

La difusión de la agricultura ecológica en España: una propuesta de modelización matemática

MARÍA MERCEDES CARMONA MARTÍNEZ (*)

JUAN GÓMEZ GARCÍA (**)

ÚRSULA FAURA MARTÍNEZ (**)

1. INTRODUCCIÓN

Por agricultura ecológica se entiende un sistema agrario cuyo objetivo fundamental es la obtención de alimentos de máxima calidad, respetando el medio ambiente y conservando la fertilidad de la tierra, mediante la utilización óptima de los recursos naturales, excluyendo el empleo de productos químicos de síntesis y procurando un desarrollo agrario y ganadero sostenibles (1).

La agricultura ecológica es una alternativa al sistema de producción agrícola tradicional, puede establecerse en cualquier explotación agrícola existente tras un período de conversión, y conlleva importantes efectos positivos de diversa naturaleza (2) (3), como son una mayor calidad nutricional de los alimentos producidos; un mayor respeto por el medio ambiente; un mayor nivel de desarrollo rural, tanto de forma directa –la agricultura ecológica precisa un 20 por ciento más de mano de obra que la agricultura tradicional debido a la sustitución de productos químicos por factor trabajo– como indirecta –contribuye a crear una imagen más positiva del campo, y favorece así el desarrollo socioeco-

(*) *Universidad Católica San Antonio (Murcia).*

(**) *Universidad de Murcia. Facultad de Economía y Empresa.*

(1) *MAPA (2002).*

(2) *Cf.: Torre, C. (2001).*

(3) *Para un análisis más profundo acerca de las consecuencias de carácter social, económico, político y agronómico que tiene la agricultura ecológica, véanse Lamphin, N.; Foster, C.; Padel, S. (1999), Stolze, M.; Piore, A.; Häring, A. Dabbert, S. (2000) y Michelsen, J. (2001).*

nómico de estas zonas; y una reducción de los excedentes de producción que, en el contexto europeo, suelen suponer problemas presupuestarios.

La introducción de la agricultura ecológica supone un cambio importante en la función de producción agrícola de un país y, por ello, lleva consigo un cierto grado de incertidumbre, sobre todo en las etapas iniciales del proceso. Sin embargo, como ocurre con cualquier otra innovación, a medida que pasa el tiempo la experiencia de los adoptantes da lugar a un uso más eficiente de la innovación, y a una reducción de la incertidumbre y del riesgo que ésta conlleva. Como consecuencia, la difusión de la agricultura ecológica se convierte en un proceso dinámico.

El objetivo de este artículo es estudiar la difusión de la agricultura ecológica en España, con el fin de analizar las características del proceso, sus factores determinantes, la situación actual del sector y qué evolución cabe esperar en el futuro. Para llevarlo a cabo se realizarán dos tipos de análisis: en primer lugar, un estudio estático sobre el grado de implantación de la agricultura ecológica en nuestro país y sus rasgos más significativos. En segundo lugar, se realizará un análisis de la dinámica y la evolución de este método de cultivo, aplicando para ello los modelos de difusión más apropiados.

Así, este artículo está organizado del siguiente modo: la sección 2 realiza un análisis descriptivo de la situación de la agricultura ecológica en España, comprobando que sigue la trayectoria de un proceso de difusión. La sección 3 explica brevemente la estructura analítica de los modelos de difusión más importantes, así como ciertas extensiones y ampliaciones de los mismos relevantes para el caso que nos ocupa. En la sección 4 se lleva a cabo la aplicación empírica de los modelos comentados, analizando la validez de las estimaciones y las consecuencias que se pueden derivar de los resultados obtenidos. Esta aplicación empírica de los modelos se realiza con datos sobre la difusión de la ecología a nivel nacional y para dos comunidades autónomas, una de las que más importancia tienen dentro de este sector (Andalucía) y otra de las menos relevantes (Región de Murcia), con el fin de comparar los resultados obtenidos. Por último, en la sección 5 se establecen las conclusiones de este trabajo, planteando también sus limitaciones y posibles líneas futuras de investigación.

2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA AGRICULTURA ECOLÓGICA EN ESPAÑA

En España, la agricultura ecológica apareció hacia mediados de los años 70, y su primera regulación data de 1989, año en que entra en

vigor el Reglamento de la Denominación Genérica de Agricultura Ecológica. Sin embargo, no fue hasta la década de los 90 cuando este tipo de producción comenzó a mostrar un lento pero constante crecimiento, impulsado fundamentalmente por una adecuada legislación de estas actividades (4).

Este sistema productivo se ha extendido notablemente en nuestro país debido a diversos factores, como son: una favorable climatología, que va desde el clima continental hasta el mediterráneo; el empleo habitual de sistemas extensivos de producción, y una utilización relativamente moderada de productos químicos de síntesis. Así, la agricultura ecológica en España suponía en el año 2001 un total de 485.140 hectáreas cultivadas, con 15.662 productores y 914 elaboradores (5); y la tasa media anual acumulada del incremento de la superficie ecológica cultivada desde 1991 hasta 2001 ha sido del 60,7 por ciento, aunque con importantes altibajos a lo largo de ese período (en 1995 el incremento respecto al año anterior de la superficie total cultivada fue de un 330,83 por ciento, mientras que en 1999 hubo un incremento de tan sólo un 8,17 por ciento).

En comparación con otros países europeos, España destina a cultivos ecológicos un 1,66 por ciento de su superficie agrícola total, cifra que está por encima del 0,49 por ciento griego o del 0,72 por ciento irlandés, pero aún dista de manera notable de países como Suiza, Austria e Italia, que superan el 8 por ciento de superficie agrícola total dedicada a estos productos. Nuestro país se encuentra a un nivel ligeramente inferior del 1,85 por ciento de la media europea.

En cuanto a la distribución geográfica de la agricultura ecológica, es importante señalar que se encuentra fuertemente concentrada desde un punto de vista regional. Así, las Comunidades Autónomas de Extremadura, Andalucía y Cataluña, que suponen un 32 por ciento (485.088 ha) de la superficie geográfica total del país, concentran casi un 70 por ciento del total de la superficie dedicada a agricultu-

(4) En la actualidad, la agricultura ecológica en nuestro país está regulado, básicamente, por el R.D. 1852/93 (modificado por el R.D. 506/2001), que desarrolla la normativa comunitaria en este campo. Concretamente, incorpora en la legislación española el Reglamento del Consejo CEE 2091/91 y el Reglamento del Consejo CEE 1804/99, que regulan, respectivamente, la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios, y la producción de animales ecológicos. Además, el citado R.D. 1852/93 recoge las indicaciones del Reglamento del Consejo CEE 2092/91, estableciendo la autoridad competente y los organismos de control de este tipo de producción como competencia de las Comunidades Autónomas.

Por otra parte, el R.D. 51/95, que desarrolla el Reglamento del Consejo CEE 2078/92, establece una línea de ayudas específicas para la producción de carácter ecológico, subvencionando a través de una prima anual por hectárea, variable según el tipo de cultivo, hasta un máximo de cinco años. Además, el espíritu de la PAC desde 1992 introduce políticas y requerimientos ambientales en todas sus acciones.

(5) Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Gráfico 1

**Cultivo de productos ecológicos en Europa en 2001
(porcentaje de la superficie agrícolas total)**

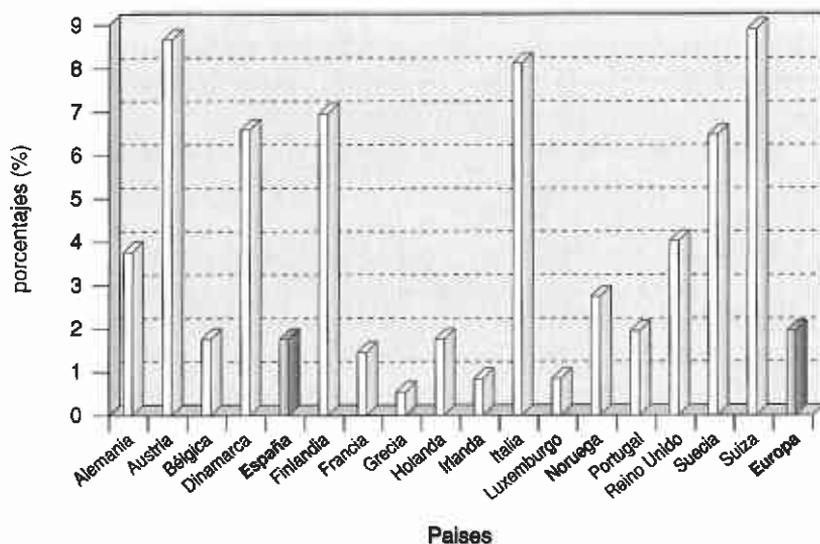
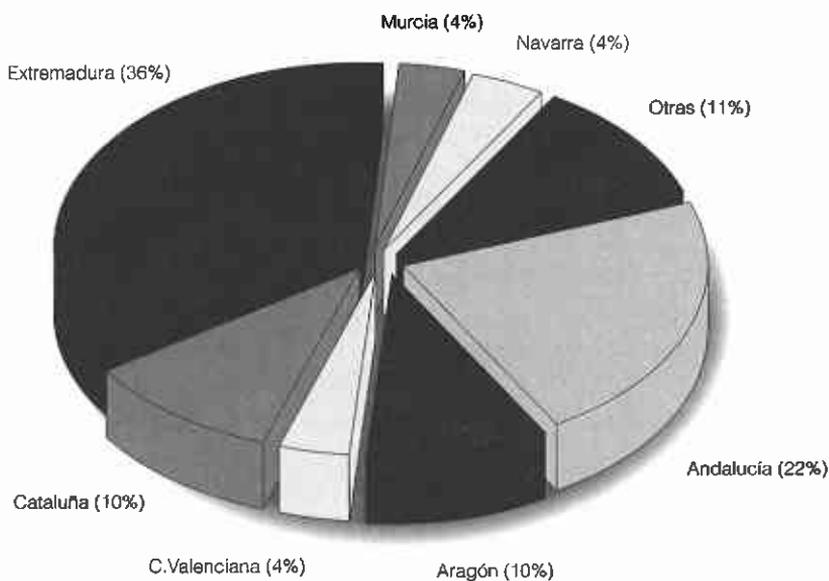


Gráfico 2

**Distribución de la agricultura ecológica por C.C.A.A. en 2001
(número de hectáreas cultivadas).**



ra ecológica, y un 80 por ciento de las 1.082 explotaciones agrarias ecológicas del país (gráfico 2).

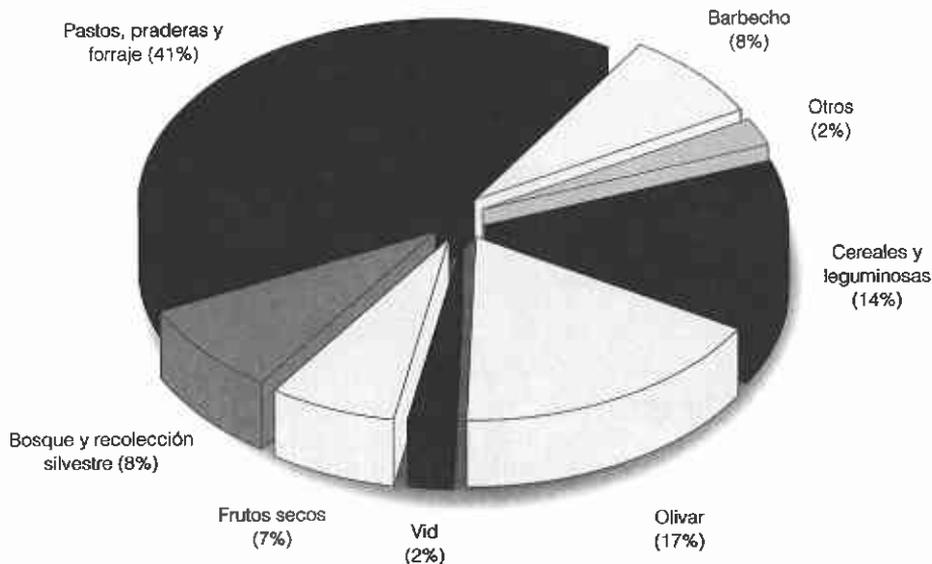
Además, con respecto al tipo de cultivo en la superficie agrícola ecológica, también se advierte una importante concentración de la agricultura ecológica en tres categorías de productos: Pastos, praderas y forraje, Olivar y Cereales y leguminosas, que suponen más del 70 por ciento del número total de hectáreas destinadas a este tipo de cultivos (gráfico 3).

Del mismo modo, las industrias elaboradoras de productos ecológicos vegetales más relevantes pertenecen a las envasadoras de productos hortofrutícolas (un 26 por ciento de ellas), al sector vinícola (16 por ciento) o al sector del aceite de oliva (15 por ciento).

En el gráfico 4 se observa la evolución en el tiempo del número de hectáreas cultivadas con productos ecológicos y del número de operadores ecológicos (productores más elaboradores) en España entre 1991 y 2001 (6). Se puede apreciar como este proceso tiene, en una

Gráfico 3

Distribución tipos de cultivo ecológicos (2001).



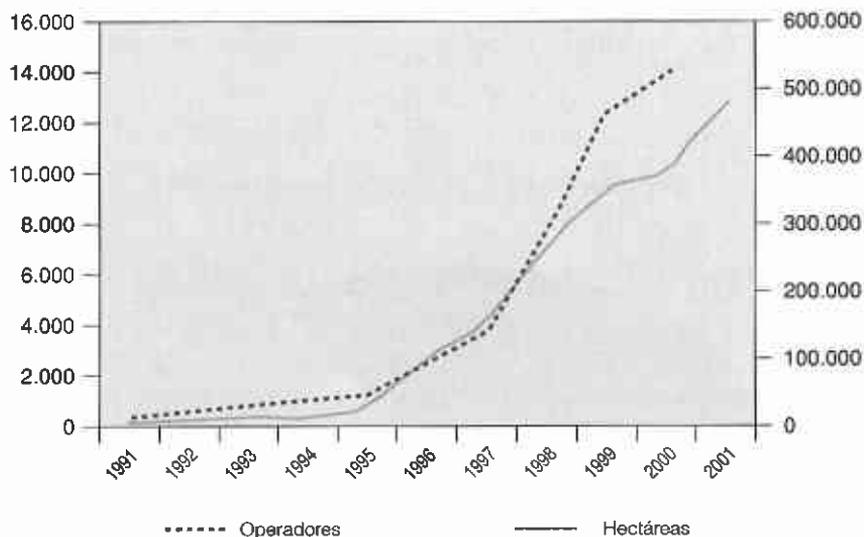
(6) MAPA (2002).

primera fase, un ritmo lento hasta que, una vez superado un cierto nivel umbral, el crecimiento se acelera. Cabe esperar que, posteriormente, el crecimiento se frene de nuevo hasta que la producción ecológica se sitúe a un nivel relativamente estable.

Como podemos comprobar, la evolución de la agricultura ecológica en España presenta la estructura de un proceso de difusión. Por ello, para conocer las características de este método de producción es necesario estudiar previamente la teoría de modelos de difusión que exponemos a continuación.

Gráfico 4

Evolución de la agricultura ecológica en España de 1991 hasta 2001.



3. LOS MODELOS DE DIFUSIÓN

Los llamados modelos de difusión (7) son modelos matemáticos que tienen por objeto describir «el proceso a través del cual una innovación se va difundiendo en el seno de un sistema social», Rogers (1995, p. 10). Así, el estudio matemático de este fenómeno se basa en la construc-

(7) La primera revisión teórica de los modelos de difusión en España es la de Polo Redondo, Y. (1986).

ción y el análisis de funciones que representan el grado de penetración de un cierto producto o proceso en el sistema, a lo largo del tiempo.

En general, los modelos de difusión tienen tres propósitos. En primer lugar, tienen una finalidad descriptiva y explicativa, puesto que permiten representar el proceso analizado y dan una idea de sus características más sobresalientes. En segundo lugar, tienen una finalidad predictiva, pues a través de un adecuado análisis de los datos de las etapas iniciales del proceso es posible conocer ciertas características del mismo, y proyectarlas en un tiempo futuro. Por último, también sirven como instrumentos de control, pues, mediante ciertas variables, es posible influir sobre la trayectoria del proceso de difusión.

Supongamos un cierto sistema social o económico en el cual una innovación se está difundiendo. Si tratamos de describir este proceso mediante una función que represente la evolución del sistema, considerando que éste se mueve hacia un cierto nivel de equilibrio de largo plazo M (8), y que el cambio que tiene lugar en cada intervalo de tiempo es una determinada proporción $g(t)$ de la diferencia entre el equilibrio de largo plazo y el nivel actual $N(t)$, se puede plantear una ecuación genérica de los modelos matemáticos de difusión:

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = g(t) \cdot [M - N(t)] \quad [1]$$

donde $n(t)$ es el grado de penetración de la innovación en cada período t . La elección de una u otra forma funcional para $g(t)$ determinará una u otra curva de difusión; y ésta, a su vez, tendrá un mejor ajuste a los datos empíricos, dependiendo del tipo de producto del que se trate y de la estructura del mercado en el que tenga lugar el proceso.

Los modelos agregados más importantes y representativos dentro de la Teoría de Difusión son los que se indican a continuación (9) (10):

1. Modelo Logístico o de *Influencia Interna* (Mansfield (1961), Griliches (1957)), que asume que el proceso de difusión está impulsa-

(8) El parámetro M es el llamado *techo de adopción*, y es una medida aproximada del nivel final de aceptación de la innovación, una vez concluido el proceso de difusión.

(9) Se pueden encontrar más detalles de estos modelos en el Anexo.

(10) Para una amplia revisión de los modelos de difusión, véanse Frenkel, A.; Shefer, D. (1997); Baptista, R. (1999); Geroshi, P. (2000); Mahajan, V.; Wind, J. y Muller, E. (2000).

do por la interacción entre los diferentes agentes del sistema, que se imitan en el uso de la innovación en cuanto conocen la existencia de la misma; de este modo, se pasa de modelizar la difusión de una innovación a modelizar la difusión de información. El modelo logístico está descrito por la siguiente ecuación diferencial:

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = \beta \cdot N(t) \cdot [M - N(t)]; \beta > 0 \quad [2]$$

2. Modelo Exponencial o de *Influencia Externa* [Fourt y Woodlock (1960)], que asume que el proceso de difusión está impulsado por factores externos al sistema analizado (publicidad, campañas informativas,...). Este modelo está descrito por la siguiente ecuación diferencial:

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = \alpha \cdot [M - N(t)]; \alpha > 0 \quad [3]$$

3. Modelo de Bass [Bass (1969)], que contiene como casos particulares al modelo logístico y al exponencial, y cuya ecuación diferencial característica es (11):

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = [p + q \cdot N(t)] [M - N(t)]; p, q > 0 \quad [4]$$

El modelo de Bass divide a la población total del sistema en dos grupos: *innovadores*, que adoptan independientemente de lo que hagan otros agentes, y su decisión tan solo está basada en la información externa recibida; e *imitadores*, cuya adopción está influenciada por quienes ya adoptaron.

Los modelos descritos presentan ciertas ventajas importantes, como son: una sencilla interpretación, un fácil tratamiento matemático, y un buen ajuste a la mayoría de los datos empíricos. Además, han sido aplicados para la modelización del proceso de difusión de ciertas innovaciones en el sector agrario de diversos países: utilización de nuevas semillas en EE.UU. (Griliches, 1957) y (Griliches, 1980); uso de tractores en España (Mar Molinero, 1980), (Oliver, 1981); uso de productos químicos en Nigeria (Akinola, 1986); difusión del cultivo de cítricos en España (Tortajada, 1994); difusión del cultivo de altramuces en Australia (Marsh, 2000), etc. (12).

(11) Nótese que si $q=0$ obtenemos la distribución exponencial, y si $p=0$ la distribución logística.

(12) Para una revisión de los modelos de adopción y difusión de innovaciones agrarias, véase el trabajo de Feder, G. y Umalí, D. (1993).

4. RESULTADOS DEL ESTUDIO

4.1. Difusión de la agricultura ecológica en España

Con el fin de analizar y conocer las características que tiene el proceso de difusión de la agricultura ecológica en España, se ha llevado a cabo la estimación de los modelos descritos con anterioridad a través de sus respectivas funciones de difusión (ecuaciones [3], [5] y [7]), mediante el algoritmo de Mínimos Cuadrados No Lineales que incorpora el programa S-PLUS 6.1. Para ello, se han utilizado datos que ofrece el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación acerca del sector en nuestro país, desde 1991 hasta 2001 (13). Los resultados obtenidos se resumen en el cuadro 1.

Cuadro 1

DIFUSIÓN DE LA AGRICULTURA ECOLÓGICA EN ESPAÑA

	Superficie	Operadores
Modelo logístico	$N(t) = \frac{M}{1 + e^{6,12 - 0,70t}}$ M = 509.855 R ² = 0,9882	$N(t) = \frac{M}{1 + e^{6,90 - 0,83t}}$ M = 18.322,6 R ² = 0,9911
Modelo exponencial	Modelo no significativo	Modelo no significativo
Modelo de Bass	$N(t) = M \cdot \frac{0,73 - 0,05 \cdot e^{-0,730t}}{0,73 \cdot (1 + e^{-0,730t})}$ p no significativo M = 515.896 R ² = 0,9866	$N(t) = M \cdot \frac{1,06 + 0,041 \cdot e^{-1,019t}}{1,06 \cdot (1 + e^{-1,019t})}$ p no significativo M = 17.213 R ² = 0,9953

De los tres modelos estimados en cada caso, no tendremos en cuenta la regresión exponencial, puesto que sus parámetros no son significativos al 95 por ciento. Este resultado queda, además, reforzado por el hecho de que en ninguno de los modelos de Bass es significativo el coeficiente de innovación o de influencia externa: p=0, de modo que dicho modelo de Bass queda reducido a la curva logística. Por la misma razón, analizaremos las características del proceso basándonos en el modelo logístico. Según éste, comprobamos que, como cabía esperar, los dos procesos (difusión de la superficie dedicada al cultivo de productos ecológicos y difusión del número de productores y elaboradores de dichos productos) tienen características

(13) MAPA (2002).

muy similares: ambos están descritos por la misma curva de difusión y sus parámetros tienen valores semejantes. Por otra parte, también son similares los valores obtenidos en los dos casos para el punto de inflexión de la curva, así como para el momento en que se alcanza el 10 por ciento y el 90 por ciento del nivel final (cuadro 2).

Cuadro 2

ANOS EN LOS QUE SE ALCANZA EL 10%, 50% Y 90% DE LA DIFUSIÓN

	10%	50%	90%
Superficie	1995 (t = 5,141)	1998 (t = 8,018)	2001 (t = 10,895)
Operadores	1995 (t = 5,690)	1998 (t = 8,350)	2001 (t = 11,009)

Fuente: Valdevira (1995) y Cavanilles (1795). Elaboración propia.

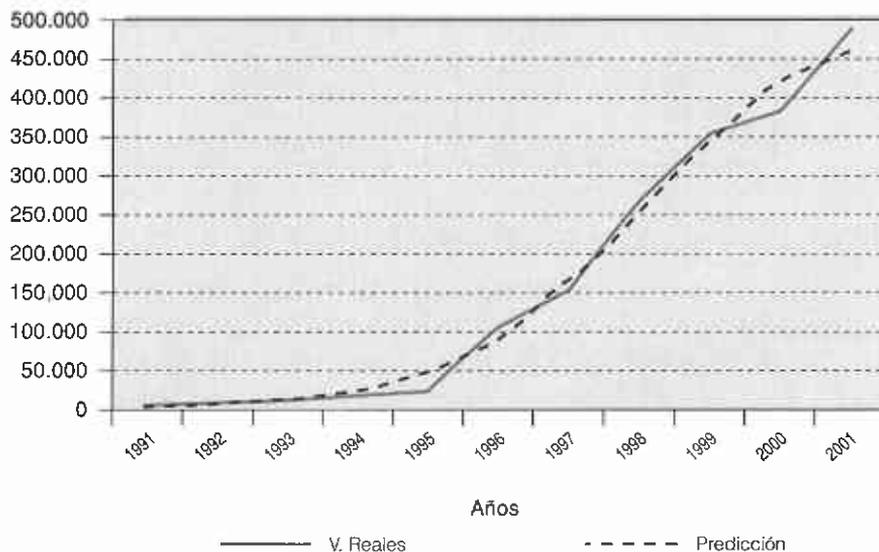
Según los resultados obtenidos, ambos procesos se encuentran ya cerca de su techo; es decir, cerca del valor máximo que alcanzarán si no cambian las características del proceso y tiene lugar un acontecimiento que altere el límite estimado M . Sin embargo, es importante señalar que este resultado podría estar sesgado por el hecho de haber llevado a cabo la estimación con una muestra reducida de datos, y todos ellos pertenecientes a la fase inicial del proceso de difusión. En este caso, la estimación de M estaría muy influida por la última observación disponible de $N(t)$.

Pese a este inconveniente a la hora de estimar el techo de adopción, los datos de ambos procesos presentan un buen ajuste a la función estimada, con R^2 superiores a 0,98. Como ejemplo de este buen ajuste, el gráfico 5 muestra los datos reales y los valores que el modelo predice para cada año considerado, en el caso de la superficie cultivada; y se puede comprobar que ambas líneas (la de los valores reales y la de las predicciones) están muy próximas.

En el estudio de este proceso es también de gran interés analizar si el establecimiento de subvenciones y ayudas financieras a la agricultura ecológica ha tenido alguna influencia estadísticamente significativa en las características del proceso de difusión analizado. Puesto que no se dispone de información acerca del importe total de estas ayudas en todos los períodos, se ha creado una variable dummy (D) que diferencia los períodos anteriores y posteriores a 1995 (año en

Gráfico 5

Predicción del número de hectáreas cultivadas con productos ecológicos.



que comienzan las subvenciones al sector (14)), y que puede modificar los parámetros del modelo logístico estimado. Los resultados obtenidos se resumen en el cuadro 3.

En el caso del modelo aplicado a los datos sobre la superficie total cultivada, obtenemos que la variable dummy incluida no es significativa al 95 por ciento, por ello podemos afirmar que no existen diferencias estadísticamente entre el proceso de difusión antes y después de 1995. Sin embargo, al considerar los datos sobre el número de operadores, sí se advierte la influencia de la concesión de subvenciones desde 1995: se obtiene un mejor ajuste a los datos en términos de R^2 , el proceso de difusión se acelera (la velocidad pasa a ser 0,89). Además, y como conclusión más importante, esta nueva estimación pone de manifiesto que el proceso de difusión realmente se inicia a partir de 1995, y se reduce ligeramente la estimación del número final de operadores de productos ecológicos (M).

(14) En realidad, la fecha en que se implantan estas ayudas económicas depende de cada Comunidad Autónoma: la mayoría lo hace entre 1995 y 1996, aunque algunas han de esperar hasta 1997 o incluso 1998.

Cuadro 3

INFLUENCIA DE LAS SUBVENCIONES A LA PRODUCCIÓN ECOLÓGICA EN ESPAÑA

	Modelo con D_t
Superficie	D_t no significativa
Operadores	$N(t) = M \cdot \frac{1,7781 \cdot D_t}{1 + e^{7,58 - 0,06t}}$ $R^2 = 0,9872$

4.2. Difusión de la agricultura ecológica en la Región de Murcia y en Andalucía

Para completar nuestro análisis sobre la difusión de la agricultura ecológica en España, se han estimado también los modelos de difusión logístico, exponencial y de Bass a los datos sobre agricultura ecológica en dos Comunidades Autónomas: la Región de Murcia y Andalucía.

Tal y como se indicó en la sección 2, Andalucía es una de las regiones españolas con mayor peso en el sector: 4.173 operadores y 107.380 hectáreas dedicadas a cultivos ecológicos, lo cual supone un 2,75 por ciento de sus tierras cultivadas y el 22,14 por ciento del número total de hectáreas cultivadas en el país. Por su parte, la Región de Murcia cuenta con 630 operadores y 17.016 hectáreas cultivadas con productos ecológicos (un 2,81 por ciento de sus tierras cultivadas y un 3,51 por ciento del país) (15).

Como se puede comprobar en el gráfico 6, en ambas comunidades, la evolución sigue una trayectoria similar a la que se obtenía para el caso nacional: en un principio tienen un crecimiento muy lento, que luego se acelera para, cabe esperar, posteriormente frenarse de nuevo hasta alcanzar un nivel estable.

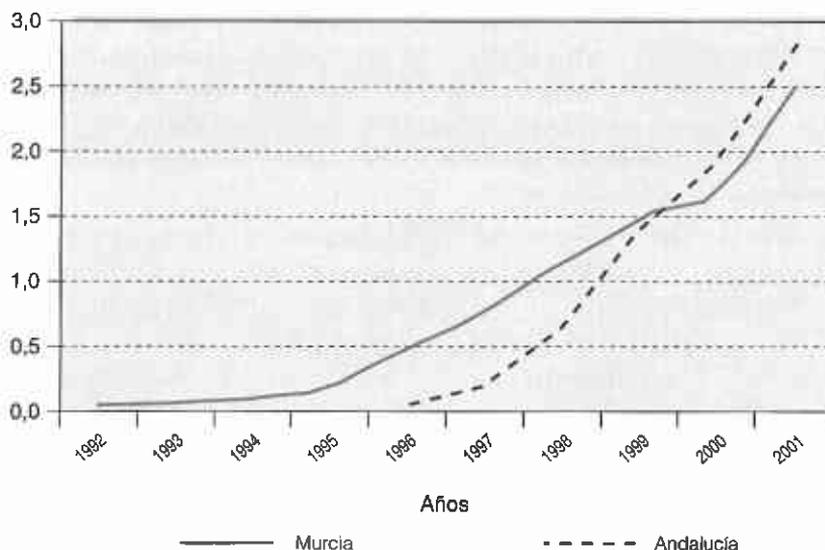
Para conocer con mayor profundidad las características del proceso de difusión en estas dos regiones, hemos de estimar los modelos correspondientes (16) y comparar los resultados con los obtenidos a nivel nacional. Esto se ha llevado a cabo con dos muestras distintas de datos: desde 1996 hasta 2001 en el caso Región de Murcia, y desde 1992 hasta 2001 para Andalucía. Los resultados obtenidos se resumen en el cuadro 4.

(15) Datos de 2001.

(16) Al igual que ocurría con las estimaciones realizadas a nivel nacional, ahora el modelo exponencial no es significativo al 95 por ciento, y en el modelo de Bass se anula el efecto imitación, por ello nos limitaremos a estudiar el modelo logístico.

Gráfico 6

Predicción del número de hectáreas cultivadas con productos ecológicos.



Cuadro 4

DIFUSIÓN DE LA AGRICULTURA ECOLÓGICA EN LA REGIÓN DE MURCIA Y EN ANDALUCÍA

	Superficie	Operadores
Región de Murcia	$N(t) = \frac{21.202}{1 + e^{4,52 - 0,94t}}$ $R^2 = 0,9876$	$N(t) = \frac{897}{1 + e^{3,32 - 0,66t}}$ $R^2 = 0,9919$
Andalucía	$N(t) = \frac{151.792}{1 + e^{4,50 - 0,51t}}$ $R^2 = 0,9740$	$N(t) = \frac{1.152}{1 + e^{4,40 - 0,53t}}$ $R^2 = 0,9879$

Según estas estimaciones, la evolución de la agricultura ecológica en Andalucía y en la Región de Murcia es muy similar. Los parámetros estimados son de una magnitud equivalente, y parecida a la obtenida para datos nacionales; y el «techo de adopción» o límite asintótico de la función (M) se sitúa en ambas comunidades en torno al 3,6 por ciento de la superficie total cultivada. Sin embargo, sí es posible señalar ciertas diferencias, siendo las más importantes las que se detallan a continuación:

- a) La velocidad estimada de difusión, tanto en el número de hectáreas cultivadas como en el número de explotaciones ganaderas calificadas como ecológicas, es mayor en Murcia que en Andalucía. Este resultado puede tener su origen en dos razones: bien la comunidad murciana presenta realmente una mayor velocidad de difusión de los productos ecológicos que la comunidad andaluza, o bien el diferente número de observaciones considerado en cada caso (la muestra utilizada para Murcia va de 1996 a 2001, y la utilizada para Andalucía de 1992 hasta 2001) ha sesgado los resultados de las estimaciones.

En el caso de la superficie cultivada con productos ecológicos, la velocidad de difusión considerando el proceso a nivel nacional (0,76), toma un valor intermedio al de ambas comunidades (0,51 y 0,94); sin embargo, al considerar el número de operadores ecológicos, la velocidad de difusión es mayor a nivel nacional (0,83) que en Andalucía y Murcia (0,53 y 0,69).

- b) El punto de inflexión de los procesos analizados, que se sitúa hacia finales del año 2003 en el caso de Murcia y en el 2000 en el caso de Andalucía, más tarde en ambos casos que a nivel nacional.

5. CONCLUSIONES

La agricultura ecológica conlleva notables cambios en la función de producción de un país, así como importantes mejoras en la calidad nutricional de los alimentos producidos, respeto por el medio ambiente, desarrollo socioeconómico de las áreas rurales, etc.

En este artículo hemos aplicado el marco de la teoría de la Difusión al análisis de la evolución de este método de cultivo agrícola y de explotación agraria, con el fin de estudiar sus principales características y su difusión a lo largo de los últimos 11 años en nuestro país, obteniéndose las siguientes conclusiones:

- a) En las difusiones analizadas el *efecto innovación* es nulo, pues toda la dinámica de los procesos viene marcada por el *efecto imitación* entre los agentes del sistema.
- b) Según los resultados obtenidos, el proceso de difusión de la agricultura ecológica en España alcanzó su punto de inflexión en el año 1998, y a partir de dicho momento, la velocidad del proceso se fue reduciendo. Sin embargo, es importante señalar que, por encontrarnos en las primeras etapas del proceso de difusión, los resultados de las estimaciones de M pueden estar

sesgados hacia el valor de $N(2001)$ (17), y por ello sería necesario actualizar este valor, reestimando los modelos a medida que se disponga de nuevos datos, con el fin de conocer un valor más aproximado de M .

- c) La concesión de subvenciones y ayudas económicas a partir del año 1995 ha supuesto un aumento de la velocidad de difusión del número de operadores, y una ligera reducción del «techo de adopción» estimado, M .
- d) La velocidad de difusión es más rápida en la Región de Murcia que en Andalucía, aunque ambas comunidades autónomas presentan un nivel de equilibrio final del 3,6 por ciento de la superficie total cultivada en la región.

Es importante señalar que, en el caso de Andalucía, se percibe un desajuste entre la estimación del límite $M = 151.972$ ha y la superficie total de cultivos ecológicos en esta comunidad en 2003, que fue de 283.219,76 ha. Esta diferencia puede ser debida tanto al sesgo de la estimación hacia $N(2001)$ como a la puesta en marcha, en diciembre de 2002, de un plan de acción regional para el desarrollo de la agricultura ecológica (18). En el caso de la Región de Murcia, sin embargo, la estimación del límite $M = 21.202$ ha sí parece ajustarse a la evolución real de la variable, pues la superficie total de cultivos ecológicos en esta comunidad en 2003 fue de 20.583,04 ha.

En cualquier caso, la evolución futura de la agricultura ecológica en España estará determinada en los próximos años por los efectos que tenga la reforma de la PAC (19), así como por el establecimiento de nuevas ayudas económicas que complementen a las subvenciones ya existentes, que no alcanzan el máximo establecido por la UE; y la implementación de planes de acción como los que están en marcha en los países nórdicos (y, a nivel nacional se están ya poniendo en marcha en Castilla-La Mancha y Andalucía), que integren todas las partes de la cadena de producción, transporte y comercialización, y fomenten la investigación en esta área y la transferencia de resultados a los agricultores. De este modo, podrían también salvarse diversos obstáculos para un mayor desarrollo e implantación de la agricultura ecológica (20), como son una deficiente distribución y orga-

(17) De hecho, la superficie total cultivada con productos ecológicos en España en 2002 fue de 665.055 ha, una cifra muy superior al límite máximo M obtenido con datos desde 1991 hasta 2001.

(18) Plan Andaluz de la Agricultura Ecológica (2002-2006). Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/centros/iniciativas/planecologica.pdf>

(19) Cf.: Lampkin, N.; Foster, C. y Padell, S. (1999).

(20) Cf.: González, V. (2003).

nización comercial, una escasa revalorización de los productos, elevadas necesidades de inversión especialmente en alojamientos animales, el excesivo trabajo que implica este método productivo, etc.

Aunque ya hemos señalado que, por encontrarnos en las primeras etapas del proceso de difusión, los resultados de las estimaciones de M pueden estar sesgados hacia la N (2001), no cabe duda que el desarrollo futuro de la agricultura ecológica pasa necesariamente por un aumento de la demanda nacional de estos productos, de modo que se eleve el nivel asintótico de la función, M , y a largo plazo pueda seguir teniendo lugar el proceso de difusión.

Como línea futura de trabajo, sería interesante profundizar en los efectos que los subsidios y las ayudas financieras tienen sobre la adopción de este método de producción y sobre el rendimiento de las explotaciones ecológicas; así como los resultados que se pueden derivar de un plan de acción integrado dirigido a potenciar la producción de estos productos y a estimular su demanda, y otras medidas de acompañamiento para desarrollar sistemas de apoyo a la agricultura ecológica en los campos de investigación, formación y asesoría de agricultores, etc. Ambos aspectos pueden indicar la dirección en la que ha de dirigirse el diseño de la política agraria del país. Asimismo, sería interesante relacionar el proceso de difusión de la agricultura ecológica y sus características con posibles mejoras en los diversos índices de calidad del medio ambiente, de los alimentos producidos, y del desarrollo del medio rural.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE, J. *et al.* (1998): El fomento de la agricultura ecológica por el programa agroambiental español (2078/92/CEE): perspectivas y realidades. Actas III Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica, Valencia, septiembre 1998.
- AKINOLA, G. G. (1986): «An Application of the Bass Model in the Analysis of Diffusion of Coco-Spraying Chemicals among Nigerian coca Farmers». *Journal of Agricultural Economics*, 37 (3): pp. 395-404.
- BAPTISTA, R. (1999): «The Diffusion of Process Innovations: A Selective Survey». *International Journal of the Economics of Business*, 6: pp. 107-130.
- BASS, F. (1969): «A New Product Growth Model for Consumer Durables». *Management Science*, 15(5): pp. 215-226.
- CHATTERJEE, R. y ELIASHBERG, J. (1990): «The Innovation Diffusion Process in a Heterogeneous Population: A Micro-Modelling Approach». *Management Science*, 36: pp. 1.057-1.079.
- COM (2000): *The agricultural situation in the European Union – 1999 Report* Com (2000) 485 final of 26 July 2000.

- DIXON, R. (1980): «Hybrid Corn Revisited». *Econometrica*, 48 (6): pp. 1.451-1.461.
- FEDER, G. y UMALI, D. (1993): «The Adoption of Agricultural Innovations. A Review». *Technological Forecasting and Social Change*, 43: pp. 215-239.
- FOURT, L. y WOODLOCK, J. (1960): «Early Prediction of Market Success for New Grocery Products». *Journal of Marketing*, 25: pp. 31-38.
- FRENKEL, A. y SHEFER, D. (1997): «Technological Innovation and Diffusion Models: A Review». En *Innovative Behaviour in Space and Time*. Bertuglia, C.S.; Lombardo, S.; Nijkamp, P. (eds.). Berlin, Germany: Springer: pp. 41-63.
- GEROSKI, P. (2000): «Models of Technology Diffusion». *Research Policy*, 29 (4/5): pp. 603-625.
- GONZÁLVIZ, V. (2003): *Organic Farming in Spain 2002*. Spanish Society for Organic Agriculture (SEAE), Valencia. <http://www.organic-europe.net>
- GRILICHES, Z. (1957): «Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change». *Econometrica*, 25 (4): pp. 501-522.
- GRILICHES, Z. (1980): «Hybrid Corn revisited: A reply». *Econometrica*, 48 (6): pp. 1.463-1.465.
- HAMITI, T.; LAAJIMI, A. y ALBISU, L. M. (1996): *Adopción tecnológica en la agricultura sostenible*. Documento de Trabajo 96/5. Unidad de Economía Agraria. Servicio de Investigación Agroalimentaria. Diputación General de Aragón.
- HÄRING, A.; DABBERT, S.; OFFERMANN, F. y NIEBERG, H. (2001): *Benefits of Organic Farming for society, presented European Conference of Organic Food and Farming*. 10-11 May 2001, Copenhagen, Denmark.
- JOENSEN, M. (2002): *Organic foods in Spain*. Danish Trade Commission, Barcelona, Spain. <http://www.organic-europe.net>
- JOENSEN, M. (2003): *Organic foods in Spain*. Danish Trade Commission, Barcelona, Spain. <http://www.organic-europe.net>
- JUNTA DE ANDALUCÍA (2002): *Plan Andaluz de la Agricultura Ecológica (2002-2006)*. <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/centros/ini-ciativas/planecologica.pdf>
- LAAJIMI, A. y ALBISU, L. M. (1997): «Technology transfer to Spain organic farmers: institutional arrangements, socioeconomic issues and policy implications». NENOF. *An European Newsletter on Organic Farming*, 6: pp. 2-4.
- LAMPKIN, N.; FOSTER, C. y PADEL, S. (1999): «The policy and regulatory environment for organic farming in Europe». *Organic Farming in Europe: Economics and Policy*; Volume 1, Stuttgart-Hohenheim.
- MAHAJAN, V. y SHOEMAN, M. (1977): «Generalized Models for the Time Pattern of the Diffusion Process». *IEEE Transactions on Engineering Management*, 24(1): pp. 12-18.
- MAHAJAN, V.; WIND, J. y MULLER, E. (eds.) (2000): *New Product Diffusion Models*, Boston: Kluwer Academic Publishers.
- MANSFIELD, E. (1961): «Technical Change and the Rate of Imitation». *Econometrica*, 29 (4): pp. 741-766.

- MAPA (2000): *Estadísticas 2000. Agricultura Ecológica (España)*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Subsecretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación. Dirección General de Alimentación.
- MAPA (2002): *Hechos y cifras del sector agroalimentario y del medio rural español*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Subsecretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- MAR MOLINERO, C. (1980): «Tractors in Spain: a logistic analysis». *Journal of the Operational Research Society*, 31: pp. 141-152.
- MARSH, S. P.; PANNELL, D. J. y LINDNER, R. A. (2000): «The Impact of Agricultural Extension on Adoption and Diffusion of Lupins as a New Crop in Western Australia». *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 40 (4): pp. 571-583.
- MENÉNDEZ DE LUARCA, S. y RODRÍGUEZ SÁNCHEZ-BEATO, A. (1994): «Situación actual y perspectivas de la agricultura ecológica en España». *Actas I Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica*, Toledo, septiembre 1994.
- MICHELSSEN, J.; HAMM, U.; WYNEN, E. y ROTH, E. (1999): «The European market for organic products: growth and development». *Organic Farming in Europe: Economics and Policy*; Volume 7, Stuttgart-Hohenheim 1999.
- MICHELSSEN, J. (2001): *Organic farming in a social context*. Organic food and farming: towards partnership and action in Europe, presented European Conference of Organic Food and Farming. 10-11 May 2001, Copenhagen, Denmark.
- MOE, W. y FADER, P. (1998): «A Joint Segmentation Model of Consumers and Products Applied to the Sales of Music Albums». *Working Paper 98-028*, The Wharton School, University of Pennsylvania.
- OFFERMAN, F. (2000): *Quantitative sector modelling of organic farming Eu-Project FAIR3-Ct96-1794: Organic farming and the CAP*. Technical Deliverable Rx.
- OFFERMAN, F. y NIEBERG, H. (2000): «Economic performance of organic farms in Europe». En *Organic farming in Europe: Economics and Policy*, vol. 5, University of Hohenheim.
- OLIVER, F. R. (1981): «Tractors in Spain: a further logistic analysis». *Journal of the Operational Research Society*, 32: pp. 499-502.
- PICAZOS, J. y PARRA, A. (2000): *Organic Agriculture in Spain*. Stiftung Ökologie & Landbau (SÖL), Bad Dürkheim, Germany, 2000. <http://www.organic-europe.net>
- POLO REDONDO, Y. (1986): «Modelos analíticos de la difusión de innovaciones». *Cuadernos Aragoneses de Economía*, 10: pp. 35-45.
- ROGERS, E. (1995): *Diffusion of Innovations*, 5ª ed., New York: The Free Press.
- SANTAMARÍA, R. J. (1996): «Ayudas públicas para el fomento de la agricultura ecológica: la nueva regulación comunitaria». *Actas II Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica*, Pamplona, septiembre 1996.
- STOLZE, M.; PIORR, A.; HÄRING, A. y DABBERT, S. (2000): «Environmental impacts of organic farming in Europe». *Organic Farming in Europe: Economics and Policy*; Volume 6, Stuttgart-Hohenheim.

- STONEMAN, P. y BATTISTI, G., (1998): «Intra-firm Diffusion of New Technologies- the Neglected Part of Technology Transfer». *International Journal of Industrial Engineering*, Ohio-US, (4): pp. 270-82.
- TORRE, C. (2001): «Las producciones ecológicas», en *Avances en Nutrición y Alimentación Animal*, Rebollar, P., de Blas, C. y Mateos, G.G. (eds.), Madrid, Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, capítulo XII.
- TORTAJADA, E. (1994): «Modelos de difusión aplicados al cultivo de cítricos en España». *Investigaciones Agrarias*, 9 (3): pp. 359-374.
- YUSSEFI, M. y WILLER, H. (2002): *Organic Agriculture Worldwide 2002*. Germany, Biofach-IFOAM.
- YUSSEFI, M. y WILLER, H. (2003): *Organic Agriculture Statistics Worldwide: The World of Organic Agriculture Statistics and Future Prospects*. International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM), Tholey-Theley. 5th, revised edition. <http://www.ifoam.de/statistics> y www.soel.de/oeko-landbau/weltweit.html.

ANEXO

1. Modelo Logístico o de *Influencia Interna*

El modelo logístico o modelo de influencia interna parte de la hipótesis de que la difusión tiene lugar sólo a través de la interacción social; es decir, de la comunicación interpersonal entre los $N(t)$ adoptantes y los $[M-N(t)]$ no adoptantes del sistema. Así, si la población se mezcla de forma homogénea y la información acerca de la innovación se transmite de usuarios a no usuarios a una tasa constante $\beta > 0$, el número de agentes que adopta en cada período vendrá dado por la ecuación diferencial expuesta en [2]:

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = \beta \cdot \frac{N(t)}{M} [M - N(t)]$$

Integrando esta función, se pueden obtener las curvas de difusión y de adopción que son, respectivamente:

$$N(t) = \frac{M}{1 + e^{k-\beta t}} \quad [5]$$

$$n(t) = M \cdot \beta \cdot \frac{e^{k-\beta t}}{(1 + e^{k-\beta t})^2} = \beta \cdot N(t) \cdot \frac{e^{k-\beta t}}{1 + e^{k-\beta t}} \quad [6]$$

donde k es la constante de integración,

$$k = \ln\left(\frac{M}{N(0)} - 1\right)$$

En este modelo, la función de difusión es una función logística standard, una función sigmoideal y simétrica cuyo punto de inflexión se alcanza cuando la innovación ha llegado al 50 por ciento de penetración en el mercado ($N(t^*)/M=0,5$). En dicho punto, la tasa de adopción $n(t)$ alcanza su máximo valor.

En la función logística, además, un mayor valor del parámetro β implica una mayor velocidad de difusión, y un mayor valor de la constante de integración k en valor absoluto implica un menor nivel inicial del proceso, pues:

$$N(0) = \frac{M}{1 + e^k}$$

Este modelo es aplicable en situaciones en las que la innovación es compleja y «socialmente visible», de modo que el hecho de no adop-

tarla implica una posición de desventaja (social o competitiva), además, requiere que el sistema social en el cual se está desarrollando el proceso de difusión sea homogéneo. En estos casos, el parámetro b es interpretado como el efecto de los canales de comunicación informales o descentralizados, y, por lo tanto, refleja la importancia del efecto imitativo entre los agentes.

2. Modelo Exponencial o de *Influencia Externa*

Si la información llega a los agentes a través de un canal de comunicación externo al sistema y ajeno a los adoptantes, tendremos el modelo de influencia externa. Supondremos que esta información alcanza en cada período a una proporción constante $\alpha > 0$ de los no adoptantes; y entonces el número de agentes que adoptan en dicho período vendrá dado por la ecuación diferencial planteada en [3]:

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = \alpha \cdot [M - N(t)]$$

Integrando esta función, se pueden obtener las curvas de difusión y de adopción, que son, respectivamente:

$$N(t) = M \cdot [1 - e^{k-\alpha t}] \quad [7]$$

$$n(t) = M \cdot \alpha \cdot e^{k-\alpha t} \quad [8]$$

donde k es la constante de integración,

$$k = \ln\left(1 - \frac{N(0)}{M}\right)$$

En este modelo, la curva de difusión es una función exponencial negativa, cuya trayectoria es la de una curva creciente, con una asíntota superior y sin punto de inflexión. En esta función, un mayor valor del parámetro α implica una mayor velocidad de difusión, y un mayor valor de la constante de integración k en valor absoluto implica un menor nivel inicial del proceso, pues $N(0) = M \cdot [1 - e^k]$.

Este modelo es aplicable en situaciones en las que ninguna de las adopciones realizadas sea atribuible a la influencia de los adoptantes previos. Es decir, en casos en los que los miembros del sistema social están aislados o no interactúan, la innovación no es compleja y no requiere un proceso previo de aprendizaje o de imitación, o cuando la información necesaria relativa a dicha innovación sólo puede obtenerse a través de fuentes externas al sistema. En estos casos, el pará-

metro α es interpretado como el efecto de los medios de comunicación o de ciertos organismos públicos de información tecnológica.

3. Modelo de Bass

Se trata del modelo básico de difusión más general, pues, como comentamos anteriormente, incluye como casos particulares a los modelos de influencia externa y de influencia interna. El modelo de Bass considera que existen dos canales independientes que influyen en los procesos de toma de decisiones y compra de los adoptantes potenciales: los factores externos (medios de comunicación) y los factores internos (redes de comunicación interpersonal). Según cual de estas vías tenga más influencia sobre la decisión de cada uno de los agentes, se distinguen dos tipos de adoptantes:

1. Innovadores, que deciden adoptar independientemente de lo que decidan otros individuos; su actuación está determinada por influencias externas al sistema, derivadas principalmente de actividades promocionales y publicidad en medios de comunicación. Bass los califica como *aventureros y atrevidos*.
2. Imitadores, que están influenciados en su decisión por las presiones del sistema social, ejercidas a través del *boca a boca*, y de los efectos de imitación y legitimación. Las influencias internas son mayores que las externas, y van creciendo conforme aumenta el número de adoptantes previos. Sin embargo, las influencias externas son particularmente importantes al principio del proceso, cuando han de impulsar el *boca a boca*.

Teniendo todo esto en cuenta, la probabilidad de compra en el momento t es una función lineal del número de usuarios del producto en dicho instante:

$$\text{Prob}(\text{Adop}_t) = p + q \cdot \frac{N(t)}{M}, \text{ con } p, q > 0 \quad [9]$$

A p se le conoce como *coeficiente de innovación* o coeficiente de influencia externa, y señala la importancia de los innovadores en el sistema social, ya que es la probabilidad de que un agente compre en el momento inicial $t=0$ cuando no hay ningún adoptante previo (y, por lo tanto, no hay posibilidad de *interacción* con él). Por su parte, q es el *coeficiente de imitación* o coeficiente de influencia interna, e indica la presión social ejercida sobre los imitadores mediante la comunicación entre los $N(t)$ adoptantes y los $[M - N(t)]$ no adoptantes.

Un elevado valor del parámetro p indica que el proceso de difusión tiene un inicio rápido, pero también disminuye rápidamente. Cuando p es mayor que q el número acumulado de adoptantes, $N(t)$, sigue una curva en forma de J invertida similar a la del modelo de influencias externas. Este es un caso frecuente en innovaciones con un reducido nivel de riesgo, como películas, CDs de música o productos de alimentación; o bien en productos cuya decisión de compra se basa en una valoración económica racional.

Un elevado valor del parámetro q indica que el proceso de difusión es lento en las primeras etapas, pero luego se acelera. Cuando q es mayor que p , que es lo más frecuente, el número acumulado de adoptantes, $N(t)$, sigue una curva en forma de S , que se corresponde con una curva en forma de campana para el número no acumulado de adoptantes $n(t)$. La influencia interna o *boca-a-boca* tiene una especial importancia en el caso de que los anuncios y actividades de marketing sean costosos y/o poco efectivos, el producto sea intangible o complejo, o que se dé un alto grado de implicación personal en la decisión de compra.

En el modelo de Bass, el número de adoptantes en t está dado por la ecuación diferencial [4]:

$$n(t) = p \cdot [M - N(t)] + \frac{q}{M} \cdot N(t) \cdot [M - N(t)]$$

Resolviendo esta ecuación diferencial se pueden obtener las curvas de difusión y de adopción que son, respectivamente:

$$N(t) = M \cdot \left[\frac{q - p \cdot e^{-(t+k)(p+q)}}{q \cdot (1 + e^{-(t+k)(p+q)})} \right] \quad [10]$$

$$n(t) = M \cdot \left[\frac{(p+q)^2 \cdot e^{-(t+k)(p+q)}}{q \cdot (1 + e^{-(t+k)(p+q)^2}} \right] \quad [11]$$

y donde k es la constante de integración,

$$k = \frac{1}{p+q} \cdot \left[\ln \left(\frac{N(0)}{M} \cdot q + p \right) - \ln \left[\left(1 - \frac{N(0)}{M} \right) \cdot q \right] \right]$$

Se trata de una función simétrica, en el sentido de que $n(0) = n(2t^*) = p \cdot M$, y el máximo de $N(t)$ nunca se produce después de que el producto haya alcanzado el 50 por ciento del mercado potencial (si). En esta función, un mayor valor del coeficiente de imitación o de innovación implica una mayor velocidad de difusión.

El punto de inflexión de la función de difusión del modelo de Bass depende del valor de los parámetros p y q , pues:

$$\frac{N(t^*)}{M} = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{p}{q}\right) \quad [12]$$

$$t^* = \frac{\ln(q/p)}{p+q} \quad [13]$$

RESUMEN

La difusión de la agricultura ecológica en España: una propuesta de modelización matemática

La adopción de la agricultura ecológica por parte de los agricultores implica un elevado grado de incertidumbre acerca de la rentabilidad futura de la innovación, lo cual hace que la implantación de este método de cultivo y de explotación agraria no sea inmediata, sino un proceso de difusión dinámico.

En este artículo se aborda el estudio de este fenómeno desde el punto de vista de los modelos de difusión de innovaciones, aplicados a datos de la evolución de la agricultura ecológica a lo largo de los últimos 10 años en España, Murcia y Andalucía. La estimación y el análisis de estos procesos permite conocer las características propias del proceso: en primer lugar, la difusión de la agricultura ecológica está determinada fundamentalmente por el efecto imitación. En segundo lugar, y con los datos disponibles, se deduce que el proceso alcanzó en nuestro país su punto de inflexión en el año 1998.

El conocimiento del modo en que tiene lugar este proceso de difusión puede ser de gran utilidad para el diseño e implementación de políticas agrarias encaminadas a lograr la superación de ciertas barreras que la agricultura ecológica aún encuentra en su implantación.

PALABRAS CLAVE: Agricultura ecológica, modelos de difusión, España, innovaciones.

SUMMARY

Diffusion of organic farming in Spain: a mathematical modelling proposal

Adoption of organic farming involves a high level of uncertainty about future profitability of innovation, which causes a dynamic diffusion process instead of an immediate acceptance of this kind of crop and farm.

The study of this fact is considered in this article from the Diffusion Models Innovation viewpoint, and is applied to figures of organic agriculture evolution in Spain, Murcia and Andalucía during the last 10 years. Its estimation and analysis allows us to identify the most important characteristics of this process: first, the diffusion of organic agriculture is mainly determined by imitation effect. Second, and considering the available data, the process seems to reach its inflexion point in 1998 in our country.

The knowledge of the way this diffusion process takes place can be very useful for the planning and performance of agricultural policies addressed to overcome certain barriers that organic agriculture still has for its establishment.

KEYWORDS: Organic Agriculture, diffusion models, Spain, innovations.