

EXPECTATIVAS DE MERCADO Y OPCIONES: UNA APLICACIÓN PARA ANALIZAR
LA EVOLUCIÓN DEL PRECIO DEL PETRÓLEO

Expectativas de mercado y opciones: una aplicación para analizar la evolución del precio del petróleo

Este artículo ha sido elaborado por Carmen Broto, de la Dirección General Adjunta de Asuntos Internacionales.

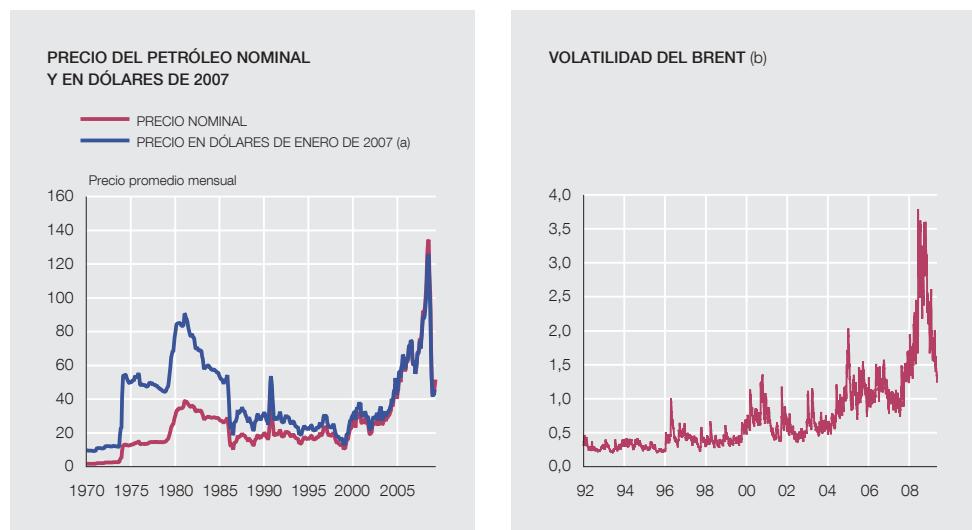
Introducción

La evolución del precio del petróleo y las expectativas de los mercados sobre dicha evolución son aspectos relevantes en el ámbito de los bancos centrales, dados los efectos de estas variables sobre las tasas de inflación de las diferentes economías y su crecimiento en el largo plazo¹. Como muestra el gráfico 1, el precio del barril de petróleo ha registrado importantes oscilaciones en los últimos años, en respuesta a diferentes factores, de modo que ha pasado de niveles máximos históricos en torno a los 145 dólares, en julio de 2008 —momento en el que el debate en numerosos bancos centrales se centraba en los riesgos inflacionistas—, a cotizar por debajo de los 35 dólares, en diciembre de ese año. Por otro lado, el precio del petróleo no ha sido ajeno al actual contexto de elevada incertidumbre y ha mostrado una extrema volatilidad desde el inicio de las turbulencias financieras, que se mantiene elevada a pesar de la corrección de los últimos meses (véase gráfico 1)². Por ello, el análisis del precio del crudo y de sus expectativas en los mercados resulta especialmente importante y oportuno.

Entre las diversas herramientas para el análisis de las expectativas del precio del petróleo, este artículo se centra en la información que puede extraerse de los mercados de opciones³. En concreto, a partir de los precios de las opciones se puede inferir la percepción de los participantes del mercado sobre la cotización futura del activo subyacente —en nuestro caso, el precio del petróleo— a través de su distribución de probabilidad, de modo que es posible calcular la probabilidad implícita que los inversores están asignando a que el precio del petróleo se sitúe en un determinado intervalo en un determinado plazo. Dichas probabilidades implícitas están asociadas a unas funciones de densidad, que se denominan «densidades neutrales al riesgo» (RND, por sus siglas en inglés), que son la herramienta de análisis utilizada en este trabajo⁴.

Este artículo tiene un enfoque aplicado y trata de poner de manifiesto la complementariedad del análisis realizado a través de los precios de las opciones con otras herramientas de análisis habitualmente utilizadas. Aunque el análisis basado en el mercado de opciones ha dado lugar a una amplia literatura en el ámbito financiero, centrada en gran medida en aspectos técnicos⁵, la novedad de este artículo está en su aplicación a los precios del petróleo, en un marco de elevada incertidumbre. Tras analizar las diferencias de este instrumento —que se describe en el recuadro— con las herramientas empleadas habitualmente para el cómputo de previsiones del precio del crudo, se presenta una aplicación empírica. En ella se utiliza esta metodología para extraer información de las fuertes oscilaciones del precio del crudo en su etapa más reciente, estimando la RND en tres momentos representativos: en el máximo de la cotización del crudo, a mediados de 2008; a finales de ese año, en torno a su nivel mínimo reciente, y en abril de 2009, ya iniciada la última fase de incremento del precio.

1. Véase, por ejemplo, Estrada y Hernández de Cos (2009). 2. La volatilidad está calculada mediante un modelo sencillo de tipo GARCH (1,1), propuesto por Bollerslev (1986), en el cual la volatilidad es una función de la propia volatilidad pasada y de las posibles sorpresas en los precios de las series. En este caso, metodologías alternativas como el uso de la desviación típica a través de una ventana móvil dan lugar a estimaciones de la volatilidad muy similares. 3. Este derivado financiero consiste en un contrato por el cual el comprador de la opción adquiere un derecho de compra o venta —en cuyo caso la opción se denomina *call* o *put*, respectivamente— de petróleo a un precio determinado en una fecha futura. 4. Las densidades se denominan «neutrales al riesgo», ya que se asume que los agentes del mercado no son aversos al riesgo en la fijación de los precios de las opciones. 5. Por ejemplo, gran parte de esta literatura se centra en la búsqueda de la distribución de probabilidad esperada para el activo subyacente más adecuada.



FUENTES: Energy Information Administration y Datastream.

- a. Precios reales deflactados con el IPC de EEUU.
 b. Estimada mediante un GARCH (1,1).

El ejercicio empírico confirma la utilidad de las RND para obtener información relevante sobre las expectativas de los inversores, especialmente en períodos de volatilidad elevada de las cotizaciones. Al dar una idea de la incertidumbre asociada a las expectativas de los inversores, estas densidades aportan información sobre posibles cambios bruscos en la tendencia del precio, que son difíciles de prever. Por ejemplo, a mediados de 2008 las opciones ya anticipaban con una probabilidad no despreciable un posible descenso de los precios del crudo en la segunda mitad del año.

¿Cómo contribuye el análisis de las densidades neutrales al riesgo a la predicción del precio del crudo?

Como se ha señalado, a partir de los precios de las opciones se puede derivar la distribución de probabilidad sobre la cotización futura del precio del crudo mediante las RND (el recuadro adjunto recoge los detalles de la metodología empleada). Esta herramienta permite calcular la probabilidad implícita que los inversores están asignando a que el precio futuro del petróleo se sitúe en un determinado intervalo. Tal y como muestran Bahra (1996) y Campa et ál. (1997), una vez estimadas estas densidades, es posible cuantificar no solo la media y la varianza, sino los diferentes momentos de la distribución, obteniéndose una caracterización completa de las expectativas del mercado.

Por lo tanto, estas densidades neutrales al riesgo permiten extraer información sobre la probabilidad que asignan los inversores a que la cotización del crudo se sitúe en el corto plazo en ciertos intervalos de confianza y, en consecuencia, informan sobre el riesgo que los mercados asignan a cambios bruscos o amplios en su cotización. La amplitud de los intervalos obtenidos a partir de las RND es indicativa de la volatilidad de las cotizaciones que los inversores están descontando, de manera que en períodos de elevada incertidumbre el rango de las densidades será mayor que en períodos más tranquilos (o de menor volatilidad).

En particular, si las RND estimadas son asimétricas, ello implica que los inversores están descontando con elevada probabilidad valores extremos al alza (o a la baja, en su caso) del precio del crudo. Por otra parte, el nivel de apuntamiento de la función de densidad proporciona información acerca de si los inversores agrupan sus expectativas sobre el precio del crudo en un rango pequeño o en un rango amplio. Cuando este coeficiente es elevado, estaría indican-

Uno de los trabajos más destacados en el análisis de funciones de densidad implícitas fue el de Breeden y Litzenberger (1978), donde se analizaba la relación entre el precio de una opción de compra europea¹ y la probabilidad de que el precio de ejercicio sea menor que el precio del activo subyacente en la fecha de vencimiento. Según estos autores, las densidades neutrales al riesgo se pueden obtener a partir de la segunda derivada parcial del precio de una opción de compra con respecto al precio del ejercicio (del inglés, *strike*), que denotamos K , y que es el precio al que el tenedor de la opción puede comprar o vender el activo subyacente —en nuestro caso, el precio del petróleo—. Así, el precio de la opción de compra c con vencimiento en τ se puede expresar como

$$\frac{\partial^2 c(\tau, K)}{\partial K^2} = e^{-r\tau} q(P_\tau)$$

donde r es el tipo de interés neutral al riesgo, P_τ es el precio del activo subyacente y $q(P_\tau)$ es la función de densidad neutral al riesgo, que es precisamente el objeto de este análisis.

La obtención de la información necesaria para el cálculo de las RND a partir de los precios de las opciones no es directa, y de hecho no existe consenso en la literatura acerca de cuál es el mejor método para estimar estas densidades². Específicamente, la metodología presentada en este artículo se basa en la propuesta por Melick y Thomas (1997), y requiere hacer un supuesto sobre la forma de la distribución del activo subyacente. Concretamente, se asume que esta es una combinación (o «mixtura», en la terminología habitual de este tipo de análisis) de dos distribuciones log-normales, ya que es una distribución lo suficientemente flexible como para recoger ciertas características de las densidades de los datos. Específicamente, esta distribución sigue una expresión de este tipo:

$$q(P_\tau) = \theta \cdot L(P_\tau | \alpha_1, \beta_1) + (1 - \theta) \cdot L(P_\tau | \alpha_2, \beta_2)$$

donde $L(P_\tau)$ denota una distribución log-normal. Esta distribución está definida por cinco parámetros: dos que caracterizan cada una de las dos distribuciones log-normales, (α_1, β_1) y (α_2, β_2) , y θ , que describe el peso de cada una de ellas y que está entre cero y uno. Estos cinco parámetros se estiman mediante un procedimiento adecuado. Específicamente, estas estimaciones se obtienen minimizando el error cuadrático medio de la diferencia entre el valor teó-

1. Una opción europea es aquella que solo se puede ejercer a fecha de vencimiento, mientras que la opción americana es aquella que se puede ejercer en cualquier momento de la vida de una opción. 2. En este sentido, han surgido dos ramas de la literatura que analizan la estimación de estas funciones de densidad: la paramétrica, donde se asume una función de densidad conocida y solo es preciso estimar sus coeficientes [véase, por ejemplo, Melick y Thomas (1997)], y la no paramétrica, donde no se asume a priori ninguna distribución [véase Rubinstein (1994)]. Existe una numerosa literatura no concluyente comparando ambas metodologías. Dada la sencillez del método no paramétrico, hemos optado por este para desarrollar la aplicación a precios del petróleo.

rico del precio de las opciones de compra o de venta, según las expresiones analíticas obtenidas por Bahra (1997), y su precio observado, es decir

$$\text{Min}_{\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2, \theta} \left[\sum_{j=1}^{\text{n.º calls}} (c_j^{\text{Teórico}} - c_j^{\text{Observado}}) + \sum_{i=1}^{\text{n.º puts}} (p_i^{\text{Teórico}} - p_i^{\text{Observado}}) \right]$$

donde p denota el precio de la opción de venta, por lo que la RND quedaría caracterizada³.

Es importante señalar algunas puntualizaciones de carácter técnico. En primer lugar, el precio del activo subyacente de una opción no es observable, ya que hasta el momento de su vencimiento es desconocido. Por tanto, para la estimación de la RND se reemplaza su precio por el del futuro del crudo⁴. Además, con objeto de garantizar que existe suficiente liquidez para determinados precios de ejercicio, en la aplicación empírica se estiman únicamente las densidades hasta cinco meses desde el precio del contado. Finalmente, para su cálculo se utilizaran tanto opciones de compra como de venta, de forma que se recoja toda la información disponible sobre el mercado.

Como se comenta anteriormente, la obtención de conclusiones a partir de las estimaciones de RND mediante esta metodología se apoya en el uso de una distribución lo suficientemente flexible como para ajustar diferentes características empíricas de los datos observados de opciones comentadas anteriormente. Por ejemplo, se puede recoger la posible asimetría de la densidad, por lo que estamos permitiendo que en las densidades se pueda acumular una mayor probabilidad en un valor diferente de la media. Es decir, si la mayoría de inversores espera un determinado valor del precio del crudo —al alza o a la baja—, la distribución propuesta lo podrá recoger. Además, esta distribución también puede ser bi-modal, es decir, que, si hay un gran número de participantes del mercado que descuentan un movimiento extremo del precio del crudo, pero no están seguros de su dirección, esta característica quedaría capturada por la distribución propuesta.

Se puede recoger, además, el hecho de que buena parte de la probabilidad se pueda situar en un valor central de la distribución porque los inversores esperen que el precio del crudo se concentre alrededor de un determinado valor (por lo que la densidad estimada sería muy apuntada) o que buena parte de esta probabilidad se pueda situar en sus colas porque los inversores esperen una mayor probabilidad de acontecimientos extremos en el movimiento del crudo (lo que daría lugar a una densidad más plana que la de la distribución normal). Es decir, mediante esta distribución se pueden generar densidades con un nivel de apuntamiento diferente del de la normal.

3. Véase Alonso et al. (2006) para más detalles acerca de la estimación de los parámetros. 4. Nótese que en la fecha de vencimiento de la opción el futuro a esa fecha y el precio de contado son equivalentes.

do que la mayor parte de inversores espera que el precio del crudo se sitúe en un determinado valor.

Las RND son, pues, una herramienta que complementa la información de otros instrumentos de predicción a corto plazo ya existentes. En particular, las principales herramientas de predicción puntual del precio del crudo se pueden clasificar en cuatro grupos: (1) aquellas basadas en el precio de los futuros; (2) predicciones simples, basadas en el propio precio al contado; (3) modelos de series temporales, que explotan la información referente al pasado de las series, y (4) modelos estructurales, que incorporan información adicional de otras variables explicativas. Para calibrar el valor añadido de las RND frente a otras metodologías que proporcionan predicciones puntuales del precio del crudo, pero no su distribución de probabilidad⁶, es importante señalar que mediante las RND únicamente se obtiene información extraíble de las densidades calculadas a partir de las expectativas de mercado en el corto plazo (intervalos de confianza, media, varianza, etc.), mientras que el resto de métodos ofrecen estimaciones puntuales, no necesariamente basadas en las expectativas de los mercados, y que pueden ser de más largo plazo.

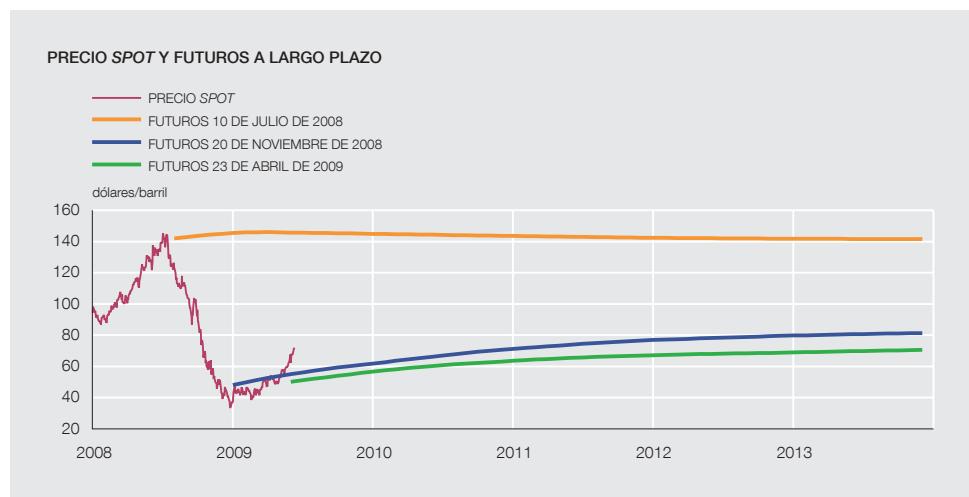
Entre todas las herramientas de predicción, las basadas en los futuros merecen una especial mención en el contexto de este artículo, ya que, al igual que las opciones, se trata de un mercado de derivados financieros. Una limitación en el uso de futuros sobre el crudo es que ofrecen menos información, al recoger únicamente la expectativa del precio medio de las cotizaciones. Además, los análisis sobre la capacidad predictiva de los futuros no son concluyentes. Algunos de ellos proporcionan evidencia a favor de la eficiencia de estos mercados, por lo que los futuros representarían una predicción adecuada. Otros autores, sin embargo, critican su uso para prever movimientos futuros del precio de contado especialmente en períodos de elevada volatilidad; además, en el caso del petróleo, la liquidez de estos mercados es reducida para contratos con un horizonte superior a seis meses. Por otra parte, los futuros siempre se mueven en la misma dirección que el precio al contado, por lo que no podrán anticipar posibles cambios de dirección del precio. Por ejemplo, en el gráfico 2 se representa el precio del crudo junto con los futuros en las fechas analizadas en la aplicación empírica posterior, y se observa la escasa capacidad de los futuros para anticipar el cambio de dirección del precio del crudo en julio de 2008.

En general, la capacidad predictiva de los métodos de estimación puntual del precio del crudo es dispar y la evidencia empírica indica que las variaciones bruscas del precio del crudo son difíciles de predecir⁷. En este contexto, las RND son una herramienta complementaria del método de predicción puntual elegido, que proporciona información adicional acerca del balance de riesgos esperados por los inversores sobre el precio del crudo. En las siguientes secciones se ilustra el tipo de información que se puede obtener de las RND mediante un ejercicio sobre la evolución del precio del crudo desde el inicio de las turbulencias financieras en el verano de 2007.

Descripción de los datos

En este trabajo se utilizan datos del precio del petróleo Brent y de las opciones sobre este. El precio del petróleo tipo Brent, que se negocia en Londres y cuyo mercado de opciones es el ICE Futures Europe⁸, se ha escogido porque es la referencia de crudo en Europa. Las opciones sobre el WTI (West Texas Intermediate) —el crudo de referencia en Estados Unidos—, que

6. En el caso de los métodos de predicción puntual se puede obtener el rango de variación de las previsiones únicamente en aquellos métodos basados en modelos. No obstante, estos intervalos no están relacionados directamente con las expectativas del mercado, como en el caso de las RND. 7. Véase Hamilton (2009) para algunas reflexiones sobre la dificultad para predecir los precios del crudo. 8. Esta empresa es subsidiaria de Intercontinental Exchange para los mercados de futuros de energía.



FUENTE: Datastream.

se negocia en el NYMEX de Nueva York, habrían sido, en principio, más adecuadas, ya que tienen un mercado más activo, en comparación con el de opciones del Brent, y son más líquidas para vencimientos mayores. En cualquier caso, el precio de contado de ambos tipos de crudo está muy correlacionado —aunque el precio del WTI suele ser mayor que el del Brent, al ser más ligero (con menor contenido de azufre, por lo que la fase de refino es menos costosa)—; en consecuencia, para los propósitos de este artículo los resultados no deberían diferir significativamente.

Se analizan datos de las opciones del precio del petróleo en tres días representativos de su evolución más reciente: (i) el 10 de julio de 2008, fecha próxima al máximo histórico del precio del petróleo, que se situó en torno a los 145 dólares por barril; (ii) el 20 de noviembre de 2008, en plena tendencia bajista de los precios, y (iii) una fecha reciente (en concreto, el 23 de abril de 2009) para analizar la evolución de las expectativas del mercado tras varios meses en los que el crudo se había mantenido en una banda entre los 40 y los 50 dólares. Posteriormente, al cierre de este artículo, el precio del petróleo ha llegado a superar los 70 dólares por barril.

En los tres ejercicios, los contratos de opciones sobre el Brent se concentran en los siguientes cinco meses, ya que son los vencimientos donde se contabiliza la mayor parte de la liquidez. Así, por ejemplo, para calcular las RND del 10 de julio de 2008, se consideran los contratos con vencimiento de agosto a diciembre de 2008; para la de noviembre de 2008, se analizan vencimientos hasta mayo de 2009, y, en las RND calculadas para abril de 2009, se emplean vencimientos hasta octubre de ese año. Los tipos de interés neutrales al riesgo se obtienen a partir de los bonos europeos con un plazo similar a la fecha de vencimiento de las opciones. Todos los datos necesarios para la estimación —el precio de ejercicio (del inglés *strike*), vencimientos, precios de las opciones de compra y de venta, tipo de interés neutral al riesgo— están disponibles en Bloomberg únicamente en el día en que se elabora el ejercicio⁹.

En cuanto a la capacidad predictiva de las densidades neutrales al riesgo estimadas, las limitaciones de este ejercicio, en el que únicamente se consideran tres fechas de referencia, impiden el cálculo de contrastes formales como el de Berkowitz (2000) o el de Kupiec (1995).

9. Es decir, esta limitación de la base de datos impide el análisis de datos pasados de opciones a no ser que se establezca una recogida de datos diaria sistematizada.

Dada esta restricción, únicamente estableceremos comparaciones de los resultados obtenidos mediante las RND con las cotizaciones posteriores del precio al contado y con los futuros que se cotizaban en la fecha de elaboración de los tres ejercicios.

Aplicación empírica

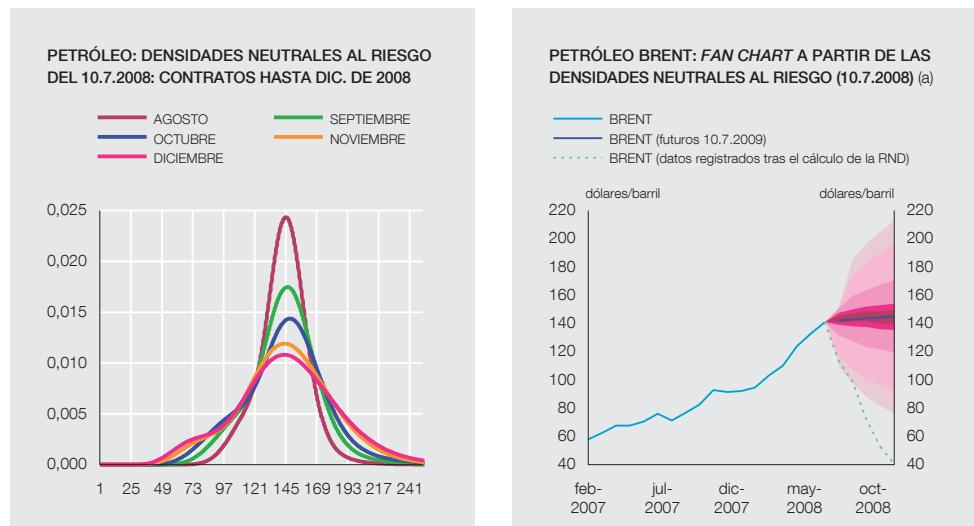
La evolución reciente del precio del petróleo ha registrado importantes oscilaciones en su cotización como respuesta a diferentes factores. Así, este pasó de situarse en niveles máximos históricos en julio de 2008, a registrar, en menos de medio año, niveles en torno a 35 dólares, en el caso del petróleo tipo Brent. Como se observa en el gráfico 1, estas bruscas fluctuaciones de los precios se produjeron no solo en términos nominales, sino también en términos reales. Estos últimos rompieron a principios de 2008 los anteriores máximos alcanzados durante las crisis del petróleo de inicios de los años ochenta. Como resultado de esta evolución de los precios, la volatilidad calculada a partir de los datos observados ha registrado un fuerte repunte en el último año y, aunque en los últimos meses se ha estabilizado, se mantiene aún elevada. Esta dinámica es similar en el caso del petróleo tipo Brent y del WTI —las principales referencias del mercado—. La aplicación empírica trata de inferir ciertas conclusiones relacionadas con esta evolución, tomando como referencia las fechas de los tres ejercicios de cálculo de las RND.

En primer lugar, en julio de 2008, el precio del petróleo tipo Brent registró su máximo histórico, por encima de los 145 dólares, culminando una tendencia creciente mantenida desde inicios de 2007, cuando el barril cotizaba a 60 dólares. En el verano de 2008 se barajaron varias hipótesis que podían explicar el incremento del precio del crudo, como la fortaleza de la demanda mundial —especialmente por parte de los emergentes—, la debilidad del dólar o incluso factores especulativos relacionados con el mercado de petróleo. En menor medida, también se acudió a hipótesis relacionadas con las dificultades por el lado de la oferta, como los límites a la producción fijados por la OPEP. En ese momento, pese a que algunos analistas mostraban su extrañeza ante los elevados precios del crudo, en un contexto en el que ya se empezaban a ver los primeros signos de la desaceleración económica global, no había apenas previsiones que contemplaran un fuerte descenso del precio del crudo como el que se produjo. Así, los futuros sobre el petróleo descontaban precios similares o superiores al contado (véase gráfico 2).

El gráfico 3 contiene la estimación de las RND correspondiente al 10 de julio de 2008, fecha en torno a la cual el precio alcanzó un máximo. El gráfico representa, por un lado, las densidades estimadas mediante los datos de los cinco contratos y, por otro lado, el *fan-chart* (o «gráfico de abanico») correspondiente a dichas densidades, junto con la evolución posterior del precio del Brent¹⁰. Para caracterizar las distribuciones en los cinco vencimientos se representan en este último gráfico los intervalos de confianza al 10%, 20%, 50%, 80% y 90%. Las densidades se construyen a partir de simulaciones de las distribuciones estimadas con precios de ejercicio que van de un dólar a 260 dólares, en intervalos de 0,5 dólares, para cubrir todas las posibles cotizaciones del precio de las opciones.

Tal y como muestra el cuadro 1, la media de estas distribuciones es una senda similar a la obtenida a partir de los futuros, es decir, en media se descontaban en los meses siguientes precios del crudo similares a los del contado. Sin embargo, resulta particularmente interesante analizar la amplitud de los intervalos que, con una desviación típica elevada, reflejaban la fuerte incertidumbre reinante en los mercados, en ese momento, de forma que la probabilidad de futuras bajadas del precio del crudo no era despreciable. Por ejemplo, a partir de septiembre de 2008 el Brent cotizó por debajo de los 100 dólares. Mediante estas densida-

10. La estimación de las densidades se ha llevado a cabo mediante nuestros propios códigos en FORTRAN.



FUENTES: Datastream, Bloomberg y Banco de España.

a. Dólares por barril: intervalos al 10%, 20%, 50%, 80% y 90%.

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LAS DENSIDADES NEUTRALES AL RIESGO PARA EL PRECIO DEL BRENT (10.7.2008)

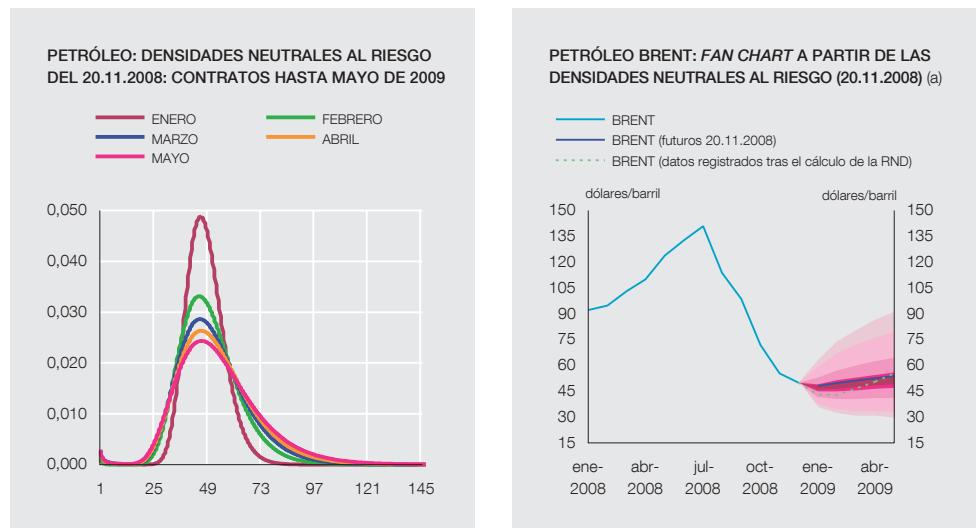
CUADRO 1

	Vencimiento				
	Agosto 2008	Septiembre 2008	Octubre 2008	Noviembre 2008	Diciembre 2008
Media	142,87	143,37	143,08	144,25	143,96
Mediana	143,50	144,25	145,00	144,75	144,75
Desviación típica	19,42	26,65	32,13	36,2	39,41
Curtosis	4,04	3,70	3,37	3,05	2,93
Probabilidad (precio < 100 dólares)	2,26%	6,28%	10,09%	11,25%	13,06%

FUENTES: Datastream y Banco de España.

des, se ha calculado la probabilidad que según los mercados de opciones se asignaba en julio de 2008 a que en septiembre cotizara por debajo de los 100 dólares. La probabilidad obtenida, en torno al 6%, indica que, aunque la evolución real del precio del Brent se movió a lo largo de las colas de las distribuciones estimadas en julio, ya se sugería entonces posibles descensos en los meses siguientes, apuntando un mensaje opuesto al señalado por los futuros.

Posteriormente, el precio del crudo disminuyó drásticamente, hasta cotizar por debajo de los 35 dólares en diciembre. Esta tendencia tan marcada coincidió fundamentalmente con la reducción de la demanda global, en un contexto de deterioro económico generalizado. Como referencia, en esta parte del año tomamos las densidades estimadas el 20 de noviembre de 2008, cuando el precio al contado del crudo cotizaba ya en torno a 46 dólares. En ese momento, de acuerdo con los mercados de futuros, se había producido un cambio respecto a la situación anterior: los mercados descontaban posibles incrementos del crudo en los meses posteriores (véase gráfico 2). Este cambio en la pendiente de la curva, que indica que el precio del futuro es superior al precio de contado, es bastante habitual en el mercado del petróleo —y tiene una denominación específica: «contango»—; asimis-



FUENTES: Datastream, Bloomberg y Banco de España.

a. Dólares por barril: intervalos al 10%, 20%, 50%, 80% y 90%.

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LAS DENSIDADES NEUTRALES AL RIESGO PARA EL PRECIO DEL BRENT (20.11.2008)

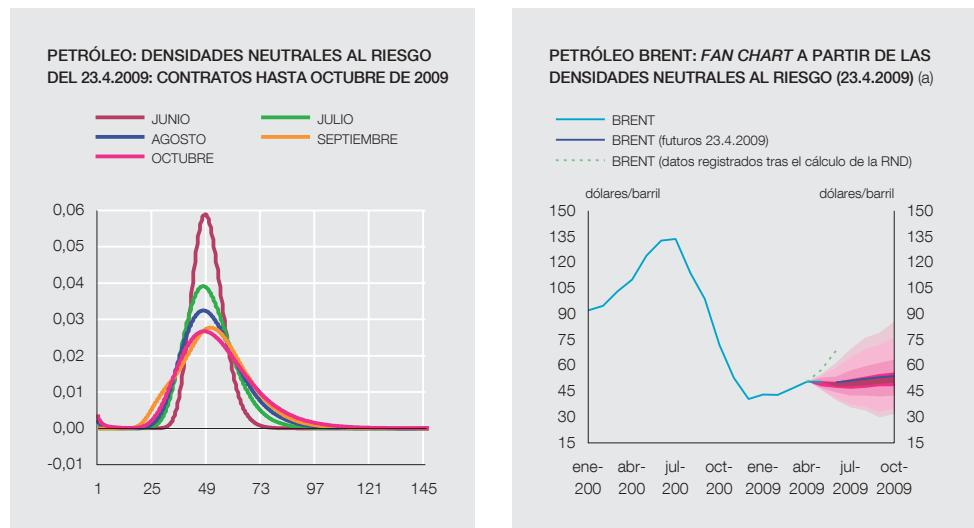
CUADRO 2

	Vencimiento				
	Enero 2009	Febrero 2009	Marzo 2009	Abril 2009	Mayo 2009
Media	48,02	49,79	51,25	52,57	53,83
Mediana	47,25	48,25	49,50	50,75	51,50
Desviación típica	8,87	13,11	15,75	17,07	18,81
Curtosis	12,481	4,38	5,43	5,31	5,33
Probabilidad (precio > 70 dólares)	1,43%	7,67%	11,99%	15,52%	18,31%

FUENTES: Datastream y Banco de España.

mo, refleja la expectativa de los inversores de mayores precios futuros, bien sea por la expectativa de una mayor demanda, por una menor oferta o por ambos factores a la vez, lo que puede dar lugar a un incremento de las existencias a la espera de un mayor precio. Este hecho se puede interpretar en el contexto de recesión económica global de finales de 2008, como una consecuencia de una estructura muy debilitada en estos mercados y de unos costes de almacenamiento reducidos. Algunos analistas interpretan este hecho como una posible distorsión de los futuros que se añade a las mencionadas en secciones anteriores, y que reincide en la escasa validez de los futuros como herramienta de predicción en períodos de crisis.

El gráfico 4 muestra las densidades estimadas para ese día y en él se observan diferencias con las estimadas en julio de ese año. En primer lugar, tal y como muestra el cuadro 2, el rango de las densidades es mucho menor que en el caso anterior, lo que indica que los inversores tienen menor incertidumbre en torno a las cotizaciones futuras del Brent. Se observa, además, una ligera asimetría en las distribuciones —como indica la diferencia entre la media y la mediana—, de forma que parece que, según las expectativas descontadas de las opciones, los inversores están descontando con mayor probabilidad un mantenimiento o incluso



FUENTES: Datastream, Bloomberg y Banco de España.

a. Dólares por barril: intervalos al 10%, 20%, 50%, 80% y 90%.

una reducción del precio del crudo que un aumento —mensaje opuesto nuevamente al indicado por los futuros—. No obstante, las expectativas están muy concentradas entre los 45 y 55 dólares, es decir, en noviembre el apuntamiento de la distribución (medido por el coeficiente de curtosis) era mayor que en julio, cuando las expectativas eran más inciertas¹¹. En cuanto a la probabilidad de subida del precio obtenida mediante las densidades, si se toma como referencia la probabilidad que en noviembre se asignaba a unos precios por encima de 70 dólares, se obtienen, por ejemplo, probabilidades en torno al 12% en marzo, es decir, relativamente bajas. A diferencia de lo que muestra el gráfico 3, en este caso los precios observados sí están dentro de las bandas del *fan-chart*, reflejo de la menor incertidumbre por parte de los inversores.

Finalmente, el gráfico 5 recoge las estimaciones de las densidades en abril de 2009, así como su correspondiente *fan-chart*. Desde inicios de 2009 hasta la fecha de cierre de este artículo, el precio del Brent ha mostrado un paulatino aumento e, incluso, ha llegado a superar los 70 dólares a mediados de junio. Esta evolución ha coincidido con las tímidas señales de recuperación de unos mercados financieros todavía frágiles y ha sido interpretada por algunos analistas como otro indicador de la progresiva recuperación económica. En consonancia, los futuros también reflejan estas expectativas de que los precios del crudo pudieran aumentar gradualmente en los próximos meses. Los estadísticos descriptivos correspondientes a estas estimaciones de las RND, recogidos en el cuadro 3, son muy parecidos a los calculados en noviembre de 2008. Es decir, las expectativas de los inversores sobre el precio del crudo se moverían en un rango relativamente pequeño en relación con el calculado para julio de 2008. Incluso la probabilidad que descontaría los mercados de precios del crudo por encima de 70 dólares sería muy similar a la de noviembre de 2008, por lo que los precios observados del crudo se sitúan en las colas superiores de las distribuciones estimadas. En este sentido, la incertidumbre en relación con el precio futuro del petróleo podría incrementarse a medida que aumente su cotización por la mejora de la situación económica y, consecuentemente, de la demanda mundial.

11. En el cuadro 2, la elevada curtosis de la distribución estimada para los contratos con vencimiento en enero de 2009 tiene su explicación en la propia proximidad del vencimiento, ya que estos se concentran en un rango menor.

	Vencimiento				
	Junio 2009	Julio 2009	Agosto 2009	Septiembre 2009	Octubre 2009
Media	49,80	50,88	51,96	52,96	53,93
Mediana	49,15	49,50	50,50	51,75	52,00
Desviación típica	7,33	10,72	13,56	15,29	17,05
Curtosis	14,52	2,61	4,53	3,67	4,86
Probabilidad (precio > 70 dólares)	0,57%	4,97%	9,64%	12,53%	16,07%

FUENTES: Datastream y Banco de España.

Conclusiones

Las RND calculadas a partir de los precios de las opciones constituyen una información muy útil sobre las expectativas de los inversores acerca de la evolución del precio del petróleo en el corto plazo. Esta herramienta puede constituir un complemento interesante a las diversas herramientas existentes para la predicción del precio del crudo, especialmente en períodos de volatilidad elevada en sus cotizaciones. Así, las RND pueden aportar información sobre posibles cambios en la tendencia del precio del crudo, que son difíciles de prever, dan una idea de la incertidumbre sobre las expectativas futuras de los inversores y permiten cuantificar probabilidades de que el precio del crudo pueda alcanzar determinados valores. Este tipo de resultados no se puede obtener mediante otros métodos de predicción puntuales, como los futuros —que, al igual que las opciones, también están basados en mercados de derivados—. Así, el presente artículo ilustra el interés de esta herramienta para caracterizar las expectativas de los mercados sobre la evolución reciente del precio del crudo y obtener información complementaria a la obtenida mediante otros métodos.

El ejercicio ilustrativo realizado a partir de las RND basadas en opciones sobre el precio del crudo, calculadas en julio de 2008, antes de revertir la tendencia alcista del precio del crudo —y cuando numerosos analistas predecían incrementos futuros del precio—, muestra la notable amplitud de las densidades de las RND en ese momento, en el que las opciones descontaban con una probabilidad no despreciable importantes disminuciones del precio. La evolución posterior marcó un fuerte descenso en el precio del crudo, contrariamente a lo que los analistas habían predicho, e ilustra, dada la magnitud de este movimiento, la materialización del «riesgo de cola» de la segunda mitad de 2008 en numerosas variables financieras, cuando el precio finalmente cotizado se situó fuera de los márgenes de confianza de las RND calculadas con anterioridad.

16.6.2009.

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, F., R. BLANCO y G. RUBIO (2006). *Option-implied preferences adjustments, density forecasts, and the equity risk premium*, Documentos de Trabajo, n.º 0630, Banco de España.
- BAHRA, B. (1996). «Probability distributions of future asset prices implied by option prices», *Bank of England Quarterly Bulletin*, agosto, pp. 299-311.
- (1997). *Implied Risk-Neutral Probability Density Functions from Option Prices. Theory and Application*, Working Paper, n.º 66, Bank of England.
- BERKOWITZ, J. (2000). «Testing Density Forecasts with Applications to Risk Management», *Journal of Business and Economic Statistics*, 19, pp. 465-474.
- BOLLERSLEV, T. (1986). «Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity», *Journal of Econometrics*, 31, pp. 307-327.
- BREEDEN, D., y R. LITZENBERGER (1978). «Prices of State Contingent Claims Implicit in Option Prices», *Journal of Business*, 51, pp. 621-652.

- CAMPA, J. C., P. H. K. CHANG y R. L. REIDER (1997). «ERM bandwidths for EMU and after: evidence from foreign exchange options», *Economic Policy*, 12, pp. 55-89.
- ESTRADA, Á., y P. HERNÁNDEZ DE COS (2009). *El precio del petróleo y su efecto sobre el producto potencial*, Documentos Ocasionales, n.º 0902, Banco de España.
- HAMILTON, J. D. (2009). «Understanding Crude Oil Prices», *Energy Journal* 2009, 30, 2, pp. 179-206.
- KUPIEC, P. H. (1995). «Techniques for Verifying the Accuracy of Risk Measurement Models», *Journal of Derivatives*, invierno, pp. 73-84.
- MELICK, W. R., y C. P. THOMAS (1997). «Recovering an Asset's Implied PDF from Option Prices: An Application to Crude Oil during the Gulf Crisis», *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 32, pp. 91-115.
- RUBINSTEIN, M. (1994). «Implied Binomial Trees», *The Journal of Finance*, 49, pp. 771-818.