

LA UTILIDAD DE LAS OPCIONES REALES PARA VALORAR INVERSIONES EN EL SECTOR PESQUERO: APLICACIÓN A LA PESQUERÍA DE MERLUZA (*Merluccius spp.*)

THE USEFULNESS OF REAL OPTIONS TO ASSESS FISHERIES INVESTMENTS: APPLICATION TO THE FISHERY OF HAKE (*Merluccius spp.*)

Rebeca García-Ramos*, Belén Díaz-Díaz, Ladislao Luna-Sotorrío

Departamento de Administración de Empresas. Universidad de Cantabria (España). Avenida de los Castros s/n. 39005 Santander, Cantabria, España. (garciarr@unican.es).

RESUMEN

El grado alto de incertidumbre inherente al precio de los recursos pesqueros y la inversión para iniciar la actividad en el sector muestran que las empresas pesqueras necesitan un instrumento de valoración de la viabilidad de cada proyecto que les permita tomar decisiones adecuadas de inversión. La Teoría de Opciones Reales permite valorar la flexibilidad en las decisiones e incluir la posibilidad de abandono temporal de la actividad pesquera si las condiciones de precio no son favorables. En este estudio se aplicó la Teoría de Opciones Reales a la valoración económica de una inversión para la compra de buques destinados a la explotación de la pesquería de merluza (*Merluccius spp.*) del Puerto de Santander (España). El valor a través de opciones reales fue mayor al del método tradicional, aceptando por lo tanto la decisión de inversión, que con el segundo método se hubiera rechazado. Este resultado se mantuvo tras los análisis de sensibilidad desarrollados, que consideraron variaciones en la volatilidad del precio del recurso, en el tipo de interés sin riesgo y en la tasa de conveniencia. Además, el valor de la inversión incluyendo la opción de abandono temporal de la actividad se ajustó mejor al valor real observado a posteriori. En particular, el valor de la opción de abandono temporal de la actividad supuso un valor adicional de 42.4 % de los flujos de caja generados por la explotación de la misma. El estudio mostró la necesidad de aplicar opciones reales para la valoración adecuada de proyectos de inversión relacionados con este sector.

Palabras clave: Recursos naturales renovables, pesca, *Merluccius spp.*, inversión, valor actual neto, opciones reales.

ABSTRACT

The high degree of uncertainty inherent to the price of the fishing resources and the investment to initiate the activity in the sector show that fisheries need an instrument of valuation of the viability of each project that helps them make adequate investment decisions. The Real Options Valuation helps value the flexibility in decisions and include the possibility of the temporary abandonment of the fishing activity if the price conditions are not favorable. This study applied the Real Options Valuation on the economic valuation of an investment for the purchase of ships for hake fishing (*Merluccius spp.*) in the port of Santander (Spain). The value through real options turned out to be higher than the value through the traditional method, therefore accepting the decision to invest, which would have been rejected using the second method. This result was maintained after the sensitivity analyses developed, which considered variations in the volatility of the price of the resource, in the risk-free interest rate and in the convenience fee. Also, the value of the investment, including the option of the temporary abandonment of the activity was adjusted to a greater degree to the real value observed later on. In particular, the value of the option of abandoning the activity temporarily implied an additional value of 42.4 % of the cash flows generated by its use. This study showed the need to apply real options for the adequate valuation of investment projects related to this sector.

Palabras clave: Renewable natural resources, fishing, *Merluccius spp.*, investment, net present value, real options.

INTRODUCTION

The attention of economists on renewable natural resources is recent, and until the mid-20th Century, theoretical studied

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: julio, 2015. Aprobado: abril, 2016.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 50: 533-549. 2016.

INTRODUCCIÓN

La atención de los economistas en los recursos naturales renovables es reciente y hasta mediados del siglo XX los estudios teóricos se orientaban principalmente a los recursos no renovables ya que, dada la inmensidad y abundancia de los recursos renovables, predominaba la idea de que la acción del hombre sobre ellos era poco importante. Esta percepción empezó a cambiar después de la Segunda Guerra Mundial, por el desarrollo tecnológico elevado y el incremento en la presión sobre los recursos naturales renovables. Así, en la pesca, las innovaciones técnicas posibilitaron una movilidad mayor de los buques que, con el aumento de su radio de acción, también incrementó el esfuerzo pesquero sobre las poblaciones de peces, lo cual condujo a una situación de sobrepesca en gran parte de las pesquerías (Varela *et al.*, 2003).

La pesca desempeña una función relevante en las economías de algunos estados miembros de la UE, entre ellos España, pero la sobreexplotación en muchas poblaciones pesqueras hace que el sector pesquero enfrente un futuro incierto debido a la disminución de las capturas y la pérdida de rentabilidad del sector (Cordón y García, 2014).

Los avances científicos en el análisis económico de las pesquerías giran en torno a una serie de elementos agrupados en tres apartados: las condiciones institucionales, los condicionantes biológicos y los factores relacionados con la valoración económica (Varela y Garza, 2002). La decisión de aceptación o rechazo de un proyecto de inversión puede estar condicionada por la técnica empleada para su evaluación. Los modelos clásicos de valoración aportan una rigidez de cálculo tal que llegan a subestimar el valor de una inversión, ya que sólo consideran los flujos de fondos esperados si se acomete dicha inversión; sin embargo, no consideran los beneficios derivados de otros factores estratégicos fundamentales, como la propia flexibilidad operativa o el derecho a decidir según las circunstancias del mercado (Weston y Copeland, 1995; Brealey y Myers, 2006). En este sentido, el análisis de las oportunidades de inversión a partir de la teoría de opciones reales frente al enfoque tradicional de descuento de flujos de caja ha dado lugar a una nueva forma de entender la evaluación y selección de las inversiones empresariales. El reconocimiento de la flexibilidad y el carácter estratégico de las inversiones

focused mostly on non-renewable resources, since, given the intensity and abundance of renewable resources, there was a predominant idea of the action of humans on them was of little importance. This perception began to change after World War II, due to the high technological development and the increase in pressure on renewable natural resources. In this way, in fishing, the technological innovations brought about a greater mobility of vessels, which, with the increase in their radius of action, the efforts of fisheries on the fish populations also increased, leading to overfishing in most fisheries (Varela *et al.*, 2003).

Fishing plays a relevant part in the economies of some member states of the EU, including Spain, yet overfishing in many fishing populations makes the fishing sector face an uncertain future as a consequence of the reductions in the capture and loss in profitability of the sector (Cordón and García, 2014).

The scientific progress in the economic analysis of fisheries revolve around a series of elements grouped into three sections: institutional conditions, biological conditions, and factors related to economic valuations (Varela and Garza, 2002). The acceptance or rejection of an investment project may be conditioned by the technique used for its evaluation. The classic valuation models provide a rigidity in calculation such that they underestimate the value of an investment, since they only consider the expected cash if such an investment is undertaken; however, it does not consider the benefits derived from other strategically fundamental factors, such as the operational flexibility or the right to decide according to the circumstances of the market (Weston and Copeland, 1995; Brealey and Myers, 2006). In this sense, the analysis of the investment from the Real Options Valuation faced with the traditional approach of cash flow discounts has given rise to a new way of understanding the evaluation and selection of business investments. Acknowledging the flexibility and the strategic side of the investments that characterizes the focus of real options helps overcome, to a great extent, the limitations of the criterion of the net present value (NPV), used in business practices (Andrés *et al.*, 2006; Valencia-Sandoval *et al.*, 2010).

The methodology of real options to value renewable natural resources was applied by Engel

que caracteriza al enfoque de opciones reales permite superar, en gran medida, las limitaciones del criterio del valor actual neto (VAN), utilizado en la práctica empresarial (Andrés *et al.*, 2006; Valencia-Sandoval *et al.*, 2010).

La metodología de opciones reales para valorar recursos naturales renovables fue aplicada por Engel y Hyde (2003), Odening *et al.* (2005), Rocha *et al.* (2006) y Putri y Fujiwara (2014). En el caso de una pesquería, varios factores motivan la utilización de la Teoría de las Opciones Reales (Murillas y Chamorro, 2006; Fenichel *et al.*, 2008; Ewald *et al.*, 2015). En primer lugar, los costes de inversión en una pesquería son irreversibles, ya que suelen destinarse principalmente a la construcción o compra de barcos que no se pueden usar en otras actividades. En segundo lugar, las existencias y el precio del recurso pesquero están dotados de un grado alto de incertidumbre. Además, la decisión de inversión/explotación en una pesquería puede posponerse o detenerse.

La importancia pesquera de España, que ocupa el tercer lugar en la flota pesquera europea y el primero en capturas, pone de relieve la necesidad de valorar adecuadamente las inversiones relacionadas con la explotación de pesquerías en un contexto de incertidumbre, de reducción de capturas totales y de caída de las ayudas comunitarias a la pesca en España. Entre 1994 a 2012 hubo una caída aproximada de 46 % en el número de buques que disminuyó la capacidad de pesca en 40 % y un descenso de 30.2 % en las capturas totales de la flota española de 1994 a 2012 (Cordón y García, 2014). El importe de las ayudas comunitarias a la pesca en España se redujo 48.4 % desde el periodo de 2000 a 2006 al de 2007 a 2013.

A partir del alto grado de incertidumbre inherente al precio del recurso pesquero, y para dar respuesta a las inquietudes y necesidades de las empresas pesqueras e instituciones implicadas en la gestión de este recurso, el objetivo de este estudio fue poner a disposición de las empresas del sector y de la Administración un instrumento de valoración de la viabilidad de cada proyecto pesquero que les permita medir y juzgar su situación, a partir de la aplicación de la Teoría de Opciones Financieras a este sector. Este objetivo permitirá 1) facilitar la gestión de inversiones estratégicas en el sector pesquero incierto y cambiante y, 2) tomar decisiones con mayor flexibilidad sobre el momento idóneo para realizar una inversión o la posibilidad de abandonar el proyecto de inversión en plena realización para reducir las pérdidas.

and Hyde (2003), Odening *et al.* (2005), Rocha *et al.* (2006), and Putri and Fujiwara (2014). In the case of a fishery, several factors move the use of the Theory of Real Options (Murillas and Chamorro, 2006; Fenichel *et al.*, 2008; Ewald *et al.*, 2015). In the first place, the investment costs of a fishery are irreversible, since they are allocated mainly for the construction or purchase of ships that cannot be used in other activities. Secondly, the stock and the price of the fishing resource are highly uncertain. Likewise, the decision to invest/produce in a fishery can be postponed or stopped.

The importance of fishing for Spain, which is third place in terms of European fishing fleets, and first in captures, highlights the need to properly value the investments related to fisheries in the midst of uncertainty, reductions of total catches, and reductions in community aid for fishing in Spain. There was a decrease of about 46 % in the number of ships, between 1994 and 2012, which reduced the fishing capacity by 40 %, and a decrease of 30.2 % in total catches of the Spanish fleet between 1994 and 2012 (Cordón and García, 2014). The amount of community aid to the Spanish fishing industry fell by 48.4 % from the period of 2000 to 2006 to that of 2007 to 2013.

Considering the high levels of uncertainty inherent to the price of the fishery resource, and to respond to the concerns and needs of fishing businesses and institutions implied in the administration of this resource, the aim of this work was to offer the businesses of the sector and the administration an instrument with which to value the feasibility of each fishing project that may help them measure and judge their situation, with the use of the Theory of Financial Options in this sector. This objective will allow: 1) simplify the administration of strategic investments in a changing and uncertain fishing sector and, 2) make decisions with greater flexibility regarding the ideal moment to carry out an investment or the possibility of abandoning the investment project as it is being carried out, in order to reduce losses.

This study carried out a Real Options Valuation on the economic value of an investment aimed at hake fishing (*Merluccius* spp.) to respond to the objective. The investment to be valued consists in the purchase of three ships on December 31st, 2007 to be used for catching hake in the port of Santander, located in the region of Cantabria, North of Spain, for 7 years.

En este estudio se aplicó la Teoría de Opciones Reales a la valoración económica de una inversión destinada a la explotación de la pesquería de merluza (*Merluccius* spp.) para dar respuesta al objetivo planteado. La inversión a valorar consiste en la compra de buques el 31 de diciembre de 2007 para la explotación de la pesquería de merluza del Puerto de Santander, en la región de Cantabria, norte de España, durante los 7 años. De acuerdo con los datos del Instituto Cántabro de Estadística (ICANE), el Puerto de Santander representa 2 % de la pesca subastada en Cantabria (en valor). Para la merluza representa 88 % en cantidad y 85 % en valor. Las subastas de esta especie ascendieron a 4114 t, con un valor de 11 179 889.5 €, en el periodo de 2007 a 2014. Además, se observó un incremento en ese periodo del 42 % en cantidad y del 19 % en valor.

En este contexto de volatilidad el valor actual neto del proyecto, obtenido mediante la metodología tradicional de descuento de flujos de fondos, se comparó con el de la metodología de opciones reales, que incorpora flexibilidad de gestión a la evaluación del proyecto de inversión, y se concluye cual modelo se ajustó más a la realidad observada y, por lo tanto, sobre su validez para la toma de decisiones de inversión en el sector.

La opción analizada fue una de abandono temporal de la actividad, cuya importancia en industrias de recursos naturales, como las mineras o las pesqueras, fue analizado por Brennan y Schwartz (1985), McDonald y Siegel (1985, 1986), Trigeorgis y Mason (1987) y Pindyck (1988).

En este tipo de industrias es posible detener temporalmente la totalidad de la actividad cuando los ingresos obtenidos son insuficientes para hacer frente a los costes y de volver a producir cuando la situación se haya revertido. El análisis se puede extender a una serie de cierres y reaperturas según que el precio sea inferior, o superior, a los costes variables^[1].

According to data from the Cantabrian Institute of Statistics (Instituto Cántabro de Estadística - ICANE), the port of Santander accounts for 2 % of the fishing supplied in Cantabria (in value). For hake, it accounts for 88 % in amount and 85 % in value. The supplies of this species were 4 114 t, worth 11 179 889.5 €, between 2007 and 2014. An increase of 42 % was also observed in this period in terms of amount, and 19 % in value.

In this context of volatility the net present value of the project, obtained using the traditional methodology of cash flow discount, was compared with that of the methodology of real options, which includes flexibility in administration to the evaluation of the investment project, and the conclusion concerns which model best fit the observed reality, and therefore, the most valid model for making decisions regarding investment in the sector.

The option analyzed was that of temporarily abandoning the activity, the importance of which, in natural resource industries, such as mining or fishing, was analyzed by Brennan and Schwartz (1985), McDonald and Siegel (1985, 1986), Trigeorgis and Mason (1987), and Pindyck (1988).

In this type of industries it is possible to temporarily stop all activities when the income obtained is insufficient to cover costs, and resume production when the situation is restored. The analysis can extend to a series of closures and reopenings, depending on which cost is lower, or higher, to the variable costs^[1].

The possibility of extracting the fishery resource or temporarily abandoning the activity in a particular period has an analogy with a European call option (McDonald and Siegel, 1985). The ownership of a vessel and the corresponding rights for fishing give the shipowner the right to extract the resource (though not the obligation) incurring into a variable production cost (similar to the price of exercising the

¹ El reinicio de la actividad puede llevar costes de reapertura, por lo que el precio del recurso deberá superar los costes variables en cuantía suficiente para compensar asimismo los costes de reapertura y considerar recomendable la decisión de reiniciar la actividad. Sin embargo, incluso en el caso de abandono temporal de la actividad se estaría incurriendo en los costes fijos, siendo conveniente cesar temporalmente la actividad cuando los flujos de caja sean menores que los costes fijos o continuar la actividad con flujos de caja negativos si estos son más favorables que los costes fijos (Carrasco, 2014) ❖ ¹ The resumption of the activity can lead to reopening costs, therefore the price of the resource may have to surpass the variable costs by enough so as to compensate the costs of reopening and to considering recommendable to decide to resume activities. However, even in the case of temporarily abandoning the activity, there would be fixed costs, which would make it convenient to temporarily stop activities when the cash flow is lower than the fixed costs or to continue with the activity with negative cash flows if these are more favorable than the fixed costs (Carrasco, 2014).

La posibilidad de extraer el recurso pesquero o abandonar temporalmente la actividad en un determinado período guarda una analogía con una opción de compra europea (McDonald y Siegel, 1985). La posesión del buque y de los derechos de pesca correspondientes proporcionan al armador el derecho a extraer el recurso pesquero (pero no la obligación) incurriendo en un coste variable de producción (similar al precio de ejercicio de la opción), y recibir el precio de venta del recurso (similar al precio del activo subyacente). El armador no ejercerá su derecho de explotación si al vencimiento el precio de ejercicio es superior al precio del activo subyacente, o lo que es lo mismo, detendrá temporalmente la explotación pesquera si los costes variables de producción superan el precio de venta del recurso pesquero, y reiniciará la explotación cuando dichas condiciones cambien.

Como consecuencia, la hipótesis fue que la volatilidad del precio del recurso pesquero no hace atractiva la inversión, pero si se agrega flexibilidad al proceso de capturas, y se permite detener temporalmente las operaciones de la pesquería en condiciones adversas del precio, su reanudación cuando sea favorable hará rentable la inversión pesquera.

Este estudio permitirá ampliar la investigación sobre la aplicación de la Teoría de Opciones a la acuicultura (Ewald *et al.*, 2015), a la introducción de especies de peces en ciertos entornos (Fenichel, 2008), o a la modelización teórica de un sistema pesquero basado en cuotas individuales transferibles en un contexto de flexibilidad de gestión (Murillas, 2004), aplicándola al caso de la pesquería de merluza (*Merluccius spp.*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos

Para valorar proyectos reales de inversión se debe tener la información primaria que permita cuantificar las diferentes variables del modelo de valoración. En este estudio se usaron como fuentes de información: la Organización de Productores de Pesca de Altura de Cantabria (OPECA); la lonja de Santander y el Banco de España. Así, al partir de información real se simuló la inversión ficticia por parte de un armador.

La inversión particular a valorar consistió en la compra, en 2007, por un armador de cuatro embarcaciones volanteras, con sus licencias de pesca, para la captura de merluza en el período

option), and receiving the sale price of the resource (similar to the price of the underlying asset). The shipowner will not exercise its right of exploitation if at the time of expiry the cost of production is higher than the price of the underlying asset, or in other words, it will temporarily stop its activity if the variable production costs are higher than the sale price of the resource, and will resume catching when such conditions change.

As a consequence, the hypothesis was that the volatility of the price of fish does not make the investment attractive, but if it does give flexibility to the catching process, and operations can allowed to stop temporarily in adverse price conditions, its resumption when they are favorable will make the investment in fishing profitable.

This study will help broaden the investigation on the Theory of Options in aquaculture (Ewald *et al.*, 2015), in the introduction of fish species to new environments (Fenichel, 2008), or the theoretical modeling of a fishing system based on non-transferrable individual fees in a context of administration flexibility (Murillas, 2004), applying it to the case of hake (*Merluccius spp.*) fishing.

MATERIALS AND METHODS

Data

In order to value real investment projects, one must have the primary information that helps quantify the different variables of the valuation model. This study used the following as information sources: the Organization of Producers of Deep Sea Fishing of Cantabria (Organización de Productores de Pesca de Cantabria - OPECA); the fish auction hall of Santander (lonja de Santander), and the Bank of Spain (Banco de España). In this way, based on real information, it was possible to simulate a fictitious investment by a shipowner.

The particular investment up for valuation consisted in the purchase, in 2007, of four gillnet fishing vessels by a shipowner, with fishing licenses, for the capture of hake between 2008 and 2014. The initial payment was of 4 278 818 € (1 069 704.5 € per vessel).

The calculation of the variable costs of the use of an average gillnet fishing vessel of the port of Santander included independent professional services, transportation, premium and insurance, supplies (diesel, oil, phone, water, electricity), other services, other fees, wages and salaries, social security by the company, other financial expenses, purchase of goods

de 2008 a 2014. El desembolso inicial ascendió a 4 278 818 € (1 069 704.5 € por embarcación).

El cálculo de los costes variables de explotación de un barco volanero tipo del Puerto de Santander incluyó las partidas siguientes: servicios de profesionales independientes, transportes, primas y seguros, suministros (gasoil, aceite, telefonía, agua, luz), otros servicios, otros tributos, sueldos y salarios, seguridad social a cargo de la empresa, otros gastos financieros, compras de mercaderías (hielo, víveres, redes, cajas, efectos navales) y gastos en I+D+I. Según datos suministrados por la OPECA, los costes de explotación totales ascendieron en 2007 a 890 323.31 €, siendo el coste de explotación por kilogramo de merluza extraída 3.28 € kg⁻¹. La tasa de crecimiento media anual del coste de explotación durante los últimos cinco años fue 2.64 %. A partir de esta tasa de crecimiento, se estimaron los costes de explotación para el resto de ejercicios del período analizado.

En cuanto al precio del recurso pesquero, se tomó como precio de partida el precio medio en el año 2007 de las subastas realizadas en la lonja de Santander, que ascendió a 4.36 € kg⁻¹ y que, de acuerdo con las hipótesis del modelo de valoración de opciones, varió durante los años posteriores siguiendo un proceso browniano geométrico^[2].

El stock del recurso pesquero también se calculó tomando como referencia las capturas de merluza subastadas en la lonja de Santander, considerando como cantidad de captura por término medio para el periodo analizado la equivalente al valor medio observado de capturas durante los 7 años anteriores a la explotación del proyecto analizado. Teniendo en cuenta que la inversión planteada de adquisición de cuatro buques tendría, según sus derechos de pesca y su capacidad, la posibilidad de capturar un 60 % del total, se estableció un valor para la cantidad de recurso capturada de 359 012.4 kg.

La tasa libre de riesgo se consideró exógena con un valor de 3.50 %, que se corresponde con el tipo de interés medio de los bonos a 5 años emitidos por el gobierno español durante los cinco años previos al momento de la decisión de inversión analizada.

Métodos

La inversión a analizar se realizó en unas condiciones de incertidumbre sobre el precio del recurso pesquero. En cada uno de los j períodos de explotación del recurso, el armador adoptó una decisión contingente similar: decidir si extraer o

(ice, groceries, nets, boxes, naval effects) and expenses in RDI. According to data from OPECA, the total operation costs amounted to 890 323.31 € in 2007, with the final operation cost for every kilogram of hake fished being 3.28 € kg⁻¹. The average annual growth rate of the operation costs in the last five years was 2.64 %. Based on this growth rate, operation costs were calculated for the rest of the practices of the period analyzed.

Regarding the price of the fishery resource, the average price in 2007 of the auctions carried out in the fish auction hall of Santander was taken as a starting point; it amounted 4.36 € kg⁻¹ and according to the option valuation model hypotheses, it varied in the later years, following a Brownian geometric process^[2].

The stock of the fishery resource was also calculated, taking as a reference the hake catches auctioned in the fish auction hall of Santander, considering as the amount of catch as an average for the period analyzed the equivalent to the average value observed during the 7 years before the exploitation of the project analyzed. Considering that the investment presented of the acquisition of four vessels would have, depending on its fishing rights and its capacity, the possibility of catching 60 % of the total, a value was established for the amount of resource captured of 359 012.4 kg.

The risk-free rate was considered exogenous with a value of 3.50 %, which corresponds to the average interest rate of the five-year bonuses issued by the Spanish government during the five years before the decision of investment analyzed.

Methods

The investment to be analyzed was carried out under conditions of uncertainty regarding the price of the fishery resource. In each one of the j periods of exploitation of the resource, the shipowner made a similar contingent decision: to decide whether to extract the resource or not at the beginning of the j periods of exploitation, based on the changing economic and biological conditions, which influence on the price of the resource. The shipowner had, in each one of the j periods that the concession lasted, the right, but not the obligation, to extract the resource. This right has a value, known in financial literature as the option to *call*^[3].

The analysis included the formula by Black and Scholes (Black and Scholes, 1973 and Merton, 1973) (1). For each j period of exploitation, we obtained the value of the corresponding *call*, which takes into account the cash flow for each period, and also

² En función de la evidencia empírica que se posea, podrían tomarse otras funciones y procesos para el precio del recurso (Murillas, 2004), como procesos de Poisson o con saltos (Cox y Ross, 1975) o procesos de reversión a la media para el precio (Pyndyck, 1991). ❖ ² Based on the empirical evidence at hand, other functions and processes could be taken for the price of the resource (Murillas, 2004), such as Poisson processes or processes with jumps (Cox and Ross, 1975) or processes of reversion to the average for the price (Pyndyck, 1991).

no el recurso pesquero, al comienzo de cada uno de los j períodos de explotación, en función de las condiciones económicas y biológicas cambiantes que inciden sobre el precio del recurso. El armador tuvo, en cada uno de los j períodos que duró la concesión, el derecho, pero no la obligación, de extraer el recurso. Este derecho tiene un valor, conocido en la literatura financiera como opción *call*^[3].

El análisis incluyó la fórmula de Black y Scholes (Black y Scholes, 1973 y Merton, 1973) (1). Para cada j período de explotación, se obtuvo el valor de la correspondiente *call*, que considera el flujo de caja correspondiente al período, y también la opción de abandono temporal de la explotación del recurso:

$$call_j(j=T) = \{S \cdot N(d_{1j}) - E \cdot e^{-rj} \cdot N(d_{2j})\} \quad (1)$$

$$d_{1j} = \frac{\ln(S/E) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)j}{\sigma\sqrt{j}} \quad (2)$$

$$d_{2j} = \frac{\ln(S/E) + \left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)j}{\sigma\sqrt{j}} = d_{1j} - \sigma\sqrt{j} \quad (3)$$

donde, $N(\cdot)$ es la función de distribución de probabilidades acumulada de una variable normal con media cero y varianza uno, que resulta clave en esta valoración; T es el tiempo hasta el vencimiento (7 años, siendo el 31 de diciembre de 2007 el período en el cual se realizó la valoración de la producción futura); S es el precio del activo subyacente (precio del recurso pesquero); E es el precio de ejercicio en la fecha de vencimiento de la opción (costes variables de explotación); r es la tasa libre de riesgo; s es la volatilidad del precio del activo subyacente, medida como desviación estándar; j es cada uno de los momentos objeto de análisis; y e es la exponencial.

El cálculo de la volatilidad del precio del subyacente utilizó la fórmula de la volatilidad histórica que se expone a continuación (4), obteniéndose un valor de 8.31 %. Dada una muestra de " $m+1$ "^[4] precios anuales consecutivos de la merluza (S_j), la volatilidad anual es (Hull, 2002, p. 269):

$$\sigma = \sqrt{\left[\frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m \left(\ln \left(\frac{S_j}{S_{j-1}} \right) \right)^2 - \frac{1}{m(m-1)} \left(\sum_{j=1}^m \ln \left(\frac{S_j}{S_{j-1}} \right) \right)^2 \right]} \quad (4)$$

the option of temporarily abandoning the exploitation of the resource:

$$call_j(j=T) = \{S \cdot N(d_{1j}) - E \cdot e^{-rj} \cdot N(d_{2j})\} \quad (1)$$

$$d_{1j} = \frac{\ln(S/E) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)j}{\sigma\sqrt{j}} \quad (2)$$

$$d_{2j} = \frac{\ln(S/E) + \left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)j}{\sigma\sqrt{j}} = d_{1j} - \sigma\sqrt{j} \quad (3)$$

where $N(\cdot)$ is the function of distribution of probabilities accumulated from a normal variable with an average of zero and variance of one, which is key in this valuation; T is the time until expiry (7 years, with December 31st, 2007 as the date in which the valuation of future production was carried out); S is the price of the underlying asset (price of the fishery resource); E is the strike price on the date of expiry of the option (variable exploitation costs); r is the risk-free rate; s is the volatility of the price of the underlying asset, measured as a standard deviation; j is each of the moments under analysis; and e is the exponential.

The calculation of the volatility of the underlying asset used the formula of historical volatility shown below (4), obtaining a value of 8.31 %. Given a sample of " $m+1$ "^[4] consecutive annual prices for hake (S_j), annual volatility is (Hull, 2002, p. 269):

$$\sigma = \sqrt{\left[\frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m \left(\ln \left(\frac{S_j}{S_{j-1}} \right) \right)^2 - \frac{1}{m(m-1)} \left(\sum_{j=1}^m \ln \left(\frac{S_j}{S_{j-1}} \right) \right)^2 \right]} \quad (4)$$

The price in cash for the resource extracted, or output, S , was given by the following geometric Brownian process (5), as suggested by Hull (2009)^[5]:

$$\frac{dS}{S} = \mu dt + \sigma dz \quad (5)$$

where μ : expected value of the change in price of the resource; σ : volatility of the unexpected change in the price of the resource; dz : differential of a Gauss-Wiener or a Brownian process. This process is characterized by the following relation:

³ Por simplicidad, supusimos que no existen costes asociados a la suspensión temporal de las operaciones de captura de la pesquería. ❖
³ For simplicity purposes, we assumed there are no costs related to the temporary suspension of fishing operations.

El precio al contado del recurso extraído (output), S , se dio por el siguiente proceso browniano geométrico (5), como sugiere Hull (2009)^[5]:

$$\frac{dS}{S} = \mu dt + \sigma dz \quad (5)$$

donde μ es el valor esperado en el cambio del precio del recurso pesquero; σ es la volatilidad del cambio inesperado en el precio del recurso; dz : diferencial de un proceso de Gauss-Wiener o proceso browniano. Este proceso se caracteriza por la relación siguiente:

$$dz = \varepsilon dt, \text{ siendo } \varepsilon \sim N(0,1) \quad (6)$$

El valor en el momento actual de la explotación pesquera se obtuvo como suma de las j opciones *call* identificadas para el total de los j períodos de explotación (7):

$$\text{ValorExplotación} = \sum_{j=1}^{j=T} \text{call}_j \quad (7)$$

La diferencia entre cada una de las opciones reales estriba en su fecha de vencimiento ($j=1, 2, 3, \dots, T$), siendo el momento 1 el año 2008 y el momento T el año 2014. El valor de la explotación por unidad de recurso extraído se calculó con la ecuación (8) y el valor global de la explotación con la ecuación (9):

$$\text{ValorUnitario}_{j=0} = \left\{ S \cdot \sum_{j=1}^n N(d_{ij}) - E \cdot \sum_{j=1}^n e^{-rj} \cdot N(d_{1j} - \sigma\sqrt{j}) \right\} \quad (8)$$

$$\text{ValorGlobal}_{j=0} = h_j \left\{ S \cdot \sum_{j=1}^n N(d_{ij}) - E \cdot \sum_{j=1}^n e^{-rj} \cdot N(d_{1j} - \sigma\sqrt{j}) \right\} \quad (9)$$

siendo h_j la cantidad de recurso capturada.

El valor de la explotación así calculado (en términos unitarios y en términos globales) incluyó tanto el valor básico como el valor de la opción de abandono temporal de la actividad, que se reiniciaría cuando las condiciones del precio de la merluza fueran más favorables.

Al inicio, se consideró despreciable la tasa de conveniencia para valorar la decisión de inversión en el escenario planteado, es decir, que no existieron expectativas de escasez de recurso.

$$dz = \varepsilon dt, \varepsilon \text{ being } N(0,1) \quad (6)$$

The value in the current moment of the exploitation was obtained as the sum of the j call options identified for the total of the j periods of fishing (7):

$$\text{ExploitationValue} = \sum_{j=1}^{j=T} \text{call}_j \quad (7)$$

The difference between each of the real options described lies in their expiry dates ($j=1, 2, 3, \dots, T$), moment 1 being the year 2008, and moment T , the year 2014. The value of the exploitation per unit of output was calculated using equation (8) and the global value of the exploitation, using equation (9):

$$\text{UnitaryValue}_{j=0} = \left\{ S \cdot \sum_{j=1}^n N(d_{ij}) - E \cdot \sum_{j=1}^n e^{-rj} \cdot N(d_{1j} - \sigma\sqrt{j}) \right\} \quad (8)$$

$$\text{GlobalValue}_{j=0} = h_j \left\{ S \cdot \sum_{j=1}^n N(d_{ij}) - E \cdot \sum_{j=1}^n e^{-rj} \cdot N(d_{1j} - \sigma\sqrt{j}) \right\} \quad (9)$$

h_j being the amount resource extracted.

The value of the exploitation calculated in this way (per unit and in global terms) included both the basic value and the value of the option of temporary abandonment of the activity, which would resume when the conditions of the price of hake become more favorable.

At first, the convenience rate was negligible to value the decision of investing in the scenario presented, *i.e.*, there were no expectations regarding scarcity of the resource. Later, a sensitivity analysis was performed on the model to contrast the stability of the conclusions obtained, as well as the introduction of the convenience rate, which made it necessary to redefine the equation (1).

The convenience rate is a parameter that reflects the expectations in the market on the future availability of the resource^[6] (Murillas, 2004). When the resource stock is high, the convenience rate tends to be low. Likewise, the rate will increase with the expectations of scarcity.

The calculation of the values of the options, incorporating the effect of the convenience rate (k) made it necessary to redefine the expression (1) to the following:

⁴ m son los 8 años previos a la inversión. $\diamond^4 m$ are the eight years before the investment.

⁵ El proceso browniano para el precio del output ha sido validado mediante la construcción de intervalos de confianza al 95 % (Pérez Fernández, 2015). \diamond^5 The Brownian process for the price of the output has been validated with the construction of trust intervals at 95 % (Pérez Fernández, 2015).

Posteriormente, se realizó un análisis de sensibilidad del modelo para contrastar la estabilidad de las conclusiones obtenidas, así como la introducción de dicha tasa de conveniencia, lo que obligó a redefinir la ecuación (1).

La tasa de conveniencia es un parámetro que refleja las expectativas en el mercado sobre la disponibilidad futura del recurso pesquero^[6] (Murillas, 2004). Cuando el stock del recurso es alto, la tasa de conveniencia tiende a ser baja. Cuanto mayores sean las expectativas de escasez, mayor será dicha tasa.

El cálculo del valor de las opciones incorporando el efecto de las tasas de conveniencia (k) hizo necesario redefinir la expresión (1), quedando así:

$$call_t(j=T) = \{S.e^{-kj}N(d_{1j}) - E.e^{-rj}N(d_{2j})\} \quad (10)$$

$$d_{1j} = \frac{\ln(S/E) + \left(r - k + \frac{\sigma^2}{2}\right)j}{\sigma\sqrt{j}} \quad (11)$$

$$d_{2j} = \frac{\ln(S/E) + \left(r - k - \frac{\sigma^2}{2}\right)j}{\sigma\sqrt{j}} = d_{1j} - \sigma\sqrt{j} \quad (12)$$

donde, $N(\cdot)$ es la función de distribución de probabilidades acumulada de una variable normal con media cero y varianza uno; T es el tiempo hasta el vencimiento; S es el precio del activo subyacente (precio del recurso pesquero); E es el precio de ejercicio en la fecha de vencimiento de la opción (costes variables de explotación); k es a tasa de conveniencia; r es la tasa libre de riesgo; s es la volatilidad del precio del activo subyacente; j es cada uno de los momentos objeto de análisis y e es la exponencial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al considerar la oportunidad de explotar la pesquería de merluza del Puerto de Santander durante 7 años (hasta 2014), el valor de la explotación obtenido para diciembre de 2007, a través de la metodología

$$call_t(j=T) = \{S.e^{-kj}N(d_{1j}) - E.e^{-rj}N(d_{2j})\} \quad (10)$$

$$d_{1j} = \frac{\ln(S/E) + \left(r - k + \frac{\sigma^2}{2}\right)j}{\sigma\sqrt{j}} \quad (11)$$

$$d_{2j} = \frac{\ln(S/E) + \left(r - k - \frac{\sigma^2}{2}\right)j}{\sigma\sqrt{j}} = d_{1j} - \sigma\sqrt{j} \quad (12)$$

where $N(\cdot)$ is the function of accumulated distribution of probabilities of a normal variable with an average of zero and a variance of one; T is the time to expiry; S is the price of the underlying asset (price of the resource); E is the strike price on the date of expiry of the option (variable exploitation costs); k is the convenience rate; r is the risk-free rate; s is the volatility of the price of the underlying asset; j is each of the moments under analysis, and e is the exponential.

RESULTS AND DISCUSSION

When considering the opportunity of exploitation hake in the port of Santander for 7 years (until 2014), the value of the exploitation obtained for December 2007, using the methodology of real options, expressed in € kg^{-1} , presented continuous peaks and valleys throughout the period analyzed, reaching its highest values in the years 2009 and 2010, and its lowest in 2014. The total value of the fishery for the 7 years of concession 4 739 270.37 € (Table 1) and included the option of temporary abandonment of the fishery in each one of the j periods of exploitation and considered the volume of catches expected for this period by average, which was 359 t.

Using this information, the extended Net present value (NPV) was calculated for the investment project, which includes the option of temporarily abandoning the activity, considering the decision

⁶ Cuando el valor principal del bien, en nuestro caso el recurso pesquero, es su consumo y no su valor como inversión, los poseedores de los bienes de consumo disfrutan de ciertos beneficios que no tienen los poseedores de activos derivados sobre ellos. Piénsese, por ejemplo, en la posibilidad de usar el bien en momentos de restricciones serias de oferta (escasez del recurso, paros biológicos). Estos beneficios se suelen denominar "tasa de conveniencia" (Murillas, 2004). Véase Brennan y Schwartz, (1985), Cortazar y Schwartz, (1993) o Cortazar *et al.* (1998) para una ampliación sobre este concepto. ❖ ⁶ When the main value of the good, in this case, the fishery resource, is its consumption and not its value as an investment, the owners of the consumer goods enjoy certain benefits that the owners of assets derived on them do not have. For example, one could consider the possibility of using the good in moments of serious supply restrictions (scarcity of the resource, fishing bans). These benefits are known as "convenience yield" (Murillas, 2004). See Brennan and Schwartz, (1985), Cortazar and Schwartz, (1993) or Cortazar *et al.* (1998) for more on this concept.

de opciones reales, expresado en € kg⁻¹, presentó altibajos continuos a lo largo del período analizado, alcanzó su valor máximo en 2009 y 2010, y su valor más bajo en 2014. El valor total de la pesquería para los 7 años de concesión fue 4 739 270.37 € (Cuadro 1) e incorporó la opción de abandono temporal de la explotación pesquera en cada uno de los *j* períodos de explotación y consideró el volumen de capturas esperado para el período por término medio, que fue 359 t.

Con esta información se calculó el Valor Actual Neto (VAN) Ampliado del proyecto de inversión, que incorpora la opción de abandonar temporalmente la explotación, teniendo en cuenta la decisión de inversión a la que se enfrentó el armador en el 2007: invertir 4 278 818 € (*A*₀) en la compra de cuatro barcos volanteros, con sus correspondientes licencias de pesca, lo que otorgó la posibilidad de dedicarse a la pesca de merluza de 2008 a 2014.

$$\text{VAN Ampliado} = -A_0 + \text{Valor global de la explotación (con opción)} = -4\,278\,818 + 4\,739\,270.37 = 460\,452.37 \text{ €}$$

El VAN del proyecto, que incorpora la opción de abandonar temporalmente las operaciones en cada uno de los *j* períodos de explotación, tomó un valor positivo, por lo que fue rentable para el armador realizar la inversión.

of investment taken by the shipowner in 2007: investing 4 278 818 € (*A*₀) in the purchase of four gillnet fishing vessels, with the corresponding fishing licenses, which gave it the possibility to catch hake between 2008 and 2014.

$$\text{Extended NPV} = -A_0 + \text{Global value of the exploitation (with option)} = -4\,278\,818 + 4\,739\,270.37 = 460\,452.37 \text{ €}$$

The NPV of the project, which includes the option of abandoning operations temporarily in each of the *j* exploitation periods, acquired a positive value; therefore it was profitable for the shipowner to undertake the investment.

The value of the option and the traditional methods

The comparison of the value of the exploitation obtained with real options with the one obtained by traditional cash flow discount methods showed that the former was always above the latter, increasing the difference between both values as the expiry date increased (Table 1). This difference is explained by the value of the option of temporary abandonment included in the valuation by real options and ignored by the traditional valuation methods. That is to say that the highest value obtained for the exploitation

Cuadro 1. Cálculo del valor de la oportunidad de explotación de la pesquería de merluza con la metodología de opciones reales y descuento de flujos de fondos (método tradicional).

Table 1. Calculation of the value of the opportunity of exploitation of hake fishery using the methodology of real options and discounted cash flow (traditional method).

Año	Valor unitario (Opciones reales) (valor básico+valor de la opción)	Valor unitario (Método tradicional)	Valor de la opción de abandono temporal
	(€ kg ⁻¹)	(€ kg ⁻¹)	(€ kg ⁻¹)
2008	1.6660	1.5169	0.1491
2009	2.4672	2.1751	0.2921
2010	2.5055	2.0745	0.4310
2011	1.7089	1.1416	0.5673
2012	1.6916	0.9935	0.6981
2013	1.8723	1.0494	0.8229
2014	1.2893	0.3222	0.9670
	Valor global de la explotación con opción de abandono temporal		4 739 270.37
	Valor global de la explotación sin opción de abandono temporal		3 329 210.40

El valor de la opción y los métodos tradicionales

La comparación del valor de la explotación obtenido mediante opciones reales con el obtenido mediante los métodos tradicionales de descuento de flujos de fondos mostró que el primero se situó siempre encima del obtenido por los métodos tradicionales, aumentando la diferencia entre ambos valores al aumentar la fecha de expiración (Cuadro 1). Esta diferencia la explica el valor de la opción de abandono temporal, incluida en la valoración mediante opciones reales e ignorada por los métodos tradicionales de valoración. Es decir, el valor mayor obtenido para la explotación mediante opciones reales no significa que aumentara el deseo de explotar la pesquería, sino que dicho incremento en el valor de la oportunidad de explotar el recurso se debió a la posibilidad de abandonar temporalmente la explotación del mismo.

Los flujos de caja totales que generó el proyecto por el método tradicional sin incluir la opción de abandono temporal fueron 3 329 210.4 € (Cuadro 1), teniendo en cuenta el valor unitario (€ kg⁻¹ de merluza) de los flujos de caja descontados obtenidos para cada uno de los j períodos de explotación, así como las capturas de merluza en dicho período. El VAN del proyecto de inversión en este caso, considerando el desembolso al que se enfrentó el armador en el 2007 fue:

$$\begin{aligned} \text{VAN básico} &= -A_0 + \text{Valor global de la explotación} \\ & \text{(sin opción)} = -4\,278\,818 + 3\,329\,210.4 \\ & = -949\,607.6 \text{ €} \end{aligned}$$

Por tanto, atendiendo a la evaluación tradicional del proyecto, ante un VAN negativo el armador no habría invertido en la compra de las cuatro embarcaciones, mientras que aplicando la Teoría de Opciones Reales, sí que habría acometido dicha inversión.

El valor total se calculó para la opción de abandonar temporalmente la explotación de la pesquería de merluza, y fue la diferencia del valor actual neto ampliado menos el valor actual neto básico del proyecto de inversión. Así se pudo cuantificar el valor adicional que otorgó a las inversiones la valoración mediante opciones reales y, por lo tanto, el valor añadido de la flexibilidad (Cuadro 2):

by real options does not mean that the desire to exploit the fishery increased, but rather that the increase in the value of the opportunity of exploiting the resource was due to the possibility of abandoning it temporarily.

The total cash flows produced by the project by the traditional method, not including the option of temporary abandonment, was 3 329 210.4 € (Table 1), considering the value per unit (€ kg⁻¹ of hake) of the discounted cash flows obtained for each of the j exploitation periods, as well as the catch of hake in this period. The NPV of the investment project in this case, considering the payment made by the shipowner in 2007 was:

$$\begin{aligned} \text{Basic NPV} &= -A_0 + \text{Global value of the exploitation} \\ & \text{(without option)} = -4\,278\,818 + 3\,329\,210.4 \\ & = -949\,607.6 \text{ €} \end{aligned}$$

Therefore, in conformity with the traditional evaluation of the project, with a negative NPV the shipowner would not have invested in the purchase of the four vessels, whereas applying the Theory of real options, the shipowner would have undertaken such an investment.

The total value was estimated for the option of temporarily abandoning the hake fishing activity given by the difference between the extended net present value and the basic net present value of the investment project. Thus, the additional value given to the investments by the valuation by real options could be calculated, and therefore, the added value of flexibility (Table 2):

$$\begin{aligned} \text{Option Temporary Abandonment} \\ &= \text{Extended NPV} - \text{VAN básico} \\ &= 460\,452.37 - (-949\,607.58) = 1\,410\,060 \text{ €} \end{aligned}$$

The results showed that the option of temporarily abandoning hake fishing activities meant an additional value of 42.4 % of the cash flows generated by its exploitation. This value is extremely important, since its disregard could give way to the rejection of investment feasible projects if flexibility in its management is considered, and particularly the temporary suspension of activities. Analyzing each period, it was possible to notice that as the temporary horizon of the exploitation increased, the percentage representing the option of temporarily abandoning

$$\begin{aligned} & \text{Opción Abandono Temporal} \\ & = \text{VAN ampliado} - \text{VAN básico} \\ & = 460\,452.37 - (-949\,607.58) = 1\,410\,060 \text{ €} \end{aligned}$$

Los resultados mostraron que la opción de abandonar temporalmente la explotación de la pesquería de merluza supuso un valor adicional de 42.4 % de los flujos de caja generados por la explotación de la misma. La magnitud de este valor es de suma importancia, al no considerarse podrían rechazarse proyectos de inversión viables si se contemplase la flexibilidad en su gestión y en particular la suspensión temporal de la actividad. Analizando período a período, se observó cómo a medida que aumentó el horizonte temporal de la explotación pesquera, aumentó el porcentaje que representó la opción de abandonar temporalmente las operaciones de captura sobre el valor actual de los flujos de caja, ya que mayor fue la incertidumbre acerca de la evolución del precio del recurso pesquero (Cuadro 2).

La comparación de los valores de los modelos teóricos con el valor empírico observado, es decir, el alcanzado en el mercado cada año del período, mostró que el valor obtenido mediante la metodología de opciones reales se ajustó con mayor precisión al valor empírico observado en el mercado desde 2008 a 2014 que el método de descuento de flujos de caja, el cual infravaloró el valor de la explotación pesquera, ya que no tuvo en cuenta el valor de la opción de abandono temporal. Aunque se apreció que la metodología de opciones tendió a sobrevalorar el valor real de la oportunidad de explotar el recurso, los métodos tradicionales lo infravaloraron en mayor medida (Figura 1).

operations also increase on the current value of the cash flows, since the uncertainty regarding the price of the fishery resource was higher (Table 2).

The comparison of the values of theoretical models with the empirical value observed, in other words, the value reached in the market every year of the period, showed that the value obtained with the methodology of real options was readjusted with greater precision to the empirical value observed in the market between 2008 and 2014 than the discounted cash flow method, which underestimated the value of the exploitation, since it did not consider the value of the option of temporary abandonment. Although the methodology of options did present an overestimation of the real value of the opportunity to exploit the resource, the traditional methods did underestimate it further (Figure 1).

Sensitivity analysis

The model of valuation by real options shown has two strengths. The model does not need estimations of the probability of the possible future prices of the resource, since these are included in the estimation of volatility and in the current price of the resource. Neither does the model need to adjust the type of discount for risk, because do to the fact that valuation is independent to the preferences, one only needs to know the risk-free interest rate (Varela, 2003).

However, given the importance of both variables in the model of valuation of real options, a sensitivity analysis was performed on the results obtained in the light of changes in volatility and the type of risk-free interest.

Cuadro 2. Valor total de la opción de abandono temporal de la explotación pesquera.
Table 2. Total value of the option of temporary abandonment of the fishery.

Período	Valor ampliado (Valor global con opción) (€)	Valor básico (Valor global sin opción) (€)	Opción abandono temporal (€)	% Opción abandono temporal sobre valor básico
2008	598 101	544 589	53 512	9.8 %
2009	885 770	780 881	104 889	13.4 %
2010	899 509	744 760	154 749	20.8 %
2011	613 529	409 845	203 684	49.7 %
2012	607 305	356 689	250 616	70.3 %
2013	672 192	376 753	295 439	78.4 %
2014	462 865	115 694	347 171	300.1 %
Total	4 739 270	3 329 210	1 410 060	42.4 %

Análisis de sensibilidad

El modelo de valoración mediante opciones reales expuesto presenta dos fortalezas. El modelo no necesita estimaciones de la probabilidad de los posibles precios futuros del recurso, ya que éstas están comprendidas en la estimación de la volatilidad y en el precio actual del recurso. Además, el modelo tampoco necesita ajustar el tipo de descuento al riesgo, porque al ser la valoración independiente de las preferencias, basta con conocer el tipo de interés libre de riesgo (Varela, 2003).

Sin embargo, dada la importancia de ambas variables en el modelo de valoración de opciones reales, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad de los resultados obtenidos ante cambios en la volatilidad y en el tipo de interés libre de riesgo.

Una mayor volatilidad aumenta la valoración obtenida mediante opciones (Brealy *et al.*, 2006). La explicación a este comportamiento se basa en el tradicional binomio rentabilidad-riesgo según el cual ambas variables se mueven en el mismo sentido para un activo. Además, cuanto más volátil es el precio del activo existe una mayor probabilidad de que se produzcan movimientos importantes en el mismo que favorezcan el valor de la opción.

En el caso particular analizado, a mayor volatilidad del precio de la merluza mayor fue el valor de la explotación en el período de 2008 a 2014, es decir, una mayor incertidumbre asociada al precio del recurso pesquero no representó una pérdida de valor, sino una generación del mismo (Cuadro 3). Resultados similares obtuvieron Alonso *et al.* (2005) para las explotaciones forestales.

Al partir de un escenario base con una volatilidad del 8.3 % se observó como una variación de 15 % en la volatilidad supuso una variación del 6.3 % en la valoración final de la explotación pesquera. Una variación de 30 % en la volatilidad incrementó la valoración final en un 18.4 %, poniendo de manifiesto una reducida sensibilidad del modelo de valoración aplicado a cambios en la volatilidad de los precios.

En relación con el tipo de interés sin riesgo, la teoría de valoración de opciones prevé una relación positiva entre esta variable y el valor de la opción, porque un aumento del tipo de interés ejerce una influencia negativa sobre el valor actual del precio de ejercicio afectando positivamente al valor de la opción de compra (Fernández y García, 1992). El análisis de

Higher volatility increases the valuation obtained with options (Brealy, *et al.*, 2006). The explanation for this type of behavior is based on the traditional profitability-risk binomial, according to which both variables move in the same direction for an asset. Also, the more volatile the price of the asset, the higher the probability of important movements taking place in it which favor the value of the option.

In the particular case analyzed, a higher price volatility for hake led to a higher value for exploitation between 2008 and 2014, or in other words, a greater uncertainty related to the price of the fishery resource did not mean a reduction but a generation of value (Table 3). Similar results were obtained by Alonso *et al.* (2005) for forestry exploitations.

Based on a scenario with a volatility of 8.3 % we observed how a variation in 15 % in volatility meant a variation of 6.3 % in the final valuation of the fishery exploitation. A variation of 30 % in volatility increased the final valuation by 18.4 %, showing a reduced sensitivity of the valuation model applied to changes in the volatility of prices.

Regarding the risk-free interest rate, the theory of valuation of options foresees a positive relation between this variable and the value of the option, since a rise in the interest rate exerts a negative influence on the current strike price, having a positive effect on the value of the option to purchase (Fernández and García, 1992). The sensitivity analysis showed that the higher the value of the risk-free interest rate, the higher the value of the opportunity of exploitation, and therefore increases in the latter were related to increases in the expected profitability, final cause for the generation of greater value for fish exploitation

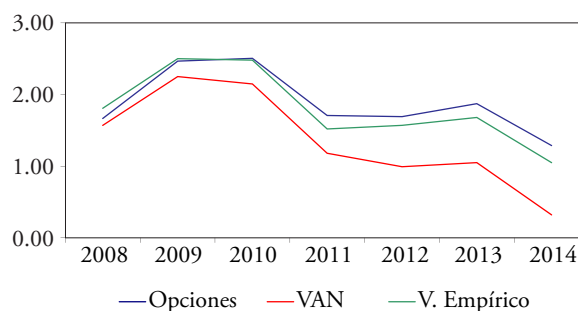


Figura 1. Comparación del valor empírico observado de la explotación de la pesquería con los valores teóricos calculados.

Figure 1. Comparison of the empirical value observed in the fishery with the theoretical values calculated.

sensibilidad mostró que cuanto mayor fue el valor del tipo de interés sin riesgo mayor fue el valor de la oportunidad de explotación, por lo que aumentos en el mismo se asociaron con aumentos en la rentabilidad esperada, causa última de la generación de mayor valor para la explotación pesquera (Cuadro 4). Este resultado es habitual en la literatura de opciones (Murillas, 2004). En particular, al partir de un escenario base en el que el tipo de interés sin riesgo fue 3.5 %, se observó como la variación de 1.5 % al alza en el tipo de interés supuso un incremento en el valor de la explotación de la pesquería de 7.8 %, mientras que una reducción equivalente en el tipo de interés redujo el valor de la explotación en 8.2 %.

Introducción de la tasa de conveniencia

La introducción de tasas de conveniencia condicionó la valoración de la oportunidad de explotación en incertidumbre reduciendo el valor de la opción de explotar la pesquería. Al aumentar la tasa de conveniencia, aumentó el beneficio relacionado con la propiedad del stock del recurso pesquero y disminuyó el valor de la opción operativa^[7] (Cuadro 5). El parámetro k puede entenderse también como un coste de oportunidad de retrasar la explotación de la pesquería manteniendo la opción de explotación (cuanto mayor sea k , y por lo tanto el coste de oportunidad, menor será el valor de la explotación). Este resultado se observa también en otro tipo de explotaciones (Bjerkstrand y Ekern, 1990; Murillas, 2004; Alonso *et al.*, 2005).

En resumen, del análisis de sensibilidad se desprende que la incertidumbre crea valor en proyectos que, como la explotación pesquera, disponen de flexibilidad. Así, se observó que el valor de la opción aumenta (disminuye) si aumentan (disminuyen) la volatilidad y/o el tipo de interés y disminuye (aumenta) la tasa de conveniencia.

CONCLUSIONES

Los modelos clásicos de valoración tienden a subestimar el valor de una inversión al considerar sólo los flujos de fondos esperados si se realiza la inversión, la valoración mediante opciones reales permite incorporar flexibilidad en la gestión y decidir

(Table 4). This result is common in literature on options (Murillas, 2004). In particular, based on an average scenario in which the risk-free interest rate was 3.5 %, we could see that the 1.5 % variation in the rise of the interest rate meant an increase in the value of the exploitation of 7.8 %, whereas an equivalent reduction in the interest rate reduced the value of the exploitation by 8.2 %.

Introduction of the convenience yield

The introduction of convenience yields conditioned the valuation of the opportunity of exploitation of the fishery. By rising the convenience yield, the benefit related to the property of the resource stock increased, and the value of the operative option decreased^[7] (Table 5). Parameter k can also be understood as a cost of the opportunity to delay the exploitation keeping the option of exploitation (the greater k , and therefore the opportunity cost is, the value of exploitation will be lower). This result is also observed in another type of exploitations (Bjerkstrand and Ekern, 1990; Murillas, 2004; Alonso *et al.*, 2005).

In sum, the sensitivity analysis showed that uncertainty creates values in projects that, like fish exploitation, have flexibility. In this way, we observed that the value of the option increases (decreases) if the volatility and/or interest rate increase (decrease) and the convenience yield decreases (increases).

CONCLUSIONS

The classic valuation methods tend to underestimate the value of an investment by considering only the expected cash flows if it undertakes the investment; valuation by real option methods helps include flexibility in the management and decide on the temporary abandonment of the exploitation if the conditions of the price of the fishery resource are not favorable, offering an additional value to the investment. The analyzed valuation through options adjusted more to the reality that was observed in the hake fishing sector than the traditional model. Shipowners are offered a valuation tool that helps them determine their

⁷ En el límite, cuando k tiende a 1, el valor de la explotación tiende a cero. ❖ On the limit, when k tends towards 1, the value of the exploitation tends towards zero.

Cuadro 3. Sensibilidad del valor unitario (€ kg⁻¹) y global (€) de la explotación pesquera calculado mediante opciones reales ante cambios en la volatilidad del precio del recurso pesquero.
Table 3. Sensitivity of the cost per unit (€ kg⁻¹) and global (€) of the fishery, calculated with real options in the face of changes in the volatility of the fish price.

Valor unitario (€ kg ⁻¹)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Total
Volatilidad	8.3 %	2.4672	2.5055	1.7089	1.6916	1.8723	1.2893	13.2009
	23.3 %	2.4689	2.5125	1.8229	1.8529	2.0298	1.6680	14.0267
	38.3 %	1.7307	2.5905	2.0983	2.1818	2.3654	2.1540	15.6284
Valor global (€)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
	598 100.6	885 770.0	899 508.9	613 528.4	607 304.7	672 192.2	462 865.4	4 739 270.3
Volatilidad	23.3 %	886 381.6	902 018.3	654 441.7	665 220.3	728 726.7	598 839.5	5 035 759.6
	38.3 %	621 327.4	930 005.1	753 310.8	783 297.8	849 211.3	773 327.5	5 610 793.5
Variaciones en el valor global								
15 puntos porcentuales	0.3 %	0.1 %	0.3 %	6.7 %	9.5 %	8.4 %	29.4 %	6.3 %
30 puntos porcentuales	3.9 %	1.6 %	3.4 %	22.8 %	29.0 %	26.3 %	67.1 %	18.4 %

Cuadro 4. Sensibilidad del valor unitario (€ kg⁻¹) y global (€) de la explotación pesquera calculado mediante opciones reales ante cambios en el tipo de interés.
Table 4. Sensitivity of the cost per unit (€ kg⁻¹) and global (€) of the fishery, calculated using real options in the face of changes in the interest rate.

Valor unitario (€ kg ⁻¹)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Total
Tipo interés	2.0 %	2.4096	2.4201	1.5454	1.4857	1.6398	0.9863	12.1120
	3.5 %	2.4672	2.5055	1.7089	1.6916	1.8723	1.2893	13.2009
	5.0 %	1.7061	2.5232	1.8633	1.8840	2.0861	1.5830	14.2328
Valor global (€)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
	583 483.4	865 075.4	868 835.7	554 825.6	533 374.1	588 698.9	354 076.9	4 348 369.8
Tipo interés	3.5 %	885 770.0	899 508.9	613 528.4	607 304.7	672 192.2	462 865.4	4 739 270.3
	5.0 %	612 500.3	905 852.9	668 937.1	676 362.3	748 942.7	568 331.9	5 109 758.5
Variaciones en el valor global								
-1.5 puntos porcentuales	-2.4 %	-2.3 %	-3.4 %	-9.6 %	-12.2 %	-12.4 %	-23.5 %	-8.2 %
+1.5 puntos porcentuales	2.4 %	2.3 %	3.3 %	9.0 %	11.4 %	11.4 %	22.8 %	7.8 %

Cuadro 5. Valor de la opción de explotar la pesquería en función de la tasa de conveniencia.
Table 5. Value of the option to exploit the fishery based on the convenience yield.

k	Valor de la opción						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
0	1.6660	2.4672	2.5055	1.7089	1.6916	1.8723	1.2893
0.02	1.6460	2.4472	2.4855	1.6890	1.6717	1.8524	1.2702
0.04	1.6260	2.4272	2.4655	1.6690	1.6517	1.8324	1.2512

sobre el abandono temporal de la explotación si las condiciones del precio del recurso pesquero no son favorables, ofreciendo un valor adicional a la inversión. La valoración a través de opciones analizada se ajustó en mayor medida a la realidad que se observó en el sector de la pesquería de merluza que el modelo tradicional. A los armadores se ofrece una herramienta de valoración que les permite determinar a priori sus decisiones de inversión, con la posibilidad de suspender la actividad si el precio del recurso pesquero no permite enfrentar a los costes variables.

La decisión de abandono temporal de la actividad va acompañada del mantenimiento de las cuatro embarcaciones volanteras y de las licencias de pesca, lo que implicaría costes fijos en el tiempo de abandono pero evitaría la inversión adicional en cada momento que se quisiera reanudar la actividad. Durante el periodo de abandono, los trabajadores también suspenderían su relación contractual con el armador. Esto tendría implicaciones en la valoración, porque en la mayoría de las empresas los trabajadores son contratados por temporadas o son empresas familiares. Pero el análisis dinámico que implica la valoración con opciones reales obliga a un seguimiento estricto de la inversión particular en cada momento.

La inversión alta que requiere iniciar la actividad pesquera exige usar modelos de valoración que incorporen la flexibilidad en la gestión y decidir sobre el abandono temporal de la explotación si las condiciones del precio del recurso pesquero no son favorables.

La aplicación de la Teoría de Opciones Reales al proceso de planificación y gestión de inversiones estratégicas en la pesca, permite a las empresas pesqueras y las administraciones públicas, evaluar la viabilidad de cada proyecto y con la posibilidad del abandono temporal de la actividad. Esta metodología refuerza la capacidad de gestión de las empresas pesqueras, promoviendo la mejora de las valoraciones

investment decisions beforehand, with the possibility of suspending activities if the price of the fishery resource does not help face the variable costs.

The decision of temporarily abandoning the activity comes with the maintenance of the gillnet fishing vessels and fishing licenses, which would imply fixed costs during the time of abandonment, yet it would avoid additional investments every time the activity is resumed. During the period of abandonment, the workers would also suspend their contractual relation with the shipowner. This would have implications on the valuation, since in most companies, workers are hired seasonally or they are family-owned businesses. However, the dynamic analysis implied by the valuation with real options mandates a strict follow-up of the particular investment in each moment.

The high level of investment required to begin fishing activities requires the use of valuation models that incorporate flexibility in the management and deciding on the temporary abandonment of the exploitation if the conditions of the price of the fishery resource are not favorable.

Applying the Real Options Valuation to the process of planning and management of strategic investments in fishing helps fisheries and public administrations evaluate the feasibility of each project with the possibility of temporarily abandoning activities. This methodology reinforces the capacity of management of fisheries, promoting the improvement of economic valuations by displaying both competitive advantages and the capacity of adaptation to the market, which is crucial to avoid jeopardizing the future of the market.

—End of the English version—



económicas al permitir considerar tanto las ventajas competitivas como la capacidad de adaptación al mercado, lo cual es fundamental para no comprometer el futuro de la industria pesquera.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue elaborado gracias a la financiación del Grupo de Investigación Gestión Económica para el Desarrollo Sostenible del Sector Primario de la Universidad de Cantabria. Los autores agradecen su colaboración a la Organización de Productores de Pesca de Altura de Cantabria (OPECA).

LITERATURA CITADA

- Alonso B., S., E. Vallelado G., y J. M. Xavier H. 2005. La flexibilidad como creadora de valor. El caso de una explotación forestal en Portugal. Documento de Trabajo 11/05. Universidad de Valladolid y Universidad de Salamanca.
- Andrés A., P., V. Azofra P., and D. Fuente H. 2006. The real options components of firm market value: the case of the technological corporation. *J. Bus. Fin. Acc.* 33: 133-149.
- Bjerkstrand, P., and S. Ekern. 1990. Managing investment opportunities under rice uncertainty: from "last chance" to "wait and see" strategies". *Finan. Manage.* 19: 65-83.
- Black, F., and M. Scholes. 1973. The pricing of options and corporate liabilities. *J. Polit. Economy* 81: 637-654.
- Brealey R., A., y S. C. Myers. 1998. Fundamentos de financiación empresarial. 5a. ed. McGraw-Hill. Madrid. 888 p.
- Brealey, R., S. C. Myers, and F. Allen. 2006. Principios de Finanzas Corporativas. 8a. ed. McGraw Hill, España. 1138 p.
- Brennan, M. J., and E. S. Schwartz. 1985. Evaluating natural resource investments. *J. Bus.* 58: 135-157.
- Cordón L., E., y F. García O. 2014. Subsidiariedad en el sector pesquero español: Impacto y efectividad de la política comunitaria de pesca. *Est. Econ. Aplic.* 32: 1133-1160.
- Cortazar, G. E., and E. S. Schwartz. 1993. A compound option model of production and intermediate inventories. *J. Bus.* 66: 517-540.
- Cortazar, G. E., E. S. Schwartz, and M. Salinas. 1998. Evaluating environmental investments: a real options approach. *Manage. Sci.* 44: 1059-1070.
- Cox, J. C., and S. A. Ross. 1975. The valuation of option for alternative stochastic processes. *J. Finan. Econ.* 3: 145-166.
- Engel, P. D., and J. Hyde. 2003. A real options analysis of automatic milking systems. *Agric. Resource Econ. Rev.* 32: 282-294.
- Ewald, C. O., R. Ouyang, and T. K. Siu. 2015. On the market consistent valuation of fish farms: using the real option approach and salmon futures. Available at SSRN 2575316.
- Fenichel, E. P., J. I. Tsao, M. L. Jones, and G. J. Hickling. 2008. Real options for precautionary fisheries management. *Fish Fish.* 9: 121-137.
- Fernández, A.I., y M. García. 1992. Las decisiones financieras de la empresa. Ariel, Barcelona. 364p.
- Hull, J. C. 2002. Introducción a los Mercados de Futuros y Opciones. 4a. ed. Prentice Hall, España. 560 p.
- Hull, J. C. 2009. Options, Futures, & Other Derivatives. 7a. ed. Prentice Hall, United States of America. 836 p.
- McDonald, R. L., and D. R. Siegel. 1985. Investment and the valuation of firms when there is an option to shut down. *Int. Econ. Rev.* 26: 331-349.
- McDonald, R. L., and D. R. Siegel. 1986. The value of waiting to invest. *Quart. J. Econ.* 4: 707-727.
- Merton, R. C. 1973. The theory of rational option pricing. *Bell J. Econ.* 4: 141-183.
- Murillas M., A. 2004. Common property under management flexibility: valuation, optimal exploitation, and regulation. *Marine Resource Econ.* 19: 173-194.
- Murillas M., A., and J. M. Chamorro G. 2006. Valuation and management of fishing resources under price uncertainty. *Environ. Resource Econ.* 33: 39-71.
- Odening, M., O. Mußhoff, and A. Balmann. 2005. Investment decisions in hog finishing: an application of the real options approach. *Agr. Econ.* 32: 47-60.
- Pérez Fernández, D. 2015. Cálculo estocástico en finanzas: Aplicación del Modelo Browniano Geométrico para la predicción del activo subyacente FCC. MC en el IBEX-35. Universitat Politècnica de Valencia, España. 103 p.
- Pindyck, R. S. 1988. Irreversible investment, capacity choice, and the value of the firm. *Amer. Econ. Rev.* 78: 969-985.
- Putri, A., and T. Fujiwara. 2014. Real options analysis on ecosystem for agri-biotechnology start-ups in Indonesia. *In: Management of Engineering & Technology (PICMET)*. Portland International Conference on. IEEE. pp: 1239-1251.
- Rocha, K., A. Moreira, E. Reis, and L. Carvalho. 2006. The market value of forest concessions in the Brazil Amazon: a real option approach. *For. Policy Econ.* 8: 149-160.
- Trigeorgis, L., and S. Mason. 1987. Valuing managerial flexibility. *Midland Corp. Fin. J.* 5: 14-21.
- Valencia-Sandoval, K., J. J. Brambila-Paz, y J. S. Mora-Flores. 2010. Evaluación del nopal verdura como alimento funcional mediante opciones reales. *Agro.* 44(8): 955-963.
- Varela L., M. M. 2003. La pesca gallega en el escenario internacional. Fundación Caixa Galicia. CIEF. Centro de Investigación Económica y Financiera. Santiago de Compostela. 277 p.
- Varela L., M. M., y M. D. Garza G. 2002. Avances recientes en la economía de los recursos pesqueros. *Ekonomiaz.* 49: 98-121.
- Weston, J. F., y T. E. Copeland. 1995. Finanzas en administración. Vol. I, 9a. ed. McGraw-Hill, México.