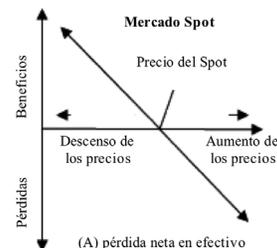


Análisis de riesgo para una empresa industrial en el mercado eléctrico español

RISK ANALYSIS FOR AN INDUSTRIAL COMPANY IN THE SPANISH ELECTRICAL MARKET



DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7253> | Recibido: 23/07/2014 • Aceptado: 27/10/2014

Mikel Vega Andrés, María Ortiz Cavada, Olatz Ukar Arrien

Universidad de Deusto. Facultad de Ingeniería.
Avda. de las Universidades 24 - 48007 Bilbao.
Tfno: +34 944139000. olatz.ukar@deusto.es

ABSTRACT

• The deregulation of the electricity market, the appearance of competence and new risks, has made to emerge in the electricity sector a new activity as it can be the trading. This new activity is due to the necessity to ensure a supply price and transfer the risks to the speculators of the market.

Also, it has been introduced more competence in the retail market and the companies integrated vertically have been fractionated.

Whether we compare the electric markets with the traditional financial markets, the latter are less complicated and more mature, considering that the electric power has a more complex behavior in relation to the transmission, meteorology, market coupling and stocking.

Thus, the final objective of this work is to analyze and quantify the risk that a big industrial company assumes when negotiating with electricity prices, and in this way, enhance the industrial companies the decision-making for getting a profit adjusted to the risk (RORAC). For that, different tools are going to be used, such as the Montecarlo method, the VaR and the Black-Scholes equation.

The losses that can be obtained have been calculated when you make a hedge by a futures portfolio or and an options portfolio, and it has been decided which one is more adequate taking into account the economic loss and the quantity of energy that can be hedged.

• **Key Words:** Electric Market, Risk, Montecarlo, VaR, Black-Scholes.

RESUMEN

El hecho de desregularizar el mercado de electricidad, la aparición de competencia y nuevos riesgos, han hecho que surja en el sector una nueva actividad como lo es el trading. La aparición del trading se ha debido a la necesidad de poder asegurar un precio de suministro y así transferir los riesgos a los especuladores.

Se ha introducido mucha competencia en el mercado minorista y las empresas integradas verticalmente se han fraccionado. Comparando los mercados de energía con los financieros, los segundos son mucho más maduros y menos complicados, ya que la energía presenta un comportamiento más complejo en cuanto a transporte, meteorología, casación de oferta y demanda y almacenamiento.

Así, el objetivo final de este trabajo consiste en analizar y cuantificar los riesgos en los que se incurre cuando se negocia con el precio de la electricidad en una gran empresa industrial. Se pretende analizar el riesgo que se asume cuando se opera con energía eléctrica en los diferentes mercados, facilitando así la toma de decisiones para obtener una rentabilidad ajustada al riesgo (RORAC). Para ello se emplearán distintas herramientas, como son: el método de Montecarlo, el VaR y la ecuación de Black-Scholes.

Se han calculado las pérdidas que se pueden obtener realizando una cobertura tanto en el mercado de futuros como en el de opciones, y se ha decidido cuál es más adecuado teniendo en cuenta la pérdida económica y la cantidad de energía que se cubre en cada uno de ellos.

Palabras Clave: Mercado eléctrico, Riesgo, Montecarlo, VaR, Black-Scholes.

1. INTRODUCCIÓN

Para mejorar la calidad de vida de las personas y promover el desarrollo económico, garantizar el acceso a la electricidad es una tarea clave. Una vez que el acceso ha sido garantizado, los próximos retos de los países desarrollados son asegurar la calidad, el menor coste y reducir el impacto medioambiental derivado de esta fuente de energía.

La particularidad de la electricidad reside, sobre todo, en que no se puede almacenar en grandes cantidades. Por esta razón, la generación de electricidad y el consumo debe estar en equilibrio constante. Además, el sector eléctrico ha experimentado cambios importantes en los últimos años. La libe-

realización de la generación y comercialización en el sector ha sido uno de los mayores cambios. Los participantes en el mercado necesitan herramientas para administrar el riesgo asociado a la volatilidad de los precios del “pool”. Los futuros, los “forwards” y las opciones son productos derivados empleados en la gestión del riesgo en los mercados de la electricidad [1].

Hay diversas herramientas para evaluar y administrar los riesgos con estrategias diferentes. Algunos investigadores han utilizado “forwards” para la gestión del riesgo de mercado de la electricidad [2] - [6] y otros [1], [7], [8] emplean las opciones en lugar de “forwards” o futuros [9].

El presente trabajo se basa en el estudio de los riesgos financieros existentes en el mercado eléctrico. Como se trata de un activo bastante complejo, la gestión de la cartera de opciones y futuros se convierte en una tarea clave.

Existen diferentes variables que son difíciles de cuantificar y que afectan a los mercados financieros. Estas variables se denominan variables macro. Consisten en las decisiones derivadas de las políticas de impuestos a las transacciones, tales como tasa Tobin, las restricciones operativas, por ejemplo abrir posiciones cortas, y las noticias que provocan subidas y bajadas en los precios.

Una vez que se han obtenido los resultados, es necesario tomar decisiones analizando la situación del mercado, la economía y la política que rodea el activo que se está negociando. Los principales factores de riesgo encontrados en los mercados financieros son los siguientes:

- Riesgo de Mercado: fluctuación de los precios debido a diversas variables. Por un lado se puede considerar el tipo de interés y por otro lado, el riesgo de tipo de cambio.
- Riesgo de Crédito: se produce cuando una de las partes no asume sus obligaciones. –
- Riesgo de liquidez: debido a que una de las partes no tenga la liquidez necesaria o no haya suficientes participantes en el mercado.
- Riesgo operativo: probabilidad de pérdidas debido a un error de un ser humano o un acontecimiento externo.

La política de riesgos de una empresa debe estar orientada a mantener un perfil de riesgo previsible [10]. Con la creación del mercado eléctrico, se han empleado técnicas avanzadas en la gestión de riesgos y han sido un factor determinante para la mejora de los resultados económicos de los participantes del mercado.

A pesar de que la gestión del riesgo en el sector eléctrico está dando sus primeros pasos en comparación con otros mercados financieros, cada vez existe un mayor número de compañías eléctricas operando regularmente swaps, opciones, futuros y otro tipo de contratos.

2. INSTRUMENTOS FINANCIEROS

Hay diferentes instrumentos financieros que pueden ser utilizados para gestionar el riesgo del mercado eléctrico, y para ello se emplean unos instrumentos financieros conocidos como derivados. Un derivado financiero es un contrato que no representa ningún derecho sobre la energía, pero su valor se basa en el precio de un activo subyacente. Cuando se utilizan adecuadamente, los productos derivados son instrumen-

tos muy eficaces para gestionar el riesgo financiero y de esta manera los que se dedican a dar la cobertura son capaces de disminuir el riesgo al que se exponen. Los más utilizados son los “forwards”, futuros, opciones y swaps.

2.1. LOS SWAPS

Los operadores están expuestos a las fluctuaciones de los activos subyacentes de un producto derivado. Por esa razón están tratando constantemente de reducir en la medida de lo posible el riesgo de sus inversiones.

Los swaps son contratos bilaterales, en los que una de las partes dice que va a pagar el otro, y la segunda parte, al mismo tiempo, promete pagar a la primera parte; es decir, son un intercambio de flujos monetarios. Los pagos se realizan en un calendario establecido y calculados con fórmulas diferentes en función de quién va a pagar a quien. Este tipo de intercambio se denomina swap de vainilla, debido a su simplicidad en términos de principios y operación. Este tipo de contratos existe desde hace mucho tiempo, pero en la década de 1980 cuando su uso se popularizó.[11]

Los swaps pueden ser clasificados en cuatro tipos diferentes:

- Swaps de tipos de interés (IRS, por sus siglas en inglés).
- Forex Swaps (Foreing Exchange Swaps).
- Materias primas.
- Intercambios de capital

Durante la negociación de los contratos, ambas partes acuerdan el plazo de expiración, y podrá ser tan lejano como sea necesario. El hecho de que la fecha de finalización del contrato pueda ser muy lejana, hace que esto presente un gran atractivo frente a las opciones o futuros.

Los Swaps son herramientas muy importantes en los mercados de derivados, y se utilizan para:

- Ofrecer una cobertura para los riesgos de la tipo de interés, las transacciones de *forex*, los precios de las materias primas y a las inversiones de capital.
- Especular comprando o vendiendo swaps únicamente con la intención de ganar dinero.

Y los beneficios de las personas que trabajan con los Swaps son:

- La posibilidad de reducir el costo de la financiación.
- Flexibilidad, porque gracias a los Swaps negociados en los mercados OTC, que pueden negociarse en un montón de diferentes maneras de colocar las dos partes del contrato.
- Transacción única, porque la fecha de vencimiento se puede establecer en la medida que ambas partes puedan necesitar.
- Los swaps son usadas para intercambiar los riesgos y como un producto seguro frente a la volatilidad del mercado.

Por otro lado, una de las mayores desventajas es que, como los swaps no son un productos estandarizados, no se pueden utilizar para otros fines financieros, ergo, no pueden ser comercializadas. Dentro de estas operaciones se debe tener en cuenta el riesgo de crédito, porque no hay ninguna cámara de compensación garantiza las transacciones. [12]

La cámara de compensación se interpone entre ambas partes y, en caso de impago de una de ellas (o de ambas), actúa como la otra parte jurídica. De esta manera, si una de las par-

tes no cumple su parte del contrato, es la cámara de compensaciones la que asume dicho incumplimiento. En el caso de la aplicación de Swaps, que no tienen ninguna cámara de compensación del riesgo de crédito es bastante grande.

2.2. FORWARDS

La diferencia entre el futuro y el forward es que con el futuro debe pagarse/cobrarse cada día la pérdida/ganancia. Estos contratos son un acuerdo entre dos partes, en la que una de ellas promete pagar al otro una cantidad de dinero, y el otro a entregar una cierta cantidad de un determinado activo, en este caso energía eléctrica. Se deben establecer las características del contrato, tales como:

- Tipo de producto
- Cantidad del producto
- Fecha de vencimiento
- Precio de ejercicio (llamado “strike”)

Las ventajas para ambas partes son que con los futuros, las pérdidas y las ganancias son liquidadas diariamente, y con los forwards no hay movimiento económico hasta la fecha de vencimiento[13].

La gran ventaja para ambas partes es que el comprador fija un precio de compra y que el vendedor fija la venta de su mercancía dejando aparte las fluctuaciones en el mercado spot (han conseguido eliminar la incertidumbre).

En este tipo de contratos las partes no suelen tener posiciones especulativas, sino que tratan de garantizar el suministro y su precio. A pesar de todo, el problema del riesgo de crédito sigue latente ya que en las transacciones con estos productos no existe una cámara de compensación. El forward también se utilizan para evitar el riesgo de tipo de cambio.[12]

2.3. OPCIONES

Las opciones comenzaron a utilizarse durante la era de los tulipanes, en 1630. El principal problema cuando se creó este mercado es que no estaba regulado y existía un elevado riesgo de incumplimiento de contrato. No fue hasta 1973 cuando se creó el Chicago Board Options Exchange (CBOE), lo que dio

más seguridad y transparencia a las opciones. En el caso de los futuros, dicho mercado se creó bastante antes, en el año 1860. En 1978 se creó el LIFFE (London International Financial Futures and Options Exchange). A continuación (Tabla 1) se muestran las principales diferencias entre un contrato cerrado en el mercado y otro cerrado OTC:

Mercado	Contrato OTC
Derivados: - Futuros - Opciones	Derivados: - Las operaciones Forward - Opciones - Los Swaps
Negociado de viva voz	Acuerdo bilateral
Contratos estándar	No estandarizado
Transparencia de los precios	Menos transparente
Las dos partes no tienen por qué conocerse	Ambas partes deben conocerse entre sí
Las reglas del mercado deben ser respetadas	Hecho en horario comercial local
Las negociaciones son simple	Las negociaciones son más complejas
Unos pocos alcanzan la fecha de vencimiento	Casi todo el mundo cobra físicamente

Tabla 1: Las diferencias entre la bolsa y la OTC

En los contratos de opciones el comprador adquiere el derecho, pero no la obligación, de comprar el activo subyacente al precio de ejercicio en la fecha de vencimiento. En la figura 1 se pueden ver diferentes alternativas de trading con opciones:

Para adquirir los derechos de vender o comprar algo es obligatorio el pago de la prima.

2.4. FUTUROS

Un futuro es un contrato en el que comprador y vendedor acuerdan intercambiar un determinado producto, a un precio

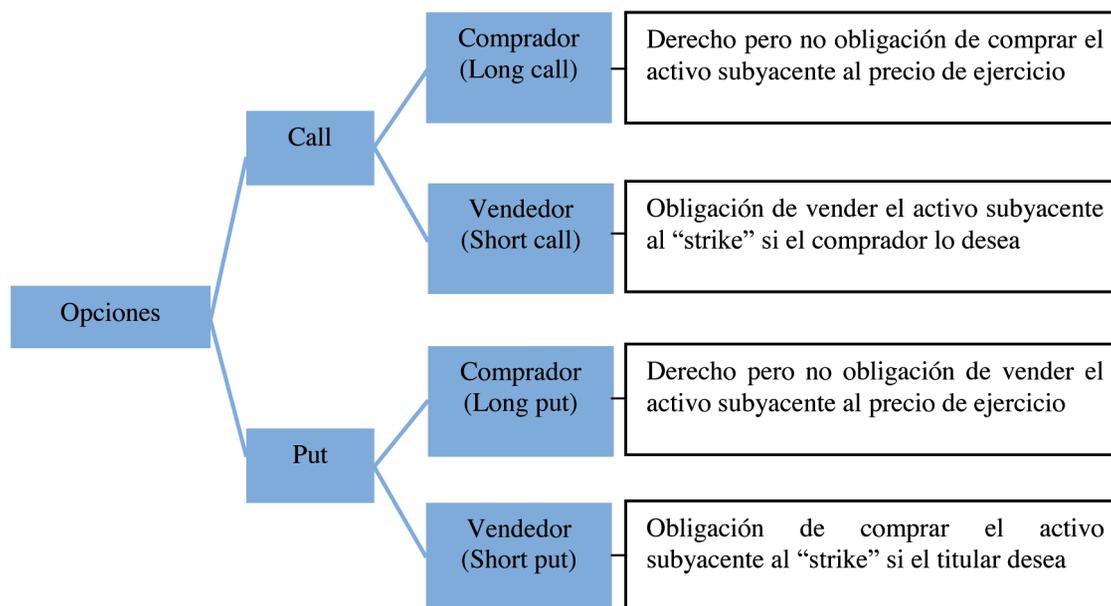


Fig. 1: Opciones alternativas de transacción

ya fijado en una fecha futura. [15]

El hecho de comprar o vender un activo para realizar su transacción en el futuro tiene el origen en los mercados de materias primas. Este tipo de contrato se utiliza para una gran variedad de productos, tales como:

- Los metales
- Productos de alimentación
- Tasa de Interés (también conocidos como Forward Rate Agreements, FRA)
- Tipos de cambio de las divisas (Forward Forex Transactions)

En estos contratos el titular y por el escritor acuerdan intercambiar un determinado activo en una fecha futura. Ambas partes deben estar de acuerdo en el precio, la cantidad y la calidad, la fecha de vencimiento, y en el futuro deben asegurar que la electricidad es entregada dentro de la fecha establecida, el lugar y las condiciones.[16]

Del mismo modo que el precio de un contrato de futuro se añade al precio de contado, el costo de transportar. De esta manera, el precio del futuro fluctúa del mismo modo que el spot, convergiendo ambos en la fecha de vencimiento.

Con esta táctica, los especuladores están facilitando para alcanzar el equilibrio entre ambos precios. Así el precio futuro se forma como se muestra en la fórmula (1).

$$FP = SP + CC \quad (1)$$

Donde FP es el precio futuro, SP es precio de contado y CC el costo de acarreo.

Los precios de los mercados de futuros dependen de las expectativas sobre un determinado activo, al igual que los precios spot. Si, por ejemplo, se cree que la cosecha de trigo va a

ser escasa, el precio se disparará, por lo que la acción correcta sería la de comprar futuros con la esperanza de venderlos en una fecha futura por un precio más alto. Si, por el contrario se cree que habrá un exceso de trigo, la actuación correcta sería la de vender el trigo hoy con la esperanza de poder comprarlo más económico en una fecha futura. [12]

Los problemas de los contratos forward se han resuelto cuando se creó el Chicago Board of Trade (CBOT) en 1865, y establecieron establecer la base de la moderna los contratos de futuros. [14]

Los contratos de futuros son un acuerdo entre el comprador y el vendedor de intercambiar un activo en una fecha de vencimiento. Hay dos tipos de futuros:

- Futuros sobre materias primas
- Futuros financieros

En la tabla 2, se muestran diferentes futuros según el tipo de producto.

3. DIFERENTES FUNCIONES EN UN MERCADO FINANCIERO

Básicamente, los contratos de futuros los emplean los siguientes grupos:

- Los coberturistas, o personas que quieran cubrir un riesgo (también conocidos como hedgers, en inglés)
- Los especuladores
- Los arbitrajistas

Hedger (coberturista)

El objetivo de estas personas es el de reducir el riesgo de

Los metales	Productos blandos	Cereales y semillas	Energía
- Simples - Preciosos	- Café - Cacao - Azúcar - Otros	- Los cereales - Semillas - Las fibras - Otros	- Petróleo - Derivados del petróleo - Gas - Carbón - Electricidad

Table II: Los productos básicos

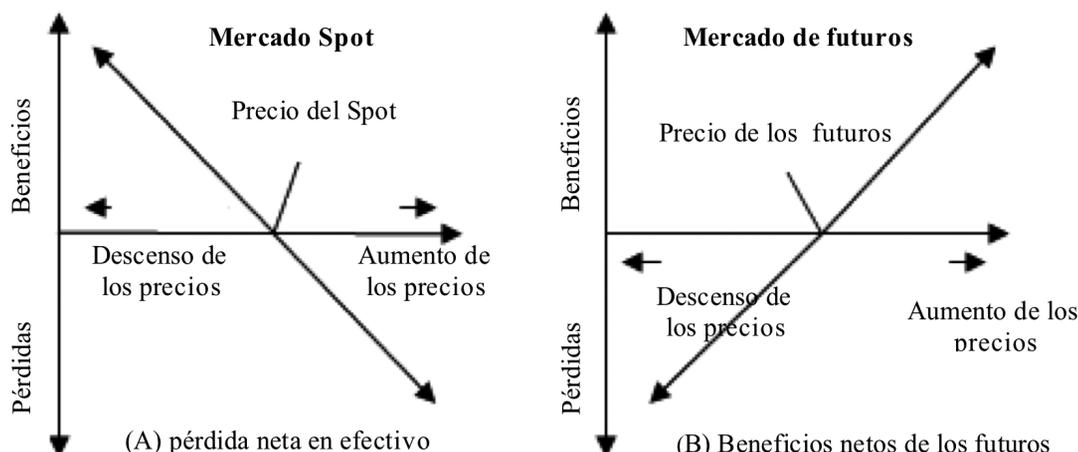


Fig. 2: Distribución de pérdidas y ganancias en una cobertura larga

rivado de las fluctuaciones del precio de la electricidad en el pool. Esto es una operación muy común entre grandes consumidores industriales. Una posición de cobertura frente a un movimiento adverso del mercado se puede realizar mediante dos estrategias:

- Posición larga: cuando el consumidor necesita que los precios del pool bajen para así reducir sus costes de producción.
- Posición corta: cuando la empresa necesita cubrirse una posición larga en el pool.

Cuando a un gran consumidor le conviene que el precio del pool disminuya, lo que deberá realizar es una cobertura larga. De tal modo, lo que conseguirá es que si el precio del pool sube, ese aumento de los costes de producción se vea disminuido por los ingresos obtenidos a través de la cobertura larga. También hay que destacar que lo contrario le sucederá si el precio del pool baja; en ese caso la reducción de sus costes de producción se verá perjudicada por las pérdidas derivadas de la cobertura larga.

En la figura 2 se puede ver cómo se calculan los ingresos en una cobertura larga. La primera de ellas (a) muestra cómo si sube el precio en el pool, la empresa pierde dinero.

La segunda (b) muestra cómo, cuando una empresa tiene una posición larga en el mercado spot (es decir, que le conviene que suba el precio de la electricidad), abre una posición corta en el mercado de futuros. En este caso, si el precio del pool fluctúa en el sentido desfavorable, la posición corta en el mercado de futuros contribuirá a compensar las pérdidas del mercado spot [12].

Como en el caso anterior, es posible visualizar los beneficios y pérdidas derivados de estas posiciones en los gráficos siguientes (fig.3). Cuando el precio del mercado spot disminuye, la empresa compensa sus pérdidas del pool con los beneficios del mercado de futuros, debido a su posición en el mercado.

Especulador

Estas personas son quienes asumen el riesgo que los coberturistas desean transferir. No tienen posiciones para proteger y no tienen los recursos para entregar físicamente la electricidad

que se encuentran negociando. Lo único que hacen es abrir posiciones (largas o cortas) en función de las expectativas que tienen en el mercado:

- Compran futuros sobre electricidad si piensan que el precio de la electricidad va a aumentar.
- Venden futuros sobre electricidad si piensan que el precio de la electricidad va a disminuir.

Arbitrajista

Los Arbitrajistas tratan de buscar leves diferencias de precio para el mismo producto y ganar dinero gracias a ese hueco.

Un ejemplo sería el siguiente: comprar electricidad para los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2015 a una media de 50€/MWh, y venderlo en 2015 a 50,35 €/MWh. Gracias a esta operación, se han ganado 0,35 € por cada MWh negociado sin ningún riesgo.

4. HERRAMIENTAS EMPLEADAS PARA LA COBERTURA

4.1.-VAR (VALUE AT RISK)

El VaR se ha convertido en uno de los métodos más utilizados por los agentes de mercado para la medición del riesgo. Aunque empezó a usarse en por las entidades financieras en la década de 1980, fue en 1995 cuando el Comité de Basilea de Supervisión Bancaria obligó a los bancos a evaluar sus necesidades de recursos mediante el VaR. En junio de ese año, la Reserva Federal de los Estados Unidos tomó una decisión similar.

Es un método popular debido a su sencillez en los cálculos. El VaR es algo así como el peor de los casos de una determinada cartera en condiciones normales de mercado con un determinado nivel de confianza. En [17] el VaR responde a la siguiente pregunta: ¿cuánto puedo perder con una probabilidad de $(1-\alpha)$ en un horizonte dado?

Para evaluar el VaR de una cartera compuesta por un producto único, se va a hacer por el método no paramétrico, es decir, usando simulaciones históricas. Se van a emplear datos reales en lugar de hacerlo con los rendimientos.

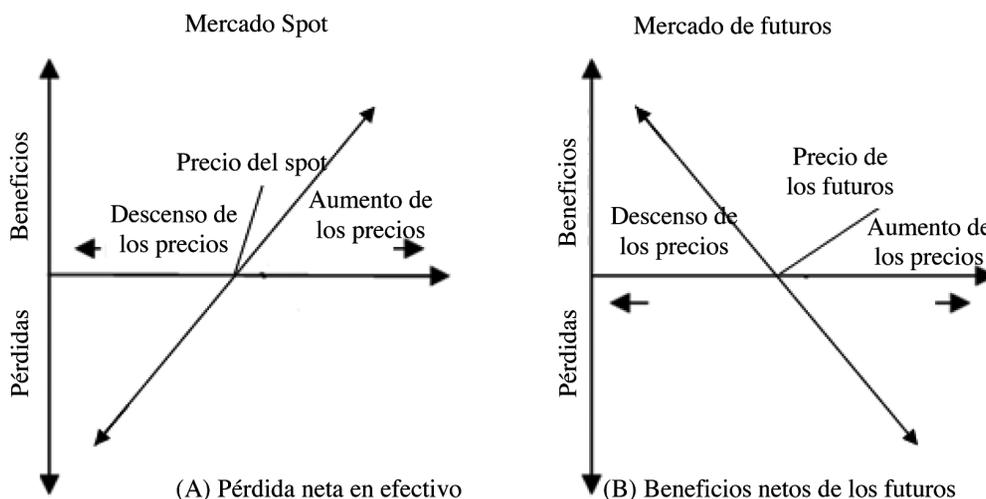


Fig. 3: Distribución de pérdidas y ganancias en una cobertura corta

$$R_1, R_2, \dots, R_n$$

Además, se supone que el valor de la cartera es V_0 . Los rendimientos previos se refieren a las diferentes situaciones que se podrían dar.

Una vez establecidos los diferentes escenarios se debe determinar cuál sería el valor de esa cartera en cada uno de los escenarios. Esto se representa de la siguiente forma:

$$V_0 * (1+R_1), V_0 * (1+R_2), \dots, V_0 * (1+R_n) \quad (2)$$

Así se establece una distribución empírica con los posibles valores que la cartera puede obtener el próximo período. De esta distribución se puede obtener el valor del corte (V_c), de manera que sea $\alpha\%$ superior de los escenarios.

4.2. BLACK-SCHOLES

El modelo BSM describe matemáticamente cómo evolucionan los precios de un determinado activo en el tiempo. Esta es la hipótesis del movimiento Browniano proporcional en los cambios en el precio de los activos, representada por la desviación instantánea, μ y volatilidad σ . La descripción matemática de esta propiedad viene dada por la siguiente ecuación diferencial estocástica:

$$dS = \mu S dt + \sigma S dz \quad (3)$$

Donde μ es la desviación instantánea, S el precio de los activos, σ la volatilidad, dS es el aumento de precio del intervalo infinitesimal dt , y dz es la incertidumbre subyacente que impulsa el modelo.

Los neutrales al riesgo supuesto implica que la desviación puede ser sustituido por el tipo de interés libre de riesgo (ie $\mu=r$). Cualquier proceso que se describe el comportamiento estocástico del precio de los activos se llevan a la caracterización de la distribución de valores que puede tomar el activo, y de la asunción en la ecuación (2) implica que en el futuro los precios de los activos siguen una distribución lognormal, o al contrario, rendimiento de los activos siguen una distribución normal.

Sea C el valor de los instrumentos derivados, ya sea una *call* o un *put*, o un contrato a plazo. Derivando los argumentos de Black-Scholes -Merton de la ecuación diferencial parcial que describe la evolución del precio de un derivado a lo largo del tiempo,

$$\partial C/\partial T + r S/\partial S \partial C + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \partial^2 C/\partial S^2 \quad (4)$$

El valor de cualquier derivado cuyo resultado está sujeto a nivel de precios de activos siguiente ecuación (1), y el tiempo, debe satisfacer la ecuación (2). Para evaluar los precios de las opciones específicas (p. ej. La opciones de *put* o *call* europeas) esta ecuación se debe resolver con los límites apropiados, dado que el pago de los vencimientos de la opción (ie $CT = \max(0, ST-k)$ de una *call* europea y $CT = \max(0, k-ST)$ para un *put* europeo). La ecuación (2) para opciones europeas se pueden resolver de diferentes maneras, satisfaciendo los Black-Scholes -Merton (en ese entonces las cuotas para una *call* en t):

$$C(t) = S N(d_1) - k e^{-r(T-t)} N(d_2) \quad (5)$$

Donde

$$d_1 = (\ln(S/K) + (r+1/2s^2) * (T-t)) / (s * \text{sqrt}(T-t))$$

$$d_2 = d_1 - \sigma * \text{sqrt}(T-t)$$

S = precio de los activos

K = precio de ejercicio

r = prima de riesgo

t = fecha de hoy

T = fecha de vencimiento

s =volatilidad

$N(\cdot)$ = distribución normal

Uno de los atractivos que ha popularizado el uso del modelo de Black-Scholes es su simplicidad. Las variables de la ecuación se definen en la firma del contrato, o son directamente observables en el mercado. La única excepción es la volatilidad parámetro, y hoy en día hay muchos textos financieros en decir que este parámetro puede ser estimada a partir de datos históricos o de los precios de las opciones.

4.3. MONTECARLO

El método Monte Carlo se utiliza para simular un número suficiente de escenarios aleatorios. “La idea que subyace a este enfoque es simplemente para simular, de manera repetitiva, los procesos al azar que rigen los precios de los instrumentos financieros... Cada simulación proporciona un valor posible para nuestra cartera al final del horizonte de tiempo seleccionado. Si tomamos estas simulaciones en número suficiente, la simulación de la cartera de valores distribución convergen para la distribución verdadera, en principio desconocido, y podemos utilizar esta primera para inferir el verdadero VaR” [18].

Como se indica [19], la simulación de Monte Carlo es un proceso, y los pasos son los siguientes:

El primero consiste en especificar un modelo estocástico que describa el comportamiento de los precios en el tiempo. El primer modelo lo formuló Bachelier (1900), quien defendió su tesis doctoral “La teoría de la especulación” que los precios siguen un movimiento Browniano. Este movimiento fue descubierto por el botánico Robert Brown en 1829, cuando al observar a través del telescopio que en el polen de las partículas suspendidas en el agua había un movimiento aleatorio.

Movimiento Browniano Geométrico (MGB, en este caso el escalar por la cual se multiplica es P_t) sugiere que existe una correlación entre las fluctuaciones del precio de un activo a lo largo del tiempo, y propone la siguiente ecuación diferencial estocástica para su cálculo:

$$dP_t = P_t * (\mu_t * d_t + \sigma_t * dz) \quad (6)$$

Donde

P_t = precio del activo en el tiempo t .

dz = variable aleatoria distribuida normalmente con media y varianza cero. Esto se debe a que la variación Browniana disminuye con el tiempo, descartando procesos de variaciones bruscas.

μ_t = rendimiento medio t instantáneo.

σ_t = volatilidad en t .

Para simplificar los cálculos μ , σ y la variación a lo largo del tiempo se considera que éstos son constantes, de modo que la ecuación queda de este modo:

$$dP/P_t = \mu * dt + \sigma * dz \quad (7)$$

Donde:

- t es el tiempo actual
- T es la fecha de vencimiento
- t es el tiempo entre la fecha actual y la fecha de vencimiento ($t = T - t$)
- t va a ser dividido en n intervalos del siguiente modo:
 $\Delta t = \tau / n$

5. ¿CÓMO OPERA UN COBERTURISTA (HEDGER) EN EL MERCADO ELÉCTRICO?

Hoy en día es muy común que las industrias con grandes consumos eléctricos compren la electricidad en el mercado spot. En este documento, el análisis se centra en una empresa dedicada a la fundición de hierro (*fundición* en adelante), con un consumo anual aprox de 87.000 MWh, y que desea cubrir un tercio de esas necesidades para el mes de mayo, es decir, desea adquirir mediante opciones o futuros un volumen de 2.422 MWh.

El problema para la *fundición* es que un aumento en el precio del precio spot eléctrico significa un aumento en su producción, por lo que el precio de las mercancías vendidas aumentaría proporcionalmente.

Para la cobertura de producción, la *fundición* ha pensado en dos formas:

- Compra de cartera de futuros, específicamente la FTB M Mayo-13.
- Comprar long calls en el mercado OTC.

Mediante este sistema, lo que la *fundición* intenta hacer es reducir sus pérdidas potenciales, a costa de reducir los beneficios.

A continuación se procederá a evaluar ambos mercados.

- Se ha evaluado el VaR de una cartera para la cobertura de un tercio del consumo eléctrico posible.
- A continuación se evalúa qué cantidad de opciones pueden comprarse con la cantidad de dinero calculado con la metodología VaR, y después se calcula que la electricidad puede ser adquirida con la cantidad de opciones.

Finalmente, ambas alternativas deben ser evaluadas y después decidir cuál de las dos alternativas es la mejor.



Fig 4: FTB M 13 mayo Evolución

5.1. VAR SE FUTUROS DE UNA CARTERA

Es necesario recordar que el objetivo del VaR es responder a la siguiente pregunta: ¿cuánto dinero puede perder la *fundición* con una probabilidad de $(1-\alpha)$ en el próximo período?

Suponiendo que la cobertura ha sido realizada el 12 de abril, en la figura 4 se muestra la fluctuación de la FTB M 13 mayo en términos de €/MWh (el futuro FTB M 13 mayo se comercializaba desde el 1 de enero 2013 hasta el 30 de abril 2013):

Sabiendo que el 12 de abril el precio es 41,3 €/MWh, para adquirir 2.422 MWh la *fundición* debe pagar 100.028,6 €, por lo que éste será el valor de V_0 .

Una vez que obtenido el precio de la cotización, se calcula el rendimiento, y con esos valores, se simula el comportamiento de la cartera (representado en el histograma de la Figura 5):

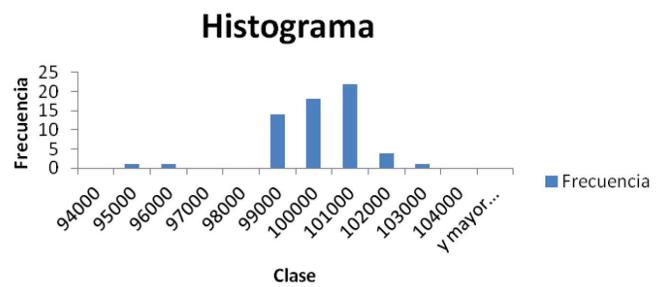


Fig. 5: Histograma

A continuación se muestra la distribución de los valores que toma la cartera con los rendimientos obtenidos de la cartera:

Valor de la cartera (€)	Frecuencia
94.000 o menos	0
94.000 -95.000	1
95.000 -96.000	1
96.000 -97.000	0
97.000 -98.000	0
98.000 -99.000	14
99.000 -100.000	18
100.000-101.000	22
101.000-102.000	4
102.000-103.000	1
103.000-104.000	0
mayores	0

Tabla III: Frecuencia de Cartera

El VaR se calcula con una confianza del 95 %, por lo que debe tomarse el 5% menor de los valores simulados, por lo que el 5% de los 61 valores simulados es 3 (redondeo hacia abajo). El tercer valor más bajo es 98.112,86 €, el cual se tomará como el punto de corte.

$$VaR = V_0 - V_c = 100.028,6 - 98.112,86 = 1.915,74 \text{ €} \quad (8)$$

Una vez que el VaR se ha calculado, con esa cantidad de dinero se debe calcular el número de opciones que se pueden comprar, y para ello se va a utilizar la fórmula Black-Scholes.

5.2. FÓRMULA DE BLACK-SCHOLES

Una vez encontrado el VaR y el sabiendo que esta pérdida es aceptable, para el cálculo de la prima que hay que calcular la prima que hay que abonar por una *long call* en el mercado OTC a través de la ecuación Black-Scholes. Siguiendo los pasos indicados por [14], se hallará la cantidad de energía que se podrá cubrir.

Los datos necesarios para la utilización de la ecuación son los siguientes:

- Desviación Estándar (σ)

La desviación estándar es para obtener los precios medios

mensuales en el mercado spot. Para obtenerlos se irá a la página web de OMIClear y se descargarán de allí.

Para el cálculo de la desviación estándar se emplean promedios mensuales (€/MWh), y los cálculos que se realizan son:

- Cálculo de los rendimientos de los precios:

$$u_i = \ln(S_i/S_{i-1}) \tag{9}$$

- La desviación estándar (s) mide el promedio mensual precio spot de la electricidad:

$$s = \sqrt{(\sum(u_i - u_{\text{medio}})^2 / (n-1))} \tag{10}$$

Dado que la suma de los $(u_i - u_{\text{average}})^2$ es 0,776389661 , y

Month	Average spot price	Ui	U average	(Ui - U average)^2
January 10	29,06		0,01454531	
February 10	27,68	-0,0484125		0,003963685
March 10	19,63	-0,34382944		0,12843246
April 10	27,42	0,3343359		0,102266025
May 10	37,28	0,30723251		0,0856658
June 10	40,12	0,07329684		0,003451743
July 10	42,91	0,06729759		0,002782804
August 10	42,94	0,00068382		0,000192141
September 10	46,44	0,07830478		0,00406527
October 10	42,63	-0,08558624		0,010026326
November 10	40,94	-0,04058948		0,003039844
December 10	46,35	0,12414537		0,012012174
January 11	41,19	-0,1179588		0,017557338
February 11	48,03	0,15372816		0,019371866
March 11	46,67	-0,02881244		0,001879894
April 11	45,45	-0,02647492		0,001682659
May 11	48,90	0,07317777		0,003437766
June 11	50,00	0,02219908		5,85803E-05
July 11	50,82	0,01622413		2,81846E-06
August 11	53,53	0,0520887		0,001409506
September 11	58,47	0,0881942		0,005424159
October 11	57,46	-0,0174254		0,001022126
November 11	46,75	-0,20615225		0,048707412
December 11	50,07	0,06847076		0,002907955
January 12	51,06	0,01968741		2,64412E-05
February 12	53,48	0,04623698		0,001004362
March 12	47,57	-0,11717781		0,017350981
April 12	41,21	-0,14339882		0,024946348
May 12	43,58	0,05594959		0,001714314
June 12	53,50	0,20495712		0,036256658
July 12	50,29	-0,06183802		0,005834413
August 12	49,34	-0,01907114		0,001130065
September 12	47,59	-0,03612646		0,002567629
October 12	45,65	-0,04162974		0,003155636
November 12	42,07	-0,08164401		0,009252385
December 12	41,73	-0,0081146		0,000513472
January 13	50,50	0,19075304		0,031049166
February 13	45,04	-0,11442235		0,016632657
March 13	30,42	-0,39238808		0,165594785

Table IV: Distribución estándar

aplicando las ecuaciones anteriores, la volatilidad de los precios medios mensuales a partir de enero de 2010 a 2013 Marzo es el 14,29 %.

- Tiempo de espera (T)

El tiempo de caducidad que los dos firmantes de la opción que se está negociando, y es la fecha en la que debemos decidir finalmente si se ejerce la opción o no. Como se trata de opciones europeas, sólo es posible ejercer el derecho en la fecha de vencimiento.

- Tasa libre de riesgo (r)

Esta variable se refiere al rendimiento ofrecido por los bonos a 10 años desde que los bonos de vencimiento se consideran productos de renta fija con prácticamente ningún riesgo.

- Precio Actual (S)

Es el precio del activo subyacente en el mercado spot.

- "Strike" o precio de ejercicio (K)

Es el precio al que el ejercicio de la opción se estructura en capas, es decir, si ustedes deciden finalmente a ejercer el derecho de compra o de venta, es el precio que usted paga por ese activo. Para ello se ha calculado la media de simulación de Monte Carlo para el mes de mayo, y se ha acordado entre las partes que el precio de ejercicio será de € 30,91 .

Además de estas variables, la ecuación debe cumplir es la siguiente:

$$C = S * N(d_1) - K * EXP(-r * T) * N(d_2) \tag{11}$$

Donde:

- N (x): función de distribución de probabilidad normal variable normalizada.

Debe introducir los siguientes datos en la hoja de cálculo para realizar los cálculos. Para configurar el *strike*, se ha decidido entre el minorista y la *fundición* utilizar el precio promedio obtenido por el método de Montecarlo 2013 Mayo.

DATOS DE ENTRADA	
Desviación estándar (σ)	0.1429
Tiempo de espera (t)	0.038356164
Tasa libre de riesgo ®	0.0469
Precio Actual (s)	30.42
Strike (k)	30.91

Tabla V: Los datos de entrada

Posteriormente, se debe encontrar los valores de d1 y d2 para que puedan ser sustituidos en las ecuaciones:

$$d_1 = (\ln(S/K) + (r + \sigma^2/2) * T) / (\sigma * \sqrt{T}) \tag{12}$$

$$d_2 = (\ln(S/K) + (r - \sigma^2/2) * T) / (\sigma * \sqrt{T}) \tag{13}$$

CÁLCULOS INTERMEDIOS			
d1	-0,49269834	d2	-0,52068492
N(d1)	0,31111288	N(d2)	0,30129314

Tabla VI: cálculos intermedios

Una vez que se han realizado los cálculos, es posible decir que la prima que hay que pagar es de 0,1678 €. Ahora que se dispone del VaR y de la prima de las opciones, se va a calcular el número de opciones que se pueden adquirir.

$$\text{Número de opciones} = (1915.74 \text{ €}) / (0.1678 \text{ € /opciones}) = 11.416,81 \approx 11.416 \text{ opciones}$$

Debido al bajo precio que se paga como prima, se ha establecido entre las partes que para cada opción se entregará 1 MWh, por lo que es posible adquirir 11.416 11.416 MWh con opciones compradas en 1.915,74 €. Como se mencionó al comienzo de este análisis, el volumen que ha de cubrirse es de 2.422 MWh, por lo que debe evaluarse la cantidad de dinero necesaria para comprar esa cantidad de electricidad con opciones.

Por lo que se tiene que calcular de nuevo el dinero que hay que pagar para comprar 2422 *calls*:

$$\text{Precio} = 2422 * 0,1678 \text{ € /opción} = 406,4116 \text{ €}$$

Por lo tanto, a fin de cubrir un tercio del consumo en el mes de 2013 Mayo en el OTC, se deben pagar 406,4116 €.

5.3. MÉTODO MONTECARLO

Este método generará escenarios al azar a los que podría tender a precio al contado de la electricidad en términos de volatilidad de los precios mensuales.

Se ha programado de forma que al introducir alguna entrada se generan diversas situaciones aleatorias hacia las que podría evolucionar el precio del mercado spot en el corto, mediano o largo plazo, en función de la estrategia de inversión [19]. Los pasos son los siguientes:

La ecuación para generar el precio simulado sería:

$$P_t = P_{t-1} * EXP(\sigma * \epsilon * \sqrt{t}) \tag{14}$$

Los datos necesarios para realizar el cálculo ecuación son:

- P_t es el precio simulado
- P_{t-1} es el precio actual de la electricidad en el mercado spot.
- Σ la volatilidad mensual de la electricidad.
- E es un componente aleatorio que sigue una distribución normal estándar, es decir, con media cero y varianza igual a la unidad.
- T es el horizonte de tiempo en estudio.

A continuación puede ver cómo los números aleatorios generados para la simulación de los precios.

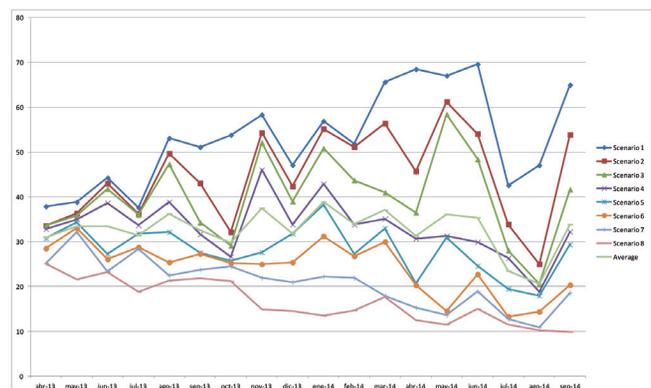


Fig. 6: Simulación de Montecarlo

Relacionados con el método Montecarlo, se ha visto que es un sistema fiable para la generación de escenarios aleatorios. Se trata de un sistema de inercia, es decir, hasta el mes de marzo y abril fueron meses muy lluvioso, el costo de oportunidad del sistema hidráulico ha disminuido mucho, con la consiguiente disminución del precio de la electricidad para el mes de Abril hasta 18,17 €/MWh. Y en la simulación todos los precios han sido superiores a ese valor.

Esto quiere decir que cuando las condiciones climáticas se mantienen constantes de un año a otro las simulaciones son más fiables que si tenemos un año muy soleado y el siguiente muy lluvioso. Por esta razón, se debe recordar que cuanto más estables son las condiciones meteorológicas el más fiable es el método Montecarlo.

6. CONCLUSIONES

Una vez analizadas ambas alternativas y conocida tanto la pérdida que puede obtenerse con cada una de ellas, así como la cantidad de electricidad que puede ser cubierta, la *fundición* debe decidir cuál de las dos alternativas es más atractiva. Debe tenerse en cuenta que cada situación siempre es diferente a las demás, y que las decisiones que se tomen serán diferentes en función de las necesidades de cada momento. Lo que se puede extraer de este trabajo es la metodología a aplicar a la hora de gestionar el riesgo. El equipo encargado de la gestión de riesgos debe tener presente en todo momento la situación de la empresa y su aversión al riesgo.

Como se ha demostrado, el riesgo en el mercado de futuros no está controlado, es decir, el coberturista no tiene un límite

de pérdida económica fijado y es vulnerable a los especuladores. Por otra parte, la principal ventaja que se ha visto con las opciones es que la máxima pérdida que se puede obtener es la prima que se debe pagar para adquirirlas. Esto hace que en las peores condiciones de mercado, el realizar la cobertura con opciones sea muy seguro.

En el caso de estudio, se han comparado los resultados que se obtendrían empleando opciones o futuros, y se ha visto que con "long calls" se puede cubrir un tercio de la producción con el 20% del dinero necesario para adquirir los futuros.

Se puede deducir que, evaluando las diferentes situaciones, en este caso la mejor alternativa para la *fundición* es adquirir opciones.

En cuanto a los mercados de futuros y de opciones, a la hora de decidir qué producto emplear se debe comenzar a explorar la posibilidad de hacer la cobertura con futuros. Así, se va a poder calcular el VaR, de tal forma que se cubra un tercio de la electricidad necesaria, y decidir si es una pérdida asumible o no. Una vez que se conoce la pérdida potencial con los futuros, se emplea esa cifra para, una vez es sabida la prima de las opciones, calcular cuántas opciones se pueden adquirir y, por ende, cuánta energía puede ser cubierta.

En lo que respecta a opciones negociadas en mercados no organizados (OTC), el precio de ejercicio de la opción ha sido acordado entre las partes, y se ha decidido que sería el precio medio resultante de la simulación de Monte Carlo para el mes de abril.

Por todo lo anterior, se cree que realizar una buena gestión de riesgos en las grandes empresas industriales es esencial, ya que van a poder amortiguar los posibles movimientos adversos de los precios y reducir así su incertidumbre.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Pablo Pineda, Conejo A. J., "Gestión de los riesgos financieros de los productores de electricidad mediante las opciones", *Energía Economics*, vol. 34, no. 6, Págs. 2216-2227, 2012 Nov. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2012.03.016>
- [2] Ausubel L. M., Cramton P., "de los mercados para mejorar diseño mercado de electricidad", *Utilities Policy*, vol. 18, no. 4, Págs. 195-200, 2010 Dic. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jup.2010.05.004>
- [3] Frutos M. A., Fabra N., "Cómo asignar contratos a futuro: el caso de los mercados de la electricidad", *European Economic Review*, vol. 56, no. 3, Págs. 451-469, 2012 Abr. <http://dx.doi.org/10.1016/j.euroecor-ev.2011.11.005>
- [4] Zhang Q, Zhou H, "los análisis de opción Reenviar Los Oficios en los mercados de la electricidad", *IEEE Conferencia Internacional sobre liberalización de los servicios eléctricos, reestructuración y Tecnologías de Energía*, págs. 500-504, abril de 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DRPT.2004.1338034>
- [5] Tan B. J., Lu Z., Xu Z., et al., "cobertura de riesgo en la generación de electricidad Planificación", *Actas 7ª Conferencia Internacional de Ingeniería. El IPEC 2005, Singapur, Singapur, 29 nov -Dic. 2* DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/IPEC.2005.207074>
- [6] Liu M., Wu F. F., "La gestión del riesgo en un mercado competitivo de energía eléctrica", *energía eléctrica y sistemas de energía*, vol 29, no. 9, Págs. 690-697, 2007 Nov. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijepes.2007.05.003>
- [7] Willems B., Morbee J., "El mercado completo: Cómo opciones afectan a las coberturas y las inversiones en el sector de la electricidad", *Energy Economics*, vol 32, no. 4, Págs. 786-795, 2010 Jul. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2009.10.019>
- [8] Coulon M., Powell W. B., Sircar R., "un modelo de cobertura de riesgo de los precios y en el mercado de la electricidad texas", *Energy Economics*, n040, págs. 976-988, 2013 junio.
- [9] Tanlapco E., Liu C., "Cobertura con contratos de futuros en el Sector Eléctrico Liberalizado", *IEEE Transactions on power systems*, vol 17, no. 3, Págs. 577-582, 2002.
- [10] Santander B., "Informe anual 2009. Gestión de riesgos." 2009.
- [11] Liu M., Wu F. F., Ni Y., et al., "un estudio sobre la Gestión de Riesgos en los mercados de la electricidad", páginas 1-6, 2006.
- [12] Les C., Chris S., *derivados energéticos: Los precios y en la gestión de riesgos*. Lacima Publicaciones.
- [13] Deng S., Oren S., "Electricidad derivados y gestión de riesgos", *energía*, vol. 31, no. 6-7, págs. 940-953, mayo de 2006.
- [14] Juan-C-Hull, "Introducción a los mercados de futuros y opciones", 2002
- [15] Huisman R., Kilic M., "los precios futuros de Electricidad: La indirecta imposibilidad, las expectativas y las primas de riesgo", *Energy Economics*, vol 34, no. 4, Págs. 892-898, 2012 Jul.
- [16] Nakamura M., Nakashima T., Niimura T., "Electricidad volatilidad de los mercados: las estimaciones, regularidades y aplicaciones de gestión de riesgos", *Energy Policy*, vol 34, no. 14, Págs. 1736-1749, 2006 sept.
- [17] Benninga S., Czaczkes B., "modelos financieros", el MIT. 2000.
- [18] Dowd K., "Beyond valor en riesgo: la nueva ciencia de la gestión del riesgo" Edición Wiley Nuevo . 1998.
- [19] Marín J. L. M., Ponce A. T., Domínguez J. M. F., "La Gestión de riesgos y la nueva regulación bancaria", Grupo Edit. 2005.