

# EVALUACIÓN DE UN SEGURO AGRARIO MEDIANTE OPCIONES REALES\*

*SALOMON AGUADO MANZANARES*

*ALBERTO GARRIDO COLMENERO*

*Universidad Politécnica de Madrid*

En este estudio se aplica la teoría de opciones reales para valorar, desde la óptica del productor, un seguro de rentas contra la caída de los precios de patata en origen. Este seguro fue ofrecido en cinco provincias españolas en 2003 y 2004. Se trata de un seguro índice que no toma como referencia el precio de venta del suscriptor del seguro, sino un índice de precios de patata en el que figuran diversos mercados nacionales e internacionales. Al estar totalmente desligado de los resultados de la explotación que contrata el seguro, sus características lo hacen asimilable a una opción de venta. Los resultados muestran que el seguro es poco atractivo para los productores de patata. El carácter cíclico inter-anual de los precios en origen de patata plantea dificultades para fijar las primas del seguro sobre una base actuarial y que resulten atractivas a los productores. Ello podría explicar la débil acogida que ha tenido el seguro. Otra razón es el riesgo básico existente entre el índice y el precio de venta real.

*Palabras clave:* Opciones reales, seguros agrarios, opciones asiáticas, evaluación de proyectos.

*Clasificación JEL:* Q-13, Q-14, G-22, G-13.

**E**l objetivo del presente artículo es evaluar mediante la teoría de las opciones reales el “Seguro de Ingresos en Patata”, e investigar su potencialidad como herramienta de análisis para el estudio de pólizas de seguros agrarios. Para ello debemos de considerar la idoneidad de los modelos de valoración de opciones, elegir aquel que mejor se ajusta al diseño del seguro, y tratar de obtener los parámetros necesarios para su aplicación.

Los modelos clásicos para la valoración de proyectos de inversión plantean algunas dificultades cuando existe incertidumbre, bien por la cuantía de los flujos de caja, los escenarios futuros, la verosimilitud de las previsiones o la volatilidad

---

(\*) Este trabajo ha sido financiado con proyectos de investigación suscritos con la Entidad Estatal de Seguros Agrarios (ENESA) dependiente del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) y con la Agrupación Española de Entidades Aseguradoras de los Seguros Agrarios Combinados, S.A. (AGROSEGURO, S.A.) y con el apoyo del Programa Nacional de Formación de Profesorado Universitario (FPU) del Ministerio de Educación y Ciencia (MEC).

de las variables clave. Esto ha llevado a numerosos autores a cuestionar la idoneidad de los tradicionales instrumentos de valoración, como son el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) o el período de recuperación (*Pay-Back*), cuando la incertidumbre es el factor fundamental a la hora de determinar la viabilidad de un proyecto (Damodaran, 1997; García Machado, 2001; Mascareñas Pérez-Iñigo *et al.*, 2004).

De la necesidad de valorar inversiones en situaciones de incertidumbre surge el enfoque de las opciones reales como una nueva filosofía para afrontar la evaluación de un proyecto y para la toma de decisiones estratégicas (Amram y Kulatilaka, 2000). También permite obtener valoraciones sobre decisiones que pueden adoptarse a lo largo del tiempo, o que planteen interdependencias entre variables clave en el transcurso del tiempo (Trigeorgis, 1988).

Inicialmente, se reveló conveniente para valorar empresas pertenecientes a sectores muy dinámicos, poco estables o en constante cambio. Su aplicación, tanto para la toma de decisiones, como para valoración de proyectos que llevan asociados costes u oportunidades difícilmente incorporables a otros instrumentos, posponer una inversión, abandonar un proyecto, ampliar la producción de una fábrica, entre otros, han logrado su aplicación a multitud de campos y, por tanto, su generalización. A modo de ejemplo se puede citar su empleo para empresas de nuevas tecnologías (Bolsa de Madrid, 2000; Mascareñas Pérez-Iñigo, 2001; Fernández, 2002), la industria aeronáutica (Lamothe Fernández y Otero Rodríguez, 2003), el sector farmacéutico (Piñeiro Groba y León Valle, 2004) o valoración de licencias de telefonía UMTS (López Lubián, 2005).

En el año 2003 se realizó en España la primera experiencia de seguro de rentas para los agricultores, incluyendo el “Seguro de Ingresos en Patata” en el Plan de Aseguramiento del MAPA en 2003 y en 2004. El objetivo del seguro es cubrir la caída de los precios en origen de la patata de media estación y tardía. La acogida de este seguro en esos dos años ha sido reducida (Estavillo Dorado *et al.*, 2006).

El diseño de este seguro obedece al esquema de ‘seguros indexados’. Este tipo de seguros se basa en la elaboración de un indicador de precios que, en supuesta correlación con los resultados del asegurado, permite aproximar la cuantía de los daños y fijar primas con base a información completamente ajena a los resultados o conducta del asegurado. En el caso del seguro de la patata, no es el precio de venta del suscriptor del seguro la variable que determina la indemnización, sino un índice de precios representativo de cada variedad y provincia. El productor está siempre interesado en buscar el mejor precio para su producción, ya que la protección que le otorga el seguro es independiente de su precio de venta. De esta forma, el seguro de precios de la patata se asemeja conceptualmente a una opción de venta. Pero además, por ser indexado, se puede analizar de forma totalmente independiente de la actividad productora objeto del riesgo, dado que el asegurado y su conducta no pueden influir en el resultado del seguro.

El presente artículo se estructura en seis apartados. En el siguiente se hace una breve referencia bibliográfica sobre la aplicación de la teoría de opciones reales en la agricultura. En el tercer apartado, se hace una descripción, características y contratación del Seguro de Ingresos en Patata. El cuarto apartado explica el marco de aplicación y los modelos de valoración aplicados. En el quinto se presentan los re-

sultados, se comentan las diferencias entre los supuestos de evaluación, resumiendo los resultados del análisis del riesgo básico del seguro. Finalmente, se describen los resultados obtenidos y se glosan las conclusiones para el estudio de este caso.

## 1. APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE LAS OPCIONES REALES A LA AGRICULTURA

La agricultura siempre ha ofrecido contextos propicios para el análisis de los contratos de futuros y opciones, que de hecho son el origen de los mercados de futuros que se remontan a la Edad Media. La literatura ofrece algunos ejemplos que muestran la rica diversidad de ámbitos en que pueden aplicarse las opciones reales. Moschini y Hennesy (2001) realizan un completo análisis sobre la incertidumbre, la aversión y la gestión al riesgo en la agricultura. Toscano Pardo (2004) aplica las opciones reales para evaluar tres proyectos alternativos a desarrollar sobre el suelo agrícola onubense, tales como la producción de madera para la industria de celulosa, una explotación fresera o un huerto de naranjos. Alonso Bonis *et al.* (2003) utilizan el modelo de opciones reales para determinar el momento óptimo de corte a una exploración forestal.

Saphores (2000) emplea el método para evaluar el umbral económico de aplicación de un tratamiento contra plagas, cuando la densidad de población es aleatoria. Dixit y Pindyck (1994) conciben la aplicación del tratamiento de plagas como una ‘opción real’. Koo y Wright (2000) aplican la metodología para el caso en que ha de decidirse si se realiza la caracterización de un material genético del que se presume la obtención de algún gen que desarrolla en plantas resistencia contra alguna plaga.

En un tratamiento teórico, Freeman y Zeitouni (2003) analizan las decisiones sobre protección ambiental en un contexto en el que existe incertidumbre sobre los procesos estocásticos que gobiernan los ecosistemas. Estos autores ofrecen una revisión extensa de la aplicación de la teoría de opciones reales sobre (1) la adopción de medidas para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> (Pindyck, 2000); (2) la valoración de la tierra (Coggins y Ramezati, 1998); (3) adopción de medidas para el ahorro de energía y reducción de emisiones de SO<sub>2</sub> en la agricultura.

Finalmente, un antecedente directo de este estudio es el trabajo de Turvey y Yin (2002), quienes emplean la teoría de opciones para evaluar, entre otros instrumentos de gestión del riesgo, pólizas de seguros de ingresos. Esta línea de aseguramiento se ofrece a productores de maíz y soja y explotaciones ganaderas de vacuno de Ontario (Canadá).

## 2. EL SEGURO DE INGRESOS EN PATATA

El 14 de marzo de 2003 se publicó en el Boletín Oficial del Estado número 63 la ORDEN APA/545/2003 de 6 de marzo<sup>1</sup>, mediante la cual se comercializó por primera vez en España la primera modalidad de un seguro de rentas bajo la

---

(1) Corrección de errores: ORDEN APA/727/2003 de 25 de marzo, BOE núm. 78 de 1 de abril de 2003.

denominación de “seguro de ingresos en patata”. Estavillo Dorado *et al.* (2005) explican el funcionamiento y las bases del seguro.

El Seguro de Ingresos en Patata está diseñado como un seguro que, conservando la cobertura de daños actualmente ofrecida en el seguro combinado, proporciona una garantía adicional frente a caídas de los precios en el mercado de origen de patata. Fue concebido, por tanto, como un seguro opcional al seguro de daños de la patata que se venía ofreciendo en los planes de seguros de ejercicios anteriores.

Las primas para la contingencia objeto de la garantía de precios se estimaron independientemente de las coberturas de daños, ya que, en principio, no hay evidencia de que ambos riesgos sean covariantes. Esto permite analizar y considerar a este seguro de forma totalmente independiente de la actividad productora objeto del riesgo. Dado que el asegurado y su conducta no pueden influir en el resultado del seguro se puede evaluar de forma independiente sin que exista interferencia entre las contingencias. La garantía de precios que cubre el seguro de ingresos está referida a dos precios: el precio garantizado, fijado por la Entidad Estatal de Seguro Agrarios (ENESA), y el Precio Final de Campaña (PFC).

En un seguro índice, la dificultad de su diseño radica en la definición del PFC ya que la utilización del precio de venta de cada agricultor conllevaría elevados riesgos actuariales. En EE.UU., Canadá y Reino Unido, que disponen de sistemas de aseguramiento de rentas o ingresos, utilizan las cotizaciones de los mercados de futuros o de otros mercados. En España, dada la ausencia de ese tipo de mercados se optó por un “Precio Índice” como referencia del mercado.

Los seguros índices no tienen costes de peritación, salvo los inherentes al seguimiento del precio de referencia, y evitan problemas de información asimétrica, impidiendo que el asegurado modifique su actitud ante el riesgo o actúe estratégicamente menoscabando la base actuarial del seguro. Sin embargo, su principal desventaja es que son susceptibles de incurrir en dos errores de relevancia para un seguro: primero, que el asegurado no cobre indemnización cuando ha sufrido un siniestro, y segundo, que un asegurado cobre una indemnización cuando no ha sufrido pérdidas. A pesar de ello, los seguros índice o paramétricos están teniendo un fuerte impulso promovido por organizaciones como el Banco Mundial o USAID (Skees *et al.*, 2001).

### 2.1. Características del Seguro

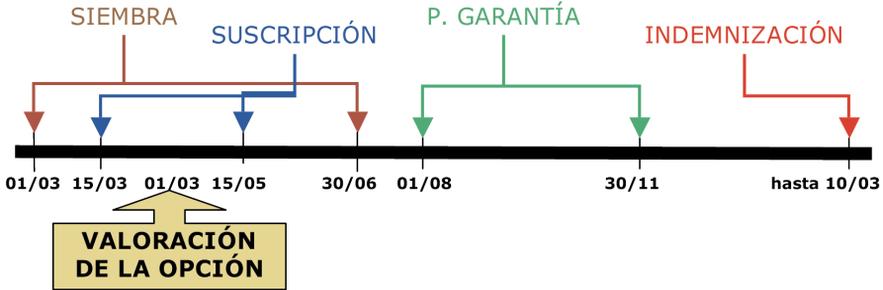
El seguro fue comercializado, durante las campañas 2003 y 2004, en la Comunidad Autónoma de La Rioja, y las provincias de Álava, Burgos, León y Valladolid. El seguro garantiza el precio de todas las variedades de patata de media estación y tardía, agrupándolas en tres categorías:

- Grupo 1 para las variedades Monalisa y Red Pontiac a 9,00 €/100 kg.
- Grupo 2 para las variedades Kénnebec y Spunta a 8,50 €/100 kg.
- Grupo 3 que recoge el resto de variedades a un precio de 7,00 €/100 kg.

En el gráfico 1 se reflejan las fechas relevantes del Seguro de Ingresos en Patata en el que se observan cuatro periodos diferenciados. En primer lugar, la siembra se realiza del 1 de marzo al 30 de junio dependiendo de la variedad. El período de suscripción del seguro se sitúa entre el 15 de marzo y el 15 mayo. El plazo

durante el cual están cubiertas las garantías es del 1 de agosto al 30 de noviembre, que coincide con el período para el cual durante el que se calcula el Precio Final de Campaña (PFC). Finalmente, si hubiera indemnización se procedería al pago de la misma antes del 10 de marzo.

Gráfico 1: CALENDARIO DEL SEGURO



Fuente: Elaboración propia.

El PFC es un precio agregado de las cotizaciones semanales de patata de los mercados nacionales e internaciones, en el que intervienen los calendarios de comercialización. Dichas cotizaciones semanales de patata se integran en el Precio de Referencia del Mercado (PRM)<sup>2</sup>.

$$PRM = a + b + c + (d \times p^{MER}) + (e^{ESP} \times p^{ESP}) + (e^{FRA} \times p^{FRA}) + (e^{POR} \times p^{POR}) + (f \times p^{FUT})$$

El PRM se calcula utilizando el anterior polinomio que se describe en la citada Orden Ministerial. Esta fórmula recoge el efecto provincial (a), varietal (b), así como el efecto temporal, reflejado por el mes (c), y la cotización de los cinco mercados de referencia: Precio Nacional en Origen ( $e^{ESP}$ -Precio Testigo del MAPA), Precio Nacional Mayorista (d-Precio de MERCASA de MITyC), Precio de Francia y Portugal ( $e^{FRA}$  y  $e^{POR}$ -Eurostat) y el precio de los futuros de Ámsterdam (f-Euronext.liffe).

De dicho polinomio se obtiene un precio semanal (denotado por PRM), que es agregado en un precio mensual en función del número de semanas del mes y que, ponderando las cotizaciones mensuales de cada variedad y provincia según los coeficientes obtenidos en aplicación de los calendarios de comercialización, integran el PFC. Si en alguno de sus pares de variedad-provincia este precio resultase inferior al garantizado, se procedería al pago de la indemnización cuya cuantía resultaría de la diferencia de precio multiplicado por el número de kilos de patata asegurada.

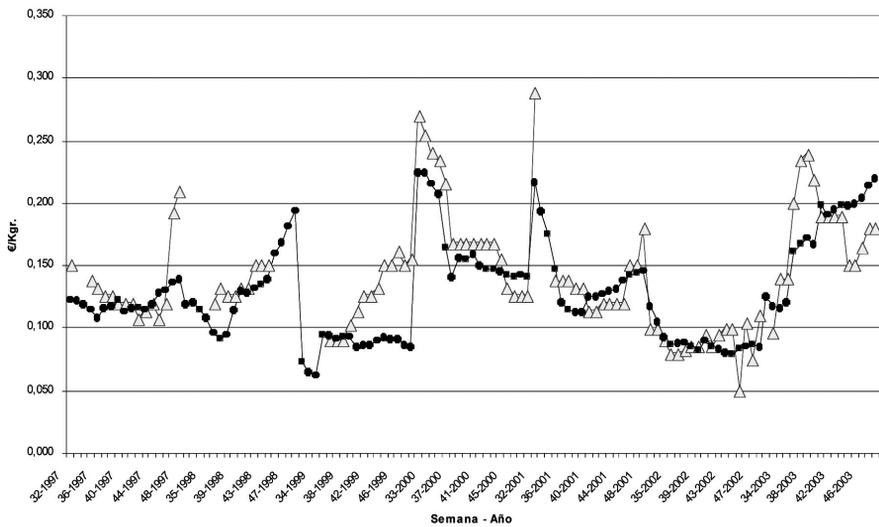
(2) Estavillo Doraro *et al.* (2006) detallan pormenorizadamente el funcionamiento del seguro.

## 2.2. Contratación del Seguro en las campañas 2003 y 2004

El seguro se comercializó en las citadas cinco provincias de forma experimental teniendo desigual aceptación. Durante el año 2003, tan sólo en las provincias castellano-leonesas hubo agricultores que contrataron el seguro en la nueva cobertura. Se aseguraron 166,45 ha y una producción total de 7.220.719 kgs. de patata de media estación y tardía, lo que indica un rendimiento medio<sup>3</sup> de 43.381 kg/ha. En el año 2004 la superficie asegurada fue aún menor, alcanzando 78,36 ha. y la producción se redujo un 55% hasta 3.269.251 kgs. En ambas campañas, la variedad Monalisa en Valladolid supuso el 60% de la producción total asegurada.

Tanto en la campaña 2003 como en la 2004, el Precio Final de Campaña fue superior al garantizado, por tanto no hubo siniestro ni indemnización. El gráfico 2 muestra que los precios durante el año 2003 fueron muy superiores a los de anteriores campañas.

Gráfico 2: EVOLUCIÓN DEL PRECIO DE LA PATATA.  
VARIEDAD: MONALISA – PROVINCIA: VALLADOLID (1997-2003)



—△— Datos del Ministerio de Agricultura    —●— Datos del Precio Índice de Referencia

Fuente: MAPA y elaboración propia.

(3) El asegurado determinará el rendimiento a consignar para cada parcela en la declaración de seguro. No obstante, tal rendimiento deberá ajustarse a las esperanzas reales de producción.

### 3. APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE OPCIONES REALES AL SEGURO DE INGRESOS EN PATATA

Todo seguro acarrea una opción real y, como tal, puede ser evaluada. El caso de los seguros agrarios no es distinto, el tomador del seguro suscribe un contrato de seguro y tras el pago de la prima, éste ha adquirido la opción de transferir el riesgo a la compañía aseguradora, la cual puede transferir parte o todo su riesgo a una reaseguradora. Efectivamente adquiere la opción porque una vez acaecido el siniestro el asegurado puede o no comunicarlo, y es en ese instante en el que ejerce la opción inherente al seguro. Evidentemente, llegado ese caso, siempre la ejercerá, pues el valor de la opción es mayor que cero.

#### 3.1. Marco de aplicación del seguro de ingresos en patata

Es necesario definir el marco de aplicación, fijando los parámetros determinantes y logrando un equilibrio entre la simplicidad del modelo y la obtención de unos resultados útiles y realistas (Amram y Kulatilaka, 2000). El proyecto ha de definirse de forma sencilla, pues de lo contrario se perdería el carácter operativo de la metodología (Toscano Pardo, 2004).

El ámbito de aplicación es el “Seguro de Ingresos en Patata”. Para ello se dispone de dos fuentes distintas de datos: la proporcionada por el MAPA, que recoge semanalmente los Precios de la Patata en Origen (PPO), por variedad y provincia, necesarios para la elaboración y diseño del seguro y el Precio de Referencia del Mercado.

Al aplicar la Teoría de Opciones Reales (TOR), el objetivo es obtener una regla de decisión que oriente sobre la idoneidad de contratar o no el seguro. Para ello, es necesario comparar el precio de la opción real inherente al seguro con el valor de la prima del seguro, una vez descontadas las subvenciones (véase cuadro 1). La conducta del tomador del seguro permanecerá invariable ante el riesgo, sin que, por tanto, varíe la gestión de su explotación agraria dependiendo de que esté o no asegurado.

La fuente de incertidumbre del seguro es el “Precio Final de Campaña” en las distintas variedades y provincias. El seguro comporta un riesgo básico que se materializa en una posible divergencia entre el índice y el precio observado por el MAPA, y entre este último y el realmente obtenido por el agricultor. En cuanto a la primera, Bielza Díaz-Caneja *et al.* (2007) confirman la presencia de un cierto riesgo básico, tras analizar la elección de instrumentos óptimos para la gestión de riesgo de un agricultor en el sector de la patata. Sin embargo, sobre la integración entre el precio del MAPA y el del productor, nada se puede decir pues no hay lonjas, ni mercados representativos de patata en España (Sumpsi Viñas *et al.*, 2003). El seguro utiliza la metodología propuesta por Frees, Young y Luo (1999), que integra la teoría de la credibilidad en la ciencia actuarial con los modelos de datos longitudinales, para establecer el modelo econométrico de los precios de la patata en origen (Estavillo Dorado *et al.* 2005).

Para valorar correctamente un proyecto de inversión, en nuestro caso la suscripción del “Seguro de Ingresos en Patata”, es necesario definir todos los componentes que lo integran. Tenemos, por un lado, el valor intrínseco del proyecto, y por otro el de la opción. Dado que se trata de un seguro, por definición, el flujo

neto de retornos es nulo, pues el coste o prima compensa la indemnización. El único factor a analizar es, por tanto, la opción inherente.

El tipo de opción real presente en el seguro de ingresos es del tipo “inversión-crecimiento” pues se trata de, tras pagar la prima, tener la facultad de vender la producción asegurada a un precio determinado, independientemente del ejercicio de la opción real, en el caso de que hubiese indemnización. La regla de decisión, que se ha de establecer para determinar la conveniencia de la contratación del seguro, vendrá determinada por su relación con el valor de la prima de la opción real, por lo que se recomendará la contratación del seguro cuando el valor de la opción sea superior al de la prima del seguro y al contrario cuando sea menor.

Cuadro 1: COSTE DEL SEGURO Y SUBVENCIONES. 2003-2004 (€UROS/ KGS.)

	Coste bruto	Dto. Cto. Colectivo (4%)	Subvención		Coste neto
			Enesa Máx. 49%	CC. AA (0% – 25 %)	
Álava	1,2663 €	0,0507 €	0,5957 €	– €	0,6200 €
Burgos	1,5625 €	0,0625 €	0,7350 €	0,3000 €	0,4650 €
León	1,8313 €	0,0733 €	0,8614 €	0,3516 €	0,5450 €
La Rioja	2,9647 €	0,1186 €	1,3946 €	0,7115 €	0,7400 €
Valladolid	0,6720 €	0,0269 €	0,3161 €	0,1290 €	0,2000 €

Datos facilitados por ENESA. Valores por 100 Kg.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Elección del modelo de valoración

El ejercicio de la opción inherente al seguro, es decir, que se produzca indemnización, no depende de la cotización al final del periodo de garantía, lo que equivaldría a una típica opción financiera (“normal”), sino que es fruto de la media ponderada del precio de referencia durante el período de garantía del seguro. Si, por simplificación, se considera que este precio es producto de una media aritmética, el seguro se asemeja al mecanismo de fijación del precio de ejercicio de las llamadas *opciones exóticas asiáticas de media aritmética*<sup>4</sup>. La opción real que comporta el seguro tiene vencimiento europeo porque sólo se podrá ejercer en

(4) Es conveniente significar que no existe un modelo de valoración que recoja perfectamente el efecto de la ponderación que en el precio de referencia del mercado se produce por efecto de los coeficientes de los calendarios de comercialización de la patata. Es por ello que lo más cercano es una media aritmética. Se podría articular algún mecanismo de compensación de este efecto, pero desvirtuaría la idea de utilizar las opciones reales como una metodología con vocación de ser aplicada por los propios agricultores u organizaciones de productores de frutas y hortalizas (OPFH).

una ocasión, y esto sucede al vencimiento. En este caso, es el 1 de marzo, que es la fecha elegida para el pago de la indemnización a la que el agricultor tendría derecho si el precio de referencia fuera inferior al precio mínimo garantizado. Las peculiares características del seguro hacen recomendable evitar los modelos clásicos de valoración de opciones.

Por tanto, dado que se asume que el “Seguro de Ingresos en Patata” se comporta como una opción exótica de tipo asiático de media aritmética con vencimiento europeo, y que no existe una fórmula precisa para la valoración de opciones asiáticas de media aritmética debemos acudir a sus aproximaciones. Existen varios métodos para aproximar las primas de las opciones asiáticas (Carrillo Menéndez, 1997). Según Lamothe Fernández y Otero Rodríguez (2003) hay trabajos que demuestran que el modelo de Levy (1992) es más preciso que el de Turnbull-Wakeman (Levy y Turnbull, 1992). Por tanto, se aplica el modelo de Levy (1992).

La aproximación del precio de la prima de una opción de compra (*call*) asiática de media aritmética tipo europeo es:

$$call \approx S_e N(d_1) - E^* e^{-rT_2} N(d_2) \quad [1]$$

aplicando la paridad *put-call* a [1], calculamos el precio de la opción de venta (*put*).

$$put \approx call - S_e + E^* e^{-rT_2}$$

Para obtener el precio de la opción es necesario el tipo de interés del activo libre de riesgo,  $r$ , y el tiempo sobre el que se calcula la media aritmética del subyacente,  $T_2$ , para implementarlo directamente en [1].  $S_e$  actúa en [1] como nuevo precio del activo subyacente, y se obtiene resolviendo  $S_e = S(e^{-qT_2} - e^{-rT_2}) / [(r - q)T]$ , para lo cual también se necesita el precio del activo subyacente,  $S$ , la tasa de dividendo del subyacente,  $q$ , y el tiempo a vencimiento de la opción,  $T$ .  $E^*$  hace las veces de nuevo precio de ejercicio:  $E^* = E - \bar{S}(T - T_2) / T$ , donde  $E$  es el precio de ejercicio y  $\bar{S}$  es la media aritmética del activo subyacente. El valor  $d_1$ , se obtiene aplicando  $d_1 = [0.5 \ln(L) - \ln(E^*)] / \sqrt{V}$ , mientras que  $d_2$  es  $d_2 = d_1 - \sqrt{V}$ . Para calcular éstos se necesita obtener los operadores  $V$ ,  $L$  y  $M$ , cuyos valores se determinan aplicando, respectivamente  $V = \ln(L) - 2[rT_2 + \ln(S_e)]$ ,  $L = M/T^2$  y  $M = [2S^2 / (r - q + \sigma^2)] * \left\{ e^{\left[ \frac{2(r-q) + \sigma^2}{2(r-q) + \sigma^2} \right] T_2 - 1} / 2(r-q) + \sigma^2 \right\} - [e^{(r-q)T_2} - 1 / (r-q)]$  donde  $\sigma$  es la volatilidad del activo subyacente.

### 3.3. Calibración de los parámetros

El precio del activo subyacente ( $S$ ) es el precio de la patata en origen en las distintas variedades que se aseguran. Para ello, se pueden tomar dos fuentes de datos: los datos originarios para diseñar el seguro, que representan el precio real de la patata en origen, o el índice que replica dicho precio. El Precio de la Patata en Origen (PPO) proviene de una base de datos gestionada por el MAPA. Recoge la cotización semanal de las distintas variedades de patata comercializada en cada provincia. Se dispone de datos desde 1992, si bien no de la serie histórica comple-

ta de todas las variedades-provincias. Esto es debido a que no todas las variedades se produjeron en todas las campañas durante el periodo analizado. El Precio de Referencia del Mercado (PRM) se construye con cinco referencias, a saber: el precio medio o precio testigo de patata semanal publicado por el MAPA, disponible desde 1992; el precio “todas variedades” de patata de los almacenes mayorista publicado por MERCASA; el precio mensual de la variedad 1361 “Main Crop Potatoes” publicado por la Oficina de Estadística Eurostat para Francia, serie disponible desde 1971 a 2003, y para Portugal, desde 1989 a 2004; y la media aritmética semanal de las cotizaciones diarias a cierre del mercado de Futuros de *Euronext.liffe* para el vencimiento de abril, serie desde 1996<sup>5</sup>.

Estavillo Dorado *et al.* (2005) establecen que el índice tiene un efecto alisante sobre el precio real (PPO) debido a que el índice se construye mediante una función lineal de los cinco precios ya mencionados (véase gráfico 2). La evaluación se centra en las variedades Monalisa, Red Pontiac (Grupo 1), Kénebec y Spunta (Grupo 2) para los precios de la patata en origen del MAPA en las provincias de Burgos, León y Valladolid. Para el caso del uso del Precio de Referencia del Mercado se analizan los tres grupos: Grupo 1 (Monalisa y Red Pontiac) y del Grupo 2 (Kénebec y Spunta) y Grupo 3 (Resto de variedades); en las cinco provincias.

En el momento de la contratación del seguro no hay cotizaciones de las variedades de interés para el análisis o están totalmente influenciados por la campaña de patata temprana. Ante esto se plantea como alternativa el precio de valoración de la cosecha en el momento de la suscripción de la póliza, que es el precio garantizado para las contingencias cubiertas por la garantía de daños del “Seguro Combinado y de Daños de Patata”, es decir, 12,00 €/100 kg.

El precio de ejercicio de la opción es el precio garantizado y depende de la variedad asegurada. Oscila entre 7,00 €/100 kg y 9,00 €/100 kg.

En el gráfico 1 se observan los plazos relativos a la posible contratación del seguro. El plazo de suscripción es el período en el que se realiza el análisis para la toma de una decisión. El vencimiento de la opción coincidirá con el pago de la indemnización del siniestro que, en caso de haberlo, se abonaría antes del 10 de marzo<sup>6</sup>. Para estandarizar los períodos se utiliza como fecha de valoración el 1 de mayo, y como vencimiento el 1 de marzo. De esta forma el tiempo hasta el vencimiento de la opción ( $T$ ) es de 10 meses. El tiempo sobre el que se calcula la media aritmética del subyacente ( $T_2$ ) es el periodo de garantía, en este caso 4 meses.

Como es evidente, en cuanto a los dividendos ( $q$ ) el subyacente no ofrece ningún tipo de flujo, por tanto, la tasa de dividendos del subyacente a computar para el modelo es 0%.

El tipo de interés del activo libre de riesgo ( $r$ ) utilizado para el cálculo de la opción es el tipo de interés marginal del Resultado de la subasta de Letras del Tesoro con vencimiento a 12 meses, de la subasta inmediatamente anterior a la fecha

(5) Los datos anteriores, desde 1992, han sido reconstruidos.

(6) Condiciones Especiales del Seguro de Ingresos en Patata, Cláusula 18ª: Cálculo de la Indemnización “...el pago de la indemnización se realizará a más tardar antes de que transcurran 100 días a contar desde el final de las garantías (último día de cotizaciones)”.

de valoración de la opción, es decir, 2,34% de la subasta del 23 de abril de 2003 para la campaña 2003 y 2,09% del 21 de abril de 2004 para la campaña 2004.

La volatilidad ( $\sigma$ ) es una medida del riesgo del activo subyacente que hace referencia a la “velocidad” de los movimientos de dicho activo (Mascareñas Pérez-Íñigo *et al.*, 2004). Existe abundante literatura relativa a la distribución de los precios agrarios. La observación de los precios sugiere una distribución positivamente sesgada, lo que da fundamento a la asunción de la distribución log-normal de los precios (Goodwin y Ker, 2002). Por ello, se asume como hipótesis de trabajo que son mercados eficientes, y que los precios siguen un paseo aleatorio (*random walk*), es decir, que la distribución de los rendimientos se aproxima a una distribución normal (Lamothe Fernández y Pérez Somalo, 2003). Por tanto, la desviación típica es la volatilidad del subyacente.

La filosofía de las opciones reales se basa en el uso del modelo de Black-Scholes, considerando la volatilidad constante para un período determinado. Se utiliza una aproximación a través de la volatilidad histórica, de acuerdo a los precios semanales, considerándolos “de cierre”, del subyacente; y de ahí la media y la varianza poblacional necesarias para calcular la volatilidad. Este enfoque es el más utilizado en los estudios académicos de los mercados de opciones y por los profesionales que negocian estos instrumentos (Lamothe Fernández y Pérez Somalo, 2004).

Tanto para obtener la media aritmética del subyacente ( $\bar{S}$ ) como la volatilidad ( $\sigma$ ) es necesario determinar el período para el cual se calcula dicha media. Al objeto de enriquecer el análisis y la sensibilidad de los resultados al supuesto clave de la duración del período se han previsto las siguientes alternativas:

- Todas las campañas disponibles, de la semana 32 a la 48, desde 1992 a 2002 y desde 1993 a 2003, para la campaña 2003 y 2004, respectivamente.
- La última campaña anterior, de la semana 32 a la 48 de 2002 ó 2003.
- La última temporada natural, entendiendo como tal desde agosto hasta marzo del año siguiente, de la semana 32 a la 13.

#### 4. RESULTADOS

Los datos disponibles permiten establecer varias alternativas para calcular la volatilidad y el precio medio del subyacente dependiendo del espacio temporal que utilicemos para estimar los parámetros. Como se ha explicado, existen dos fuentes de datos, por un lado, los Precios de la Patata en Origen (PPO), y por otro, el Precio de Referencia del Mercado (PRM).

En el cuadro 2 se presentan los resultados del valor de la opción real inherente al Seguro de Ingresos en Patata para el año 2003 utilizando PPO. Se muestran los resultados fruto de la combinación de los tres horizontes temporales planteados para el cálculo de los parámetros volatilidad y precio medio del subyacente, esto es, la campaña inmediatamente anterior (C02), la temporada inmediatamente anterior (T02) y las once campaña anteriores (C92-02) Se obtienen, por tanto, nueve escenarios posibles. Para las variedades Monalisa y Spunta en la provincia de León no existe ninguna prima pues no hay datos de precios disponibles. Ello podría estar motivado porque dichas variedades no se hayan cultivado o porque el

Cuadro 2: VALOR DE LA OPCIÓN REAL DEL SEGURO Y APLICACIÓN DE LA REGLA DE DECISIÓN.  
CAMPAÑA 2003 (BASE: PRECIO PATATA EN ORIGEN)

Horizonte Temporal del Cálculo de los parámetros														
Precio Medio	C02	T02	C92-02	C02	T02	C92-02	C02	T02	C92-02	C02	T02	C92-02	C02	Regla de Decisión
Volatilidad	C02	C02	C02	T02	T02	T02	C92-02	C92-02	C92-02	C92-02	C92-02	C92-02	%	SI NO
<i>Provincia</i>														
Burgos	Ml	0,6434	1,4681	0,0432	0,4365	1,2544	0,0082	0,2338	1,0662	0,0001	0,0001	0,0001	0,49	4 5
	Sp	2,2899	2,5131	0,6866	1,7733	1,9937	0,3451	1,3645	1,593	0,1132	0,1132	0,1132	-	7 2
	Ke	0,7467	1,4805	0,0026	1,1528	1,8535	0,0604	0,565	1,3525	0,0000	0,0000	0,0000	1,27	6 3
	Rp	1,4060	2,4769	0,0370	1,7743	2,9055	0,1022	1,3205	2,6487	0,0001	0,0001	0,0001	1,04	6 3
León	Ke	0,1232	0,9679	0,0000	0,2532	1,0745	0,0001	0,3608	1,1778	0,0016	0,0016	0,0016	-	3 6
	Rp	1,5562	2,3059	0,1082	1,3522	2,144	0,0334	1,3448	2,1388	0,0313	0,0313	0,0313	10,24	6 3
Valladolid	Ml	0,7005	0,6138	0,0073	0,3962	0,3291	0,0003	0,2098	0,1611	0,0000	0,0000	0,0000	65,87	5 4
	Sp	0,0104	0,0476	0,0000	0,0448	0,119	0,0000	0,0214	0,074	0,0000	0,0000	0,0000	1,26	0 9
	Rp	0,3825	0,3825	0,0016	0,3825	0,3825	0,0016	0,4518	0,4518	0,0048	0,0048	0,0048	-	6 3
Nota:	Regla de decisión:													
	C02: Campaña 2002													
	T02: Temporada 2002													
	C92-02: Campañas 1992-2002													
	MI: Monalisa													
	Sp: Spunta													
	Ke: Kénnebec													
	Rp: Red Pontiac													

Valores Euros por 100 kg. Datos de Contratación facilitados por ENESA.

Fuente: Elaboración propia.

MAPA no haya recogido precios en origen. Con respecto a Kénnebec en Valladolid no hay prácticamente datos disponibles<sup>7</sup>.

En el cuadro 3 se muestran los valores de la opción utilizando como base el PRM. En este caso se reducen los supuestos a dos porque, debido a que el índice sólo se calcula entre la semana 32 y 48, no ofrece ninguna información adicional utilizar otra referencia de carácter anual más allá de la campaña. Como se puede observar, los valores proyectados son sensiblemente inferiores a los obtenidos en el cuadro 2, motivado porque el uso del PRM alisa el efecto real de la cotización del PPO, como se puede apreciar en el gráfico 2 y demostraron Estavillo Dorado *et al.* (2005).

Para tomar una decisión sobre si es o no recomendable la suscripción del Seguro de Ingresos en Patata, se han de comparar los resultados de los valores de la opción real con el coste neto de la prima del seguro, considerando para ello el descuento y las subvenciones máximas que puedan obtener (cuadro 1). En los cuadros 2 y 3 se exponen los resultados de la Regla de Decisión establecida, para cada provincia y variedad o grupo de variedades. El analista debe recomendar al agricultor qué columna debe seleccionar según qué criterio elija como más adecuado sobre volatilidad ( $\sigma$ ) y precio medio del subyacente (S) para comprobar cuál es la decisión que debe tomar. Sólo en el cuadro 2 se recomienda la contratación del seguro cuando el valor de la opción es superior al valor de la prima del seguro. En el cuadro 3, al aplicar la regla de decisión utilizando el PRM el resultado siempre es el mismo: NO es recomendable suscribir el seguro. En ese caso la decisión es tajante y supone desaconsejar la contratación del seguro.

La aplicación de esta metodología para la campaña 2004 arroja resultados más evidentes, dado que existe una total dependencia del resultado de la campaña inmediatamente anterior, como se explica más adelante, y que durante la campaña de 2003 las cotizaciones fueron excepcionalmente elevadas, se obtiene un valor nulo<sup>8</sup> que se asimila a cero.

El cuadro 2 es reflejo de cierta ambigüedad sobre el interés del seguro en todas las variedades excepto Spunta-Valladolid para la cual no es recomendable el aseguramiento en ningún caso. La recomendación es dependiente de los supuestos empleados para calcular el precio medio del subyacente y la volatilidad. En general, si el subyacente utiliza como horizonte temporal para el precio medio todas las campañas disponibles (C92-02), no se recomendará contratar el seguro con independencia del tipo de volatilidad calculada, salvo una excepción Spunta-Burgos. Empleando los datos referido a la Campaña (C02) y a la Temporada (T02) anterior el seguro es recomendable para casi todas las variedades y cálculos de volatilidad. Estos resultados descansan lógicamente en el hecho de que la campaña y la temporada de 2002 se caracterizaron por la depresión de los mercados.

(7) Sólo hay 13 datos semanales disponibles del precio de patata en origen para toda la serie histórica: 1992-2003.

(8) Cuando el precio medio del subyacente es muy alto ocurre que:  $E < \bar{S} \frac{T - T_2}{T}$ , y entonces  $E^*$  es menor que cero, y por tanto  $\text{Ln}(E^*)$  nos ofrece un resultado nulo.

Cuadro 3: VALOR DE LA OPCIÓN REAL DEL SEGURO Y APLICACIÓN DE LA REGLA DE DECISIÓN.  
CAMPANA 2003. (BASE: PRECIO DE REFERENCIA DEL MERCADO)

Precio Medio	Volatilidad	Provincia		Camp. 92-02		Camp. 2002		Camp. 92-02		Camp. 2002		Contratación %	Regla de decisión	
				Camp. 2002	Camp. 92-02	Camp. 2002	Camp. 92-02	Camp. 2002	Camp. 92-02	SI	NO			
		Álava	G-1	0,0000	0,0247	0,0000	0,0644	-	0	0	9			
			G-2	0,0000	0,0126	0,0000	0,0418	-	0	0	9			
			G-3	0,0000	0,0026	0,0000	0,0168	-	0	0	9			
		Burgos	G-1	0,0000	0,0751	0,0001	0,1411	1,53	0	0	9			
			G-2	0,0000	0,0452	0,0000	0,1009	1,27	0	0	9			
			G-3	0,0000	0,0137	0,0000	0,0522	1,40	0	0	9			
		León	G-1	0,0000	0,1688	0,0007	0,2572	10,24	0	0	9			
			G-2	0,0000	0,1141	0,0004	0,1979	-	0	0	9			
			G-3	0,0000	0,0461	0,0002	0,1237	9,24	0	0	9			
		La Rioja	G-1	0,0000	0,1292	0,0003	0,2102	-	0	0	9			
			G-2	0,0000	0,0841	0,0001	0,1579	-	0	0	9			
			G-3	0,0000	0,0309	0,0001	0,0926	-	0	0	9			
		Valladolid	G-1	0,0000	0,0038	0,0000	0,0185	65,87	0	0	9			
			G-2	0,0000	0,0015	0,0000	0,0103	1,26	0	0	9			
			G-3	0,0000	0,0002	0,0000	0,0027	9,18	0	0	9			
Notación:														
Camp. 2002: semana 32 a 48														
Camp. 92-02: Campañas 1992-2002, de la semana 32 a 48.														
G-1: Grupo 1 (Monalisa y Red Pontiac)														
G-2: Grupo 2 (Kénnebec y Spunta)														
G-3: Grupo 3 (Resto de variedades)														

Valores Euros por 100 kg.  
Fuente: Elaboración propia.

De ello se deduce que tiene más poder discriminatorio el precio medio del subyacente que la volatilidad, salvo excepciones contadas. Ello demuestra que el seguro es atractivo de acuerdo con el ciclo de precios en el que se encuentre el sector en el momento de decidir suscribir el seguro.

El uso de los datos del año inmediatamente anterior a la fecha del cálculo de la opción real, ya sea utilizando el PPO o el PRM, puede plantear una visión parcial o incompleta del escenario real en el que se ha de valorar el seguro. El mercado de la patata en origen siempre se ha caracterizado por la variedad inter-anual. En el gráfico 2 se percibe este efecto en las cotizaciones para la variedad Monalisa de Valladolid. Las primas del seguro han sido calculadas en función de la información disponible desde 1992. Dicho gráfico muestra que los años de crisis, entendiéndose como tal que el precio medio se sitúe por debajo de los niveles garantizados en el condicionado de la póliza, se producen cada 3-4 años, debiéndose inferir que éste es el ciclo del mercado. Este es un factor fundamental y, a la hora de diseñar y de valorar el seguro, debe ser considerado.

Analizando la serie temporal disponible, de 1992 a 2003, se percibe la existencia de ciclos de 3-4 años: de 1992 a 1995, de 1996 a 1998 y de 1999 a 2001. Por tanto, en 2002 comienza el inicio del nuevo ciclo, considerando para ello que los ciclos los comienzan las “malas” campañas. Este efecto indica que el último año en el que el sector tuvo una situación de precios por debajo de lo garantizado<sup>9</sup> fue la campaña 2002, y que la anterior data de 1999. Como confirmación, se aplica la regla de decisión, utilizando como criterio temporal para la determinación de los parámetros la campaña (semana 32 a 48). En el cuadro 4 se presentan los resultados de aplicar la Regla de Decisión, utilizando PPO (Monalisa, Red Pontiac, Kénnebec y Spunta) y PRM (Grupo 1, Grupo 2 y Grupo 3). Se puede observar que sólo nos encontramos en condiciones de recomendar la contratación del seguro cuando en la campaña inmediatamente anterior se han producido una situación en la que, de estar implantado el seguro, se habría producido un siniestro indemnizable. Además se observa que cuando se utiliza el PRM mostrando un resultado afirmativo, el POP también resulta afirmativo. Sin embargo, esto no sucede en forma inversa corroborando que el PRM alisa el POP.

Que únicamente se recomiende cuando la campaña anterior se cataloga como “mala” obliga a hacer una reflexión sobre el modelo actuarial utilizado para el cálculo de las primas consistente en distribuir uniformemente todo el montante de las indemnizaciones teóricas, de los presuntos siniestros de los años 1992, 1996, 1999 y 2002, entre todas las campañas estudiadas. Esto supone cierto desequilibrio en el diseño actuarial del seguro al no estar todos los ciclos completos.

La serie histórica que se ha utilizado para establecer el modelo actuarial que subyace en el Seguro de Ingresos en Patata es desde 1992 hasta 2002. Dado que la campaña 2002 ha sido la utilizada para valorar la opción real del seguro y el precio medio del subyacente está influenciado por el hecho de que se trató de una “mala” campaña, habría de considerarse como alternativa para el cálculo de los parámetros

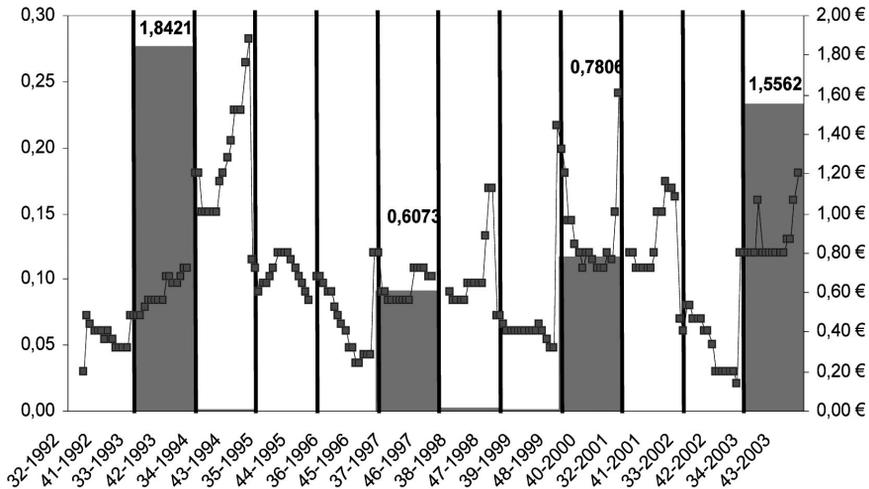
---

(9) El seguro está diseñado para cubrir los costes del productor y no, en modo alguno, para garantizar una renta que proporcione beneficios al asegurado en caso de siniestro.



aquella que incluya en el horizonte temporal el efecto cíclico. Esta circunstancia también debiera ser tomada en cuenta a la hora de diseñar el seguro, de forma que la prima sea constante durante ciclos completos y no en dientes de sierra como ocurre por la actualización anual de las primas con el horizonte temporal observado.

Gráfico 3: EVOLUCIÓN DEL PRECIO DE LA PATATA (KÉNNEBEC-BURGOS)  
Y VALOR TEÓRICO DE LA OPCIÓN REAL (1992-2003)



Fuente: MAPA y elaboración propia.

Tratando de precisar un poco más el análisis, el gráfico 3 representa el PPO para la variedad Kénnebec-Burgos recogido por el MAPA y el valor de la opción real del seguro de rentas para esa variedad y provincia. Las cifras situadas sobre las barras sombreadas representan los valores de la prima de opción de contratar el seguro en esas campañas. De las 12 campañas representadas, sólo en cuatro el valor de la opción es mayor que la prima del seguro y por tanto sería recomendable suscribirlo. Queda patente la conclusión de que el seguro sólo es recomendado tras la sucesión inmediata de campañas negativas.

Finalmente, en la idea de evaluar la magnitud del posible riesgo básico del modelo del seguro, se ha estimado para cada provincia y variedad, para las campañas 1992 a 2003, el siguiente modelo:

$$p_{\text{Origen}}^{it} = \alpha_i + \beta_i p_{\text{Ind}}^{it} + \varepsilon_i \quad \text{con} \quad \varepsilon_i \approx N(0, \sigma_i^2) \quad [2]$$

Donde  $p_{\text{Origen}}^{it}$  es el PPO para la variedad-provincia  $i$  y semana  $t$ ; y  $p_{\text{Ind}}^{it}$  es el PRM estimado por el modelo del seguro para el grupo correspondiente a la varie-

dad-provincia  $i$  y la semana  $t$ . Con nueve ecuaciones específicas para cada par provincia-variedad, se pretende evaluar cuál es la discrepancia existente entre la indemnización esperada aplicando directamente PPO, en lugar del PRM, y la indemnización esperada empleando  $\hat{p}_{Origen}^{it}$  como mejor estimador de  $p_{Origen}^{it}$  de acuerdo con el modelo [2]. Los resultados de la estimación del modelo [2] se recogen en el cuadro del Anexo.

Adicionalmente, interesa evaluar la probabilidad con que la indemnización sería mayor que cero, considerando que el ajuste de [2] está sujeto a un error del tipo  $\tilde{\varepsilon}_i \approx N(0, \hat{\sigma}_i^2)$ .

En el cuadro 5 se refleja el valor cierto de la indemnización si se empleara el PPO (indicado cada fila con 'PPO'), en lugar del PRM. La fila indicada con 'Modelo' muestra la indemnización esperada que se obtiene empleando  $\hat{p}_{Origen}^{it}$  según el modelo lineal [2]. Finalmente, mediante simulación Monte-Carlo se evalúa la probabilidad de que se produzca una indemnización, asumiendo que para cada semana  $t$  el precio en origen fuera  $\tilde{p}_{Origen}^{it} = \hat{p}_{Origen}^{it} + \tilde{\varepsilon}_i$ , donde el  $\tilde{\varepsilon}_i \approx N(0, \hat{\sigma}_i^2)$ , y empleando  $\tilde{p}_{Origen}^{it}$  como el precio semanal para el cálculo del seguro. Para cada caso, la probabilidad de que la indemnización sea mayor que cero se evalúa haciendo 5000 extracciones de  $\tilde{\varepsilon}_i$  mediante el generador de números aleatorios de @Risk con muestreo *latin hypercube* (Palisade, 2004).

De los 9 casos analizados, las probabilidades evaluadas son muy próximas a 0 o a 1 en 6 de los 9 casos. Mientras que los casos más sintomáticos de imprecisión son Bu-ML, Le-Rp, Va-ML, y Va-Sp (columnas (1), (5), (8) y (9)), los años en los que el error es más significativo son 1993, 1999 y 2002.

Efectivamente, y comenzando por los años, en 1993 se aprecia que los precios del MAPA asignarían una indemnización de 0.06€/100 kg a Le-Rp, mientras que empleando  $\hat{p}_{Origen}^{it}$  el PFC, que se obtendría tras hacer las ponderaciones, sería superior al garantizado por el seguro en 0,73 €/100 kg, por tanto sin derecho a indemnización. La probabilidad de que  $I > 0$  es 32,44%. La repercusión de esta imprecisión para un suscriptor de un seguro con 40 Tn/ha de rendimiento consiste en dejar de percibir una indemnización de 24 euros por hectárea (400 x 0.06).

En el año 1999, nos encontramos con errores de importancia en las columnas correspondientes a Bu-MI, Va-MI y Va-Sp. En los tres casos, el PPO no justificaría la existencia de un siniestro, mientras que el PRM sí lo hace y con probabilidades del 54% y 96% en el primer y segundo caso. Este es un ejemplo en el que el error favorece a los suscriptores del seguro; llegando a 532 €/ha con Bu-MI, que es una cifra apreciable. En los casos de Valladolid, con Va-MI la probabilidad  $I > 0$  es inferior al 1%, por tanto muy inapreciable, pero con Va-Sp la probabilidad de percibir 176 € (0.44 x 400) es del 96,5% según el modelo, cuando con el PPO no habría siniestro.

Finalmente, en el año 2002 se aprecian errores derivados de las probabilidades y también en la cuantía de la indemnización en todas las columnas excepto en la Le-Ke y en la Va-MI. En las demás, el PPO daría fundamento a una indemnización que duplica o triplica (casos de Bu-Rp, Bu-Sp y Va-Sp) la que se obtendría con el PRM estimado por el modelo. Además en dos casos, Bu-MI y Va-Sp, la probabilidad de que haya una indemnización es inferior al 50%. Así, mientras que el error del año 1999 favorece a los productores, el error potencial de la campaña 2002, favorece claramente a las aseguradoras, en cantidades que podrían alcanzar los 1200 €/ha.

**Cuadro 5: EVALUACIÓN DE INDEMNIZACIONES EN € POR 100 KG EMPLEANDO PPO Y EL PPO ESTIMADO POR EL MODELO (1) Y PROBABILIDADES DE QUE  $IND > 0$**

Campaña	Bu-ML (1)	Bu-Rp (2)	Bu-Ke (3)	Bu-Sp (4)	Le-Rp (5)	Le-Ke (6)	Va-ML (7)	Va-Rp (8)	Va-Sp (9)
1992	PPO		4,95		3,54	4,04			
	Modelo	3,97	3,94	3,94	4,47	4,45	3,07	3,07	3,05
	Pr(I>0)	1	1	1	1	1	1	1	1
1993	PPO	-0,62	-1,20		0,06	-0,74	-3,02	-0,12	-2,32
	Modelo	-1,62	-1,64	-1,64	-0,73	-0,75	-2,03	-2,03	-2,05
	Pr(I>0)	0	0	0,003	0,32	0,14	0	0,07	0
1994	PPO		-13,81		-10,35	-10,17			-12,13
	Modelo	-9,77	-9,79	-9,79	-8,84	-8,86	-10,21	-10,21	-10,23
	Pr(I>0)	0	0	0	0	0	0	0	0
1995	PPO	-1,70	-0,87	0,30	-1,54	-0,13			-1,64
	Modelo	-1,68	-1,70	-1,70	-1,50	-1,52	-3,01	-3,01	-3,03
	Pr(I>0)	0	0	0,0015	0,0007	0	0	0,0017	0
1996	PPO	2,29	3,09	3,09	2,63	2,19			0,87
	Modelo	2,17	2,15	2,15	1,94	1,91	0,27	0,27	0,25
	Pr(I>0)	0,996	1	1	1	1	0,0025	0,97	0,82
1997	PPO	-3,42	-3,85	-2,72	-0,69	-1,61	-4,38	-1,02	-3,52
	Modelo	-2,21	-2,23	-2,23	-1,60	-1,63	-3,07	-3,07	-3,09
	Pr(I>0)	0	0,0098	0	0	0	0	0,0013	0

Nota: Indemnizaciones en €/100 kg, si son mayores que cero; Pr(I > 0), probabilidad de que la indemnización sea mayor que cero con simulación Monte-Carlo sobre el modelo [2].

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 5: EVALUACIÓN DE INDEMNIZACIONES EN € POR 100 KG EMPLEANDO PPO Y EL PPO ESTIMADO POR EL MODELO (1) Y PROBABILIDADES DE QUE  $IND > 0$  (continuación)**

Campanía	Bu-ML (1)	Bu-Rp (2)	Bu-Ke (3)	Bu-Sp (4)	Le-Rp (5)	Le-Ke (6)	Va-ML (7)	Va-Rp (8)	Va-Sp (9)
1998									
PPO	-5,02		-5,66	-3,92	-1,59	-4,42	-4,56	-1,62	-2,45
Modelo	-3,63	-3,63	-3,65	-3,65	-2,40	-2,43	-3,79	-3,79	-3,82
Pr( $I > 0$ )	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1999									
PPO	-2,59	0,83	0,26	0,26	2,95	1,89	-3,62	0,89	-0,09
Modelo	1,33	1,33	1,30	1,30	1,83	1,80	0,46	0,46	0,44
Pr( $I > 0$ )	0,541	0,9994	1	1	1	1	0,008	0,99	0,9650
2000									
PPO	-4,75	-4,02	-2,12	-2,12	-4,15	-4,77	-8,54	-5,30	-8,63
Modelo	-6,01	-6,01	-6,03	-6,03	-6,07	-6,10	-7,84	-7,84	-7,86
Pr( $I > 0$ )	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2001									
PPO	-2,30	-3,62	-2,14	-2,08	-5,10	-1,88	-5,38	-7,31	-3,52
Modelo	-3,92	-3,92	-3,95	-3,95	-3,56	-3,59	-5,29	-5,29	-5,31
Pr( $I > 0$ )	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2002									
PPO	1,45	4,19	2,87	3,97	3,88	1,70	0,08	1,70	0,23
Modelo	1,23	1,23	1,21	1,21	1,58	1,56	0,06	0,06	0,04
Pr( $I > 0$ )	0,4324	0,9991	1	1	1	1	0,0005	0,9501	0,4926
2003									
PPO	-10,24	-5,63	-9,31	-11,02	-3,94	-4,34	-8,94	-6,00	-8,42
Modelo	-8,14	-8,14	-8,16	-8,16	-6,89	-6,91	-7,95	-7,95	-7,98
Pr( $I > 0$ )	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004									
PPO									
Modelo	-2,56	-2,56	-2,58	-2,58	-2,58	-2,60	-4,30	-4,30	-4,33
Pr( $I > 0$ )	0	0,0022	0	0	0	0	0	0	0

Nota: Indemnizaciones en €/100 kg, si son mayores que cero; Pr( $I > 0$ ), probabilidad de que la indemnización sea mayor que cero con simulación Monte-Carlo sobre el modelo [2].

Fuente: Elaboración propia.

En conclusión, el alisamiento de los precios que produce el modelo empleado en el seguro de precios provoca algunos errores de cierta importancia. Estos son a favor de los productores cuando los PPO están ligeramente por encima de los precios de garantía, año 1999, porque generan un siniestro cuando no lo hay; y muy a favor de las aseguradoras cuando los PPO en origen caen muy por debajo de los garantizados, situación en la que la indemnización que resulta es inferior a la que habría empleando el PPO. No olvidemos que para el cálculo de la indemnización sólo es relevante la cola de la izquierda de los precios. Por tanto si el modelo del seguro tiende a infravalorar la caída de los precios, aunque subestime la subida de los precios, los errores tenderán a favorecer a los aseguradores, ya que el error de las subidas no compensa el de las caídas a efectos de la indemnización. La contrapartida es que las primas podrían ser aún más caras si el precio de referencia reprodujera con mayor exactitud la magnitud de una crisis de precios. Hay que tener en cuenta que estos comentarios se fundamentan en la calidad del ajuste estadístico del modelo [2]. Y nuevamente hay que insistir en el supuesto de partida que es que el PPO es un buen indicador del precio real al que venden su producción los productores. Este supuesto no es testable, por no existir estos datos de venta.

## 5. CONCLUSIONES

De la necesidad de encontrar nuevos instrumentos de valoración de activos inmersos en entornos de incertidumbre surge la metodología de las opciones reales. Con la aplicación de la metodología *Black-Scholes*, la Teoría de Opciones Reales (TOR) plantea un nuevo enfoque, con respecto a los clásico VAN y TIR, en el que la incertidumbre ya no es un handicap, sino un aliciente para la valoración de activos contemplados en toda su extensión.

En este trabajo se reflexiona sobre la aplicabilidad de la moderna filosofía de valoración financiera de las Opciones Reales en un instrumento de gestión de riesgos en agricultura tan novedoso como el Seguro de Ingresos en Patata. Este seguro representa un hito en la dilatada historia del aseguramiento agrario en España pues supone la introducción de los seguros de rentas o ingresos, denominados de tercera generación. Dado que la evaluación no está basada en elementos subjetivos de difícil estimación, como el grado de aversión al riesgo, la TOR ofrece una nueva perspectiva sobre la que se puede informar sobre la decisión de los agricultores. Por otro lado, la TOR está especialmente indicada para evaluar instrumentos en contextos en los que los riesgos cambian en el tiempo y las decisiones han de tomarse en un marco temporal en el que las variables clave obedecen a procesos no estables. El seguro de rentas de la patata es un instrumento de gestión de riesgos con propiedades idóneas para ser evaluado mediante opciones reales. Esto es debido a que, al basarse en un seguro índice, hace posible la total separación entre la conducta del suscriptor del seguro y las posibilidades de percibir una indemnización. De esta forma, las estrategias productivas y de mercado del productor de patata se desarrollan en el ámbito de la explotación, mientras que los resultados del seguro de rentas dependen de un conjunto de mercados de patata de índole nacional o internacional.

A pesar de ser un contexto propicio, el seguro de rentas plantea problemas metodológicos de difícil solución práctica. La primera es que en la suscripción del seguro, momento en el que hay que aplicar la TOR, no existe mercado subyacente de patata de media estación y tardía. Esto imposibilita encontrar un activo de réplica (Copeland y Antikarov, 2001 citado por Mascareñas Pérez-Iñigo *et al.*, 2004), lo que podría invalidar su utilización. Sin embargo, según Mascareñas Pérez-Iñigo *et al.* (2004) es precisamente éste el argumento esgrimido por la mayoría de los autores: Copeland, Damodaran, Howell, Myers, Arnol y Schokley, entre otros, para la utilización de estos modelos y no para evitarlos. Puesto que se trata de replicar el seguro de ingresos en patata, se ha plantado como alternativa al precio en origen índice elaborado por el propio seguro como Precio de Referencia del Mercado. Por otro lado, el precio de la patata parece seguir ciclos de 3 ó 4 años de duración, provocando que los supuestos de partida sean determinantes a la hora de evaluar la idoneidad o el interés del seguro. En este estudio se ha planteado un amplio rango de supuestos sobre condiciones hipotéticas de subyacente y de volatilidad, no habiéndose encontrado ninguno de ellos que destaque por su robustez y capacidad de discriminación. Sin embargo, se ha evidenciado que el subyacente es más determinante que la volatilidad para recomendar la suscripción del seguro.

Con todas las cautelas derivadas de los supuestos, la aplicación de las opciones reales demuestra que el seguro de rentas de la patata sólo es interesante en las campañas que van inmediatamente precedidas de campañas de precios deprimidos. La inclusión del efecto cíclico en la valoración ofrece una perspectiva radicalmente distinta en la que las primas del seguro podrían estar sobrevaloradas, lo que desaconsejaría la suscripción del mismo. Este resultado plantea serias dudas sobre la técnica actuarial empleada en su diseño. En efecto, si las primas se evalúan empleando todas las campañas disponibles de precios en cada período aparecen primas en dientes de sierra, lo cual no es recomendable. Sería recomendable aplicar otros modelos actuariales para obtener la prima pura, pues el sistema utilizado es de los más básicos, siendo necesaria la aplicación de nuevas técnicas como la tarificación mediante credibilidad o a través de simulación Monte-Carlo.

Además de los problemas derivados de los ciclos de los precios de la patata, que el modelo del seguro no está recogiendo adecuadamente, se ha probado la existencia de un cierto riesgo básico entre el precio en origen del MAPA, considerado como indicador del precio de venta de los agricultores, y el precio de referencia del seguro. Se ha demostrado también que la naturaleza del error tiende a favorecer a los aseguradores, debido al efecto de alisamiento del modelo del seguro, provocando que las indemnizaciones en años críticos no sean tan cuantiosas como lo serían si el precio del MAPA fuera empleado para fijarlas.

La conclusión final de este trabajo incide en la necesidad de evaluar con mayor detalle los procesos cíclicos del precio de la patata y considerarlos en el diseño de los instrumentos de gestión del riesgo, ya sean de transferencia directa del riesgo, como son los seguros, o de transferencia indirecta como son los fondos o cuentas de estabilización. Esto permitiría un mejor alisamiento del flujo de rentas del cultivo, basado en aportes continuos de los suscriptores/tomadores y rescates / indemnizaciones en las situaciones de crisis.

ANEXO: ESTIMACIONES DEL MODELO [2] ( $p_{Origen}^i = \alpha_i + \beta_i p_{Ind}^i + \varepsilon_i$ )

	Bu-ML (1)	Bu-Rp (2)	Bu-Ke (3)	Bu-Sp (4)	Le-Rp (5)	Le-Ke (6)	Va-ML (7)	Va-Rp (8)	Va-Sp (9)
$\hat{\alpha}_i$	0,9** (0,07)	0,71** (0,08)	1,09** (0,047)	1,14** (0,067)	0,94** (0,053)	0,92** (0,002)	0,92** (0,093)	1,104** (0,19)	1,01** (0,046)
$\hat{\beta}_i$	0,17** (0,007)	0,02 (0,011)	-0,01 (0,004)	-0,021** (0,0073)	0 (0,005)	0,002 (0,005)	0,02* (0,011)	-0,02 (0,02)	0 (0,005)
n	178	38	101	77	189	134	105	62	164
$R_{aj}^2$	0,8373	0,689	0,90	0,8737	0,772	0,802	0,626	0,667	0,828
$\hat{\sigma}_{\varepsilon_i}$	175,62**	70,15**	533,3	285,63	310**	227**	96,3**	33,4	470
Test	0,00304	0,0046	0,0024	0,0032	0,0025	0,0025	0,0043	0,0074	0,0022
$H_0 : \begin{cases} \alpha_i = 0 \\ \beta_i = 1 \end{cases}$	Rech	Rech	Acep*	Rech	Rech	Rech	Rech	Rech	Rech

Nota: \*\*1%; \*10%.

Fuente: Elaboración propia.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso Bonis, S., Vallelado González, E. y Henriques Xavier, J.M. (2003): "Valoración y determinación del momento óptimo de corte de una explotación forestal. Aplicación del modelo de opciones reales", *XI Foro de Finanzas AEFIN*, Ref. 1062.
- Amran, M. y Kulatilaka, N. (2000): "Opciones Reales. Evaluación de inversiones en un mundo incierto", Barcelona, Gestión 2000.
- Bielza Díaz-Caneja, M., Garrido Colmenero, A. y Sumpsi Viñas, J.M.<sup>a</sup> (2007): "Finding optimal price risk management instruments: The case of Spanish Potato sector", *Agricultural Economics*, vol. 36, n.º 1, págs. 67-78.
- Bolsa de Madrid (2000): "Valoración de empresas tecnológicas mediante la teoría de opciones", *Jornadas del Institute International Research (IIR)*, n.º 88, Mayo, págs. 13-17.
- Carrillo Menéndez, S. (1997): "Valoración de opciones asiáticas de media aritmética y doble barrera", *Seminario de Matemática Financiera MEFF-UAM*.
- Coggins, J.S. y Ramezani, C.A. (1998): "An arbitrage-free approach to quasi-option value", *Journal of Environmental Economics and Management*, n.º 35, págs. 183-190.
- Copeland, T. y Antikarov, V. (2001): "Real Options: a practitioners guide", Nueva York, Texere.
- Damodaran, A. (1997): "Corporate Finance. Theory and Practice", Jonh Wiley & Sons, Nueva York.
- Dixit, A.K. y Pindyck, R.S. (1994): "Investment under uncertainty", Princeton University Press, Princeton.
- Estavillo Dorado, J., Aguado Manzanares, S., Bielza Díaz-Caneja, M.<sup>a</sup>, Garrido Colmenero, A. y Sumpsi Viñas, J.M.<sup>a</sup> (2005): "El nuevo seguro de rentas de la patata: una evaluación preliminar", *Revista de Economía Agraria y Recursos Naturales*, vol. 5, n.º 9, págs. 139-164.
- Fernández, P. (2002): "Valoración de opciones: problemas y errores", *Bolsa de Madrid*, n.º 106, Febrero, págs. 33-37.
- Freeman, S. y Zeitouni, N. (2003): "Optimal environmental development under differing stochastic regimes" en Wessler, J., Weikard, H.P. y Weaver, R.D. (eds.): *Risk and uncertainty in environmental and natural resource economics*, Cheltenham. Edward Elgar, págs. 39-58.
- Frees, E.W., Young, V.R. y Luo Y. (1999): "A longitudinal data analysis interpretation of credibility models", *Insurance: Mathematics and Economics*, n.º 24, págs. 229-247.
- García Machado, J.J. (2001): "Opciones Reales. Aplicaciones de la Teoría de Opciones a las finanzas empresariales", Pirámide, Madrid.
- Goodwin, B.K. y Ker, A.P. (2002): "Modeling Price and yield risk", en Just, R.E. y Pope, R.D. (eds.): *A comprehensive Assessment of de role of risk in U.S. Agriculture*, Norwell, Kluwer Academic Publishers, págs. 289-323.
- Koo, B. y Wrigth, B.D. (2000): "The optimal timing of evaluation of genebank accessions and the effects of biotechnology", *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 82, n.º 4, págs. 797-811.
- Lamothe Fernández, P. y Otero Rodríguez, J. (2003): "Garantías de valor residual en la industria aeronáutica: un enfoque de valoración basado en opciones reales", *Working Paper Centro Internacional Carlos V*, Serie: Banca y Finanzas, n.º 78.
- Lamothe Fernández, P. y Pérez Somalo, M. (2003): "Opciones financiera y productos estructurados", McGrawHill, Madrid.
- Levy, E. (1992): "Pricing European rate currency options", *Journal of International Money and Finance*, vol. 11, n.º 5, págs. 474-491.
- Levy, E. y Turnbull, S.M. (1992): "Average Intelligence", *Risk*, Febrero, págs. 53-59.

- López Lubián, F.J. (2005): "Xfera: ¿cuál es el precio justo? El caso de la cuarta licencia de UMTS", *Revista de Empresa*, n.º 13, Julio-Septiembre, págs. 110-125.
- Mascareñas Pérez-Iñigo, J.M. (2001): "Metodología de la valoración de las empresas de internet", *Harvard-Deusto Finanzas y Contabilidad*, n.º 44, Noviembre-Diciembre, págs. 30-41.
- Mascareñas Pérez-Iñigo, J.M., Lamothe Fernández, P., López Lubián, F.J. y Luna Butz, W. de (2004): *Opciones reales y Valoración de Activos*, Pearson Educación, Madrid.
- Massot Martí, A. (2005): "Quo vadis PAC?: Una propuesta reformista a favor de una nueva política agro-rural común", *V Congreso de Economía Agraria AEEA*.
- Moschini, G. y Hennesy D.A. (2001): "Uncertainty, risk aversion and risk management for agricultural producers" en Gardner, B.L. y Rausser, G.C. (eds.), *Handbook of agricultural economics: Agricultural productions*, Ámsterdam, Elsevier, págs. 87-153.
- Palisade (2004): *@Risk. Risk Analysis and Simulation Add-in for Microsoft Excel*, Newfield, Nueva York.
- Pindyck, R.S. (2000): "Irreversibilities and the timing of environmental policy", *Resource and Energy Economic*, n.º 22, págs. 233-259.
- Piñeiro Groba, D. y León Valle, Á. (2004): "Pharmamar: una aplicación de la teoría de opciones reales a la valoración de empresas farmacéuticas", *Bolsa de Madrid*, n.º 133, págs. 66-68.
- Saphores, J.-D.M. (2000): "The economic threshold with a stochastic pest population: A real options approach", *American Journal Agricultural Economics*, n.º 82, Agosto, págs. 541-555.
- Skees, J., Varangis, P., Lester, R., Gober, S. y Kalavakonda, V. (2001): "Developing rainfall based index insurance in Morocco", *Policy Research Working Paper 25777*, The World Bank.
- Sumpsi Viñas, J.M.<sup>a</sup>, Garrido Colmenero, A., Bielza Díaz-Caneja, M.<sup>a</sup>, Estavillo Dorado, J., Ambrosio Flores, L., Navas Moreno, N. y Aguado Manzanares, S. (2003): "Estudio de viabilidad de un seguro de precios en el sector de la patata. Informe de Síntesis", *Estudio para la Entidad Estatal de Seguros Agrarios (ENESA)*.
- Toscano Pardo, D. (2004): "Valoración de inversiones a través del enfoque de las opciones reales. Aplicación a la industria de celulosa onubense", Tesis Doctoral, Universidad de Huelva.
- Trigeorgis, L. (1998): *Real Options: Managerial flexibility and strategy in resource allocation*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Turvey, C.G. y Yin, S. (2002): "On the pricing of cross currency futures options for Canadian grains and livestock", *Canadian Journal of Agricultural Economics*, n.º 50, págs. 317-332.

Fecha de recepción del original: mayo, 2005

Versión final: marzo, 2007

ABSTRACT

In this study we use the real options theory to assess a new potato price insurance policy from the growers' perspective. This policy was offered in five Spanish provinces in 2003 and 2004. It was designed as a 'parametric' insurance that does not take into account the insurance subscriber's sale price. It is based on a potato price index composed of national and international market prices. As it is completely unconnected with the grower's economic results, the insurance policy is similar to a put option contract. Our results show that the policy is not very appealing to growers. The inter-annual cyclical pattern of the growers' prices is troublesome for setting policy premiums that are both actuarially sound and attractive to the growers. This would explain why very few farmers contracted a price insurance policy. Another reason is the identified basis risk between the index and the actual sale price.

*Key words:* Real options, agricultural insurance, asiatic options, project evaluations.

*JEL classification:* Q-13, Q-14, G-22, G-13.