglia en los años treinta (Barone, 1979; 1986; Cerri, 1979; Checco, 1983). Efectos menos asombrosos, pero quizá más significativos desde el punto de vista de la producción, tuvo en cambio la extraordinaria difusión de las instalaciones pequeñas de riego a escala empresarial mediante pozos artesanos. En los años veinte y treinta el sostenimiento estatal con contribuciones a los agricultores llevó a expandir la superficie de regadío de modo significativo, especialmente en el centro-sur y en las islas. La situación del regadío en Italia en el año 1931 era la siguiente:

Cuadro 2.1

SUPERFICIE DE REGADÍO EN ITALIA EN 1931 (MILES DE HECTÁREAS)	
Norte	1.194
Centro	55
Sur	113
Islas	80

Fuente: Bevilacqua y Rossi-Doria, 1984, p. 68.

4.7. Bonifica, regadío y reforma agraria: 1950-1970

La sucesiva evolución de la actividad de saneamiento hídrico en Italia ha estado condicionada profundamente por este enfoque que asigna un carácter de utilidad pública a la *bonifica*. La Ley que en 1950 pone en

marcha una reforma parcial agraria dio más espacio a la *bonifica* y a nuevos procesos de desecación de tierras pantanosas sumergidas en el delta del río Po y en la Maremma toscana. Saneamiento y colonización de las nuevas tierras secas caracterizan la política agraria de los gobiernos de los años cincuenta y sesenta, según un modelo que apuntaba a la pequeña empresa familiar autosuficiente, con una minoría de asignatarios de los terrenos, y a la continuación de las obras de saneamiento y de transformación inmobiliaria para afrontar la fuerte presión de los jornaleros desocupados.

A principios de los años ochenta estaban comprendidas en las circunscripciones de *bonifica* al menos 11,1 millones de hectáreas. Los terrenos sujetos a obras de desagüe, o sea, de *bonifica* en sentido estricto, alcanzan hoy 4,15 millones de hectáreas repartidos del siguiente modo:

Cuadro 2.2

SUPERFICIE SUJETA A OBRAS DE DESAGÜE (MILES DE HECTÁREAS)			
Reparto geográfico	Natural	Desagüe Mecánico	Con extracción TOTAL
Norte	1.306	1.004	2.310
Centro	760	75	835
Sur, Islas	943	62	1.005
ITALIA	3.009	1.141	4.150

Fuente: Bevilacqua y Rossi-Doria, 1984, p. 67.

La nueva sensibilidad ecológica, madurada a partir de los años setenta, ha llevado a detener las obras de desecación de los pocos humedales que quedan y a modificar el planteamiento del problema de la *bonifica*. Se apunta, de hecho, al desarrollo de sistemas mixtos de gestión del agua (drenaje en los meses invernales y regadío en los meses de verano), con los cuales mantener en el terreno la cantidad de agua y de humedad necesaria para asegurar la vida de las plantas cultivadas en las distintas estaciones del año. La difusión del regadío en las tierras del Mezzogiorno ha sido el hecho nuevo que ha marcado la historia de la agricultura italiana a partir de los años cincuenta, pues históricamente el regadío había sido una prerrogativa casi exclusiva de la Italia del norte. Desde 1948 a 1975 la superficie de regadío en el sur y en las islas ha aumentado en 500.000 hectáreas, cuadruplicándose respecto al año 1905, mientras en el norte ya existían dos tercios del regadío a principios de siglo (cuadro 2.3).

SUPERFICIE DE REGADÍO EN ITALIA (MILES DE HECTÁREAS)

Años	Norte	Centro	Sur	TOTAL
1905	1.110	20	180	1.300
1948	1.200	50	200	1.450
1968	1.500	200	600	2.300
1975	1.650	230	670	2.550

Fuente: Bevilacqua y Rossi-Doria, 1984, p. 69.

Bonifica y regadío, gracias a la difusión de la mecanización agraria y del riego por aspersión, y demás sistemas de riego localizado, se pueden considerar hoy dos aspectos de una gestión de los recursos hídricos que debe ser cada vez más unitaria e integrada, teniendo en cuenta también la competencia que los usos civiles e industriales hacen a los usos agrícolas del agua y que ciudad e industria empeoran con agentes gravemente contaminantes la calidad del agua destinada a los campos.

Bibliografía

Atlantico della Bonifica (s. f.), coordinado por la Direzione Generale della Bonifica e della Colonizzazione del Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, Roma: MAF.

BARONE, G. (1979), «Capitale finanziario e bonifica integrale nel Mezzogiorno tra le due guerre», *Italia Contemporanea*, 137, pp. 63-81.

BARONE, G. (1986), *Mezzogiorno e modernizzazione. Elettricità, irrigazione e bonifica nell'Italia contemporanea*, Turin: Einaudi.

BARSANTI, D. (1982), «Il problema storico della bonifica maremmana», *Bollettino della Società Storica Maremmana*, 43-44, pp. 119-125.

BARSANTI, D. (1990), «Tecniche e vicende delle bonifiche toscane tra '700 e '800», en I. TOGNARINI (coord.) (1990), pp. 329-349.

BARSANTI, D. y L. ROMBAI (1986), La «guerra delle acque», en *Toscana. Storia delle bonifiche dai Medici alla Riforma agraria*, Florencia: Edizioni Medicea.

BEVLACQUA, P. (1995), *Venezia e le acque. Una metafora planetaria*, Roma: Donzelli.

BEVLACQUA, P. y M. ROSSI-DORIA (1984), «Lineamenti per una storia delle bonifiche in Italia dal XVIII al XX secolo», en P. BEVLACQUA y

M. ROSSI-DORIA (coords.), *Le bonifiche in Italia dal '700 a oggi*, Bari: Laterza.

BIGATTI, G. (1995), *La provincia delle acque. Ambiente, istituzioni e tecnici in Lombardia tra Sette e Ottocento*, Milán: Franco Angeli.

BRUNO, G. y R. LEMBO (1982), *Acque e terra nella piana del Sele. Irrigazione e bonifica nel comprensorio in Destra del Sele fra XIX e XX secolo*, Salerno: Consorzio di bonifica in Destra del fiume Sele.

CANETTA, R. (1976), «L'irrigazione nella bassa pianura lombarda tra il Sette e Ottocento», en M. ROMANI (ed.), *Le campagne lombarde tra Sette e Ottocento Alcuni temi di ricerca*, Milán: Vita e Pensiero, pp. 67-140.

CASTAGNETTI, A. (1977), «La pianura veronese nel medioevo. La conquista del suolo e la regolamentazione delle acque», en *Una città e il suo fiume: Verona e l'Adige*, Verona: Banca Popolare di Verona.

CAZZOLA, F. (1977), «Bonifiche e investimenti fondiari», en A. BERSELLI (ed.), *Storia dell'Emilia Romagna*, vol. II, Bologna: University Press, pp. 209-228.

CAZZOLA, F. (1987), «Le bonifiche nella Valle Padana: un profilo», *Rivista di Storia dell'Agricoltura*, XXVII, 2, pp. 37-66.

CAZZOLA, F. (1987a), «La Bonifica del Polesine di Ferrara dall'età estense al 1885», en *La Grande Bonificazione Ferrarese. vol. I, Vicende del comprensorio dall'età romana all'istituzione del Consorzio* (1883), Ferrara: SATE, pp. 103-251.

CAZZOLA, F. (1987b), «Il ritorno alla terra», en *Il tramonto del Rinascimento*, vol. 10 de la *Storia della società italiana*, Milán: Teti, pp. 103-168.

CAZZOLA, F. (1991a), «L'introduzione del mais in Italia e la sua utilizzazione alimentare (sec. XVI-XVIII)», en *La préparation alimentaire des céréales*. Informes presentados a la mesa redonda, Ravello, Centre Universitaire pour les Bien Culturels, abril de 1988, ed. D. Fournier, PACT, 26, pp. 109-127.

CAZZOLA, F. (1991b), «L'espansione dell'area coltivata nell'Italia centro-settentrionale tra XV e XVII secolo. Qualche linea interpretativa», *Proposte e Ricerche*, 27, pp. 13-25.

CERRI, R. (1979), «Note sulla bonifica integrale del fascismo», *Italia Contemporanea*, 137, pp. 35-61.

CESSI, B. (1915), «Il taglio del Po a Porto Viro», *Nuovo Archivio Veneto*, n.s., XV, parte II, pp. 319-368.

CHECCO, A. (1983), Stato, finanza e bonifica integrale nel Mezzogiorno, Milán: Giuffrè.

CHITTOLINI, G. (1979), «Alle origini delle "grandi aziende" della bassa lombarda. L'agricoltura dell'irriguo fra XV e XVI secolo», en *L'azienda agraria nell'Italia centro-settentrionale dall'antichità ad oggi*,

- Arti del Convegno di Verona, 28, 29 y 30 de noviembre de 1977, Nápoles: Giannini, pp. 185-199.
- CIASCA, R. (1928), *Storia delle bonifiche nel Regno di Napoli*, Bari: Laterza.
- CIRIACONO, S. (1994), *Acque e agricoltura. Venezia, l'Olanda e la bonifica europea in età moderna*, Milán: Franco Angeli.
- DAINELLI G. (1954), *Introduzione agli studi per la bonifica: L'ambiente naturale e i precedenti storici della valorizzazione agraria e della bonifica in Italia*, Suplemento al *Boletín*, 12/1954 dell'Associazione Nazionale delle Bonifiche, delle Irrigazioni e dei Miglioramenti Fondiari, Roma: REDA.
- DARBY, H. C. (1983), *The Changing Fenland*, Nueva York: Cambridge University Press.
- FACCINI, L. (1976), *L'economia risicola lombarda dagli inizi del XVIII secolo all'unità*, Milán: Sugarco.
- FACCINI, L. (1988), *La Lombardia fra Sei e Settecento. Riconversione economica e mutamenti sociali*, Milán: Franco Angeli.
- FANTONI, G. (1990), *L'acqua a Milano. Uso e gestione nel basso medioevo (1385-1535)*, Bologna: Cappelli.
- PIENGO, G. (1985), «Regi Lagni e l'avvio della bonifica della Campania felix nell'ultimo decennio del Cinquecento», *Archivio Storico Italiano*, 143, 3, pp. 399-428.
- FUMAGALLI, V. (1980), «Colonizzazione e bonifica nell'Emilia durante il Medioevo». *I Settant'anni del Consorzio della Bonifica Renana*, Bologna: Arnaldo Forni.
- GAMBI, L. (1994), «Le bonificazioni», in L. GAMBI (ed.), *Storia di Ravenna*, IV, *Dalla dominazione veneziana alla conquista francese*, Ravenna: Comune di Ravenna, Marsilio, pp. 583-616.
- GIACOMELLI, A. (1983), «Appunti per una rilettura storico-politica delle vicende idrauliche del Primaro e del Reno», in centro studi G. Baruffald-Cento, *La pianura e le acque tra Bologna e Ferrara. Un problema secolare*, Mostra documentaria e iconografica, Cento, pp. 101-154.
- GIACOMELLI, A. (1995), «Per un'analisi comparata delle bonifiche dello Stato Pontificio nel secondo Settecento: la bonifica delle tre legazioni e la bonifica pontina», in G. R. ROCCI (ed.), pp. 83-272.
- GRINOVERO, C. (1954), «Lineamenti e sviluppi fino al 1945», in *L'irrigazione in Italia*. Memoria presentata al II Congresso Internazionale delle Irrigazioni e delle Bonifiche (Argel, 12-17 de abril de 1954), edición al cuidado de Cassa per il Mezzogiorno; Associazione Nazionale delle Bonifiche, delle Irrigazioni e dei Miglioramenti Fondiari, Roma: Istituto Poligrafico dello Stato.
- HAUSSMANN, G. (1972), «Il suolo d'Italia nella storia», in *Storia d'Italia Einaudi*, vol. I, Turin: Einaudi, pp. 63-131.

- ISENBURG, T. (1971), *Investimenti di capitale e organizzazione di classe nelle bonifiche ferraresi (1872-1901)*, Florencia: La Nuova Italia Editrice.
- LEVI, G. (1991), «L'energia disponibile», in R. ROMANO (ed.), *Storia dell'economia italiana, II, L'età moderna: verso la crisi*, Turin: Einaudi, pp. 141-168.
- MALESANI, E. (1952), «La bonifica delle Valli Grandi veronesi ed ostigliesi», in Istituto di Geografia dell'Università di Bologna, Studi geografici in onore di Antonio Renato Toniolo, Milán-Messina: Principato, pp. 57-105.
- MERCHANT, C. (1983), «Hydraulic technologies and the Agricultural Transformation of the English Fens», *Environmental Review*, 7 (2), pp. 165-177.
- NARDI, S. (1962), «Bonifiche e risaie nel Ravennate (1800-1860)», in *Problemi dell'Unità d'Italia*. Actas del II Convegno di Studi Gramsciani, Roma: Editori Riuniti, pp. 719-793.
- PFISTER, C. (1988), *Klimageschichte der Schweiz, 1525-1860*. Das Klima der Schweiz von 1525-1860 und seine Bedeutung in der Geschichte von Bevölkerung und Landwirtschaft, 3. durchgesehene Auflage, Bern-Stuttgart: Verlag Paul Haupt.
- PONI, C. (1964), «Aratri e sistemazioni idrauliche nella storia dell'agricoltura bolognese», *Studi Storici*, V, 4.
- PONI, C. (1982), *Fossi e cavedagne benedicon le campagne*. Studi di storia rurale, Bologna: Il Mulino.
- PORISINI, G. (1978), *Bonifiche e agricoltura nella bassa Valle Padana (1860-1915)*, Milán: Banca Commerciale Italiana.
- ROCCI, G. R. (ed.) (1995), *Pio VI, le paludi pontine*, Terracina. Catálogo de la muestra, Terracina, 25 de julio-30 de septiembre de 1995, Terracina: Giovanni Rosario Rocci.
- ROVEDA, E. (1984): «Il beneficio delle acque. Problemi di storia dell'irrigazione in Lombardia tra XV e XVII secolo», *Società e Storia*, VII, 24, pp. 269-287.
- SEGRE, L. (1983), *Agricoltura e costruzione di un sistema idraulico nella pianura piemontese (1800-1880)*, Milán: Banca Commerciale Italiana.
- SERENO, P. (1981), «Annus fructificat, non tellus». Considerazioni preliminari sulla «piccola età glaciale» nelle campagne del basso Piemonte», *Bollettino della Società per Gli Studi Storici. Archeologici ed Artistici della Provincia di Cuneo*, 85, pp. 155-187.
- SERPIERI, A. (1947), *La bonifica nella storia e nella dottrina*, Bologna: Edizioni Agricole.
- STAMPACCHIA, M. (1983), *Tecnocrazia e ruralismo. Alle origini della bonifica fascista (1918-1928)*, Pisa: ETS.
- TOGNARINI, I. (coord.) (1990), *Il territorio pistoiense e i Lorena tra '700 e '800: viabilità e bonifiche*, Nápoles: Edizioni Scientifiche Italiane.

VENTURA, A. (1968), «Considerazioni sull'agricoltura veneta e sull'accumulazione originaria del capitale nei secoli XVI e XVII», *Studi Storici*, IX, 1, pp. 674-722.

ZAPPA, A. (1980), «Il paesaggio agrario nella campagna pavese settecentesca: le colture irrigue», *Annali di Storia Pavese*, 4-5, pp. 203-210.

CAPÍTULO 3

CONSIDERACIONES ECONÓMICAS SOBRE EL PAPEL DEL AGUA EN LOS SISTEMAS AGRARIOS

José Manuel Naredo Pérez
 Director del Programa «Economía y Naturaleza»
 de la Fundación Argentina

1. El agua en el proceso agrario

El agua es, con mucho, la principal «materia prima» en tonelaje que interviene en el proceso de fotosíntesis, sobre el que se apoya la actividad agraria. El gráfico 3.1 ilustra cómo aproximadamente el 90% del peso fresco de los órganos aéreos de las plantas herbáceas está compuesto por agua, siendo el 10% restante materia seca. Pero 9 partes de estas 10 de materia seca están, a su vez, compuestas por carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O), captados conjuntamente con la ayuda del sol, del CO₂ del aire y del H₂O del agua. De esta manera quedaría sólo un 1% compuesto por los «nutrientes», que se descomponen en «macroelementos» (N, P, K, Ca, Mg, S), que contribuyen en cerca de un 0,8% del peso fresco y «microelementos», en el 0,2% restante.

Gráfico 3.1

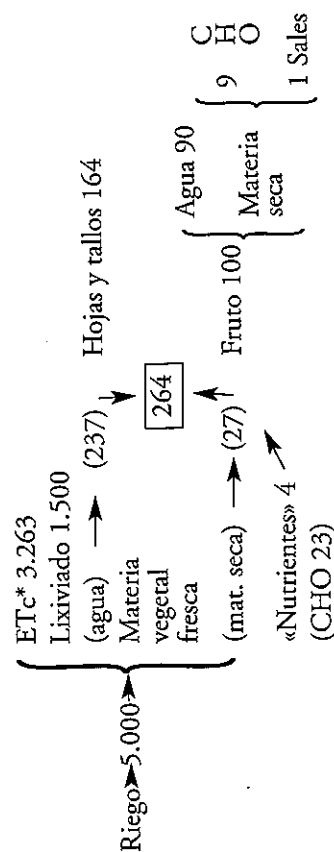
COMPOSICIÓN DE LOS ÓRGANOS AÉREOS DE LAS PLANTAS HERBÁCEAS (%)

Peso fresco 100	90 Agua	9 { C H O }	CO ₂ ← Aire
	10 Materia seca	1 { 0,8 Macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S) 0,2 Microelementos }	H ₂ O ← Agua

Pero, para conseguir que llegue a término el proceso de fotosíntesis, hace falta movilizar cantidades de agua muy superiores a las que se acaban fijando en las plantas en general, y, muy particularmente, en los frutos. Cosa que ocurre tanto en la fotosíntesis que tiene lugar espontáneamente en la naturaleza, como en aquella otra intervenida por los sistemas agrarios. Ejemplifiquemos esto con las mediciones directas realizadas sobre un cultivo irrigado de tomate¹, que se presentan simplificados en el gráfico 3.2.

Gráfico 3.2

FLUJOS DE AGUA EN UN CULTIVO IRRIGADO DE TOMATE



* Evapotranspiración del cultivo.

Las mediciones de la composición del fruto del tomate indican que se atiende *grosso modo* a lo antes indicado para las plantas herbáceas: el 90% viene a ser agua y el 10% materia seca, de la cual 1 son sales y 9 C, H y O. En el gráfico indicado vemos que para obtener 100 unidades (kilogramos) de fruto, hay que proporcionar, mediante el sistema de riego, 5.000 kg de agua. El gráfico permite seguir la pista del agua aplicada: de los 5.000 kg aplicados, 3.263 se pierden por cambio de estado, constituyendo lo que se llama la evapotranspiración del cultivo (ETc), 1.500 se «lixivian», perdiéndose en el subsuelo, y sólo los 237 restantes pasan a formar parte de la materia vegetal obtenida mediante la fotosíntesis. A los 237 de agua se añaden 27 de «materia seca» (de la cual 23 son C, H y O y 4 «nutrientes»), constituyendo 264 kilos de materia vegetal fresca. De ésta, 164 son hojas y tallos y sólo 100 fruto. De esta manera, por cada kilogramo de tomate obtenido hay que aplicar 50 kg (o litros) de agua. La cantidad de agua requerida por unidad de producto varía notablemente con los aprovechamientos y, dentro de éstos, con los procedimientos de cultivo y de manejo.

¹ LÓPEZ-GÁLVEZ, J. y J. M. NAREDO (1996), *Sistemas de producción e incidencia ambiental del cultivo en suelo enarenado y en sustratos*, Madrid: Fundación Agraria y Visor Dis.

Por ejemplo, en el mismo cultivo de tomate podría reducirse la exigencia de agua a 20 y a 15 litros por kilo de producto empleando sistemas de cultivo en invernadero más eficientes, o aumentarse a 70 u 80 en cultivos al aire libre menos eficientes en el uso del agua. Subrayemos que existen cultivos que utilizan el agua con mucha menor eficiencia que el de tomate antes mencionado. Por ejemplo, al cultivo de maíz se le vienen aplicando, en riego por aspersión en zonas áridas, unos 10.000 m³ (o toneladas, ya que 1 m³ = 1 tm) para obtener unos 10.000 kilogramos por hectárea, lo que muestra un requerimiento de unos 1.000 litros (o kg) de agua por kg de maíz (sin contar el agua de lluvia que recibe el suelo, ya que se trata de un cultivo al aire libre).

2. El agua en la «agricultura tradicional»

Una vez visto que el agua constituye el principal factor en tonelaje que interviene en la producción agraria, vamos a apuntar la forma en la que los sistemas agrarios han venido gestionándola tradicionalmente, para subrayar después la ruptura en la forma de gestión que introdujo la llamada «revolución verde», que se extendió durante la segunda mitad del presente siglo. Porque esta ruptura modifica la propia consideración económica que se ha venido dando al agua como recurso, tanto por los agricultores, como por los administradores y técnicos.

La agricultura tradicional ha gestionado el agua, en primer lugar, adaptando los cultivos y aprovechamientos a las disponibilidades de agua de los territorios. Las marcadas diferencias en la dotación de agua de los suelos que se observan en las diferentes zonas edafoclimáticas, dieron lugar a calendarios y mapas de cultivos marcadamente diferentes. Al igual que ocurría con la vegetación natural, se trataba de optar por aquellos cultivos y aprovechamientos que podían utilizar mejor esa dotación. Así, en la zona de clima *sériceo* o mediterráneo, que se caracteriza porque la reserva de agua del suelo se agota o reduce drásticamente durante el verano, surge la civilización del trigo. El trigo, al igual que otros «cereales de invierno», se planta cuando vienen las lluvias otoñales, para que prosperen las semillas y enraícen con los fríos del invierno, se desarrollen con las lluvias de primavera y se recojan las cosechas cuando los calores estivales agotan la humedad de los suelos imposibilitando ya su desarrollo. En esta zona climática se encuentran también, junto con el «bosque mediterráneo» más o menos adhesado, cultivos leñosos cuyo marco de plantación y gran desarrollo radical les permite soportar el *estrés* hídrico estival que acusan los suelos: a la vez que los «cereales de invierno», los olivares, viñedos, almendros, encinares, alcornoques... y algarrobos ocupan en esta zona los suelos típicos «de secano». En zonas de clima *ústico* o monzónico, en las que la estación

estival se aproxima junto con la venida de las lluvias, el arroz se extendió como cultivo idóneo para aprovechar el encharcamiento natural de los suelos que se produce en el momento en el que aumentan la insolación y temperatura favoreciendo la fotosíntesis. En zonas de clima *údic* o húmedo, en las que la reserva del suelo se mantiene cargada de agua durante todo el año, se extendieron «cereales de primavera», como el maíz, que alcanzaban durante el verano su máximo período de crecimiento vegetativo, para aprovechar mejor las condiciones térmicas y luminosas de esta estación en zonas en las que el agua no es un factor limitante (o lo es en escasa medida). Es más, los cultivos y los aprovechamientos forestales muy exigentes en agua pueden resultar especialmente beneficiosos para reducir el encharcamiento al que se ven sometidos buena parte de los terrenos situados en zonas de clima húmedo, donde el exceso de agua ha dificultado tradicionalmente el desarrollo de los aprovechamientos agrarios.

En segundo lugar, las prácticas de cultivo, y muy particularmente las labores de preparación del terreno, han complementado desde épocas inmemoriales la tradicional adaptación de los aprovechamientos a las zonas edafoclimáticas. Por ejemplo, en zonas áridas, en las que el agua constituía el principal factor limitante para el desarrollo agrario, los trabajos de nivelación y aterrazamiento de los suelos se revelaron fundamentales para retener en ellos más agua, frenando la escorrentía natural, junto con labores de preparación del terreno que apuntaban a paliar la compactación de los suelos, haciéndolos más esponjosos y receptivos del agua de lluvia. Por el contrario, en zonas de clima húmedo, los trabajos de nivelación y aterrazamiento van encaminados a drenar el agua de los suelos, para evitar su natural encharcamiento. Así, los trabajos de nivelación y aterrazamiento se revelaron también esenciales para facilitar el cultivo del arroz en zonas de clima monzónico, permitiendo regular el nivel de las aguas durante el encharcamiento estacional de los suelos. La necesidad de gestionar tanto el exceso como la carencia de agua en los suelos constituye, pues, una constante a la hora de seleccionar los aprovechamientos agrarios y de orientar las labores de preparación del terreno².

En tercer lugar, los sistemas agrarios tradicionales han tratado de gestionar también el agua mediante su manejo directo, regando cultivos en

² En las zonas de clima húmedo, la vegetación es incapaz de gastar el agua de lluvia que reciben por lo que se impone la necesidad del drenaje. Por el contrario, en zonas de clima mediterráneo y, con más razón, de clima árido, la vegetación podría gastar mucha más agua de la que reciben en forma de precipitaciones (P). Por ejemplo, si definimos la evapotranspiración potencial (ETP) como el agua que gastaría un territorio si lo llenáramos de vegetación, tenemos que en la España seca del sureste, la ETP viene a doblar en media anual la P (situándose aquella por término medio en unos 800 mm (o l/m²) y ésta en unos 400). Sin embargo, en la España húmeda del norte y el oeste ocurre lo contrario, doblando la precipitación anual (P, con unos 1.400 mm de media) al posible gasto en evapotranspiración (ETP, con unos 700 mm de media).

las zonas de clima árido o mediterráneo, y forzando el drenaje en las zonas de clima húmedo. Pero la dificultad de elevar y transportar a voluntad cantidades tan masivas de agua como las requeridas a estos efectos, hizo que los regadíos y drenajes de la agricultura tradicional tuvieran lugar en gran escala sólo por gravedad, mediante trabajos de canalización y nivelación y embalse muy intensivos en mano de obra cuya envergadura planteaba la necesidad de abordarlos colectivamente³. Lo cual suponía también el establecimiento de instituciones que distribuyeran la incidencia benéfica de las obras entre los agricultores.

La agricultura tradicional se orientó, sobre todo, a gestionar con eficiencia el agua naturalmente disponible en los suelos (de «secano» más o menos húmedo), mediante la aplicación de cultivos y labores adaptadas a este fin. Y también, en ocasiones, a intervenir más localmente sobre el régimen de humedad de los suelos con trabajos de regulación, canalización y nivelación orientados a facilitar el riego y el drenaje de los suelos por gravedad. Como los medios de elevación o impulsión del agua eran bastante limitados, la agricultura tradicional colaboraba con la naturaleza para aprovechar mejor el agua y los nutrientes que la «máquina» solar se encargaba de movilizar y regenerar en los territorios. La consecuencia de esta forma de plantear las cosas es que en la agricultura tradicional el agua no suele presentarse como un recurso económico, sino como un «bien libre» con el que se cuenta *in situ*, que fluye, se degrada y se renueva aunque no se use, lo mismo que ocurre con la radiación solar o la temperatura ambiente. Sólo una pequeña fracción del agua era directamente apropiada, transportada y distribuida entre los regantes y, además, solía estar sujeta a la irregularidad climática. Pero, incluso en las zonas áridas, en las que la escasez física del agua era evidente, rara vez era vendida, sino más bien «racionada» por instituciones y normas establecidas para ello. Ni siquiera en estos casos de extrema escasez física, el agua llegaba a ser, por lo común, un «bien económico»⁴, al no predominar en su asignación criterios mercantiles, sino *redistributivos*, en el sentido que los antropólogos atribuyen a este término⁵.

³ La realización a gran escala de este tipo de obras de riego y drenaje llegó a plasmarse en las llamadas «civilizaciones hidráulicas», por apoyarse en el control del agua en los suelos, mediante la organización de esa gran «máquina de trabajo» que surgió con la aparición del Estado en la historia de la humanidad (vid. MUMFORD, L. (1969), *El mito de la máquina*, Buenos Aires: EMECÉ).

⁴ Podemos entender por «bien económico» aquel que es apropiable, intercambiable y, por tanto, valorable. Un análisis más profundo de la noción al uso de *sistema económico* y del objeto de estudio que define, es decir, de los bienes considerados «económicos», puede encontrarse en NAREDO, J. M. (1987, Reed.1996), *La economía en evolución. Historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico*, Madrid: Siglo XXI.

⁵ En antropología se acostumbra a clasificar las relaciones sociales en relaciones de reciprocidad y de redistribución, además de las propias del intercambio utilitario. Vid. MARTÍNEZ-VEIGA, U. (1990), *Antropología económica*, Barcelona: Icaria.

Lo anterior explica la paradoja que resulta del hecho de que, aun siendo el agua la principal materia prima utilizada en el proceso agrario, no suela figurar en las «funciones de producción» ni en las interpretaciones manejadas por los historiadores económicos. Y ello no sólo en los «secanos», en los que la agricultura tradicional ha venido gestionando el grueso del agua utilizada, sino tampoco en los «regadíos», donde el uso del agua se hacía más explícito. En otra ocasión ya hemos indicado que las «funciones de producción» que figuran en los manuales de teoría económica resultan un instrumento analítico bastante pobre para describir el funcionamiento de los procesos agrarios e interpretar los sistemas en los que se insertan⁶. No se trata ahora de redundar en las limitaciones que comporta este instrumento analítico, como de advertir que resulta inadecuado para desvelar la ruptura que se produjo en la forma de gestionar el agua con el paso de la agricultura tradicional a la actual o, más concretamente, la que enfrenta la gestión que han venido haciendo secularmente de ella los sistemas agrarios a la que han venido propiciando en el último medio siglo las nuevas técnicas de impulsión y transporte de agua apoyadas en el uso de los combustibles fósiles y la electricidad (junto con las otras «piezas» que componen la llamada «revolución verde» de la posguerra). Resumamos el cambio cualitativo que se produjo en la forma de gestionar el agua que modificó radicalmente su tratamiento económico.

3. El agua en la «agricultura moderna»

Recordemos, en primer lugar, que la «agricultura moderna», a diferencia de la «tradicional», no trataba ya de colaborar con la naturaleza para acrecentar sus frutos, sino más bien de ampliar éstos contando lo menos posible con aquélla: a la postre, la naturaleza, en vez de ser el modelo a imitar por la agricultura, pasó a considerarse como algo que era necesario rectificar e incluso sustituir para forzar determinados rendimientos parcelarios. En suma, el antiguo «orden natural» cuyos frutos se trataban de propiciar, mediante el rito y la emulación, acabó siendo considerado como un simple potencial de fuerzas y materiales a explotar.

La incidencia que este cambio de planteamientos tuvo sobre la gestión del agua en los sistemas agrarios se produjo a dos niveles diferentes. Por una parte, la ampliación a una escala sin precedentes de la potencia aplicada a las labores de preparación del terreno, permitió aprovechar mucho mejor en favor de la fotosíntesis las posibilidades del suelo, ampliando su capacidad de retención de agua en las zonas de clima seco y reduciendo el

exceso de agua en los suelos en las zonas de clima húmedo. Lo cual, unido a la utilización de nuevas variedades y a la aplicación de medios químicos para fertilización y escarda, permitió aumentar notablemente la extracción de agua por las plantas y, con ello, las cosechas en los secanos más o menos húmedos. Por ejemplo, los trigos blandos (más productivos, aunque de peor calidad que los duros) propios de climas húmedos se extendieron por las zonas de clima mediterráneo a base de ampliar la reserva de agua del suelo, con un mayor y más profundo laboreo. Como también la introducción, con aterrazamientos y laboreo del suelo, de plantaciones arbóreas tan exigentes en agua como el eucalipto, forzaron la extracción del agua por las plantas en los antiguos secanos (más o menos húmedos)⁷.

Por otra parte, los nuevos medios mecánicos incidieron sobre la gestión directa del agua en un doble sentido:

Primero, facilitaron y abarataron el movimiento de tierras a gran escala, extendiendo la superficie que podía ser regada, y drenada, por gravedad, mediante la realización de obras de embalses, canales, diques, azudes, etc., a niveles que antes parecían inviables. A lo largo del presente siglo se formularon, así, grandes planes estatales de fomento de regadíos y drenajes, que se fueron realizando en los países en la medida en la que contaban con la voluntad política y los medios técnicos y económicos necesarios para acometerlos. Este tipo de planes fueron formulados en España desde principios de siglo⁸, pero las realizaciones tuvieron lugar sobre todo en la posguerra, durante el régimen de Franco. Entre 1950 y 1980, merced a una política hidráulica de fomento del regadío (y del drenaje de las escasas zonas húmedas existentes en nuestro país)⁹, se pusieron en riego cerca de un millón de hectáreas, a partir de aguas superficiales reguladas por el Estado. Se multiplicó así por más de 10 la capacidad de embalse, situando a España a la cabeza del mundo en porcentaje de superficie geográfica ocupada por embalses (con un 5%, seguido de Portugal, con un 4). Partiendo del presupuesto de que el regadío era universalmente beneficioso, el planteamiento económico se limitaba a reducir en la medida de lo posible los costes de la hectárea transformada, pero no discutía los beneficios de la transformación misma, al suponerlos socialmente

⁷ Hay que advertir que las modernas prácticas de cultivo acarrean, a plazos más o menos largos, la pérdida de materia orgánica en los suelos y el deterioro de su estructura, propiciando procesos de erosión que reducen la capacidad de retención del agua en los suelos. Por lo que la espectacular ganancia de rendimientos observada inicialmente está llamada a irse recortando en la medida en la que avancen tales procesos de deterioro de los suelos.

⁸ Véanse, en este mismo volumen, las monografías desarrolladas sobre el tema de Nicolás ORTEGA y Leandro DEL MORAL, caps. 9 y 10.

⁹ En la Italia de Mussolini ocurría lo contrario: la *bonifica* apuntó en mayor medida al fomento del drenaje de las tierras húmedas del norte, extendiéndose las realizaciones después de la guerra mundial (*vid.* en este mismo volumen la monografía de Franco CAZZOLA, cap. 2).

⁶ NAREDO, J. M. (1996), «Sobre la reposición natural y artificial de agua y de nutrientes en los sistemas agrarios y las dificultades que comporta su medición y seguimiento», en GARRABOU, R. y J. M. NAREDO, eds., *La fertilización en los sistemas agrarios. Una perspectiva histórica*, Madrid: Fundación Argentina y Visor Dis., pp. 17-33.

deseables con independencia del coste. Es decir, que la política de obras se regía por criterios técnicos y la reflexión económica sólo recaía sobre las obras, buscando las transformaciones menos costosas. El agua, movilizaba por gravedad, seguía siendo concebida como un don de la naturaleza cuyo manejo brindaba el Estado benefactor, a través de las obras públicas, a los agricultores que la continuaban utilizando como un bien libre o no económico: aunque les repercutiera en alguna medida el coste de las obras, ello no se hacía en razón del agua utilizada o drenada, sino de la superficie «beneficiada» por la transformación. Sin embargo, es sabido que las transformaciones más favorables son siempre limitadas en un territorio, por lo que a medida que avanza esta política se topa con obras cada vez más costosas y de mayor impacto social y ambiental¹⁰, lo que fuerza a reflexionar sobre si los beneficios ocasionados justifican el coste de las obras, revisando el axioma originario que las presuponia beneficiosas en todo tiempo y lugar. En consecuencia, esta política de fomento está llamada a desembo- car en planteamientos económicos más amplios que desplazan la reflexión desde la economía de las obras hidráulicas a la economía del agua como recurso. El ejemplo de Estados Unidos resulta modelico a este respecto, al ser un país pionero en la construcción de grandes infraestructuras hidráulicas, en el que se desplazó tempranamente la reflexión desde la economía de la obra hacia la economía del agua como recurso¹¹. Así, nos encontramos con la sorprendente afirmación para algunos del presidente de la principal agencia de Estados Unidos¹² encargada de la construcción de grandes infraestructuras hidráulicas, cuando, en el XVIII Congreso Internacional de Grandes Presas, celebrado en Durban en 1994, opinó que, en su país, «la era de la construcción de grandes presas había tocado a su fin»¹³. Se postula así con más generalidad que los países que acusaron el «sarampión» de la promoción indiscriminada de obras hidráulicas tarde o temprano han de pasar hacia una política de gestión y conservación del agua en sí, o también de potenciar la oferta a gestionar la demanda y a razonar sobre el ciclo hidrológico en su conjunto. Algunos autores califican la evolución

¹⁰ Por ejemplo, el número de buenas «cerradas» que facilitan la construcción de embalses muy capaces y poco costosos es claramente limitado en cada territorio, por lo que en caso de prolongarse el afán constructivo habrá de recurrir cada vez a «cerradas» de peor calidad, encareciéndose el coste del m³ embalsado y aumentando el suelo inundado para una misma capacidad.

¹¹ Los textos incluidos por Federico AGUILERA en su libro *Economía del agua* (1992, reed. 1996, Madrid: MAPA) resultan altamente ilustrativos de esta evolución, que se acusa en Estados Unidos desde los años cincuenta.

¹² Se trata del United States Bureau of Reclamation (USBR) que gestiona las grandes infraestructuras hidráulicas en los 17 Estados del Oeste de EE UU, organismo mundialmente prestigioso en este ramo de la ingeniería civil.

¹³ «[...] *The dam building era in United States is now over*». Vid. Bernardo LÓPEZ-CAMACHO, «La escasez del agua y el modo de abordarla: nuevos abastecimientos versus *water conservation*», en J. M. NAREDO (ed.) (1997), *La economía del agua en España*, Madrid: Fundación Argentina y Visor Dis., p. 28.

desde la preocupación originaria por la *economía de obras hidráulicas*, orientada a aumentar indiscriminadamente las regulaciones y abastecimientos, a la *economía del agua*, como el paso a una «economía madura del agua»¹⁴. Proceso que contribuye a hacer del agua un «bien económico» (escaso, apropiado e intercambiable), frente a su condición originaria de «bien libre» o «no económico».

El segundo de los aspectos en los que la gestión del agua se vio modificada por el cambio técnico resulta del perfeccionamiento de los motores de bombeo que, apoyado especialmente en la aplicación generalizada de energía eléctrica para estos fines, otorgó enormes posibilidades de impulsar el agua, que fueron profusamente utilizadas durante la segunda mitad del siglo actual para ampliar los riegos y drenajes. En lo relativo al regadío, los agricultores pasaron a ejercer su iniciativa como mineros en la extracción y sobreexplotación de las reservas de agua subterránea¹⁵. Cabe destacar que la extensión de las nuevas técnicas de bombeo se complementó con otras relativas a la conducción del agua y con la aparición de nuevos sistemas de riego a presión (por aspersión, goteo u otros) que permitían ampliar el área regada con menos complicación e inversión en la preparación del terreno de las que exigían los riegos tradicionales «de pie», «a manta» o «por surcos». La versatilidad y baratura de estas técnicas facilitó que los agricultores las aplicaran, individualmente o agrupados, sin necesidad de esperar a verse «beneficiados» por las grandes operaciones emprendidas desde la Administración. Los agricultores sufragaron así, usualmente en este caso, bien directamente o agrupados en comunidades de regantes, los costes de los equipos de riego y de bombeo, así como de la energía que requerían para mover el agua. En este caso los equipos de riego y el abastecimiento del agua bom-

¹⁴ Vid. AGUILERA, F. (1997), «Economía del agua: reflexiones ante un nuevo contexto», en J. LÓPEZ-GÁLVEZ y J. M. NAREDO, eds. (1997), *La gestión del agua de riego*, Madrid, Fundación Argentina y Visor Dis., pp. 235-260.

¹⁵ El empleo de los actuales motores de bombeo (tuberías capaces de resistir altas presiones) supuso una ruptura con relación a las antiguas norias que conviene subrayar. En primer lugar, la profundidad a la que podían elevar el agua las norias era bastante limitada, lo que las hacía inoperantes cuando el nivel freático descendía por debajo de su radio de acción, impidiendo que, como ocurre hoy con los motores, la sobreexplotación de las aguas subterráneas prosiguiera hasta el agotamiento: como rezaba un dicho popular en la zona de norias de Dámiel, «agua mientras baiga y cuando no borricos a la sombra». En segundo lugar, la potencia aplicable a las norias era mucho más limitada de la que es posible aplicar a los motores, que funcionan además a partir de fuentes ajenas al territorio en el que actúan. Como consecuencia de lo anterior, la incidencia de las norias apenas trascendía de la parcela del pozo en el que actuaban, por lo que no necesitaban de regulaciones que trascendieran el marco de la explotación agraria. Sin embargo, los motores de gran potencia originan importantes conos de bombeo que afectan a las parcelas y explotaciones colindantes, necesitando de regulaciones que trasciendan del ámbito de la finca para razonar a nivel de acuífero. De ahí que de la sustitución de las norias por motores en zonas de agricultores individuales, se tiendan a generar procesos de sobreexplotación de acuíferos y guerras de pozos, con el consiguiente deterioro del conjunto. Deterioro que viene originado por un cambio técnico con incidencias colectivas, que se extiende sin adecuar el marco institucional para controlar dichas incidencias.

beada, acometidos por agricultores individuales o agrupados, tenían un coste monetario cierto. Y al ser atribuibles estos costes monetarios a los m³ de agua utilizados, hacían del agua ya, por definición, un «bien económico» como los otros medios de producción que se incluían en las rúbricas de coste de las explotaciones agrarias (fertilizantes, carburantes, etc.). En el caso de España, los agricultores pusieron en riego a partir de aguas subterráneas cerca de 1,3 millones de hectáreas. Esta superficie se extendió sobre todo a partir de la década de los sesenta, superando en extensión y sobre todo en intensidad a la superficie puesta en riego, generalmente a partir de aguas superficiales, por la política estatal de fomento del regadío (1,1 millones de hectáreas). De esta manera, los cerca de 3,6 millones de hectáreas de regadío existentes en 1996 en España se distribuyen en tres grupos que difieren por su origen y forma de gestión: 1,2 millones corresponden a regadíos tradicionales o «históricos» realizados con aguas superficiales antes de este siglo, 1,1 millones corresponden a los realizados, también con aguas superficiales, al amparo de los planes de fomento del Estado durante el presente siglo y, finalmente, 1,3 millones que corresponden a nuevos regadíos privados realizados a partir de aguas subterráneas durante los últimos cuarenta años.

La mayor eficiencia en el manejo del agua que se atribuía a los nuevos sistemas de riego hizo que se pretendieran implantar también en los regadíos tradicionales y en los más recientes, fruto de la política de fomento de obras del Estado, reclamando su reconversión para hacer que los agricultores dispusieran de agua a presión y a la demanda, dejando así obsoletos los viejos sistemas de distribución por acequias, partidores y «tandas» de riego atendiendo a un calendario. Y en la medida en la que se generalizan los nuevos sistemas de riego, se demandan nuevos sistemas de abastecimiento que, al igual que los urbanos, lleven el agua a los agricultores, permitiéndoles disponer de ella a voluntad en condiciones prefijadas, para que puedan llevar también a voluntad el agua a las plantas. Es evidente que el agua así utilizada en la agricultura pasa a ser un «bien económico» de pleno derecho y a facturarse como tal, a diferencia de lo que ocurría en la agricultura tradicional. Lo que induce a ver con ojos diferentes el uso del agua en los regadíos anteriores, pareciendo de pronto un despropósito que los agricultores de los regadíos históricos utilicen el agua libremente sin apenas pagar por ello (cuando las instalaciones son de su propiedad y están superamortizadas) a la vez que el Estado empieza a exigir tardíamente con ahínco a los beneficiarios de los planes estatales que paguen por las obras realizadas. Aflorando conflictos que enfrentan marcos institucionales concebidos en épocas muy diferentes, cuando el agua no se consideraba todavía un «bien económico».

4. Los cambios en la gestión del agua y sus consecuencias

Hemos visto que la agricultura tradicional y la moderna tienen formas diferentes de gestionar el agua. Cosa que debe tenerse muy en cuenta para no caer en el espejismo de pensar que la agricultura tradicional apenas recurría al agua ni a la fertilización, mientras que la moderna es la que aplica por vez primera cantidades ingentes de agua y de fertilizantes. El problema estriba en que la primera utilizaba el agua sobre todo indirectamente¹⁶, mediante el manejo de los aprovechamientos y las labores en los «secanos», mientras que la segunda lo hacía más directamente, mediante captaciones y riegos. Pero ello no permite afirmar que en todos los casos la modernización de la agricultura suponga más uso de agua con relación a la agricultura tradicional. Por ejemplo, en el conjunto de la agricultura española, está claro que ha aumentado el agua manejada directamente por el regadío, pero también está claro que ha disminuido la utilizada indirectamente, al disminuir entre la superficie de cultivos de «secano» en casi 6 millones de hectáreas entre 1960 y 1996¹⁷. Lo cual quiere decir que habría que hacer los balances sin dejar ningún cabo suelto para que se pudieran extraer conclusiones solventes.

En resumen, que la agricultura tradicional operaba tratando de adaptar los aprovechamientos a la reserva de agua de los suelos, de corregir ésta mediante labores de preparación del terreno y, sólo excepcionalmente, canalizando, o drenando, el agua por gravedad hacia, o desde, los campos de cultivo. La agricultura tradicional acostumbra así más a gestionar el agua indirectamente, aplicando aprovechamientos y labores adaptadas a las disponibilidades naturales de ésta, que a potenciar las dotaciones en favor de los cultivos mediante derivaciones, retenciones o drenajes del curso natural de las aguas. La dependencia de las cosechas de la humedad de los suelos hacía que los rendimientos oscilaran junto con ésta: por ejemplo, en zonas áridas la escasez e irregularidad de las lluvias se traducía en rendimientos bajos e irregulares. Con todo, los agricultores estaban habituados a convivir con las dificultades que planteaba el régimen de humedad de los suelos, adaptándose a él con aprovechamientos y labores que buscaban sacarle el mayor partido, configurando sistemas agrarios que mantenían una relación estable con su entorno físico. En estos sistemas, el agua mantenía, por lo general, su condición de «bien libre» o «no económico», incluso en los territorios que contaban con dotaciones físicas muy escasas.

¹⁶ También utilizaba la fertilización indirectamente, relacionando las parcelas de cultivo con la generación de nutrientes en el conjunto del territorio, y sirviéndose de mecanismos muy diversos de trasvase de fertilidad en favor de dichas parcelas. En el libro sobre *La fertilización en los sistemas agrarios. Una perspectiva histórica* (1996) al que hicimos referencia, se presentan diversos modelos de fertilización indirecta adaptados a situaciones edafoclimáticas diferentes.

¹⁷ También ha de tenerse en cuenta la intensificación de los cultivos de «secano» que permanecen.

La agricultura «moderna» amplió los trabajos de preparación del terreno orientados a fijar (o drenar) más agua en los suelos, pero, sobre todo, pasó a gestionar directamente el agua bombeándola y transportándola para ponerla a disposición de las plantas en las condiciones que éstas lo requerían, favoreciendo un divorcio sin precedentes entre los cultivos, seleccionados por razones comerciales, y el edafoclima local. Se extendieron así en zonas áridas cultivos tan exigentes en agua como el maíz o la alfalfa, que absorbieron caudales desmesurados de agua, causando graves daños ecológicos y sobre terceros, incentivados por una política de fomento de regadíos que hoy se revela defasada y por los costes moderados de las instalaciones de riego, de bombeo, de la electricidad y de los combustibles que las hacía funcionar. Con lo cual, la agricultura moderna amplió notablemente la presión directa de los sistemas agrarios sobre las disponibilidades de agua de los territorios, transmutando la mentalidad del agricultor tradicional en la del minero, originando a la vez problemas de escasez de agua como recurso y exceso de agua contaminada o eutrofizada. Presión que se vio acentuada a su vez por la artificialización de la agricultura y el desacoplamiento de los cultivos con respecto al régimen de humedad natural de los suelos utilizados como soporte. Lo que tuvo graves consecuencias ambientales, originando procesos de sobreexplotación de acuíferos y de contaminación y eutrofización de las aguas, observables en todos los continentes¹⁸, a la vez que se acentuaba la escasez del agua como recurso haciendo de ella un «bien económico».

Como consecuencia de los cambios técnicos y socioinstitucionales descritos, que alteraron las formas de gestionar el agua propias de la agricultura tradicional y distanciaron los cultivos de las «vocaciones» de los territorios, la expansión del uso agrario directo del agua contribuyó en gran medida a multiplicar, entre 1950 y 1995, por más de cuatro el volumen de agua directamente utilizada en el mundo, aproximándose ya a los 5 billones de tm : en 1995 alcanzó los 4,8 billones (10^{12}) de m^3 (o de tm ya que 1 m^3 de agua = 1 tm). De los cuales, del orden de 4,1 serían para uso agrario y sólo el 0,7 restante para los otros usos urbanos e industriales¹⁹. Evidentemente este ritmo de expansión se revela insostenible, ya que el agua utilizada por la especie humana supera el 30% de los suministros accesibles, y si a la utilización directa se añade el uso del agua para diluir contaminantes, refrigerar centrales termoeléctricas o nucleares, las aguas eutrofizadas por lixiviación de fertilizantes, etc., ten-

dríamos que una sola especie estaría utilizando (y consumiendo o invalidando) ya más de la mitad del flujo renovable y accesible que nos brinda el llamado ciclo hidrológico (cifrado en 12.500 km^3 o, lo que es lo mismo, 12,5 billones de m^3)²⁰.

La agricultura moderna consiguió así elevar y estabilizar los rendimientos de los cultivos, pero a base de desestabilizar la relación de los sistemas agrarios con el entorno ecológico en el que se insertan, induciendo al progresivo deterioro de éste. Siendo la movilización masiva del agua para fines agrarios un vehículo importante de este deterioro. Lo cual subraya la distinta ambivalencia observada en la agricultura tradicional y en la moderna: en la primera, la inestabilidad de las cosechas correspondía con la estabilidad de su inserción en el medio, mientras que, en la segunda, los mayores y más estables rendimientos de las cosechas contrastan con la insostenibilidad de sus relaciones con el medio.

Advirtamos, por último, que uno de los propósitos de este texto es de índole metodológica y apunta a subrayar que para comprender la forma en la que ha evolucionado la gestión del agua en los sistemas agrarios hace falta profundizar en el conocimiento conjunto del funcionamiento físico de los procesos agrarios y del marco socioinstitucional en el que se desenvuelven (que a su vez condiciona la influencia que tienen las ideas e instrumentos económicos en su gestión a lo largo de la historia). Sólo así cabe someter a reflexión contextualizadora tanto el papel del cambio técnico en la evolución indicada, como el de esas dos instituciones que acostumbra hoy a situarse a escala sobrehumana: el Estado y el Mercado.

¹⁸ Cfr. POSTEL, S. (1996), *Reparto del agua. Seguridad alimentaria, salud de los ecosistemas y nueva política de la escasez*, Bilbao: Bakeaz; tabla 4 (p. 21) sobre el «Agotamiento del agua subterránea en las principales regiones del mundo».

¹⁹ Estimación propia extrapolando los datos recabados en CLARKE, R. (1993), *Water: The International Crisis*, Londres, Earthscan Publications Ltd.

²⁰ Vid. POSTEL, S. (1996), *op. cit.*

CAPÍTULO 4

ALGUNAS REFLEXIONES SOBRE LA COMPOSICIÓN DEL AGUA DESDE QUE CAE AL SUELO COMO LLUVIA

Fernando Parra Supervía
Consultor ambiental

«El pensamiento complejo está animado por una tensión permanente entre la aspiración a un saber no parcelado, no dividido, no reduccionista, y el reconocimiento de lo inacabado e incompleto de todo conocimiento».

Edgar MORIN

«¿Qué es un camello?»

—Un caballo diseñado por un comité de expertos.»

1. Introducción

La ecología, como ciencia sistémica de la naturaleza, no suele poder proporcionar recetas técnicas, sino, como señala Margalef, una suerte de cañamazo teórico donde situar los datos y relacionar las conclusiones.

Desde el punto de vista que aporta la ecología, los sistemas agrícolas de cultivos anuales se diferencian de los sistemas ecológicos naturales: los ecosistemas, en varios aspectos; el más conocido es el que se refiere al ciclo de materia: al retirarse las cosechas y, por tanto, la biomasa anual en su mayor parte, para cerrar el ciclo por los descomponedores, principalmente bacterias, se precisa restituir al medio los elementos que aquéllas no han podido mineralizar, restitución que es el abonado. Por otra parte, la eliminación de los productores —cosecha— requiere su instalación en el inicio de cada nuevo ciclo —siembra. En los sistemas naturales es adecuada la muy visual metáfora de un flujo abierto de energía que impulsa un ciclo cerrado de materia de igual forma que la corriente de un río impulsa las palas de un molino¹. Por el

¹ Vid. MARGALEF, R. (1977).

contrario, en los agrobiosistemas de cultivos anuales ese flujo abierto impulsa un ciclo que sólo se cierra con el concurso del labrador.

Hay, sin embargo, otra diferencia que no se suele destacar. Los ecosistemas no sólo «procesan» materia y energía, sino también información. Esa acumulación de información es la que explica la tendencia espontánea conocida como *sucesión ecológica* hacia una mayor autoorganización y una creciente independencia del sistema considerado de las condiciones «externas». Pues bien, los sistemas agrícolas mencionados no acumulan información —en el sentido, si se quiere, de estructura o complejidad— puesto que son interrumpidos abruptamente por la recolección; salvo una excepción: el suelo; el suelo, esa interfase entre el mundo orgánico e inorgánico situado entre las dos energías relevantes en la vida: la radiación solar y la gravitación, es el único sistema concernido en lo agrícola que acumula información, estructura y complejidad, sobre todo en el sentido de su dimensión vertical.

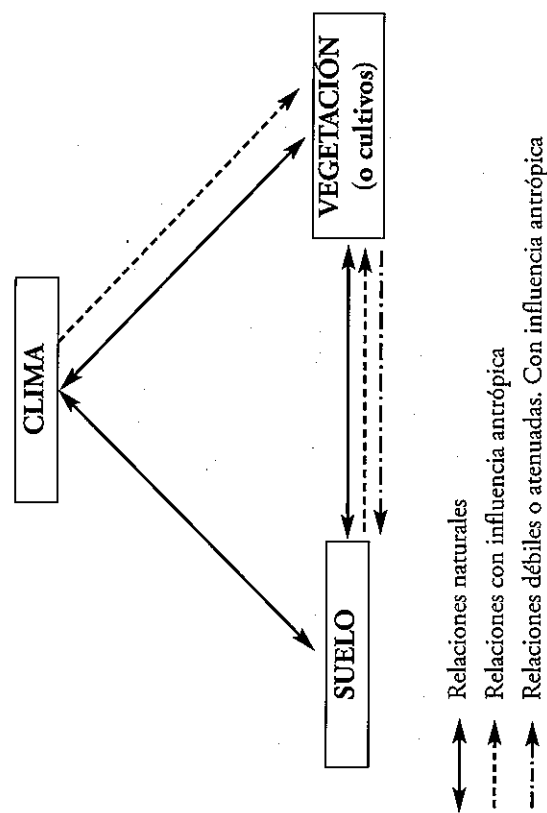
La explotación agrícola es un proceso no antinatural, pero sí orientado en sentido opuesto a la sucesión, precisamente porque está encaminado a obtener un excedente energético no autoinvertido en el sistema sino apropiable por el hombre: la cosecha. Puesto que en la sucesión ecológica la producción aumenta menos que la biomasa, la explotación es, desde este punto de vista ecológico, el conjunto de actividades humanas orientadas a mantener el agrosistema en un estado «convenientemente» inmaduro o juvenil que permita esa apropiación². Sólo el suelo escapa a ese rejuvenecimiento en los casos en que las labores no tienden a destruir su estructura (información). En cierto modo, la agricultura actual vive de dos subsidios, el de las biosferas del pasado en forma de combustibles fósiles de energía exosomática y el de los ecosistemas preexistentes que permitieron la formación de suelos maduros con estructuras —información— complejas.

2. Los suelos y el ámbito mediterráneo

Si analizamos la sencilla figura 4.1 vemos que suelo, vegetación y clima forman un triángulo interactivo en el que los tres elementos se influyen dos a dos; así, el suelo es el resultado del clima y la vegetación instalada sobre él, del mismo modo que la vegetación es el resultado del clima y el suelo, y el clima «local» o «microclima» es el resultado de la vegetación y el suelo. Pero, en la agricultura, el clima sólo afecta a la vegetación cultivada en un sentido; el mencionado, y no el inverso; al igual que el suelo afecta al cultivo, y mucho más débilmente, aunque también —por eso, por ejemplo, se rota con leguminosas para incrementar el nitrógeno edáfico— a la inversa.

² PARRA, F. (1993).

Figura 4.1



Fuente: F. Parra, 1993.

Lo que confiere unidad al Mediterráneo es el clima, en especial la coincidencia en el estío de las máximas temperaturas —y, por ende, evapotranspiración o pérdidas— con las mínimas precipitaciones o aportes, lo que origina un auténtico estrés hídrico al que debe adaptarse la vegetación natural, pero también, en gran medida, los cultivos.

Por ello, como señala Braudel, el Mediterráneo sólo es un paraíso aparente. En realidad, en el Mediterráneo, desde el punto de vista agrario y antrópico en general, «ha habido que construir todo, a menudo con más esfuerzo que en otras partes. El suelo friable y sin espesor sólo puede arañarse con el arado de madera. Si llueve demasiado, la tierra blanca se desliza como agua a la parte inferior de las pendientes. La montaña corta la circulación, come abusivamente el espacio, limita las llanuras, y los campos quedan reducidos a menudo a unas pocas bandas, a unos puñados de tierra[...]».

Estos dos factores: clima esencialmente unitario, aunque con diversidades locales, y topografías y suelos difíciles podrían ser objeto de pormenorizadas descripciones fisiográficas y macroecológicas, pero no es éste el objeto de esta aportación necesariamente sintética. Baste decir que cualquier comparación con el entorno europeo debe tener en cuenta las limitaciones del entorno mediterráneo, donde no imperan ni los suaves climas

atlánticos, con buenos excedentes hídricos, ni los excelentes suelos de las llanuras interfluviales de la «Mitteleuropa».

3. Los contenidos iónicos de las aguas

Ya la lluvia, mientras cae, incorpora sales al suelo; por ejemplo, cloruro sódico, del que hay diminutos cristales suspendidos en el aire, especialmente en las proximidades de las costas. En realidad, toda lluvia es ácida. En el agua llovida se miden frecuentemente concentraciones de 0,5 mg/l de ClNa y hasta 2 mg/l de sulfatos. Por esta misma acción de lavado de la atmósfera, el agua puede recoger compuestos de nitrógeno y fósforo, con valores de 0,7 mg de N/l y de 1 mg de P/m³.

Estas cifras, dadas como ejemplo, se sitúan cerca del límite superior y son iguales o mayores al contenido del agua superficial del mar Mediterráneo. Los compuestos de nitrógeno, amoniacales o nitratos parece que proceden principalmente de la oxidación del amonio; pero durante mucho tiempo se ha creído que eran directamente transformados del nitrógeno gaseoso, por efecto de las descargas eléctricas.

El agua llovida lava el suelo. Dicho lavado puede ser superficial o irregular, como ocurre en las zonas erosionadas o con poca cubierta vegetal. En ese caso, las aguas tendrían composiciones, por así decir, «locales», dependientes del sustrato geológico en su composición de sales. El CO₂ del agua, que procede de la atmósfera y de la respiración de organismos del suelo, da un ácido débil pero suficiente para atacar las calizas. Por el contrario, en zonas de suelos maduros, desarrollados en armonía con la vegetación climática, la circulación del agua de lluvia a través del suelo es lenta —domina la infiltración sobre la escorrentía— y va acompañada de intercambio de iones entre esa agua lenta circulante y la parte sólida del suelo, con lo que la composición del agua depende menos directamente de la composición de la roca madre y más del clima y de la vegetación instalada. Por decirlo de otra forma: suelos maduros implican mayor independencia de la composición hídrica que circula por ese mismo suelo, lo que está de acuerdo con la tendencia a la autoorganización de los sistemas complejos y maduros. En estos últimos casos, resulta una disolución muy diluida y de características no tan dispares de un lugar a otro como en las zonas primeras erosionadas o sin demasiada vegetación. En correspondencia con lo dicho, los limnólogos comprueban que los lagos de las zonas forestadas y de suelos maduros tienden a una composición o unas relaciones iónicas menos variables que las que corresponden a la amplia gama del conjunto de las llamadas aguas dulces. Veamos la composición relativa del agua del mar y del conjunto de aguas dulces en % equivalentes de los principales iones:

	Mares	Aguas «dulces»
Ca++	3,42	63,5-68,2
Mg++	17,6	17,4-25,4
Na+	77,2	4,5-15,7
K+	1,65	1,9-3,4
Sr++	0,05	—
Cl ⁻	90,2	3,9-10,1
SO ₄ ²⁻	9,3	10,0-16,0
HCO ₃	0,39	73,9-85,4
Br ⁻	0,17	—
F ⁻	0,01	—

Desde luego, así como es lícito hablar de «agua marina» no lo es hacerlo de agua dulce, pues las aguas continentales no permiten semejante generalización, con una diversidad de composiciones y situaciones enormes y, por tanto, con distintas propiedades para la vida y el ambiente resultante. Las actividades humanas han operado en el sentido de aumentar aún más esas diferencias y la importancia relativa de las aguas que se apartan de una composición «normal».

El cuadro anterior compara las composiciones de los iones más importantes del agua marina con las composiciones más normales o equilibradas de las aguas dulces. Se ve que el agua de mar se caracteriza por la abundancia de cloruro sódico y el agua dulce por el bicarbonato cálcico. Además, las aguas continentales en su mayoría tienen concentraciones salinas muy bajas, pero todos los iones se encuentran disueltos en unos y otros tipos de agua aunque con concentraciones a veces mínimas.

Aproximadamente podemos establecer una distinción entre dos grupos de elementos. En el primer grupo, la proporción que guardan unos con otros varía muy poco. Son elementos de proporcionalidad constante o *conservativos*, que explican adaptaciones muy generalizadas entre los organismos; en tal caso se encuentran precisamente el cloro y el sodio. Un segundo grupo está formado por elementos de *proporcionalidad variable*, cuyas concentraciones varían mucho entre diversos lugares; a este grupo pertenecen dos de los elementos más importantes para la actividad de los organismos y los suelos: el nitrógeno y el fósforo; el conocimiento de su concentración explica a menudo la distribución de los organismos, la productividad de los suelos o los ciclos anuales; es imposible estudiar esos elementos sin estudiar simultáneamente su porción biótica, la actividad de los seres vivos.

Una vez que llueve, el agua permanece en el suelo o en el interior de los organismos. Ambas fracciones están relacionadas. La planta se marchita si pierde por evapotranspiración más agua de la que recibe por las raíces. La

marchitez se puede relacionar para cada especie con un contenido mínimo de agua en el suelo que no es constante. Para muchas plantas ese límite está entre un 2,5 y un 5,5% de agua en el suelo. La presión osmótica de la savia de la planta es un buen indicador de la adaptación de la especie con relación a la economía del agua. Es decir, la planta tiende a absorber agua y reduce su presión de vapor si aumenta la concentración de la savia. La presión osmótica en las hojas y la madera de los árboles es de entre 15 y 25 atmósferas. Plantas de lugares secos, como la encina o el olivo, tienen presiones de hasta 30 y 50 atmósferas, aún más en las desertícolas.

El suelo es una estructura sólida y porosa, formada por granos de diversos tamaños; por tanto, dejan entre sí un sistema de cavidades que representa entre el 40 y el 60% del volumen total. Ese % está ocupado por agua, aire y organismos (*psammolinneon*). En algunos casos: sedimentos o suelos subacuáticos, en suelos terrestres anegados, el agua ocupa el 100% (*gley*). Puesto que el agua que embebe el suelo no tiene la movilidad que tendría de no existir la matriz sólida, la difusión es lenta y la oxigenación deficiente. Éste es el entorno de los organismos más importantes de la biosfera: las bacterias; uno de los agujeros negros de la biodiversidad³.

Si el suelo contiene poca materia orgánica y su parte mineral es gruesa (arena de playas, p. ej.), las corrientes freáticas o de infiltración favorecen el flujo, y la concentración de oxígeno es suficiente hasta varios decímetros por debajo de la superficie. Por el contrario, si los materiales son finos o existen materiales finos rellenando los huecos —suelos poco aireados— la circulación se ralentiza. Dichos materiales finos contienen además una parte importante de materia orgánica oxidable, por lo que se consume mucho oxígeno y se establecen condiciones reductoras. Esta situación es la que permite la conservación de la materia orgánica que sería si no degradada: por ejemplo, permite la conservación de moléculas de clorofila.

Los suelos *gley* se ven abigarrados por la presencia de núcleos de hierro reducido (negruzco) u oxidado (rojizo) y sulfuros diversos; son suelos que se cuarteán fácilmente en polígonos cuando se desecan, atestiguando su falta de estructura. Si son pobres en bases, cuando recuperan el agua o se inundan después de permanecer secos, se forman iones sulfato: se vuelven ácidos.

Un suelo es un sistema, una estructura, no un depósito neutro; así que puede retener efectivamente cierta cantidad de agua sin permitir que descienda de un límite. Su capacidad de retención de agua se expresa en volúmenes; un suelo de hayedo, por ej., tiene una capacidad del 59%.

Además, el agua del suelo no es toda igual: hay un agua *de gravedad*, circulante, que puede no entrar en esa capacidad de retención; hay un agua retenida por *capilaridad*, en los huecos de la estructura edáfica;

³ Vid. DELAMARE-DEBOUTTEVILLE, C. (1948), e *idem* (1951).

un agua *higroscópica*⁴, y agua realmente *combinada*. El agua higroscópica depende de la naturaleza de los materiales; es, p. ej., del 0,4% en arena y del 7,33% en un chernozien. Clements definió la cantidad de agua total contenida por el suelo como *holardía* y como *creardía* la realmente a disposición de las plantas, que siempre es menor. Una medida interesante es la del efecto de succión de un suelo, cuando el contenido de agua es bajo, por medio de un tensiómetro. Las plantas, para obtener agua del suelo, requieren la intervención de fuerzas superiores a esa depresión. Otra medida interesante es la cantidad de agua que las plantas pueden extraer del suelo ejerciendo determinada presión osmótica, por ejemplo, 15 atmósferas, que corresponde al límite de marchitez de muchas plantas.

El agua que atraviesa el suelo se llevaría teóricamente las sales disueltas y solubles si no fuera porque las cargas residuales del complejo de arcilla y humus retienen en su superficie iones de Mg, Ca, K, Na, NH₄, H⁺.

En realidad, por su naturaleza el suelo se comporta como un cambiador de iones, tendiendo a un equilibrio propio con el agua, la cual, como ya hemos visto al comienzo de este capítulo, tiene igualmente una composición determinada. Este complejo afecta al pH: si el complejo arcillohumus está saturado con hidrógeno, el pH del agua en equilibrio es incluso más ácido que 4 (equilibrio); si está neutralizado con bases, el pH varía entre 7 y 10, según sean aquéllas. El pH de los distintos suelos no queda entre esos límites; si hay ácido sulfúrico puede bajar hasta 2,2, en tanto que elevadas concentraciones de carbonato sódico llevan el pH a 10.

El agua del suelo suele estar en equilibrio con una atmósfera que contiene una proporción de CO₂ mayor que el aire libre. Hay además una considerable variación horizontal de los iones en relación con las plantas. Por ejemplo, debajo de los árboles, el lavado de hojas por la lluvia puede determinar un enriquecimiento de Ca, Mg y K.

El agua del suelo lleva sales en disolución en cantidad variable, como las propias aguas dulces o continentales. Los suelos en función de esa cantidad se clasifican en *perpeloides* (menos del 0,2% de sales), *peloides* (del 0,2 al 0,5%), *haloides* (del 0,5 al 2%) y *perhaloides* (más del 2%). La fase sólida de un suelo está en equilibrio con la fase líquida, así que alteraciones profundas o repentinas pueden modificar drásticamente la situación; por ejemplo, un riego abundante de terrenos salinos-sódicos puede transformarlos en alcalinos.

⁴ Para muchos esta terminología puede resultar anticuada. No se le escapará al lector atento que la bibliografía esencial mencionada —salvo la del propio autor de estas líneas— es de hace más de veinte años, la más reciente. Pero es que lo esencial de los procesos estaba ya establecido entonces. El hablar de fuerzas o vectores higroscópicos en lugar de agua higroscópica puede ser más preciso y correcto, aunque quizá no más «expresivo», y no deja de haber un componente de «moda» en muchos de esos cambios semánticos.

⁵ ALBAREDA, J. M. y A. HOYOS DE CASTRO (1948).

El agua del suelo se pierde por migración, evaporación y evapotranspiración. Antes de que esa pérdida alcance el punto de marchitez, los organismos edáficos escapan, profundizando y existiendo diferencias en el comportamiento de unos grupos y otros: los colémbolos, de tegumentos finos, escapan, por ejemplo, mucho antes que los ácaros oribátidos acorazados. La fauna migra verticalmente en función de esas variaciones periódicas o esporádicas, como lo hacen los animales que viven enterrados en las playas⁶.

Bibliografía

- ALBAREDA, J. M. y A. HOYOS DE CASTRO (1948), *Edafología*, Madrid: CSIC.
- DELAMARE-DEBOUTTEVILLE, C. (1948), *Compte Rendu Acad. Sci.*, 226, pp. 1544-1546.
- DELAMARE-DEBOUTTEVILLE, C. (1951), *Microfaune du sol*, París: Hermann.
- GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F. (1961), *Rev. Univ. de Madrid*, núm. 10.
- MARGALEF, R. (1977), *Ecología*, Barcelona: Omega.
- PARRA, F. (1993), «La ecología como antecedente de una ciencia aplicada de los recursos y del territorio», en J. M. NAREDO y F. PARRA, *Hacia una ciencia de los recursos naturales*, Madrid: Siglo XXI.

⁶ Vid. MARGALEF, R. (1977).

CAPÍTULO 5

ADAPTACIÓN DE LOS CULTIVOS Y LAS LABORES AL RÉGIMEN DE HUMEDAD DE LOS SUELOS EN LA AGRICULTURA TRADICIONAL

José María Gascó Montes
Universidad Politécnica de Madrid

Antonio María Gascó Guerrero
Centro de Ciencias Ambientales, CSIC, Madrid

1. El suelo zonal

Un suelo se va formando en el transcurso del tiempo hasta conseguir finalmente el grado de desarrollo *zonal*, que es el que corresponde al estado climático o *clímax*, caracterizado por los equilibrios biogeoquímicos de la relación suelo-clima-vegetación, con cierta independencia de las rocas originarias.

El *régimen de humedad* del suelo zonal define su contenido diario en agua utilizable por los seres vivos, principalmente por la vegetación. Este *agua utilizable* es la que se encuentra adsorbida a la superficie de los granos de suelo con menos potencial, es decir, menor energía por unidad de materia que la célula viva es capaz de emplear para realizar la succión, cuyo valor es de unos 150 kPa, aproximadamente las 15 atmósferas que determinan el equilibrio estático en el punto de marchitamiento.

El contenido diario de agua utilizable en las distintas profundidades del suelo zonal se puede medir en el campo. En la práctica habitual se estima el contenido total de agua utilizable a partir de un *balance mensual* entre las entradas de agua de *precipitación* atmosférica (R) y la salida por *evapotranspiración* (ET) o suma del agua evaporada directamente desde el suelo con la transpirada por la vegetación.

El balance de humedad del suelo zonal medio de España se puede hacer considerando los valores medios de precipitación y evapotranspiración y su distribución mensual (cuadro 5.1). Cuando la precipitación mensual R sea mayor que la *evapotranspiración potencial* (ETP), la *evapotranspiración real* (ETR) será igual a la potencial ($R > ETP \rightarrow ETR = ETP$) y, cuando sea menor, será igual a la precipitación ($R < ETP \rightarrow ETR = R$).

SUELO ZONAL MEDIO DE ESPAÑA
PARÁMETROS DEL EDAFOCLIMA ZONAL MEDIO DE ESPAÑA

	S	O	N	D	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	Año
R, mm	28	81	74	72	67	66	80	85	69	42	4	4	672
ETP, mm	94	51	23	11	11	16	36	52	81	121	155	140	791
(R-ETP)	30	51	61	56	50	44	33						325
(ETP-R)	66							12	79	151	136	444	
ETR	28	51	23	11	11	16	36	52	81	121	155	87	672
S	30	81	142	198	248	292	325	313	234	83			

R = precipitación. ETP = evapotranspiración potencial.
ETR = evapotranspiración real. S = reserva de agua utilizable en el suelo.
El régimen de humedad define la reserva S en función del tiempo.

El *exceso* de agua se va acumulando en la *reserva* del suelo (S) hasta sumar la capacidad de retención o reserva máxima de agua utilizable (Smáx). El *déficit* de agua es la suma de demandas potenciales sin satisfacer. En el caso de España, el suelo zonal medio cuenta con una reserva máxima de unos 325 milímetros de altura de agua, mientras que el déficit es de 119 milímetros, los cuales resultan de restarle al déficit bruto de 444 milímetros la reserva del suelo de 325 milímetros.

El exceso y el déficit son estacionales, con una época de suelo cálido y seco en verano y otra de suelo frío y húmedo en invierno, lo que caracteriza el *edafoclima xérico*, que es el propio del clima estacional de influencia mediterránea.

2. Espesor hidrofísico del suelo zonal medio de España

El agua utilizable en el interior del suelo es necesario que sea mayor o igual a cero, porque la vegetación, cuando se marchita, es incapaz de extraer más agua. La humedad puede caer por debajo del punto de marchitamiento en la parte superficial y en la más profunda del suelo; en la parte superficial cuando está en contacto con un aire atmosférico seco, y en la profunda cuando está en contacto con una roca seca. De esta manera quedan definidos los *límites del suelo zonal*, el superficial y el profundo, según el contenido en agua utilizable.

El *espesor hidrofísico* del suelo zonal depende de su capacidad de retención de agua utilizable, la cual es definida por el agua retenida entre el punto

de equilibrio con la gravedad (*capacidad de campo FC*) y el de equilibrio con la succión vegetativa (*punto de marchitamiento WP*). Atribuyendo valores medios (FC = 0,22; WP = 0,12) y considerando la densidad en masa de suelo (db) y la densidad del agua (dw) con valores (db = 1.300 kg.m⁻³; dw = 1.000 kg.m⁻³), se obtiene un espesor (e) del suelo zonal medio de unos 250 cm, que equivalen a la reserva máxima de agua utilizable (Smáx = 325 mm).

$$e = \frac{Smáx}{10 \cdot (FC - WP)} \cdot \frac{dw}{db} = \frac{325}{10(0,22 - 0,12)} \cdot \frac{1.000}{1.300} = 250 \text{ cm}$$

El espesor hidrofísico del suelo zonal en los distintos climas de España se obtiene igualando la precipitación con la evapotranspiración real (ETR = R) y es más potente en las zonas más lluviosas y menos templadas.

3. Espesor hidrofísico del suelo real medio de España

A diferencia del suelo zonal, el *suelo real* tiene su régimen de humedad modificado por las pérdidas de agua a causa de la *escorrentía* que nutre las aguas superficiales y la *filtración* que nutre los acuíferos. La roca originaria del suelo y el relieve inciden en el perfil hidrofísico a causa de las peculiaridades orográficas de la Península Ibérica y el acusado encajamiento de su red fluvial, encontrándose en su ámbito unas excelentes series de desarrollo edáfico, acopladas a los diferentes niveles de terraza y otras antiguas superficies detríticas continentales más o menos llanas y heterométricas.

El *espesor hidrofísico del suelo real medio* de España es de unos 115 cm, según el régimen de humedad (cuadro 5.2) calculado con los parámetros medidos del ciclo hidrológico, principalmente las precipitaciones atmosféricas y los caudales aforados.

$$e = \frac{149}{10(0,22 - 0,12)} \cdot \frac{1.000}{1.300} = 114,6 \text{ cm}$$

El déficit del suelo real medio de España se obtiene restándole la evapotranspiración real (ETR = 447 mm) a la potencial (ETP = 791 mm) resultando 344 mm, que es mucho mayor que el valor 119 mm del déficit zonal. El mayor déficit acentúa la estacionalidad y la escasez de agua en verano y compromete el cultivo del cereal panificable, principalmente en los suelos erosionados donde la reserva máxima de agua utilizable es aún menor. El mayor valor de la *escorrentía* superficial agranda el de la *erosión* del suelo, cuya problemática predomina en España sobre la de la *lixiviación* causada por la filtración, la cual sólo es relevante en el caso de climas más húmedos y de suelos más permeables.

Cuadro 5-2

SUELO ZONAL MEDIO DE ESPAÑA
PARÁMETROS DEL EDAFOCLIMA REAL MEDIO DE ESPAÑA

	S	O	N	D	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	Año
R, mm	28	81	74	72	67	66	80	85	69	42	4	4	672
E, mm	8	22	20	20	19	18	22	24	19	12	1	1	186
F, mm	2	5	4	4	4	4	5	5	4	2			39
ETP, mm	94	51	23	11	11	16	36	52	81	121	155	140	791
ETR, mm	18	51	23	11	11	16	36	52	81	121	24	3	447
S, mm		3	30	67	100	128	145	149	114	21			

R = precipitaciones atmosféricas. E = escorrentía.
F = filtración. ETP = evapotranspiración potencial.
ETR = evapotranspiración real. S = reserva de agua en el suelo.
El régimen de humedad define la reserva en función del tiempo.

4. Las prácticas agrarias tradicionales y su adaptación a la condición edafoclimática

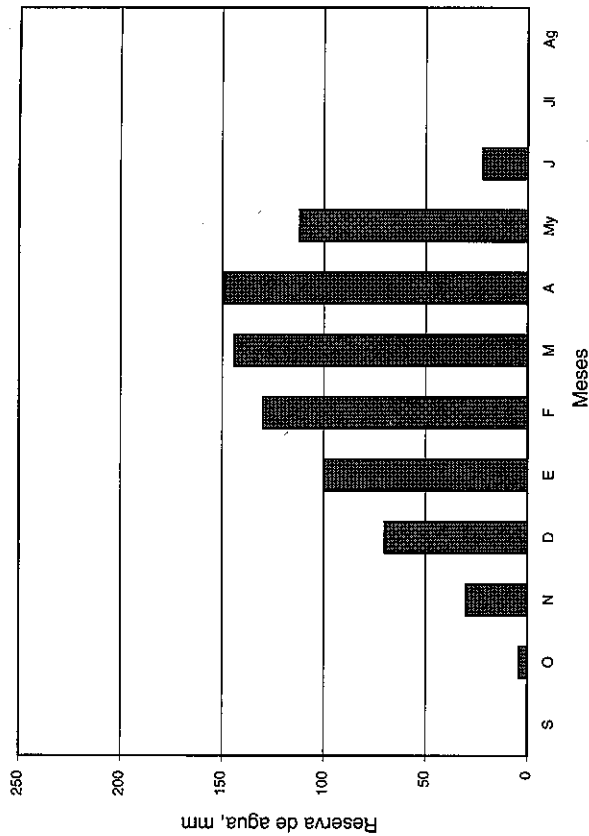
El cultivo tradicional que se ha adaptado en el transcurso del tiempo a la condición edafoclimática del secano en España es el cereal panificable. Se siembra al comenzar el año agrícola con las primeras lluvias otoñales; germina y nace al tiempo que los días se acortan y la temperatura del aire disminuye; desarrolla sus raíces en la oscuridad y con el calor que el suelo conserva desde el verano; ahíja cuando los días se alargan durante el invierno; encaña cuando aumenta la temperatura ambiente en la transición del invierno a la primavera; espiga con las aguas de abril, y madura al final de la primavera, cuando la humedad del suelo disminuye en sincronía con el drástico aumento de la evapotranspiración potencial.

La alternativa de *cereal-leguminosa* tradicionalmente viene impuesta por las necesidades de nutrición y trabajo en la granja agraria. También se le atribuyen beneficios edafoclimáticos, como al *barbecho*, a veces justificado por el control interanual de la humedad del suelo y las necesidades nutritivas del trigo en la cabeza de la rotación.

El calendario de las prácticas de cultivo y el régimen de humedad del suelo se resumen en el gráfico 5.1. La *productividad* en kg de grano por hectárea depende de la condición interna del vegetal y de los condicionamientos externos o del medio en cada una de las fases de desarrollo: germinación, nacencia, enraizado, ahijado, encañado, espigado y maduración.

Gráfico 5-1

CALENDARIO DE PRÁCTICAS DE CULTIVO
Y RÉGIMEN DE HUMEDAD DEL SUELO.
RÉGIMEN DE HUMEDAD DEL SUELO REAL MEDIO DE ESPAÑA



Fases de cultivo:

Germinación
Nacencia
Desarrollo radical
Ahijado
Encañado
Espigado
Maduración

MESES

S O N D E F M A My J Jl A

Reserva utilizable, mm

0 3 30 67 100 128 145 149 114 21 0 0

Labores de cultivo:

* **

Alzar

**

Fertilizar de fondo

**

Sembrar

Escardar

Fertilizar de cobertura

Cosechar

Aprovechamiento de la rastrojera

En general, la productividad depende del grado de satisfacción de las necesidades de transpiración, con especial sensibilidad durante la fase de maduración, que es cuando la reserva de agua utilizable disminuye paulatinamente al tiempo que aumenta la energía de retención en el suelo y disminuye la disponibilidad del agua, llegando muchas veces a ser insuficiente para un desenlace feliz.

Muchas prácticas agrarias repercuten en la gestión del régimen de humedad del suelo, pretendiendo que el agua se infiltre y se reserve en el suelo para atender a las necesidades de transpiración, y procurando evitar las pérdidas por escorrentía superficial, efiltración* desde el interior del suelo y evaporación directa.

La labor de *alzar* favorece la imbibición del agua. Los terrones se desmoronan al tiempo que el agua se infiltra en el interior del suelo. Esta labranza está tan establecida que agricultor y labrador se consideran sinónimos. El laboreo favorece la aireación del suelo y la oxidación de sus materias orgánicas, cuyo nivel se repone con el estiércol del ganado de labor y pastoreo. La mecanización acentúa el consumo de materia orgánica y deteriora la estructura de la capa arable, perdiendo retentividad de agua y nutrientes, lo que se contrarresta con labores más profundas y fertilización artificial.

La remoción del suelo y su humedecimiento provocan la germinación de semillas de «malas hierbas» presentes en el suelo, las cuales compiten con el cultivo en la demanda de agua y nutrientes. Por ello, después de su nacimiento, durante el invierno, se *escarda* el terreno, arrancando mecánicamente las «malas hierbas» y aporcando tierra seca hacia la base del cultivo para favorecer su ahijamiento. La remoción de la tierra superficial favorece la aireación y la infiltrabilidad del agua primavera. Actualmente, la escarda mecánica ha sido sustituida en gran medida por la aplicación de agroquímicos artificiales, que actúan como herbicidas más o menos selectivos y persistentes.

En función del tiempo meteorológico y la reserva de humedad del suelo se aplica la fertilización de cobertera con nitrógeno y, en el caso de que el año sea seco, se pueden practicar aclareos para asegurar la maduración.

El aprovechamiento de la rastrojera se complementa con la «otoñada» o hierba que nace después de la primera lluvia, antes de la labor de alzar. De esta manera se completa la cosecha del cultivo, para lo que es imprescindible el ganado.

* La «efiltración» define el agua que emigra desde el suelo hacia la roca subyacente. El concepto se define por similitud con el de «infiltración», que es el agua que entra en la superficie del suelo.

5. Resumen de la casuística del régimen de humedad del suelo en España

Teniendo en cuenta el edafoclima, cabe separar tres grandes zonas con diferente régimen de humedad. La *údic*, situada principalmente en el norte y noroeste de España y en algunas cumbres montañosas; la *xérica*, que ocupa la mayor parte de la Península Ibérica; y la *arídica*, que se sitúa en el sureste y en localizaciones de las submesetas y del valle medio del Ebro.

Un ejemplo de régimen *údic* es Santiago de Compostela, donde hay un exceso de agua en invierno y primavera, lo que exige el acondicionamiento del terreno para desaguar y airear la parte del suelo donde se sitúan las raíces.

El régimen *xérico* de Ciudad Real evidencia la escasez de agua al final de la primavera, de manera que el cultivo del trigo en secano carece de viabilidad a menos que se sitúe en vaguadas con aporte adicional del agua edáfica o de escorrentía. La técnica de reservar agua de un año para otro exige el *barbecho*, que suma agua en el suelo a base de evitar su evapotranspiración, de manera que, dejando un año en blanco, se puede alcanzar un cultivo viable, por ejemplo de cebada, en alternativa con una leguminosa, por ejemplo veza para siega en verde y barbecho blanco en otra hoja. Cultivos leñosos como la viña y el olivar pueden ser viables ajustando el marco de plantación a la disponibilidad hídrica.

En el régimen *arídico*, por ejemplo en Almería, el cereal de secano es inviable a causa de la carencia de humedad. Los pastos de montaña y algunos forrajes de ramblas permiten la ganadería más adaptada a la sequedad, por ejemplo, la cabra murciana.

6. Resumen y otras consideraciones

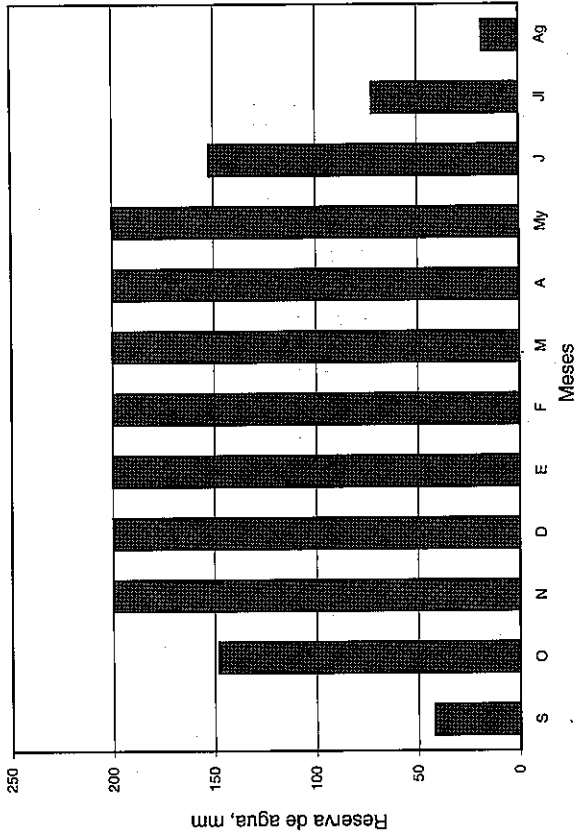
El cereal panificable se ha adaptado a la condición de mediana intensidad climática de la zona mediterránea, cuyo suelo se caracteriza por tener un edafoclima de invierno frío y húmedo y verano cálido y seco. La fertilidad del suelo se ha mantenido durante milenios porque el limitado excedente de agua que se efiltra desde el suelo es insuficiente para lixiviar gran parte de los nutrientes. Sin embargo, la erosión acelerada por la intervención antrópica, mecanizada en exceso, está truncando la capacidad del suelo para reservar agua, y este daño, muchas veces enmascarado por la profundidad de la labor y la fertilización artificial, suma pérdidas a largo plazo en un recurso que requiere milenios para su renovación.

La alternativa cereal-leguminosa-barbecho y los cultivos leñosos de viña y olivar se adaptan a las disponibilidades hídricas; en el primer caso con una rotación de cultivos y labores que gestionan la humedad interanual, y en el segundo caso adoptando el marco adecuado de plantación. En todo caso, las labores se encaminan a favorecer la transpiración productiva del agua disponible y evitar las pérdidas por escorrentía superficial, efiltración profunda y evaporación directa. No es de extrañar que en estas condiciones sean sinónimos los conceptos de agricultor y labrador.

Las investigaciones de los historiadores de la agricultura arroja mucha luz sobre el comportamiento humano en estas condiciones, y razona sobre la pérdida neta de recursos, como el suelo, su constituyente orgánico-mineral y su edafoclima, cuyo enmascaramiento tecnológico no evita un pronóstico de deterioro ambiental progresivo, que avanza sincrónico con la insensibilidad y la soberbia de los responsables administrativos.

Gráfico 5.2

RÉGIMEN DE HUMEDAD ÚDIC (SANTIAGO DE COMPOSTELA)

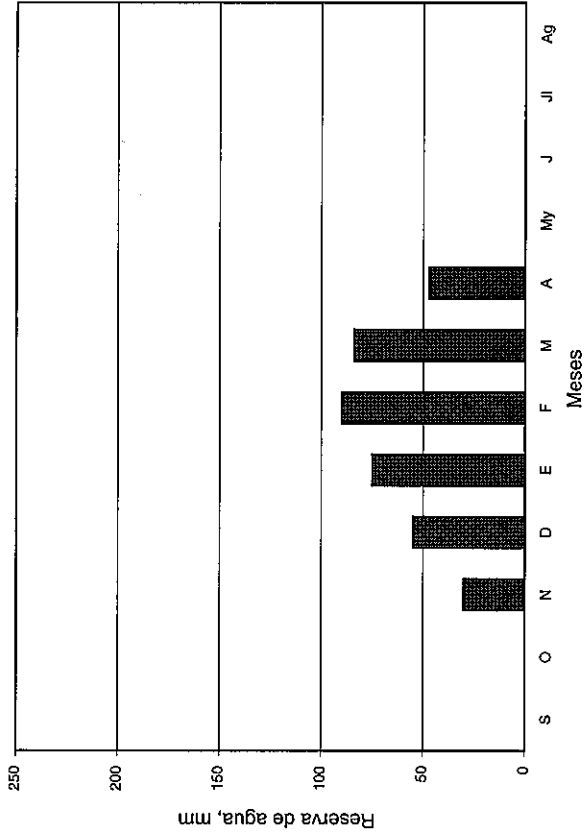


	S	O	N	D	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	Año
R, mm	87	144	186	207	164	151	172	110	101	63	45	52	1482
tm	17	14	11	8	8	8	10	11	14	17	18	21	13
ETP, mm	63	38	10	10	12	21	44	70	96	111	124	107	710
(R-ETP)	24	106	172	197	152	130	128	40	5				954
(ETP-R)										48	79	55	182
S	42	148	200	200	200	200	200	200	200	152	73	18	802
A			120	197	152	130	128	70	5				

R = precipitaciones atmosféricas. tm = temperatura media.
ETP = evapotranspiración potencial.
S = reserva de agua utilizable en el suelo.
A = Aporación = Percolación (P) + Escorrentía (E).

Gráfico 5.2 (continuación)

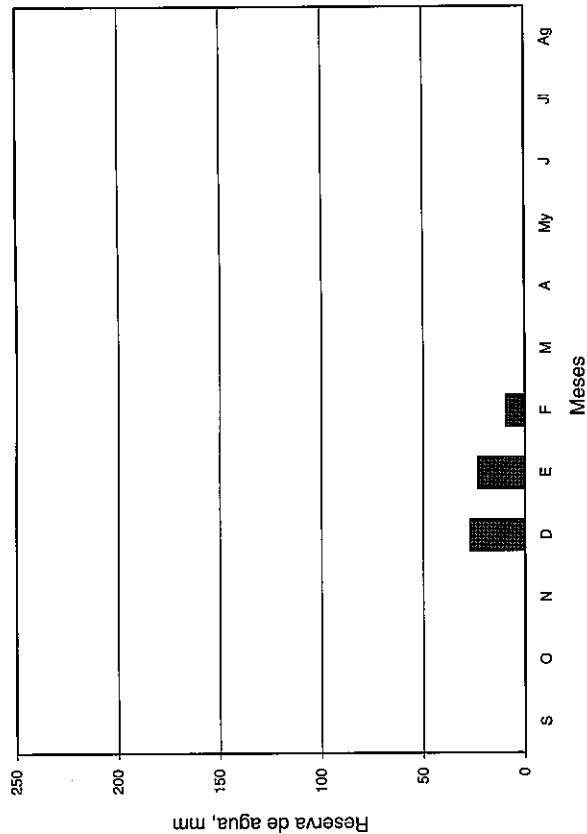
RÉGIMEN DE HUMEDAD XÉRIC (CIUDAD REAL)



	S	O	N	D	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	Año
R, mm	28	43	45	40	29	39	47	43	41	28	3	5	391
tm	21	15	9	6	5	7	10	12	16	21	25	25	14
ETP, mm	82	43	18	12	13	25	51	77	120	156	172	150	919
(R-ETP)			27	28	16	14							
(ETP-R)	54						4	34	79	128	169	145	613
S			27	55	71	85	81	47					

R = precipitaciones atmosféricas. tm = temperatura media.
ETP = evapotranspiración potencial.
S = reserva de agua utilizable en el suelo.

RÉGIMEN DE HUMEDAD ARIDIC (ALMERÍA)



R = precipitaciones atmosféricas, tm = temperatura media.
ETP = evapotranspiración potencial. ETR = evapotranspiración real.
S = reserva de agua utilizable en el suelo.

CAPÍTULO 6

ASPECTOS AGROECOLÓGICOS DE LA RELACIÓN ENTRE LA MATERIA ORGÁNICA Y EL AGUA EN EL SUELO

Juana Labrador Moreno
Universidad de Extremadura

«[...] Y esto aviso, para que vean el provecho del estiércol en la labor de la tierra, de más de dar sustancia, que si una tierra sin estiércol se usa regar, el agua la aprieta más que un pisón, y la daña y echa a perder a la planta [...] Porque el regar destruye y disipa mucho la tierra, que se lleva la flor de ella y dexa sólo la arena, y parese la tierra tiesa y dura y empedernida, por eso la tierra que se riega ha menester mucho estiércol.»

Alonso DE HERRERA (1513)

Introducción

El uso de materiales orgánicos como fertilizantes ha estado unido, desde una perspectiva histórica, con el mantenimiento de la productividad de los suelos de cultivo.

Esta función de la fertilización orgánica era, y es aún, evidente en los sistemas agrícolas tradicionales; en ellos, los pequeños agricultores mantenían la fertilidad de sus tierras cerrando ciclos de energía y nutrientes mediante técnicas agronómicas básicas como la rotación de cultivos y la incorporación de los rastrojos; reciclando restos orgánicos mediante el compostaje; integrando la ganadería y la agricultura, con el aprovechamiento del estiércol y de la vegetación natural mediante su manejo en sistemas agro-silvo-pastorales; creando así modelos de gestión que permitían el funcionamiento óptimo del agrosistema y la perdurabilidad de su potencialidad productiva.

El progreso agrario y los avances tecnológicos dieron paso a mejoras importantes en la producción, sin embargo, han sido en buena medida causa de la pérdida de la capacidad de autorregulación mantenida durante milenios entre el ser humano y su medio agrícola.

La magnitud de las consecuencias de esta forma de actuar se han puesto de manifiesto sobre todos los componentes del agrosistema, incidiendo de manera alarmante sobre el medio edáfico y sobre uno de sus componentes más importantes, la materia orgánica.

Esta alteración de la fracción orgánica está íntimamente relacionada con una disminución de la fertilidad global del suelo de cultivo y con la pérdida de su capacidad para optimizar la infiltración y la retención del agua y oponer resistencia a los fenómenos erosivos.

En este contexto, el diseño de estrategias para la conservación de la calidad y la potencialidad de los suelos de cultivo de manera perdurable, y por consiguiente para la conservación de la materia orgánica y el agua en los mismos, debe partir desde un criterio que contemple el suelo como un medio vivo y complejo, desde la perspectiva global del agrosistema y desde un enfoque de actuación local agroecológico¹.

1. El estado de la materia orgánica y del agua en el suelo

El contenido de materia orgánica de los suelos está estrechamente relacionado con su potencial productivo. Sin embargo, su influencia sobre la mayor parte de los parámetros edáficos depende del estado en el que la misma se encuentra y de su origen, más que de la cantidad total de materia orgánica.

Respecto al agua, es esencial para la supervivencia y el crecimiento de las plantas, y para el desarrollo óptimo de la vida edáfica y además actúa como disolvente, reactivo hidrolizante, amortiguador de temperatura y agente dilatador y debilitador de la estructura. Al contrario que la mayoría de los nutrientes, que son retenidos en la planta, la característica del agua es su movimiento.

Si nos centramos en el comportamiento del agua en el suelo, éste va a depender de sus propiedades, de su interacción con los demás componentes y organismos del suelo y de las fuerzas que actúan sobre ella.

1.1. El estado de la materia orgánica en el suelo

La *materia orgánica* en el suelo engloba los restos de plantas y animales, en diferente grado de transformación, así como la *biomasa edáfica*—microorganismos, microfauna y enzimas extracelulares que representa del 1 al 2% de la materia orgánica total.

¹ La agroecología es una ciencia que estudia los sistemas agrícolas desde una perspectiva agronómica, ecológica y socioeconómica. Su objetivo es proporcionar la base ecológica para el manejo de los recursos promoviendo tecnologías de producción estables y de alta adaptabilidad ambiental y social (ALTIERI, M. A., 1995).

En los suelos agrícolas, la materia orgánica proviene de los restos de los cultivos, de las excreciones metabólicas y de los aportes orgánicos.

Dentro de una hipótesis secuencialidad, estos restos orgánicos denominados como «*materia orgánica fresca*», que representan la principal fuente de energía de los procesos bioquímicos edáficos, serían transformados, en una primera etapa, por vía biológica hasta los componentes elementales de sus constituyentes básicos: proteínas, hidratos de carbono, ácidos orgánicos complejos, etc., es decir, se produce una «simplificación» de su estructura a compuestos más «sencillos» y en general solubles. Parte de estos compuestos sufren, por acción microbiana, un proceso de *mineralización*—proceso eminentemente biológico y preferentemente aerobio—pasando a formas inorgánicas, bien solubles (PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_3^- , etc.) o bien gaseosas (CO_2 y NH_4^+). Algunos de estos nutrientes pueden sufrir una inmovilización temporal en la biomasa microbiana—fundamentalmente el nitrógeno.

La fracción de la materia orgánica que no se mineraliza en esta primera etapa, a través del proceso que denominaremos *humificación*, es sometida a reacciones bioquímicas y químicas, de síntesis y polimerización, que incrementan su complejidad, y que darán lugar a nuevos productos—macromoléculas más o menos policondensadas—, que reciben el nombre de *sustancias húmicas*. La mineralización de las sustancias húmicas es más lenta, debido a su complejidad estructural y a su estabilidad, gracias a su unión con cationes di y trivalentes, a la formación de complejos organo-minerales—con arcillas y óxidos fundamentalmente—, y a la localización en agregados, o entre las láminas de arcillas.

En este breve retrato de la dinámica de la materia orgánica en el suelo, hemos distinguido, en primer lugar, dos tipos de procesos evolutivos, uno que conlleva la simplificación de la materia orgánica denominado *mineralización* y otro que incrementa su complejidad denominado *humificación*. En segundo lugar, que en el suelo existen diferentes tipos de materias orgánicas: la correspondiente a la biomasa, a la materia orgánica «fresca», a los productos orgánicos intermedios y a la materia orgánica humificada.

A no ser que recientemente se hayan realizado estercoladuras, o se hayan enterrado restos de cultivos, el humus de un suelo agrícola predomina sobre la materia orgánica fresca—aproximadamente el 90% de la materia orgánica total (Saña, 1996).

En este sentido, al hablar del estado de la materia orgánica en el suelo, nos interesa conocer tanto el contenido de materia orgánica, como la *dinámica* de la misma, es decir, *la velocidad con la que ésta evoluciona y el equilibrio al que tienden los procesos de humificación y mineralización*, específicos de la heterogeneidad de los diferentes agrosistemas².

² Las ideas anteriores impulsan a MONNIER, G. (1989) a afirmar que «los niveles de materia orgánica del suelo y sus eventuales variaciones pueden ser considerados como indicadores de la interacción entre el sistema de cultivo empleado y el medio físico en el que se practica».

En esta dinámica, el contenido de humus o grado de humificación es el balance que resulta de la capacidad mineralizadora de la biomasa edáfica y de las incorporaciones de material orgánico. La capacidad mineralizadora depende básicamente de los factores que afectan a la biomasa: clima, pH, estructura, textura, carbonatos, humedad, nutrientes y grado de intervención; las entradas de material orgánico están ligadas a la actuación del agricultor: elección de cultivos, rotaciones, aportes orgánicos (Saña, 1996).

Existen otros indicadores del estado de la dinámica de la materia orgánica, en relación al balance húmico en los suelos agrícolas.

En el modelo de Henin y Dupuis (1945) y en relación al balance húmico y a las pérdidas por mineralización de la materia orgánica, se le oponen las ganancias que supone el humus generado a partir de los residuos vegetales de los cultivos precedentes y el que proviene de las incorporaciones de abonos orgánicos. Según estos autores:

$$MO_{\text{humificada}} = K_1 \times MO_{\text{aportada}}$$

$$MO_{\text{mineralizada}} = K_2 \times MO_{\text{inicial}}$$

El «coeficiente isohúmico» K_1 , expresa el rendimiento potencial en humus de la materia seca del material orgánico aportado.

Según Monnier (1989), K_1 depende de la naturaleza de la materia orgánica aportada —cuanto más rica en lignina es, más humus produce (es el caso de los estiércoles pajosos y rastrojos) y cuantos más azúcares, celulosa y compuestos nitrogenados posee, más rápidamente se mineraliza y menos humus genera (es el caso de los abonos verdes o de restos de cosecha de forrajes)—, también va a depender de las características del suelo y del clima (cuadro 6.1).

« K_1 » fue definido como la constante de transformación de la materia seca aportada, por eso es corriente ver efectuado su cálculo sobre el contenido en materia seca del material orgánico aportado, permitiendo obtener de forma aproximada su equivalente en humus. Esto queda reflejado en la siguiente expresión:

$$H = ro \times ms / 100 \times K_1$$

Siendo:

H = cantidad de humus generado por los residuos.

ro = Residuos orgánicos en kg/ha.

ms = Materia seca de los residuos.

K_1 = Coeficiente isohúmico específico.

Cuadro 6.1

COEFICIENTES ISOHÚMICOS K_1 DE RESIDUOS VEGETALES Y ABONOS ORGÁNICOS

ESPECIE	AUTOR			
	Soltnier (1990)	Muller (1982)	Boiffin et al. (1986)	Delas y Molot (1983)
Trigo/cebada/avena				
Raíces	0,15	0,08	0,15	—
Partes aéreas	0,15	0,08	0,08	0,14
Maíz				
Raíces	0,15	0,06	0,15	—
Partes aéreas	0,12	0,06	0,12 ^b	0,20
Patata				
Raíces	0,15	—	0,15	—
Partes aéreas	0,00	—	—	—
Restos de prados	—	0,15	—	—
Guisante/judía/haba				
Raíces	0,15	—	0,15	—
Partes aéreas	0,08	—	0,08	—
Abono en verde				
Raíces	0,15	—	0,15	—
Partes aéreas	0,05-0,08 ^c	0,01	0,00	—
Abono orgánico				
Estiércol bien maduro	0,50	0,3-0,5	0,30	0,32
Estiércol semimaduro	0,40	—	0,30	0,32
Compost de basuras	0,25	—	—	—
Turba	1,00	—	—	—
Restos forestales	—	—	—	0,31

^a La K_1 de este cuadro tiene el significado clásico, se refiere a la fracción de materia seca que se humidifica.

^b 0,10 para la base de los tallos no recolectados en el maíz para ensilar.

^c Según que el abono verde sea respectivamente poco o muy lignificado.

Fuente: Adaptado de J. Saña (1996).