

Transferencia, Innovación y Agricultura: El caso de la difusión del cultivo del almendro en el sur de España

Francisco Cárdenas-Polonio^{1,*}, Javier Martínez-Dalmau^{1,2} y Julio Berbel-Vecino^{1,2}

¹ Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes (ETSIAM), Departamento de Economía y Sociología Agraria. Universidad de Córdoba, 14071 Córdoba, España

² Water, Environmental and Agricultural Resources Economics Research Group (WEARE), Universidad de Córdoba, 14014 Córdoba, España

Resumen

Las plantaciones de almendro se han convertido en una de las opciones más interesantes para los inversores del sector primario. La importancia de realizar una proyección en un horizonte temporal determinado, de la evolución de la superficie cultivada estriba en razones de índole micro y macroeconómica.

El objetivo de este trabajo es analizar el proceso de difusión del cultivo con la finalidad de realizar pronósticos sobre la evolución de la superficie cultivada, que puedan ayudar en el proceso de toma de decisiones de los agricultores. Para alcanzar este objetivo, se desarrollan cuatro modelos. Los dos primeros están basados en la metodología propuesta por Giovanis y Skiadas (1999) y de Bass (2004). Los modelos tres y cuatro persiguen la construcción de un patrón de influencia de los factores exógenos del cultivo (precio). Se propone la formulación desarrollada por Jarvis (1981).

Los resultados respecto al primer grupo indican que el proceso de difusión del cultivo se ajusta a una curva logística de forma sigmoideal, con una fase inicial de pequeña tasa de crecimiento, una fase intermedia de rápido crecimiento y una fase final o de saturación, con un crecimiento prácticamente inexistente. Los resultados respecto a los modelos tres y cuatro, demuestran que la curva es, como en el primer caso, sigmoideal y que los niveles del precio del fruto tienen una influencia decisiva en el proceso de difusión. A mayor precio del fruto aumenta el nivel de saturación del sistema y también se prolonga la duración del proceso de difusión.

Palabras clave: Innovación, modelo de difusión, curva logística, ventaja competitiva, cultivos permanentes.

Transfer, Innovation and Agriculture: The case of the diffusion of almond cultivation in southern Spain

Abstract

The almond tree has become one of the most interesting options for investors in the primary sector. The importance of making a projection in a certain time horizon of the evolution of the cultivated area is based on micro- and macroeconomic reasons.

* Autor para correspondencia: z12capof@uco.es

Cita del artículo: Cárdenas-Polonio F, Martínez-Dalmau J, Berbel-Vecino J (2022). Transferencia, Innovación y Agricultura: El caso de la difusión del cultivo del almendro en el sur de España. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 118(3): 476-492. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.037>

The objective of this work is to analyse the process of diffusion of the crop in order to make forecasts about the evolution of the cultivated area, which can help in the decision-making process of farmers. To achieve this goal, four models are developed. The first two are based on the models proposed by Giovanis and Skiadas (1999) and Bass (2004). Models three and four pursue the construction of a pattern of influence of the exogenous factors of the crop (price). The formulation developed by Jarvis (1981) is proposed.

The results regarding the first group of models indicate that the diffusion process conforms to a sigmoidal logistic curve, with an initial phase of small growth rate, an intermediate phase of rapid growth and a final phase or saturation, with a virtually non-existent growth. The results regarding models three and four show that the curve is, as in the first case, sigmoidal and that the price levels of the fruit have a decisive influence on the diffusion process. The higher the price of the fruit, the level of saturation of the system increases and the duration of the diffusion process is also prolonged.

Keywords: Innovation, diffusion model, logistic curve, competitive advantage, permanent crops.

Introducción

El proceso de toma de decisiones de los agricultores se realiza en un entorno de incertidumbre. En la búsqueda de una rentabilidad que garantice la permanencia de las explotaciones agrarias, los agricultores pueden optar por cultivos cuyo mercado esté saturado, máxime cuando la producción se difiere unos años desde que se toma la decisión, caso del almendro.

El cultivo del almendro se posiciona con sensibles ventajas competitivas respecto al olivar y los cereales, a los que está sustituyendo gracias a sus altos rendimientos de producción (incluso en condiciones de riego deficitario o de secano), la cotización del precio de la almendra, el alto grado de mecanización alcanzado, la rapidez de la recuperación de la inversión inicial, aspectos agronómicos como su resistencia y adaptación al clima Mediterráneo andaluz, así como en la búsqueda de la diversificación del monocultivo de olivar por parte de algunos empresarios agrícolas.

El olivo (*Olea europaea* L.) representa el agro-sistema que caracteriza al campo andaluz y ocupa el 29 % de la superficie agraria de la Comunidad Autónoma (Anuario de estadísticas agrarias y pesqueras, 2020). Los nuevos sistemas de cultivo, en cuanto a mar-

cos de plantación y sistemas de riego, desarrollados para el olivar desde comienzos de la década de los años 90, se intentan trasladar al almendro a partir de 2010. El almendro (*Prunus dulcis*) es una especie típicamente mediterránea, condicionada por este tipo de clima, inviernos suaves y húmedos y veranos secos y calurosos (Muncharaz-Pou, 2017). También en esta ocasión, las consultoras especializadas y centros de investigación han encontrado un amplio abanico de variedades y patrones que hacen posible el sistema de cultivo del almendro en marcos de alta densidad. Variedades autofértiles y con distinto periodo de floración como 'Avijor', 'Laurane', 'Soleta'®, 'Marta'®, 'Antoñeta'® y 'Penta'® y patrones como Rootpac, GF-677 y GxN permiten establecer marcos de hasta 3,5 x 1,5 m donde las técnicas y maquinaria desarrolladas para el caso del olivar, pueden adaptarse fácilmente, consiguiendo mecanizar la explotación, adelantar el inicio de producción y, por tanto, favorecer un mayor y más rápido retorno de la inversión inicial. De esta manera, lo que hasta ahora se consideraba un cultivo marginal destinado a tierras de secano y baja calidad, se ha transformado en una nueva alternativa rentable que está desplazando a cultivos como el olivo en marco tradicional o los cereales.

Son varias las causas que han motivado al agricultor a modificar o diversificar el cultivo de su explotación en la última década. La reforma de la Política Agraria Comunitaria de 2013, que sustituyó los “pagos únicos” históricos por otros basados en variables vinculadas a la actividad y sostenibilidad, e incluidas en el primer pilar (Instrumentos de la PAC y sus reformas, 2020), tales como el pago base, pago verde, pagos acoplados, pagos a jóvenes agricultores, pago a zonas con limitaciones específicas, régimen especial para pequeños agricultores y sistema de modulación, así como otras vinculadas al segundo pilar del desarrollo rural.

Junto a esta reforma de la PAC, la evolución de los precios de mercado del aceite de oliva cotizando a la baja y haciendo inviable explotaciones tradicionales, muchas de ellas centenarias, con altísimos costes de mano de obra (sobre todo en la recolección) son, sin duda, las dos causas más significativas que han empujado a los agricultores a modernizar sus explotaciones, abandonando cultivos/sistemas obsoletos que sólo se mantenían gracias a la ayuda comunitaria o a unos precios de mercado que no se esperan volver a alcanzar en un horizonte temporal razonable.

Existen tres zonas en Andalucía donde la difusión del cultivo del almendro en regadío se ha hecho especialmente significativa: Sevilla, Córdoba y en menor medida Granada. En la tabla 1 se muestra la evolución del porcentaje de superficie de almendro regadío en estas provincias.

Tabla 1. Evolución del porcentaje de superficie de almendro bajo riego.
Table 1. Evolution of the percentage of irrigated almond tree area.

Año	Sevilla	Córdoba	Granada
2010	44%	9,27%	2,9%
2018	77%	69%	7,4%

Fuente: Elaboración propia a partir del Anuario de Estadísticas Agrarias y Pesqueras (2020).

Niveles de rentabilidad del cultivo del Almendro versus Olivar y cereales

En la Tabla 2 se detallan los márgenes netos percibidos por el agricultor de almendro en secano (Baile-Bravo, 2020), los márgenes netos percibidos, en Andalucía, por los agricultores de los principales cereales (ECREA-MAPA, 2016) y los márgenes netos de aceituna de almazara en secano y en regadío (ECREA-MAPA, 2016). Por otro lado, la máxima productividad del olivar (EUR/ha) se produce para valores en las aportaciones de agua de riego de unos 2.500-2.700 mm, lo que resulta en unos beneficios de 2.100-2.300 EUR/ha en olivar (Expósito y Berbel, 2016). En el caso del almendro, la máxima productividad se produce para valores en las aportaciones de agua de riego de unos 900-1.000 mm, y se obtienen beneficios de 13.000-13.500 EUR/ha (Expósito y Berbel, 2020).

Por otra parte, en la figura 1 se detalla la evolución del precio de la almendra en pepita (FAOSTAT, 2020) frente a la evolución del precio del aceite de oliva (Observatorio de Precios y Mercados, 2020).

Estos datos evidencian las ventajas competitivas del cultivo del almendro frente los cultivos con los que compite (olivar y cereales más generalizados). Especialmente significativo es el diferencial del precio de la almendra frente al de aceite de oliva (véase figura 1).

Debido a ello, en el periodo 2010 a 2019 la superficie de regadío dedicada al cultivo del almendro en Andalucía se ha multiplicado por 5,6 (Anuario de estadísticas agrarias, 2020), mediante un proceso paulatino de transmisión y difusión tanto de los resultados esperados, como de las nuevas variedades, técnicas de manejo y “know how” desarrollados previamente.

Todo proceso innovador, requiere de otro posterior de difusión. Se entiende por innovación todo aquello que supone novedad, cambio o transformación (Marrón-Gaite, 2001). La

Tabla 2. Márgenes netos percibidos por agricultores de cereales, aceituna de almazara en secano y regadío, y almendro en secano (EUR/ha).

Table 2. Net margins received by farmers of rainfed and irrigated cereals, olives, and rainfed almonds (EUR/ha).

Cultivo	2013	2014	2015	2016	2017
Avena secano	3	52	-75	-134	
Maíz regadío	-367	-161	-627	-167	
Trigo blando secano	-121	-126	-218	-170	
Trigo duro secano	-232	13	173	18	
Aceituna almazara secano		249	627	543	799
Aceituna almazara regadío		-296	727	972	746
Almendro secano (media de los años analizados)		419			

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ECREA-MAPA (2013-2017).

Fuente de almendro en secano: Baile-Bravo (2020).

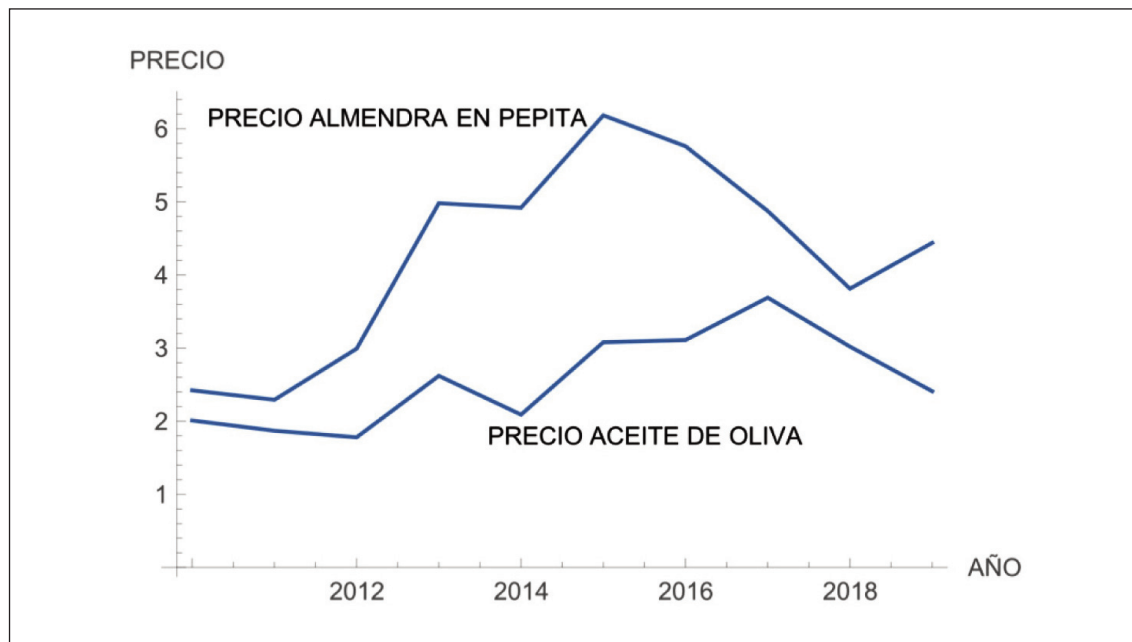


Figura 1. Evolución de los precios de la almendra en pepita* y del aceite de oliva (EUR/kg).

Fuente: FAOSTAT (2020) y Observatorio de Precios y Mercados (2020).

* El precio de la almendra en pepita se ha obtenido a partir de los datos FAOSTAT para la almendra en cáscara, considerando un rendimiento medio del 30 %.

Figure 1. Price evolution of seed almonds and olive oil (EUR/kg).

investigación de la difusión de la innovación se desarrolló como una disciplina con entidad propia a partir de la Segunda Guerra Mundial (Rogers, 1976). Numerosos estudios proponen diversos modelos de difusión para estudiar los aspectos temporales del proceso de crecimiento en el campo de la innovación (Floyd, 1968; Easingwood et al., 1981; Skiadadas, 1985; Bass, 2004). En el sector industrial, se han establecido patrones de desarrollo mediante análisis econométrico sobre la innovación tecnológica (Mansfield, 1968). En el ámbito agrícola, se ha descrito el cambio tecnológico producido por la introducción de semillas de maíz híbrido en los Estados Unidos de América (Griliches, 1957). También en el terreno agrícola hay que citar los trabajos sobre la difusión del riego localizado en el campo de Cartagena (Alcón-Provencio et al., 2006), la difusión de la agricultura ecológica (Carmona Martínez et al., 2005), la difusión de la siembra directa en Argentina (Durán et al., 2011) y los trabajos sobre la difusión de la agricultura de precisión (Corró-Molas, 2007).

Difusión es un proceso en el cual una innovación es comunicada a lo largo del tiempo, a través de ciertos canales, entre los miembros de un sistema social (Rogers, 1995). Las innovaciones, nuevos productos, nuevos procesos o nuevos métodos en la gestión se propagan dentro y a través de un sistema productivo, con lo que la influencia del cambio sobre el estado del sistema, depende del grado en el cual se difunden las innovaciones, siendo la difusión la causante principal del crecimiento económico (Stoneman, 1986). Por otro lado, la adopción de la innovación es un proceso dinámico (Alcón et al., 2019), ya que existe un período de tiempo entre que el agricultor conoce la tecnología hasta que la adopta. Por esta razón, la difusión puede ser interpretada como una adopción agregada, estando la primera ligada al espacio y al tiempo, y la segunda al comportamiento adoptante del individuo (Gómez, 1986; Sunding y Zilberman, 2001).

Una de las controversias que existe sobre la adopción/difusión y su análisis, es la inexistencia de un marco de trabajo definido (Alcón-Provencio et al., 2006). En la literatura aparecen dos tipos de trabajos referentes a la adopción de innovaciones: los que tratan de explicar a nivel individual por qué unos agricultores siguen el proceso de adopción y por qué otros no, identificando los factores que los guían a la adopción, y otros trabajos que tratan de describir el proceso de difusión temporal de la tecnología y su posible evolución (Carmona Martínez et al., 2005). El trabajo que aquí se presenta pertenece a este segundo grupo.

Los modelos de difusión son modelos matemáticos que se basan en la construcción y el análisis de funciones que representan el grado de penetración de un determinado proceso en el sistema, a lo largo del tiempo (Rogers, 1995). Estos modelos tienen tres finalidades: primero, una finalidad descriptiva y explicativa ya que dan una idea de sus características más sobresalientes; segundo: tienen una finalidad predictiva ya que, a través del análisis adecuado de los datos de las etapas iniciales del proceso, se hace posible inferir y proyectarlas en un tiempo futuro; por último, también sirven como instrumentos de control, puesto que introduciendo en el sistema cambios en determinadas variables, es posible influir en la trayectoria de la curva que describe el proceso de difusión.

Como ya se ha señalado anteriormente, a lo largo de los años se han desarrollado modelos de difusión destinados a describir procesos diversos, cada uno de ellos con sus características propias. Entre los más destacables están el proceso de Gompertz, la función logística, la difusión tipo Bertalanffy, la difusión tipo Richards y el modelo de Bass (2004). La curva logística fue introducida Verhulst en 1838 (Muñoz-Valencia, 2017). Para alcanzar el primer objetivo de este trabajo, se proponen los modelos 1 y 2 que resultan de la aplicación

de la metodología de Giovanis y Skiadas (1999) y el modelo de Bass (2004), debido a las implicaciones y la aplicabilidad que presentan en los procesos de crecimiento de todo tipo; en nuestro caso la difusión del cultivo del almendro bajo riego, en el sur de España.

Respecto al segundo objetivo, se proponen los modelos 3 y 4, que resultan de la aplicación de la metodología descrita por Jarvis (1981). Estos casos 3 y 4 son una descripción de un modelo de influencia precios-área cultivada.

La principal novedad del presente trabajo estriba en evaluar el proceso de difusión del cultivo del almendro en regadío, especie históricamente relegada a tierras marginales de secano y que actualmente está desplazando a cultivos tradicionales en aquellas explotaciones con mayor potencial agronómico de la región. Por ende, este estudio trata de contribuir a enriquecer la literatura sobre la descripción del proceso de difusión de cultivos en general.

Material y métodos

La zona de estudio del presente trabajo se circunscribe a las ocho provincias de la Comunidad Autónoma de Andalucía.

Los datos usados en el mismo se corresponden con la serie histórica de superficies de cultivo de almendro en regadío (Anuario de estadísticas agrarias y pesqueras, 2020) y los datos de precios de la almendra (FAOSTAT, 2020). En este sentido, en el período que va desde 2010 hasta 2019 la superficie cultivada de almendro en regadío en Andalucía ha pasado de 4.917 ha a 27.635 ha.

Por otra parte, el precio de la almendra durante este período se ha duplicado, alcanzando un valor de 4,44 EUR/kg de almendra en pepita (FAOSTAT, 2020).

En este trabajo se proponen cuatro modelos matemáticos que tratan de describir una for-

mulación de la difusión del cultivo del almendro en Andalucía. Estos modelos se corresponden en sus variantes, con una definición propia de la curva logística de crecimiento.

Modelo 1

Se asume que la ratio de crecimiento en la superficie cultivada es el producto de dos funciones, siendo la primera proporcional a la superficie en cuestión y la segunda es proporcional a la magnitud del crecimiento remanente (Skiadas, 1985).

$$\frac{df(t)}{dt} \approx g(f(t), p) \times [h(F) - h(f(t))] \quad [1]$$

Donde $\frac{df(t)}{dt}$ = ratio de crecimiento del proceso.

$g(f(t), p)$ = función que define la magnitud actual del crecimiento.

$f(t)$ = función que describe el crecimiento.

p = vector de parámetros.

F = superficie total cultivada que se alcanzará o nivel de saturación del sistema.

$h(F) - h(f(t))$ = crecimiento remanente del proceso.

La ecuación 1 se puede escribir en la forma:

$$\frac{df(t)}{dt} = b \frac{f(t)}{F} [F - f(t)] \quad [2]$$

Donde b se denomina coeficiente de imitación.

La ecuación 2 representa uno de los patrones característicos del crecimiento logístico que contempla que el crecimiento tiene lugar en un entorno estable, finito y definido, en el cual el crecimiento remanente es conocido una vez que conocemos el nivel de saturación del sistema F . En la ecuación 2 de crecimiento hay que introducir un factor de componente alea-

toría, factor que es proporcional a la varianza infinitesimal del proceso de difusión. De esta forma, la ecuación 2 queda como sigue:

$$\frac{df(t)}{dt} = b \frac{f(t)}{F} [(F - f(t)) + q u(t)] \quad [3]$$

Donde $u(t)$ describe un proceso unidimensional de ruido blanco y q es el parámetro que controla la magnitud del ruido aleatorio.

La ecuación 3 se puede escribir como sigue:

$$\frac{df(t)}{dt} = b \frac{f(t)}{F} [(F - f(t)) + c f(t) u(t)] \quad [4]$$

Si se utiliza la formulación de la ecuación diferencial de Itô (1944), el modelo de crecimiento estocástico es determinado por la siguiente ecuación:

$$df(t) = b \frac{f(t)}{F} [(F - f(t))] dt + q f(t) dW(t) \quad [5]$$

Donde $W(t)$ describe un proceso unidimensional de Wiener y $c = (b \times q) / F$.

La ecuación 5 es una ecuación diferencial estocástica no lineal autónoma, con ruido multiplicativo, que satisface el supuesto de que la varianza infinitesimal del proceso es proporcional al crecimiento del proceso.

La solución de esta ecuación 5 viene dada por la siguiente expresión:

$$f(t) = \frac{F}{1 + \left(\frac{F}{x_0} - 1 \right) \left(\exp(-b(t-1)) \right)} \quad [6]$$

Estimación de los parámetros b , c , F del modelo 1

De acuerdo con la formulación de Giovanis y Skiadas (1999) el estimador de los parámetros b y b/F viene determinado por la expresión siguiente:

$$\begin{pmatrix} b \\ -\frac{b}{F} \end{pmatrix} = ST^{-1} \times HT \quad [7]$$

Siendo ST una matriz de dimensiones 2×2 y HT un vector de dos elementos:

$$ST = \frac{1}{c^2} \begin{pmatrix} T-1 & \int_0^T f(t) dt \\ \int_0^T f(t) dt & \int_0^T (f(t))^2 dt \end{pmatrix}$$

$$HT = \begin{pmatrix} \int_0^T \frac{dt}{c^2 f(t)} & \frac{1}{c^2} (f(T) - f(0)) \end{pmatrix}$$

Los términos de la matriz ST , integrales definidas, se pueden aproximar utilizando los correspondientes sumatorios, mientras que la integral en HT se puede reemplazar por la integral de Riemann-Stieltjes (Bartle, 1982) usando la fórmula de Itô (1944), resultando:

$$\int_0^T \frac{dt}{c^2 f(t)} = [\ln(f(T)) - \ln(f(0))] + \frac{c^2}{2} (T-1) \quad [8]$$

Por otra parte, el coeficiente c se puede estimar utilizando una extensión del procedimiento de aproximación de Chesney y Elliot (1993). Este método es empleado para estimar el parámetro de ruido para una ecuación diferencial estocástica no lineal autónoma con ruido multiplicativo:

$$\hat{c} = \frac{1}{T-1} \sum_{i=2}^T \frac{f(t_i) - f(t_{i-1})}{\sqrt{f(t_i)f(t_{i-1})}} \quad [9]$$

Modelo 2

En este caso, una versión estocástica del modelo bien conocido de Bass (2004), se utiliza de forma resuelta para describir el modelo de

crecimiento de la superficie cultivada de almendro en Andalucía. Este procedimiento ha sido desarrollado por Skiadas y Giovanis (1997).

La forma del modelo de innovación (crecimiento) adquiere la siguiente expresión: fórmula de Bass (2004):

$$df(t) = \left\{ a \cdot (F - f(t)) + \left(\frac{b}{F} \right) \cdot (F - f(t)) \cdot f(t) \right\} \cdot dt + k \cdot \left(\frac{a}{b} + \frac{f(t)}{F} \right) \cdot dW(t) \quad [10]$$

Dónde:

$f(t)$ es la magnitud acumulativa del crecimiento.

F es el nivel de saturación del sistema

a es el coeficiente de innovación

b es el coeficiente de imitación.

$W(t)$ es un proceso de Wiener que nos ayuda a determinar la fluctuación del crecimiento de naturaleza aleatoria.

k es el parámetro del ruido.

Se puede demostrar que la esperanza matemática de $W(t) - W(s) = 0$ y que la varianza es $t - s$, con $t \geq s$.

La ecuación diferencial estocástica 10 se resuelve mediante reducción de ecuaciones diferenciales estocásticas descritas por Skiadas y Giovanis (1997) es la expresada en la siguiente forma:

$$f(t) = \frac{F}{\exp \left[- \left(a + b - \frac{k^2}{2} \right) t \right] \left(\frac{1}{\frac{a}{b} + \frac{f_0}{F}} + \frac{b}{a + b - \frac{k^2}{2}} \left(\exp \left[\left(a + b - \frac{k^2}{2} \right) t \right] - 1 \right) \right)} - \frac{F a}{b} \quad [11]$$

Los parámetros a , b , k , F se pueden estimar de forma indirecta a través de otros parámetros relacionados $a \cdot F$, $b - a$, $-\frac{b}{F}$, como describen en su formulación Skiadas y Giovanis (1997).

Estos parámetros se pueden expresar en forma matricial en la forma siguiente:

$$\begin{pmatrix} aF & b - a & -\frac{b}{F} \end{pmatrix}^T = ST^{-1} HT^T \quad [13]$$

Donde ST es una matriz de dimensiones 3×3 y HT es un vector de tres elementos:

$$ST = \begin{pmatrix} \int_0^T \frac{dt}{f(t)^2} & \int_0^T \frac{dt}{f(t)} & T \\ \int_0^T \frac{dt}{f(t)} & T & \int_0^T f(t) dt \\ T & \int_0^T f(t) dt & \int_0^T f(t)^2 dt \end{pmatrix}$$

$$HT = \begin{pmatrix} \int_0^T \frac{df(t)}{f(t)^2} & \int_0^T \frac{df(t)}{f(t)} & \int_0^T df(t) \end{pmatrix}$$

Los términos de la matriz ST se pueden aproximar utilizando los correspondientes sumatorios, mientras que los términos del vector HT se pueden sustituir con las integrales de Riemann-Stieltjes (Bartle, 1982) utilizando la fórmula de Itô (1944). De este modo se obtiene:

$$\int_0^T \frac{df(t)}{f(t)} = \ln(f(T)) - \ln(f(0)) + \frac{k^2}{2} T$$

$$\int_0^T \frac{df(t)}{f(t)^2} = \frac{1}{f(0)} - \frac{1}{f(T)} + k^2 \int_0^T \frac{dt}{f(t)}$$

Por último, el coeficiente k se puede estimar empleando el procedimiento propuesto por Chesney y Elliot (1993):

$$k = \frac{1}{T-1} \sum_{i=2}^T \frac{f(t) - f(t-1)}{\sqrt{f(t)f(t-1)}}$$

Respecto a los modelos 3 y 4, hay que señalar que estudios previos demuestran que la difusión puede estar influenciada por variables tales como los precios. Así, Griliches (1957) demostró que la ratio de difusión del uso de semillas híbridas en diferentes zonas de cultivo, estaban correlacionadas de forma positiva con los beneficios alcanzados por los agricultores que habían introducido la nueva semilla. Por otra parte, Mansfield (1968) demostró que las ratios de difusión de varias tecnologías en diferentes campos de la industria estaban correlacionadas de forma positiva por los beneficios obtenidos con la implantación de tales tecnologías. Jarvis (1981) propone una metodología que describe el proceso de difusión en función de las variables precio y tiempo.

Modelo 3

Se propone la primera formulación de Jarvis (1981) para el modelo de influencia del precio de la almendra sobre el área cultivada:

$$S [p, t]= k_1 \frac{p}{1 + \text{EXP} [-c_1 - a_1 t]}$$

siendo p el precio, t el tiempo, y k₁, c₁, a₁ los parámetros del modelo.

Modelo 4

Se propone la segunda formulación de Jarvis (1981) para el modelo de influencia precio-superficie:

$$S [p, t]= k_2 \frac{p}{\left(1 + \text{EXP} [-c_2 - a_2 (t - a_3) p t]\right)}$$

siendo k₂, c₂, a₂, a₃ los parámetros del modelo.

Para la estimación de los parámetros de estos modelos 3 y 4 se realiza un análisis de regresión multivariante, empleando los datos de

área cultivada (véase tabla 3) y de precios de la almendra (FAOSTAT, 2020) (véase figura 1).

Resultados

Si se parte del hecho de que se conoce la trayectoria de la curva de crecimiento durante las fases iniciales del proceso de difusión se pueden estimar los parámetros de los modelos 1 y 2. Es decir, se parte de los datos de superficie cultivada (Anuario de Estadística Agraria, 2020) (tabla 3).

Tabla 3. Superficie cultivada de almendro en regadío en Andalucía (ha).

Table 3. Irrigated almond cultivated area in Andalusia (ha).

Año	Área cultivada (ha)
2010	4.917
2011	5.324
2012	5.450
2013	6.222
2014	7.504
2015	8.134
2016	14.263
2017	22.737
2018	23.635
2019	27.635

Fuente: Anuario Estadísticas Agrarias, Junta de Andalucía. 2020.

Modelo 1

La ecuación que describe la curva de crecimiento es:

$$S[t]=\frac{F}{1+\left(\frac{F}{x_0}-1\right)\left(\exp\left(-b\left(t-2009\right)\right)\right)}$$

t = 2010, 2011, 2012... N, siendo S el área cultivada y t el tiempo.

Los parámetros para este modelo son: $b = 0,31$; $F = 40.000$ ha (nivel de saturación del sistema).

Modelo 2

La ecuación de la curva de crecimiento es:

$$S[t] = \frac{F}{\exp\left[-\left(a+b-\frac{k^2}{2}\right)(t-2009)\right] \left(\frac{1}{\frac{a}{b} + \frac{f_0}{F}} + \frac{b}{a+b-\frac{k^2}{2}} (\exp\left[\left(a+b-\frac{k^2}{2}\right)(t-2009)\right] - 1)\right)} - \frac{F a}{b}$$

$t = 2010, 2011, 2012 \dots N$.

Los parámetros del modelo son: $a = -0,19$; $b = 1,12$; $F = 27.000$ ha.

Modelo 3

La ecuación de la curva de crecimiento es:

$$S[p, t] = k_1 \frac{p}{1 + \exp[-c_1 - a_1(t-2009)]}$$

Los parámetros del modelo son: $k_1 = 15$; $c_1 = -4,27$; $a_1 = 0,4$. El nivel de saturación del sistema está influenciado por el precio del producto.

Modelo 4

La ecuación de la curva de crecimiento es:

$$S[p, t] = k_2 \frac{p}{1 + \exp[-c_2 - a_2(t-2009) - a_3 p(t-2009)]}$$

$t = 2010, 2011, 2012 \dots N$.

Los parámetros del modelo son: $k_2 = 6,89$; $c_2 = -3,25$; $a_2 = 1,15$; $a_3 = -0,14$. También en este caso el nivel de saturación del sistema depende del precio de la almendra.

Bondad de los ajustes

Para proceder a la validación de los modelos matemáticos propuestos para describir la difusión del cultivo del almendro en Andalucía,

se consideran una serie de índices de ajuste. Se van a tener en cuenta el coeficiente de correlación R^2 , ocho índices de error y el índice FIT o de mejor ajuste (Camarillo-Peñaranda et al., 2013). Su formulación es la siguiente:

Error Medio Absoluto: $MAE = (1/n) \cdot \sum_{i=1}^n \text{Abs}(y_i - \hat{y}_i)$

Donde y_i es el valor medido (observado), $\hat{y}_i$ es el valor estimado con el modelo y n es el número de datos.

Error Medio: $ME = (1/n) \cdot \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)$

Error Medio Cuadrático: $MSE = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$

Raíz del Error Medio Cuadrático:

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n}\right) \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

Error Medio Absoluto Porcentual:

$$MAPE [\%] = (100/n) \cdot \sum_{i=1}^n \text{Abs}((y_i - \hat{y}_i) / y_i)$$

Suma Normalizada de Errores Cuadráticos Modificada:

$$MNSSE [\%] = 100 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / \sum_{i=1}^n y_i^2}$$

Error Medio Relativo: $MRE = (1/n) \cdot \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i) / y_i$

Suma Normalizada de Errores Cuadráticos:

$$NSSE = 100 \cdot \left(\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$$

Mejor ajuste

$$FIT [\%] = 100 \cdot \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n \text{Abs}(y_i - \hat{y}_i)}{\sum_{i=1}^n \text{Abs}(y_i - \bar{y})} \right)$$

Donde $\bar{y}$ es el valor promedio de los datos medidos. Su resultado es un porcentaje que llega hasta el 100 % cuando el ajuste es perfecto.

Respecto a la interpretación del índice MAPE hay que tener en cuenta las consideraciones de Nafidi et al., (2019).

Los índices de error estadístico para los modelos 1, 2, 3 y 4 se detallan en la tabla 4.

Discusión

Se han presentado 4 modelos diferentes que describen la difusión del cultivo. Los 2 primeros modelos responden a una formulación de la superficie cultivada en función de la variable tiempo: $S[t]$. El modelo 1 responde a la metodología de Giovanis y Skiadas (1999). El modelo 2 está basado en la ecuación de Bass (2004). Los modelos 3 y 4 responden a una ecuación (patrón de influencia precios-área cultivada) en la que la superficie cultivada se hace depender de las variables precio de la almendra y tiempo: $S[p, t]$ y ha sido desarrollada por Jarvis (1981).

Tabla 4. Índices de error estadístico para los modelos 1, 2, 3 y 4.
Table 4. Models 1, 2, 3 and 4 statistical error rates.

Índice	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
R ²	0,86	0,72	0,87	0,96
MAE	3,1	5	3	1,2
ME	3	5	-1,1	-0,4
MSE	16	46	11	2,9
RMSE	4	6,7	3,25	1,7
MAPE	39	60	36,5	18,6
MNSSE	12	21	8	4
MRE	0,4	0,6	-0,2	-0,08
NSSE	9	27	4,6	1,2
FIT	49	14,6	61	84

Fuente: Elaboración propia.

MAE: Error Medio Absoluto; ME: Error Medio, MSE : Error Medio Cuadrático; RMSE = Raíz del Error Medio Cuadrático; MAPE: Error Medio Absoluto Porcentual; MNSSE: Suma Normalizada de Errores Cuadráticos Modificada; MRE: Error Medio Relativo; NSSE: Suma Normalizada de Errores Cuadráticos; FIT: mejor ajuste.

Si se realiza una comparativa de los índices de error estadístico para los modelos 1 y 2 (véase tabla 4) se observa que el modelo 1 se comporta mejor estadísticamente que el modelo 2.

En la figura 2 se detalla la curva de crecimiento para los modelos 1 y 2. Según el modelo 1, el proceso de difusión se va a extender hasta el año 2035 y el nivel de saturación del sistema, que designa el techo de la difu-

sión donde la ratio de crecimiento es inapreciable, alcanza un valor de 40.000 ha.

Por otra parte, si se comparan los modelos 3 y 4, en lo que se refiere a los índices de error estadístico (véase tabla 4), se puede constatar que el modelo 4 se comporta mejor que el modelo 3. En la tabla 5 se detallan los estadísticos y significación de los parámetros del modelo 4 (p significativo). El modelo 4 presenta unos valores del coeficiente de correlación $R^2 = 0,96$; índice MAPE = 18,6 y FIT = 84 %, lo que significa un ajuste excelente.

Tabla 5. Estadísticos y nivel de significación para los parámetros del modelo 4.

Table 5. Statistics and significance level for model 4 parameters.

Parámetro	Valor estimado	Error estándar	P-valor
k_2	6,89	0,87	0,0002
c_2	-3,25	0,54	0,0009
a_2	1,15	0,32	0,01
a_3	-0,14	0,046	0,02

Fuente: Elaboración propia.

La figura 3 muestra la curva de crecimiento de la difusión descrita con el modelo 4, para diferentes valores de la variable precio de la almendra en pepita: 4 EUR/kg, 6 EUR/kg y 7,5 EUR/kg.

Para estos valores de la variable precio los valores del nivel de saturación del sistema son 27.000 ha, 41.000 ha y 52.000 ha, respectivamente. Se observa que a medida que aumentan los niveles del precio de la almendra también se incrementa el nivel de saturación del sistema, lo cual parece obvio, dado que el precio es un incentivo para la adopción del cultivo por parte de los agricultores, es decir, a mayores precios, la implantación del cultivo será mayor. Por otra parte, a medida que

se incrementan los precios, mayor es la extensión de la duración del proceso de difusión. De este modo para un precio de 4 EUR/kg la difusión ya se agotará en el año 2026. A un precio de 6 EUR/kg, se estima que la difusión del cultivo se extenderá hasta el año 2035. Por último, para un precio de la almendra en pepita de 7,5 EUR/kg, la difusión se prolongará hasta el año 2070 aproximadamente. Parece obvio que en un entorno favorable y de estabilidad de precios y mercados, la duración de la difusión del cultivo será mayor ya que estas condiciones de estabilidad también actúan como incentivo para que los agricultores adopten la innovación del cultivo del almendro.

Por otra parte, para un precio de la almendra de 6 EUR/kg, los modelos 1 y 4 son equivalentes por la similitud que presentan en lo que se refiere al nivel de saturación del sistema ($F = 40.000$ -41.000 ha) y a la extensión de la difusión en el tiempo (año 2035). Sin embargo, al comparar ambos modelos se llega a la conclusión de que el grado de información analítica aportada por el modelo patrón de influencia precios-superficie (modelo 4), basado en la formulación de Jarvis (1981) es mayor que la del modelo 1, basado en la ecuación de Giovanis y Skiadas (1999), que estima la evolución de la variable superficie cultivada en función solamente de la variable tiempo.

Hay que señalar que los resultados del presente trabajo encuentran similitudes con trabajos anteriores. En concreto con los estudios de Alcón-Provencio (2006) sobre la difusión del riego localizado en el Campo de Cartagena, con el estudio de Carmona Martínez et al., (2005) sobre la difusión de la agricultura ecológica en España y con el estudio de Durán et al., (2011) sobre la difusión de la siembra directa en Argentina. En todos los casos se desarrollan modelos de difusión que describen el proceso de adopción de una innovación en el ámbito del mundo agrícola. En todos ellos se encuentra semejanza en la

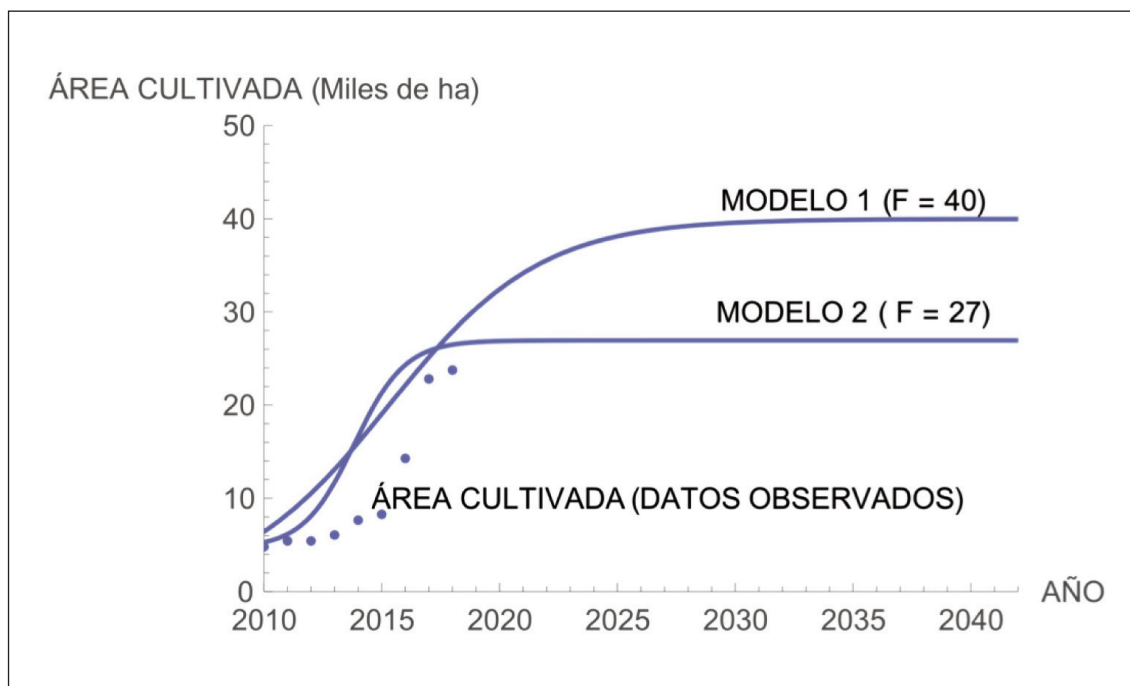


Figura 2. Representación gráfica de la curva de crecimiento Modelos 1 y 2.

Fuente: Elaboración propia.

F: nivel de saturación del sistema (miles de ha).

Figure 2. Graphical representation of models 1 and 2 growth curve.

forma sigmoideal de la curva de crecimiento (véanse figuras 2 y 3), con una fase inicial que presenta una tasa de crecimiento relativamente baja, una fase intermedia de rápido crecimiento y una fase final cercana al nivel de saturación del sistema, con una tasa de crecimiento prácticamente inexistente.

El trabajo de Alcón-Provencio trata de describir analíticamente el grado de penetración de una tecnología, en este caso el riego localizado, en el mercado potencial a lo largo del tiempo hasta alcanzar el nivel máximo de adopción en lo que se refiere a tres variables: porcentaje de agricultores adoptantes, porcentaje global de superficie en la que se ha implantado la tecnología del riego localizado y porcentaje de agricultores que han

tenido conocimiento de la tecnología. En este sentido, presenta una similitud evidente con el presente trabajo ya que se maneja la variable superficie o área en la que se ha implantado la tecnología mientras que en el presente trabajo se habla de la evolución del área de cultivo. Por otra parte, Alcón-Provencio estudia la aplicación de cuatro modelos distintos de crecimiento: logístico, Gompertz, exponencial y de Bass. En esto, también presenta similitudes con el presente trabajo, aunque en el presente trabajo no se abordan los casos de Gompertz ni el caso exponencial, por no presentar un valor de p significativo, después de un análisis preliminar.

El trabajo de Carmona Martínez *et al.*, (2005) trata de describir la introducción de la agri-

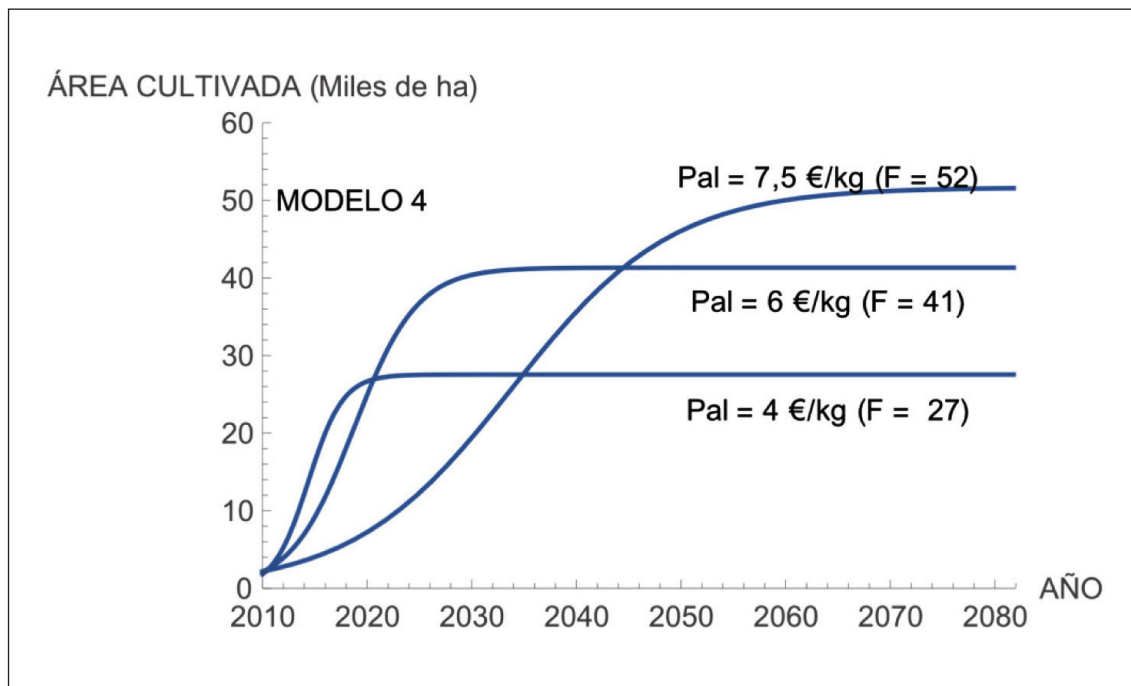


Figura 3. Representación gráfica de la curva de crecimiento para el modelo 4.

Fuente: Elaboración propia.

Pal: Precio de la almendra en pepita (EUR/kg). F: nivel de saturación del sistema (miles de ha).

Figure 3. Graphical representation of model 4 growth curve.

cultura ecológica en España como alternativa al sistema de producción agrícola tradicional. De esta forma se estudia la evolución del número de adoptantes de los métodos de la agricultura ecológica. Analiza los modelos de difusión logístico, exponencial y de Bass. En este caso se presentan similitudes con el presente trabajo. Para las estimaciones de los parámetros utiliza el algoritmo de Mínimos Cuadrados No Lineales. En este aspecto, se observa una diferencia importante con el presente trabajo, en el cual la estimación de los parámetros se realiza siguiendo la metodología descrita por Giovanis y Skiadas (1999) y de Bass (2004).

El trabajo de Durán et al., (2011) trata de describir la difusión de la tecnología de la siem-

bra directa en Argentina. El método de investigación utilizado se basa en un estudio exploratorio de tipo cualitativo que emplea datos cuantitativos. Las fuentes de información primarias se generaron a partir de entrevistas con preguntas semi estructuradas a productores. Se llegó a la conclusión de que la adopción de la siembra directa sigue el formato de la curva sigmoideal (S). Esta conclusión es semejante a la del presente trabajo.

Como diferencia fundamental entre los tres trabajos mencionados y el presente se encuentra el hecho de que ninguno de ellos tres aborda el estudio de un patrón de influencia precios-área cultivada como sí que se realiza en el presente trabajo siguiendo la metodología de Jarvis (1981).

Conclusiones

La importancia de poder realizar un pronóstico o una proyección en un horizonte temporal determinado de la evolución de la superficie cultivada de almendro en regadío en Andalucía, estriba en razones de índole micro y macroeconómica, puesto que atendiendo a las ventajas competitivas que presenta respecto a otros cultivos, permitiría la mejora de los índices que definen el crecimiento económico del sector agrícola en Andalucía, con la consiguiente repercusión económica para los agricultores del sector.

Por otra parte, hay que mencionar que en la actualidad no existe Organización Común de Mercados (O.C.M.) de la almendra. Aunque sí que en el seno de la Unión Europea se han llevado a cabo políticas de incentivación del cultivo de los frutos secos, entre otras razones por los efectos beneficiosos que su consumo presenta para la salud. Estos incentivos están asociados a la superficie cultivada. Si esta política de incentivos es continuada en el tiempo es previsible que se produzca un segundo ciclo de crecimiento, expansión y difusión del cultivo del almendro en regadío en Andalucía.

Por otra parte, la adopción de la innovación por parte de los agricultores, es decir, la decisión de llevar a cabo la plantación de almendro, lleva implícita la necesidad de hacer frente, por los agricultores, a los costes de implantación del cultivo, que será menor si se trata de una transformación de secano a regadío en lugar de una plantación nueva. También hay que señalar que los costes de explotación son mayores para los sistemas de cultivo súper intensivos que para un sistema intensivo, puesto que en el primer caso los costes aumentan al ser mayores las labores de cultivo necesarias, como la poda para llevar a cabo el control del vigor (infoagro, 2017).

La principal novedad del presente trabajo estriba en que se evalúa la difusión del cultivo del almendro en regadío, especie que histó-

ricamente ha sido relegada a tierras marginales y de secano y que en la actualidad está desplazando a cultivos tradicionales en aquellas explotaciones con mayor potencial agroeconómico de la región.

Este trabajo trata de contribuir a llenar el vacío existente en la literatura de trabajos que versen sobre la aplicación de modelos de difusión explicativos de la adopción de un determinado cultivo por parte de los agricultores.

Por último, aunque el estudio se centra en el cultivo del almendro en regadío, parece interesante extender estas consideraciones al estudio de la difusión del cultivo del almendro en secano, debido a la gran implantación del cultivo en secano en Andalucía, por ser un cultivo que se adapta bien a las condiciones impuestas por veranos secos y calurosos, y por tanto, pobres en las aportaciones del agua de lluvia, condiciones que definen y caracterizan la meteorología de esta zona sur de la Península Ibérica: Andalucía.

Referencias bibliográficas

- Alcón-provencio FJ, Miguel-Gómez MD, Fernández-Zamudio MA (2006). Modelización de la difusión de la tecnología de riego localizado en el Campo de Cartagena. *Revista Española de estudios Agrosociales y Pesqueros* 210: 227-246.
- Alcón F, Navarro N, de-Miguel MD, Balbo AL (2019). Drip irrigation technology: analysis of adoption and diffusion processes. En: *Sustainable Solutions for Food Security* (Eds. Sarkar A, Sensarma S, vanLoon G), pp: 269-285. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77878-5_14.
- Anuario de estadísticas agrarias y pesqueras (2020). Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía.
- Baile-Bravo D (2020). Estudio de la productividad económica de las nuevas plantaciones intensivas de almendro. Trabajo fin de máster. Máster en Economía Agraria, Alimentaria y de los Recursos Naturales. Escuela Técnica Superior de

- Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas. Universidad Politécnica de Madrid
- Bartle RG (1982). *The Elements of Real Analysis*. Ed. Limusa S.A.
- Bass FM (2004). Comments on "A new product growth for model consumer durables, the Bass Model". *Management science* 50(12): 1833-1840. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1040.0300>.
- Camarillo-Peñaranda JR, Saavedra-Montes AJ, Ramos-Paja CA (2013). Recomendaciones para seleccionar índices para la validación de modelos. *Tecnológicas Edición Especial de 2013*: 109-122. <https://doi.org/10.22430/22565337.372>.
- Carmona Martínez MM, Gómez García J, Faura Martínez U (2005). La difusión de la agricultura ecológica en España: una propuesta de modelización matemática. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros* 205: 39-63.
- Corró-Molas A (2007). *Difusión de la agricultura de precisión en la región semiárida Pampeana Central*. Tesis. Universidad Nacional de General Sarmiento.
- Chesney M, Elliot RJ (1993). Estimating the Volatility of an Exchange Rate. *Proceeding of The Sixth International Symposium on Applied Stochastic Models and Data Analysis*. World Scientific, 3-6 mayo, Chania, Crete, Greece. pp. 131-135.
- Durán R, Scoponi L, Pesce G, De-Batista M (2011). Difusión de la innovación tecnológica: el caso de la siembra directa en Argentina y su comparación con Brasil. *Revista Capital Científico* 9(1): 11-25.
- Easingwood C, Mahajan V, Muller E (1981). A nonsymmetric responding logistic model for forecasting technological substitution. *Technological forecasting and Social change* 20: 199-213. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(81\)90021-4](https://doi.org/10.1016/0040-1625(81)90021-4).
- ECREA-MAPA (2016). Estudio de costes y rentas de las explotaciones agrarias. Disponible en https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/analisis-y-prospectiva/ECREA_Informes-Agricolas.aspx (Consultado: 11 noviembre 2021).
- Expósito A, Berbel J (2016). Microeconomics of deficit irrigation and subjective water response function for intensive olive groves. *Water* 8: 254. <https://doi.org/10.3390/w8060254>.
- Expósito A, Berbel J (2020). The Economics of irrigation in almond orchards. Application to Southern Spain. *Agronomy* 10: 796. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060796>.
- FAOSTAT (2020). Datos de precios percibidos por el productor para el caso de la almendra. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/es/#data> (Consultado: 11 noviembre 2021).
- Floyd A (1968). A methodology for trend forecasting of figures of merit. En: *Technological forecasting for industry and government: methods and applications* (ed. Bright J), pp: 93-107. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Giovanis AN, Skiadas CH (1999). A stochastic logistic innovation diffusion model studying the electricity consumption in Greece and the United States. *Technological Forecasting and Social Change* 61: 235-246. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(99\)00005-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(99)00005-0).
- Gómez AC (1986). *Difusión-adopción de innovaciones en agricultura: un estudio sobre la campiña cordobesa*. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. Córdoba, España.
- Griliches Z (1957). Hybrid corn: An exploration in the economics of technological change. *Econometrica* 4: 501-522. <https://doi.org/10.2307/1905380>.
- Instrumentos de la PAC y sus reformas (2020) Fichas técnicas sobre la Unión Europea. Disponible en: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/107/los-instrumentos-de-la-pac-y-sus-reformas> (Consultado: 11 de noviembre 2021).
- infoagro (2017). *Soluciones e inversiones en agricultura, especializados en olivar y almendro*. Estudio de mercado del aceite de oliva y de la almendra.
- Itô K (1944). Stochastic integral. *Proceedings of the Imperial Academy* 20: 519-524. <https://doi.org/10.3792/pia/1195572786>.
- Jarvis LS (1981). Predicting the diffusion of improved pastures in Uruguay. *American Agricultural Economics* 63: 495-502. <https://doi.org/10.2307/1240540>.

- Mansfield E (1968). Industrial research and technological innovation: an econometric analysis. W. W. Norton & Co. New York, USA.
- Marrón-Gaite MJ (2001). La difusión de innovaciones desde una perspectiva geográfica. Principales tendencias. Estudios Geográficos 62 (245): 675-703. <https://doi.org/10.3989/egeogr.2001.i245.271>.
- Muncharaz-Pou M (2017). El almendro, manual técnico. 2ª edición. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Muñoz-Valencia CS (2017). Modelización de procesos de difusión asociados a curvas de crecimiento. Trabajo Fin de Máster. Universidad de Granada. Granada, España.
- Nafidi A, Moutabir G, Gutiérrez-Sánchez R (2019). Stochastic Brennan-Schwartz diffusion process: statistical computation and application. Mathematics 7: 1062. <https://doi.org/10.3390/math7111062>.
- Observatorio de Precios y Mercados (2020). Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía. Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/observatorio/servlet/FrontController?ec=default> (Consultado: 11 noviembre 2021).
- Rogers EM (1976). New product adoption and diffusion. Journal of consumer Research 2: 290-301. <https://doi.org/10.1086/208642>.
- Rogers EM (1995). Diffusion of Innovations, 5ª ed. The Free Press, New York USA.
- Skiadas C (1985). Two generalized rational models for forecasting innovation diffusion. Technological Forecasting and Social Change 27: 39-61. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(85\)90003-4](https://doi.org/10.1016/0040-1625(85)90003-4).
- Skiadas CH, Giovanis AN (1997). A Stochastic Bass innovation diffusion model for studying the growth of electricity consumption in Greece. Applied Stochastic Models and Data Analysis 13: 85-101. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0747\(199706\)13:2%3C85::AID-ASM298%3E3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0747(199706)13:2%3C85::AID-ASM298%3E3.0.CO;2-Z).
- Stoneman P (1986). Technological diffusion: the viewpoint of economic theory. Recherche Economique 40: 585-606.
- Sunding D, Zilberman D (2001). The agricultural innovation process: research and Technology adoption in a changing agricultural sector. En Handbook of agricultural economics (Ed. Gardner BL, Rauser GC), pp. 207-261. Elsevier, Amsterdam. [https://doi.org/10.1016/S1574-0072\(01\)10007-1](https://doi.org/10.1016/S1574-0072(01)10007-1).
- (Aceptado para publicación el 12 de noviembre de 2021)