

Adopción de tecnologías ahorradoras de agua en la agricultura

Francisco Alcón, Narciso Arcas, M^a Dolores de Miguel y M^a Ángeles Fernández-Zamudio

1. Introducción

La importancia del agua para el desarrollo económico de un territorio es evidente. Sin embargo, al tratarse de un recurso limitado, y en muchas zonas de España escaso, para que este desarrollo se realice de forma sostenible se pueden adoptar diversas líneas estratégicas que van desde la disminución de la demanda, hasta el incremento de la oferta, pasando por la mejora de la eficiencia en su utilización (MIMAM, 2007). Aunque las tres estrategias son interesantes, el aumento de la oferta y la disminución de la demanda presentan un alto grado de dificultad, por lo que la mejora de la eficiencia de su uso se revela como una buena opción para alcanzar los objetivos medioambientales establecidos en la Directiva Marco del Agua.

La agricultura sigue siendo una de las actividades económicas que hay que impulsar para mantener el empleo y fijar la población en el medio rural. Sin embargo, las elevadas cantidades de agua que precisa hacen que ejerza una fuerte presión sobre el medio hídrico y que genere impactos negativos en los ecosistemas.

Como consecuencia de la estrecha vinculación entre rentabilidad de las explotaciones agrarias y regadío, se ha producido un gran desarrollo de las tecnologías relacionadas con el uso del agua en agricultura, desde las fases de captación, embalse y distribución del agua, hasta los instrumentos que permiten aportar agua al cultivo con estricta precisión.

La tecnología se convierte así en una herramienta fundamental para aumentar la eficiencia del uso del agua en agricultura, y una buena aliada en las estrategias de ahorro. Además, optimizando la gestión de este recurso natural se mejora el estado ecológico de las aguas y se hace un uso más sostenible, cuestiones de gran relevancia en la aplicación de las actuales políticas agrícolas y medioambientales.

Para aumentar la eficiencia del agua en la agricultura se puede actuar a diferentes niveles (Sumpsi *et al.*, 1998). De un lado, en el ámbito de la cuenca, aplicando la tecnología en el transporte del agua desde el embalse regulador hasta la cabecera de la zona regable. De otro lado, en la Comunidad de Regantes, controlando la distribución desde la cabecera de la zona regable hasta las parcelas de los agricultores; y finalmente en la explotación, con técnicas de distribución del agua desde pie de parcela hasta la planta, mediante diferentes sistemas de riego y métodos de programación del mismo. Con relación a este último nivel, la tecnología incluye los procedimientos de aplicación de agua en la planta y los que permiten conocer las necesidades de agua del cultivo. Precisamente en estas dos tecnologías se centra este trabajo, que tiene como objetivo describir las principales tecnologías ahorradoras de agua en las explotaciones agrarias, así como los procesos de adopción y difusión por parte de sus usuarios.

2. Tecnologías ahorradoras de agua en las explotaciones agrarias

2.1. Tecnología de aplicación del agua en la planta

Respecto a la tecnología de aplicación del agua en el interior de la parcela, destaca el riego localizado en su modalidad de riego por goteo. Éste consiste en la aplicación del agua a través de puntos o una línea de emisores, sobre o bajo la superficie del terreno y operando a bajas presiones (Dasberg y Or, 1999). Con respecto al tradicional, el riego localizado tiene como ventajas la obtención de mayores rentabilidades, ya que hay un incremento de la eficiencia de aplicación del agua¹, se reduce la evaporación de agua del suelo, la escorrentía y las pérdidas en percolación profunda. Además, la automatización posibilita una reducción del uso de mano de obra y la aplicación conjunta de abonado y

¹ Se estima con el riego localizado se puede alcanzar una eficiencia en campo del 90%, mientras que la del riego tradicional es del 50-60% y la del riego por aspersión entre un 70-80% (Dasberg y Or, 1999).

riego (fertirrigación). También permite la utilización de aguas más salinas, y disminuye los riesgos fitosanitarios y la proliferación de malas hierbas (Keller y Bliesner, 1990). Por último, los sistemas de riego localizado son más adaptables a la heterogeneidad del suelo, permitiendo un reparto más uniforme del agua con independencia de la orografía del terreno (Skaggs, 2001).

Aunque son muchos los beneficios de esta tecnología, derivados del ahorro de agua y de mano de obra, también presenta desventajas respecto a otros sistemas de riego. Por una parte, necesita un mayor mantenimiento y control de la instalación, una disponibilidad continua del recurso, y frecuentes revisiones para evitar la obstrucción de emisores, las fugas y la acumulación excesiva de sales en la zona radicular como consecuencia de un inadecuado lavado del frente húmedo. Además, la tecnología de riego por goteo requiere de una inversión inicial elevada y de un diseño previo de la instalación que facilite su mantenimiento posterior y asegure una eficiencia óptima del riego (Keller y Bliesner, 1990).

El balance favorable de las ventajas del uso del riego por goteo, frente a sus inconvenientes, queda reflejado en el comportamiento adoptante mostrado por los empresarios agrícolas en las zonas de regadío. A este comportamiento también han contribuido las Administraciones Públicas apoyando las inversiones orientadas a mejorar las estructuras agrarias, con el fin de elevar su nivel de competitividad, conservar el medio ambiente y mejorar las condiciones de vida y trabajo de los agricultores. Una de las iniciativas en este sentido, queda recogida en la Ley 19/1995, de 4 de julio, de modernización de las explotaciones agrarias, al aludir a la necesidad de realizar una gestión eficiente y sostenible del agua. Esto ha propiciado que el 45,87% de las tierras de regadío en España posean tecnología de riego localizado, siendo la Región de Murcia la de mayor porcentaje de superficie con riego por goteo (77,31%), seguida de Canarias (73,94%) y Andalucía (73,67%) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Distribución de la superficie regada por comunidades autónomas en 2008

Comunidad Autónoma	S. Regada (ha)	S. con R. Localizado (ha)	Localizado / Regada (%)
Galicia	16.636	963	5,79
Asturias	358	210	58,66
Cantabria	138	1	0,72
P. Vasco	7.626	1.623	21,28
Navarra	80.119	16.340	20,39
La Rioja	45.923	14.723	32,06
Aragón	374.325	43.325	11,57
Cataluña	242.836	78.462	32,31
Baleares	19.795	9.584	48,42
C. León	376.697	15.460	4,10
Madrid	14.400	1.892	13,14
C. Mancha	482.660	260.616	54,00
C. Valenciana	335.117	181.042	54,02
R. Murcia	170.307	131.660	77,31
Extremadura	230.546	72.224	31,33
Andalucía	953.667	702.557	73,67
Canarias	23.481	17.361	73,94
REGADA	3.374.632	1.548.043	45,87

Fuente: MMAMRM (2008).

2.2. La Tecnología para determinación de las necesidades hídricas de los cultivos

Si la utilización de sistemas de riego ahorradores de agua, como el riego por goteo, es fundamental para la adecuada gestión de este recurso, no es menos importante la determinación del momento y volumen de agua a aplicar en cada riego. Por ello, estas decisiones, que tradicionalmente se han basado en la experiencia previa y no en procedimientos científico-técnicos, exigen cada vez más contar con información precisa que permita programar los riegos de forma eficiente (Fereres y Goldhamer, 2000).

Existen numerosos métodos de programación de riegos, pero todos ellos se han agrupado tradicionalmente en tres categorías, basadas en: a) datos climáticos, b) estado hídrico del suelo, y c) estado de la planta.

Datos climáticos. La estimación de las necesidades hídricas máximas del cultivo se basa en el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_o) y en la utilización de coeficientes de cultivo (Doorenbos y Pruitt, 1977). Estas metodologías requieren el empleo de variables climáticas obtenidas con tecnologías para el control del clima (sensores de pluviometría, radiación global y neta, humedad relativa y temperatura del aire, velocidad y dirección del viento, evaporación potencial a partir de tanques clase A, etc.).

Estado hídrico del suelo. El balance de agua en el suelo ha sido uno de los métodos más utilizados para determinar las necesidades hídricas de los cultivos arbóreos. Se trata de cuantificar las cantidades de agua que entran, salen o permanecen en un volumen de suelo durante un tiempo determinado (Goldhamer *et al.*, 1999).

Estado de la planta. Aunque está muy extendida la idea de utilizar a la propia planta como detector de sus necesidades hídricas, al integrar ésta las condiciones de su entorno, clima y suelo, son muy escasas las explotaciones comerciales que se apoyan en el estado de la planta para el manejo del riego (Nortes *et al.*, 2005).

3. Adopción de tecnologías de riego

En la literatura los términos adopción y difusión de innovaciones aparecen utilizados, en muchas ocasiones, de forma indistinta. Sin embargo, aunque son muy similares, la adopción hace referencia a un proceso de decisión individual sobre la aceptación de una innovación, mientras que la difusión se refiere al proceso de aceptación de una innovación por un conjunto de individuos en el tiempo y en el espacio. Así, la adopción es vista desde la perspectiva del individuo (micro, desagregado), mientras que la difusión lo es desde la propia tecnología (macro, agregado) (Feder y Umali, 1993).

Para Rogers (1962), la adopción es un proceso mental por el que pasa un individuo desde que tiene conocimiento por primera vez de la existencia de una innovación hasta que toma la decisión final de adoptar. Posteriormente, desde el punto de vista de las tecnologías agrarias, Sidibé (2005) define la adopción como la extensión en la cual una nueva tecnología es utilizada de forma equilibrada con otras actividades, en un largo periodo de tiempo y suponiendo que los agricultores tienen información completa sobre la tecnología y su potencialidad.

Según Lindner (1987) la adopción es un proceso simple, a pesar de la gran diversidad de tipos de innovaciones, patrones de difusión, características de los potenciales adoptantes y tiempo empleado por éstos para decidir si adoptan o rechazan una innovación. En cualquier caso, este proceso implica dos componentes universales: una elección con riesgo y la adquisición de conocimiento.

La elección de adoptar es arriesgada porque existe una incertidumbre en torno a la innovación que se irá reduciendo con la adquisición de conocimiento. Así, las técnicas de decisión de elección están condicionadas a un estado de conocimiento incierto de la innovación y de aquellos factores que afecten a la decisión. Si el centro decisor tuviera conocimiento completo podría decidir con certeza. Por lo tanto, la decisión dependerá del conocimiento de los distintos parámetros, y estará envuelta en un proceso de aprendizaje dinámico compuesto por una adquisición de la información y la posterior incorporación de ésta a las anteriores creencias de los potenciales adoptantes. Estas creencias que van cambiando con el tiempo modifican el conocimiento sobre la tecnología y las decisiones de adoptar (Pannell *et al.*, 2006).

La mayoría de los trabajos de adopción encontrados en la literatura identifican los factores que afectan la decisión final de adoptar, comparando adoptantes y no adoptantes en un momento del tiempo. Para ello, utilizan modelos de elección discreta bajo el marco teórico de la teoría de la utilidad esperada y consideran que la adopción es más probable cuando la utilidad subjetiva que la tecnología le reporta al agricultor (U_{nt}) es superior a la utilidad percibida por la tecnología tradicional (U_{tt}). Bajo este marco teórico la adopción ocurrirá en el momento del tiempo que $U_{nt} > U_{tt}$. Estos modelos, que permiten identificar los diferentes factores que afectan a la probabilidad de adoptar, han sido aplicados para analizar diferentes tecnologías de riego (Green y Sunding, 1997; Foltz, 2003).

Otra corriente de la teoría de adopción entre individuos trata de explicar el tiempo que tardan los individuos, con diferentes características y que se enfrentan a diferentes situaciones de mercado, en adoptar una determinada tecnología (Karshenas y Stoneman, 1995). Para ello se utilizan modelos de duración que permiten identificar estadísticamente el signo y la magnitud de los efectos de las variables explicativas sobre la longitud del rango (Lancaster, 1990).

Esta metodología permite abordar la difusión y la adopción de forma simultánea, dado que la dicotomía existente entre la difusión como un proceso (nivel macro) y la adopción debida a la heterogeneidad individual (nivel micro) es un artificio en el que la curva de difusión es un agregado de las decisiones de adopción individuales. Además, al análisis de datos de sección cruzada se le puede incorporar un elemento dinámico utilizando series temporales que capturen el carácter temporal subyacente del proceso de difusión. En España, esta metodología ha sido aplicada por Alcón (2007) para analizar la adopción de tecnología de riego localizado y por Alcón *et al.*, (2008) para tecnologías de distribución y control del agua de riego.

4. Factores que condicionan la adopción

Las nuevas tecnologías serán adoptadas en la medida que contribuyan al logro de los objetivos de los potenciales adoptantes (Pannell *et al.*, 2006). Por ello, la adopción dependerá de las expectativas que la innovación genera y de los objetivos de los potenciales adoptantes. Dada la gran variabilidad existente entre individuos, existen numerosos factores (antecedentes) que contribuyen a explicar la adopción de tecnologías de riego.

En la literatura aparecen diferentes clasificaciones de los factores que afectan a la adopción de innovaciones en agricultura (Feder y Umali, 1993; Abadi Ghadim y Pannell, 1999). Con relación a las tecnologías de riego, Foltz (2003) clasifica los factores que explican por qué estas innovaciones se difunden en un área determinada en: a) la escasez de recursos, b) las restricciones de capital, c) los costes de aprendizaje, y d) la aversión al riesgo. A su vez este último factor se podría desglosar en dos: cuando la aversión hace referencia al rechazo al riesgo que las personas poseen, y cuando el riesgo proviene por la incertidumbre acerca del output que generará la innovación.

La escasez de recursos naturales provoca un incremento de su precio sombra, induciendo en sus usuarios la adopción de innovaciones que los ahorren. Esta hipótesis sugiere que las tecnologías ahorradoras de agua se difundirán a un ritmo que dependerá de los precios relativos de los recursos en un área determinada (Hayami y Ruttan, 1985). De esta forma, los primeros individuos en adoptar tecnología de riego serán aquellos que tengan mayores restricciones de agua y accedan a ella a unos precios más elevados.

Bajo esta premisa, tanto la escasez, medida en función de la disponibilidad de agua, como el precio del agua, son variables que ejercen un efecto positivo sobre la adopción, tal y como han corroborado diferentes trabajos de adopción de tecnologías de riego (Green *et al.*, 1996; Carey y Zilberman, 2002). En España, el trabajo de Alcón (2007) demuestra que conforme se incrementa el precio del agua, aumenta la probabilidad de adoptar tecnología de riego.

Por el contrario, también se comprueba que la disponibilidad de agua a través de una fuente alternativa de suministro, como el agua subterránea, incrementa las probabilidades de adoptar. Es decir, los agricultores necesitan un suministro mínimo que garantice sus inversiones. Esto también fue corroborado por Alcón *et al.*, (2008) al analizar la tecnología de distribución y control del agua en las comunidades de regantes. Estos autores

observaron que en los periodos de sequía, en los cuales la escasez es mayor y por lo tanto se prevén unas mayores tasas de adopción, los responsables de tomar la decisión retrasaban la adopción.

Igualmente, la escasez podrá ser contemplada no sólo desde el punto de vista de los recursos naturales, sino también desde la perspectiva de los recursos necesarios para que la explotación pueda desarrollar sus diferentes actividades con normalidad, y entre ellas el riego. Tal es el caso de la disponibilidad de mano de obra de la zona, pues si ésta es escasa se favorecerá la adopción de tecnologías ahorradoras de trabajo, como el riego localizado (Dinar y Yaron, 1990; Alcón, 2007).

El capital que requieren las inversiones no siempre se encuentra al alcance de los agricultores, de ahí que las nuevas tecnologías serán difundidas con mayor velocidad entre aquellos que disponen de mayor liquidez (Besley y Case, 1993; Alcón, 2007). Esta hipótesis puede extenderse a todo tipo de restricciones económicas que hay en torno al proceso. Sin embargo, ha sido ampliamente corroborada por dos variables, la facilidad de acceso al capital, y el tamaño de la explotación, toda vez que esta última variable está muy correlacionada con las disponibilidades de recursos económicos. En este sentido, Skaggs (2001), analizando la adopción de riego localizado entre los agricultores de pimientos chilenos en Nuevo México, encontró que la superficie total cultivada era una de las variables más relevantes de la adopción.

En el ámbito de las comunidades de regantes, Blanco (1999) encontró que, en aquellas zonas de riego donde el precio del agua es reducido, los regantes presentan una menor disponibilidad a adoptar tecnología, y estimó el nivel de subvención mínimo en un 35% para que se adoptaran programas de modernización. Igualmente modeló una política de subvenciones acompañada de un incremento en las tarifas del agua, prediciendo una mayor adopción. En la misma línea, Alcón *et al.*, (2008) sostienen que las subvenciones y el empleo de un sistema tarifario variable incrementan la probabilidad de adoptar.

En cuanto a los costes del aprendizaje, la tecnología se difundirá con mayor velocidad en aquellos lugares donde la información acerca del potencial beneficio de su adopción y manejo se encuentre fácilmente disponible, permitiendo a los agricultores evaluar los posibles beneficios derivados de su uso, ya que el desconocimiento aumenta la abstención ante las decisiones arriesgadas (Jensen, 1982; Dorfman, 1996). Puesto que esta evaluación se verá facilitada por el grado de formación de los individuos, los agricultores que tengan mayor nivel de estudios generalmente adoptan con mayor velocidad (Foltz, 2003; Alcón, 2007).

Por último, la aversión al riesgo también condiciona en gran medida la toma de decisiones. Esta hipótesis se basa en que los agricultores presentan diferentes preferencias por el riesgo de una tecnología desconocida (Marra *et al.*, 2003). Además, el agricultor también se muestra averso a una tecnología que incrementa la varianza de sus ingresos (Saha *et al.*, 1994), por lo que, en cambio, cabe esperar que muestre una disposición favorable hacia aquellas tecnologías que la disminuyan. Tal es el caso del riego por goteo pues, en la medida que favorece la obtención de producciones con rendimientos y calidades mejores y homogéneas, favorece la estabilidad de los ingresos de los agricultores.

Escribano (2006) analizó los efectos de la incertidumbre en la disponibilidad del agua y el precio de los productos en el Valle de Guadalhorce (Málaga), demostrando que, para tecnologías ahorradoras del agua, el incremento de la incertidumbre de la disponibilidad del recurso fomenta la adopción. Por el contrario, si el incremento de la incertidumbre es en el precio del producto, la adopción se verá desincentivada. Estos resultados, que son coherentes con la literatura económica, deberían ser considerados conjuntamente con las estimaciones de Alcón (2007) y Alcón *et al.*, (2008), dado que, a mayor incertidumbre mayor probabilidad de adoptar, pero el usuario del agua deberá tener una garantía mínima a partir de la cual adoptará.

No cabe duda de que el resultado final en cuanto a la adopción o no de una tecnología depende del efecto conjunto de los factores expuestos y, por lo tanto, del signo y magnitud de la influencia, pues en ocasiones tendrá el mismo signo mientras que en otras será opuesto. Bajo esta consideración, los agricultores con menos recursos podrían adoptar antes la tecnología de riego por goteo, aunque presenten más problemas de capital, al considerar que esta tecnología les permite mejorar sus ingresos.

Estas hipótesis, y sus variables relacionadas, han sido analizadas en el trabajo de (Alcón, 2007) para estudiar la adopción de tecnologías de riego localizado por los agricultores de una de las Comunidades de Regantes más grandes de España, la del Campo de Cartagena. Para ello utilizó un modelo de duración que incorporaba tanto variables de sección cruzada como dependientes del tiempo. La variable medida es el tiempo que transcurre desde que un agricultor comienza a trabajar en la explotación (o el año que se comercializó la tecnología (1975) si es que éste último es posterior) hasta que adopta riego por goteo, siendo las variables que explicaron este tiempo de retraso y el efecto de las mismas sobre la velocidad de adoptar las que vienen recogidas en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Modelo de riesgo proporcional estimado para los agricultores de la comunidad de regantes del Campo de Cartagena

Hipótesis ¹	Variable	Descripción	Efecto de la variable	Signif.
H1	Precio del agua ²	Precio del agua (€/m ³)	+	(0.035)
H1, H3	Origen del agua	1= el 100% del agua utilizada es agua superficial procedente del trasvase. 0= el agricultor utiliza agua superficial y subterránea (tiene acceso)	-	(0.011)
H1, H3	Disponibilidad ²	Agua trasvasada a la cuenca en el año hidrológico (oct-sep), (hm ³ /año)	+	(0.000)
H2	Cooperativa	0=el agricultor no es miembro de una cooperativa 1=el agricultor pertenece a una cooperativa	+	(0.034)
H2	Trabajadores	0=Las personas que trabajan en la explotación son miembros de la familia 1=Todo el personal que trabaja en la explotación es contratado	+	(0.099)
H3	Comienzo	Año en que el agricultor comenzó a trabajar en la explotación	+	(0.000)
H3	Estudios	0=estudios básicos o sin estudios 1=estudios secundarios o superiores	+	(0.099)
H3	Información	0=El agricultor conoció la existencia de la tecnología porque la vio en otros agricultores 1=El agricultor conoció la tecnología porque personal especializado en agricultura le informó de cómo era y para que servía	+	(0.000)
H4	Riesgo	Grado de riesgo que el agricultor está dispuesto a asumir frente a la adopción de nuevos cultivos, nuevas técnicas y nuevas tecnologías (0-10)	+	(0.060)
H4	P_Calidad	Importancia que el agricultor dio al incremento de calidad que podía obtener con la adopción de riego por goteo (0-10)	+	(0.038)
H4	P_Rendimiento	Importancia de la búsqueda de mayores rendimientos cuando pensó adoptar la tecnología (0-10)	-	(0.047)
	p	Parámetro de la distribución weibull	+	(0.000)
	Cte	Constante del modelo	-	(0.000)
	Numero de obs.			360

Fuente: Alcón (2007).

¹ Hipótesis de adopción: escasez de recursos (H1), las restricciones de capital (H2), costes de aprendizaje (H3), y aversión al riesgo (H4).

² Variables dependientes del tiempo.

El modelo de riesgo proporcional estimado por máxima verosimilitud considera una función de riesgo base que sigue una distribución weibull dependiente del tiempo, $h_0(t, \theta)$, y los efectos de las variables explicativas, $\exp(X, \beta)$, sobre la velocidad de adoptar, según la siguiente ecuación general:

$$h(t, X, \theta, \beta) = h_0(t, \theta) \exp(X, \beta) \quad [1]$$

Según este modelo, y en concordancia con la hipótesis de escasez de recursos (H1), se puede apreciar cómo incrementos en el tiempo del precio del agua favorecen la velocidad de adopción. Así mismo, el empleo de agua subterránea, más cara que el agua de la comunidad de regantes, tendrá un efecto sobre la adopción en la misma dirección. Sin embargo, atendiendo a la disponibilidad de agua se aprecia que una mayor disponibilidad, tanto procedente de la comunidad de regantes como del acceso al uso de agua subterránea favorecerán la velocidad de adopción.

Reducir las imperfecciones del mercado en cuanto al precio de los recursos naturales, en busca de un correcto equilibrio entre los precios de inputs y outputs que consideren el verdadero valor del agua, será considerado como una correcta implicación política derivada de esta teoría. Esto supondría la liberalización económica de los recursos que, teóricamente, establecería un apropiado precio del agua para los agricultores y, posiblemente, les haría reaccionar hacia la adopción.

Las variables *Cooperativa* y *Trabajadores* están encuadradas dentro de la hipótesis de restricciones de capital (H2). Las cooperativas tienen la posibilidad de acceder a los Fondos Operativos de la Unión Europea, de ahí, que el ser miembro de una permite el acceso al capital favoreciendo así la adopción. Por otro lado, las explotaciones con un carácter más empresarial tienden a adoptar con más velocidad que las familiares.

Las políticas apropiadas que emanan de la confirmación de esta hipótesis para aumentar la velocidad de difusión, han de basarse en facilitar el acceso al crédito por parte de los agricultores y mejorar el precio de adquisición de la tecnología con el objetivo de que los agricultores inviertan en ella.

Dentro de la hipótesis de los costes del aprendizaje (H3), la variable *Comienzo*, implica que cuanto más tiempo se tarde en adoptar, existirán mayores conocimientos sobre el uso y manejo de la tecnología. También, la variable *Estudios* tiene una influencia

positiva sobre la velocidad de adopción al igual que la variable *Información*, dado que tanto la formación, como las fuentes de la misma incrementarán la probabilidad de adoptar una tecnología beneficiosa para el agricultor. El conocimiento por parte del agricultor de que va a tener agua ese año para cultivar, expresado por las variables *Disponibilidad* y *Origen del agua*, también influye en el proceso de adopción. Concretamente, si el agricultor posee información de la cantidad de agua que va a ser trasvasada (y consecuentemente del agua que el dispondrá) y tiene acceso a una fuente alternativa de agua subterránea que le garantice una dotación suficiente, la probabilidad de adopción temprana de riego localizado se verá incrementada.

Las políticas implicadas bajo esta hipótesis incorporarían la intensificación de los servicios de extensión que promuevan el beneficio del riego por goteo, la existencia de parcelas piloto donde el agricultor pueda comprobar el funcionamiento y manejo de éste, el incremento de los niveles de educación y formación agraria y promover que el agricultor conozca lo antes posible la cantidad de agua de la que puede disponer, y una garantía de suministro anual.

En cuanto a la hipótesis de aversión al riesgo (H4) la variable Riesgo representa que los agricultores menos aversos al riesgo tienen una propensión positiva a adoptar antes. Con base a las percepciones de los agricultores a la hora de adoptar, las preferencias por la calidad y no tanto por la cantidad de la producción demuestran implícitamente que lo que pretenden es adecuar sus cultivos a las tendencias de los mercados para reducir con ello la variabilidad de los precios de sus productos.

Las implicaciones políticas para la hipótesis de aversión al riesgo respecto a una tecnología reductora de éste combinarían las hipótesis de información y restricciones de capital, incorporando una mejora en la difusión de la información sobre la tecnología y en la reducción del riesgo de sus costes.

5. Difusión de tecnologías de riego

La difusión se define como un proceso por el cual una innovación es comunicada a través de ciertos canales y en el tiempo entre los miembros de un sistema social (Rogers, 1962). La difusión de una innovación en una población de potenciales adoptantes implica la transición en el tiempo y en un espacio determinado de una situación de incompleto conocimiento a otra donde el conocimiento es perfecto. Este desequilibrio generado por el desarrollo de una nueva tecnología será estabilizado por el proceso de adopción y difusión al ritmo en el que los potenciales adoptantes van adquiriendo conocimiento sobre ella (Schultz, 1975). Por ello, se considera que la transmisión de la información entre los miembros del sistema social se propaga de forma similar a una epidemia (Baptista, 1999).

Para describir a los individuos de un sistema social en base a su tiempo de adopción, se pueden establecer categorías de adoptantes que engloben individuos con similar grado de innovatividad, ya que se ha comprobado que las características de los adoptantes son distintas según el momento en el que llevan a cabo la adopción. Partiendo de la función de densidad de probabilidad normal de adoptantes y su correspondiente función acumulada en el tiempo con forma de S, Rogers (1958) propuso un método estándar para establecer cinco categorías de adoptantes a partir de la media y de la desviación estándar.

Las diferentes categorías de adoptantes, sucesivas cronológicamente, ayudarán al conocimiento del grado de innovatividad de los miembros del sistema social cuya distribución en el tiempo se ajusta a una distribución normal. Estas categorías son: innovadores, primeros adoptantes, primera mayoría, última mayoría, y rezagados (Rogers, 2003).

En el ámbito de las tecnologías de riego, la difusión de las tecnologías de distribución y control del agua en las comunidades de regantes ha sido analizada para la Región de Murcia por Alcón y Arcas (2007) a través de un modelo logístico. Observaron que un 80% de los agricultores de la muestra habían adoptado y, apreciaron un considerable incremento de la categoría de innovadores, primeros adoptantes y rezagados, en detrimento de la primera y última mayoría, con respecto a las estimaciones realizadas en los modelos de Rogers. Además, concluyen que el momento de máxima difusión coincide con el año en que se establece un nuevo sistema de ayudas para la mejora, modernización y consolidación de los regadíos dentro del ámbito de actuación del Plan Nacional de Regadíos.

Por otro lado, Alcón *et al.*, (2006) estudian la difusión de la tecnología de riego localizado entre los agricultores de la comunidad de regantes del Campo de Cartagena. Tras estimar modelos de influencia interna, externa y mixta para analizar las características del proceso, sus factores determinantes, la situación tecnológica actual y su posible evolución demostraron que el modelo logístico de influencia interna propuesto por Mansfield (1961) se ajustaba al proceso de difusión inter-agricultores, intra-agricultores y del conocimiento.

El modelo representa la tasa de difusión, $dN(t)/dt$, en función del total de potenciales adoptantes, M , la adopción acumulada en el tiempo, $N(t)$, y la tasa de difusión, b , acorde con la siguiente ecuación general:

$$\frac{dN(t)}{dt} = bN(t)[M - N(t)] \quad [2]$$

De los resultados obtenidos, ver Cuadro 3 y Gráfico 1, se aprecia una fase de crecimiento inicial que supera el 10% a partir de 1980, incrementando con el tiempo hasta el año 1987, a partir del cual la innovación sigue introduciéndose en el mercado de una forma más pausada hasta el año 1997 en el que se alcanza el 90% de su difusión total.

Las categorías de adoptantes establecidas en base al tiempo de adopción de cada agricultor engloban individuos con similar grado de innovatividad. Los innovadores y los primeros adoptantes son los que realmente lanzan el proceso de difusión, estando formados por el 11% y el 19% de los agricultores de la comunidad de regantes respectivamente.

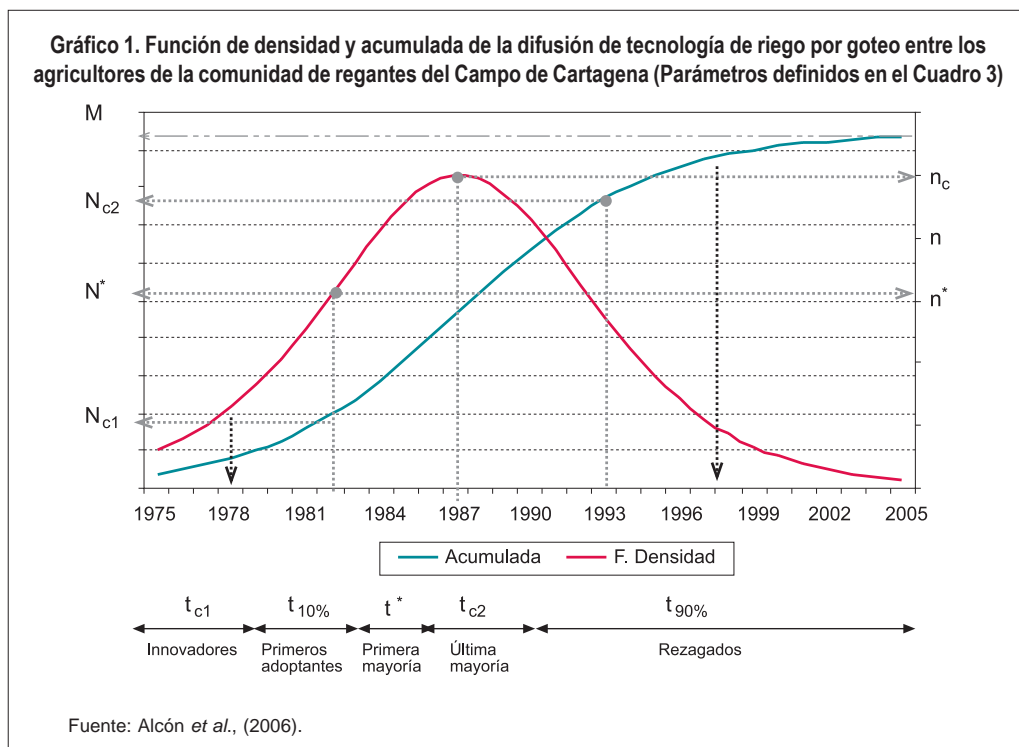
Finalmente, estos autores concluyen que el proceso de difusión ha estado influido por interacciones entre agricultores y por el aprendizaje que éstos van adquiriendo de la tecnología con la experiencia de su uso, reduciendo la incertidumbre inherente a ella y motivando a otros agricultores que todavía no han adoptado.

Cuadro 3. Características de las funciones de distribución de densidad y acumulada en el tiempo de la difusión de tecnología de riego por goteo entre agricultores

Características	Valor	Año
Tiempo al punto de inflexión de la distribución acumulada de adoptantes	t^*	12,19 1987
Número acumulado de adoptantes en el punto de inflexión de la distribución acumulada	N^*	47,12
Número de adoptantes en el punto de inflexión de la distribución de densidad	n^*	24,50
Tiempo en los puntos de inflexión de la función densidad	t_{c1}	7,12 1982
	t_{c2}	17,25 1992
Número acumulado de adoptantes en los puntos de inflexión de la función densidad	N_{c1}	19,91
	N_{c2}	74,33
Número de adoptantes en los puntos de inflexión la función densidad	n_c	4,08
Valor de la pendiente de la función densidad en sus puntos de inflexión	$(dn/dt)_c$	$\pm 0,61$
Tiempo medio de la distribución de la función densidad	\bar{t}	12,19 1987
Varianza de la distribución de la función densidad	σ^2	48,66
Desviación estándar de la distribución de la función densidad	σ	3,55
Tiempo (años) de penetración de la adopción	$t_{10-90\%}$	18 1979 1997

Fuente: Alcón *et al.*, (2006).

Gráfico 1. Función de densidad y acumulada de la difusión de tecnología de riego por goteo entre los agricultores de la comunidad de regantes del Campo de Cartagena (Parámetros definidos en el Cuadro 3)



6. Conclusiones

Puesto que la agricultura es la actividad económica que demanda mayores cantidades de agua y que en muchas de las principales áreas de cultivo este recurso es muy escaso, el gran reto que se presenta en la actualidad es conseguir que se generalice la adopción de las tecnologías ahorradoras de agua. De esta forma se contribuirá, además de hacer frente a las nuevas demandas, a mejorar la calidad del medio natural, reduciendo los impactos que el incremento de la demanda de recursos naturales produce en los ecosistemas.

En la literatura son muy numerosos los trabajos sobre adopción y difusión de innovaciones. Mientras que los de difusión se centran en el proceso tecnológico, los de adopción suelen explorar las diferencias entre adoptantes y no adoptantes, y los factores, o antecedentes, que la condicionan. En este sentido, la adopción de tecnologías de riego depende de la escasez de recursos hídricos y de su precio, de las capacidades económicas de los potenciales adoptantes, de su potencial humano y del grado de aversión al riesgo que presentan.

Puesto que la decisión final de adoptar es incierta, el agricultor deberá reducir la incertidumbre previa a la adopción recogiendo, integrando y evaluando la información disponible. Una vez realizada la adopción se reducirá su incertidumbre, en cuanto al conocimiento y manejo de la innovación, favoreciendo que las decisiones adoptadas permitan alcanzar los objetivos. Por lo tanto, la probabilidad de que las decisiones sean correctas aumenta en el tiempo con el incremento del conocimiento, aunque por otra parte, el proceso de adopción nunca será completo porque nunca se eliminará toda la incertidumbre.

Las aportaciones de los trabajos de adopción de tecnologías de riego contribuyen al establecimiento de los instrumentos políticos necesarios que permitan adecuar el patrón actual de adopción y difusión de tecnologías de riego. En este sentido, uno de los objetivos del Plan Nacional de Regadíos (MAPA, 2001) es modernizar las infraestructuras de distribución y aplicación del agua de riego para racionalizar el uso de los recursos, reducir la contaminación de origen agrario de las aguas superficiales y subterráneas y promover innovaciones en los sistemas de riego para reducir los consumos de agua. Para conseguir este objetivo, entre las principales acciones de la Administración para promover la adopción de tecnologías de riego cabe destacar el aumento de la información y de las subvenciones directas a la adopción. Asimismo, se han promovido políticas tarifarias y de concesiones en línea, también, con lo apuntado en diferentes estudios en España (Varela-Ortega *et al.*, 1998; Berbel y Gómez-Limón, 2000; Fernández-Zamudio *et al.*, 2007) que corroboran la importancia de los trabajos de adopción de tecnologías de riego para dar soporte a los instrumentos políticos que la favorezcan.

Referencias bibliográficas

- Abadi Ghadim, A.K. y Pannell, D.J. (1999). "A conceptual framework of adoption of an agricultural innovation." *Agricultural Economics*. 21:145-154.
- Alcón, F. (2007). Adopción y difusión de las tecnologías de riego: aplicación en la agricultura de la Región de Murcia. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena, Murcia.
- Alcón, F. y Arcas, N. (2007). "Innovaciones en la economía social: comunidades de regantes de Murcia." *Revista de Economía Social. La Sociedad Cooperativa* 44, 24-29.
- Alcón, F., De Miguel, M.D. y Fernández-Zamudio, M.A.. (2006). "Modelización de la difusión de la tecnología de riego localizado en el Campo de Cartagena." *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*. 210:227-245.
- Alcón, F., De Miguel, M.D. y Burton, M. (2008). "Adopción de tecnologías de distribución y control del agua en las Comunidades de Regantes de la Región de Murcia." *Economía Agraria y Recursos Naturales*. 8:83-102.
- Baptista, R. (1999). "The diffusion of process innovations: a selective review." *International Journal of the Economics of Business*. 6:107-129.
- Berbel, J. y Gómez-Limón, J.A. (2000). "The impact of water-pricing policy in Spain: an analysis of three irrigated areas." *Agricultural Water Management*. 42:219-238.
- Besley, T. y Case, A. (1993). "Modelling Technology Adoption in Developing Countries." *American Economic Review*. 83:396-402.
- Blanco, M. (1999). La Economía del agua: Análisis de Políticas de Modernización y Mejora de Regadíos en España. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- Carey, J.M. y Zilberman, D. (2002). "A Model of Investment under Uncertainty: Modern Irrigation Technology and Emerging Markets in Water." *American Journal of Agricultural Economics*. 84:171-183.
- Dasberg, S. y Or, D. (1999). *Drip Irrigation*. Springer, Berlin.

- Dinar, A. y Yaron, D. (1990). "Influence of Quality and Scarcity of Inputs on the Adoption of Modern Irrigation Technologies." *Western Journal of Agricultural Economics*. 12:224-233.
- Doorenbos, J. y Pruitt, W. (1977). *Las necesidades de agua de los cultivos*. FAO Riego y Drenaje, Roma.
- Dorfman, J.H. (1996). "Modeling multiple adoption decisions in a joint framework." *American Journal of Agricultural Economics*. 78:547-557.
- Escribano, M.J. (2006). Análisis de la adopción de tecnologías de riego en contexto de incertidumbre: aplicación a la horticultura del Valle de Guadalhorce. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba.
- Feder, G. y Umali, D.L. (1993). "The adoption of agricultural innovations: A review." *Technological Forecasting and Social Change*. 43:215-239.
- Fereres, E. y Goldhamer, D. (2000). "Avances recientes en la programación de los riegos." *Ingeniería del Agua*. 7:47-54.
- Fernández-Zamudio, M.A., Alcón, F. y De Miguel, M.D. (2007). "Política tarifaria del agua de riego y sus efectos sobre la sustentabilidad de la producción de la uva de mesa española." *Agrociencia*. 41:805-815.
- Foltz, J.D. (2003). "The economics of water-conserving technology adoption in Tunisia: An empirical estimation of farmer technology choice." *Economic Development and Cultural Change*. 51:359-373.
- Goldhamer, D., Fereres, E., Mata, M., Girona, J. y Cohen, M. (1999). "Sensitivity of continuous and discrete plant and soil water status monitoring in peach trees subjected to deficit irrigation." *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 124:437-444.
- Green, G. y Sunding, D. (1997). "Land Allocation, Soil Quality, and the Demand for Irrigation Technology." *Journal of Agricultural and Resource Economics*. 22:367-375.

- Green, G., Sunding, D., Zilberman, D. y Doug, P. (1996). "Explaining irrigation technology choices: A microparameter approach." *American Journal of Agricultural Economics*. 78:1064-1072.
- Hayami, Y. y Ruttan, V.W. (1985). *Agricultural Development: An International Perspective*. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Jensen, R. (1982). "Adoption and diffusion of an innovation of uncertain profitability." *Journal of Economic Theory*. 27:182-193.
- Karshenas, M. y Stoneman, P. (1995). "Technological Diffusion." En Stoneman, P. (Ed.) *Handbook of the economics of innovation and technological change*. Blackwell Handbook in Economics, Oxford: 265-296.
- Keller, J. y Bliesner, R.D. (1990). *Sprinkler and Trickle Irrigation*. Chapman y Hall, Nueva York.
- Lancaster, T. (1990). *The Econometric Analysis of Transition Data*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Lindner, R. (1987). "Adoption and diffusion of technology: an Overview." En Champ, B.R., Highly, E. y Remenyi, J.V. (Eds.): *Technological Change in porharvest Handling and Transportation of Grain in the Humid Tropic*. Australian Centre for International Agricultural Research. Bangkok, Thailand: 144-151.
- Mansfield, E. (1961). "Technical change and the rate of imitation." *Econometrica*. 29:741-766.
- Marra, M., Pannell, D.J. y Abadi Ghadim, A.K. (2003). "The economics of risk, uncertainty and learning in the adoption of new agricultural technologies: where are we on the learning curve?" *Agricultural Systems*. 75:215-234.
- MAPA (2001). *Plan Nacional de Regadíos, Horizonte, 2008*. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, Dirección General de Desarrollo Rural, Madrid.
- MIMAM (2007). *El Agua en la Economía Española: Situación y Perspectivas*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

- MMAMRM (2008). *Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Informe sobre Regadíos en España*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid.
- Nortes, P., Pérez-Pastor, A., Egea, G., Conejero, W. y Domingo, R. (2005). "Comparison of changes in stem diameter and water potential in young almond trees." *Agricultural Water Management*. 77:296-307.
- Pannell, D.J., Marshall, G.R., Barr, N., Curtis, A., Vanclay, F. y Wilkinson, R. (2006). "Understanding and promoting adoption of conservation practices by rural landholders." *Australian Journal of Experimental Economics*. 46:1407-1424.
- Rogers, E.M. (1958). "Categorizing the Adopters of Agricultural Practices." *Rural Sociology*. 23:346-354.
- Rogers, E.M. (1962). *Diffusion of Innovations*. Free Press, New York.
- Rogers, E.M. (2003). *Diffusion of Innovations*. Free Press, New York.
- Saha, A., Love, A. y Schwart, R. (1994). "Adoption of Emerging Technologies under Output Uncertainty." *American Journal of Agricultural Economics*. 76:836-846.
- Schultz, T.W. (1975). "The value of the ability to deal with disequilibrium." *Journal of Economic Literature*. 13:827-846.
- Sidibé, A. (2005). "Farm-level adoption of soil and water conservation techniques in northern Burkina Faso." *Agricultural Water Management*. 71:211-224.
- Skaggs, R.K. (2001). "Predicting drip irrigation use and adoption in a desert region." *Agricultural Water Management*. 51:125-142.
- Sumpsi, J.M., Garrido, A., Blanco, M., Varela, C. e Iglesias, E. (1998). *Economía y Política de Gestión del Agua en la Agricultura*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Ed. Mundi Prensa, España.
- Varela-Ortega, C., Sumpsi, J.M., Garrido, A., Blanco, M. e Iglesias, E. (1998). "Water pricing policies, public decision making and farmers' response: implications for water policy." *Agricultural Economics*. 19:193-202.