

Gestión del riesgo en la exportación de energía de Argentina a Brasil



Javier Reneses Guillén

Recibió el título de Ingeniero Industrial del I.C.A.I. especialidad Eléctrico de la Universidad Pontificia de Comillas (ICA), Madrid, en 1996. Actualmente es Investigador en Formación en el Instituto de Investigación Tecnológica (IIT). Sus áreas de interés incluyen los modelos de simulación de los sistemas de energía eléctrica, así como la gestión de riesgos en los mercados de energía eléctrica.

Efraim Centeno Hernáez

Recibió el título de Ingeniero Industrial del I.C.A.I. y el de Doctor Ingeniero Industrial de la Universidad Pontificia de Comillas, Madrid, en 1991 y 1998, respectivamente. Trabaja como Investigador en el Instituto de Investigación Tecnológica. Sus actuales áreas de interés incluyen la explotación y planificación de los sistemas de energía eléctrica.

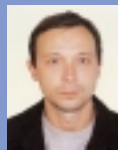


Andrés Ramos Galán

Recibió el título de Ingeniero Industrial del I.C.A.I. de la Universidad Pontificia Comillas de Madrid en 1982 y el de Doctor Ingeniero Industrial de la Universidad Politécnica de Madrid en 1990. Desde 1984 hasta hoy es Investigador del Instituto de Investigación Tecnológica de la Universidad Pontificia Comillas de Madrid. Sus áreas de interés incluyen la explotación, planificación y economía de los sistemas de energía eléctrica, la aplicación de la investigación operativa a los sistemas de energía eléctrica y el desarrollo de software.

Francisco Pérez Thoden

Recibió el título de Ingeniero Industrial del I.C.A.I. de la Universidad Pontificia Comillas de Madrid en 1983. Ha ocupado diversos puestos en Endesa relacionados con la regulación y gestión de energía. De 1997 a julio 2000 ha ocupado el cargo de Gerente Comercial de Central Dock Sud S.A. en Buenos Aires, Argentina. En la actualidad es responsable de Análisis en Endesa Trading dentro de la Dirección General de Endesa Europa.



La política de expansión de las empresas eléctricas españolas ha llevado a una presencia amplia de las mismas en el sector eléctrico sudamericano. En este artículo se describen las líneas maestras del análisis de los riesgos asociados a la firma de un contrato de exportación de energía de una central argentina a Brasil. Este contrato está sujeto principalmente a la incertidumbre en las aportaciones hidráulicas ya que el sistema eléctrico brasileño tiene una fuerte componente hidroeléctrica, que hace que en los años lluviosos se satisfaga prácticamente toda la demanda sin el uso de grupos térmicos.

Las particulares características del contrato que se analiza hacen que se proponga un método distinto de los más habituales en la valoración de opciones (binomial o Black-Scholes), denominado convolución discreta. Se muestra en el artículo como la decisión de firma de un contrato de este tipo puede llevar a hacerlo interesante pese a que disminuyan las expectativas medias de beneficio, si se reduce la variabilidad del mismo.

Introducción

En este artículo se describe un método para el análisis de riesgos que implica la firma de un contrato de exportación de energía entre Argentina y Brasil. Las condiciones en las que se desarrolla el contrato son de incertidumbre, tanto

en la hidráulica como en los precios en ambos países.

En la actualidad, con unos mercados de energía eléctrica en auge, la complejidad tanto de contratos como de derivados está aumentando de manera importante. En [1] y [2] se describen los productos derivados más comunes en los mercados de energía eléctrica, y en [3] y [4] algunos de los nuevos contratos que están surgiendo.

El contrato en cuestión tiene la característica de que supone para un generador argentino un cobro adicional como garantía de potencia. En contrapartida, el generador debe estar dispuesto a proporcionar energía a un precio fijado siempre que el sistema brasileño lo decida.

En consecuencia, se puede considerar como la firma de una opción de compra en el que la prima es determinista, ya que coincide con el cobro adicional por garantía de potencia.

La valoración de opciones se realiza habitualmente por el método Binomial si las variaciones en su valor son discretas, o mediante el de Black-Scholes si se consideran continuas [5].

Una vez comprobado que las variables estudiadas no cumplan las hipótesis que exigen estos modelos, se utiliza la convolución discreta como medio para determinar el beneficio a lo largo del horizonte del contrato.

Características del contrato

En este apartado se va a describir exhaustivamente el contrato de exportación de energía que se quiere valorar. En primer lugar, se describe el funcionamiento del sistema argentino, para poder después caracterizar totalmente el contrato.

Características del sistema argentino

El sistema argentino se caracteriza por la gran distancia de los centros de producción a los de consumo y por realizarse la comunicación entre ambos a través de una red marcadamente radial.

El funcionamiento se realiza con un mercado de energía de precios puntuales, calculados para cada nodo como su precio marginal. Cada generador percibe como precio de energía en cada instante el que corresponde al nodo al que está conectado y debe costear el transporte hasta un nodo *mercado* en el que se realiza la compra y venta de energía. Este transporte incluye un término fijo y un término variable, que es la diferencia entre los precios de ambos nodos.

El despacho de energía no se realiza mediante ofertas de los distintos generadores como en otros países, sino mediante un sistema de costes auditados de producción. De este modo, se realiza un despacho centraliza-

do óptimo teniendo en cuenta las restricciones técnicas.

Por otro lado, cada generador percibe un precio como garantía de potencia, aunque en realidad se trata de unos ingresos extras por cada MWh producido en horas fuera de valle.

Características del modelo utilizado

Para realizar el estudio se ha empleado un modelo que determina los precios puntuales en todo el sistema argentino así como flujos en todas las líneas. Se trata de un modelo generación-red, incluyendo las líneas de 400, 220 y 132 kV. Se trabaja con un total de 330 nudos y 450 líneas. Se han utilizado 158 grupos térmicos y 15 grupos hidráulicos. El modelo resuelve un flujo de cargas óptimo mediante programación entera mixta, tal y como se describe en [6].

Las restricciones de operación que se utilizan son las de gestión hidráulica anual (embalses y grupos, incluyendo bombeo), la gestión térmica (potencia mínima y máxima de los grupos, así como arranques y paradas), restricciones en el consumo de gas de los grupos térmicos, y balance de potencia en el sistema y por nodo (pérdidas, flujos por las líneas e intercambios internacionales).

El alcance temporal de un año se ha dividido en periodos (meses), subperiodos (laborable y festivo) y bloques (punta, llano y valle).

TABLA 1. CASOS POSIBLES EN FUNCIÓN DE LOS PRECIOS

	$c > a$	$c < a$
$b > a$	Intercambio: precio a	Intercambio: precio c
$b < a$	No existe intercambio	

Características del contrato de exportación

El contrato que se va a valorar es una exportación de energía a precio fijo de Argentina a Brasil. Esta exportación se llevará o no a cabo dependiendo de los precios que se den tanto en el mercado Argentino como en el brasileño, así como el precio al que se ha firmado el contrato.

Si a y b son respectivamente los precios en los nodos de Argentina y Brasil por los que se realiza la interconexión, y c es el precio pactado en el contrato, tendremos:

- Si $b > a$ y $c < a$, se llevará a cabo el intercambio de energía a un precio c .
- Si $b > a$ y $c > a$, se producirá intercambio de energía pero no se despachará el contrato, sino que Brasil comprará directamente al mercado Argentino a precio a .
- Si $b < a$, no existirá intercambio de energía.

En conjunto, cuando el precio en Brasil es mayor que en Argentina, se produce exportación de energía a Brasil. En este caso, el despacho o no del contrato depende de la relación entre el precio en Argentina y el precio del contrato. La tabla 1 resume las situaciones posibles.

Por otro lado, si el precio en Brasil es menor que en Argentina, se producirá un flujo de energía de Brasil a Argentina, aunque este flujo se encuentra mucho más limitado que la exportación debido a las características del sistema argentino.

Descripción del modelo

Representación de la interconexión

Un modo de enfocar el problema es obtener precios por separado del mercado argentino y del brasileño. A partir de estos precios, el intercambio de energía se produciría únicamente (y por su valor máximo) cuando el precio en Brasil es mayor que el de Argentina.

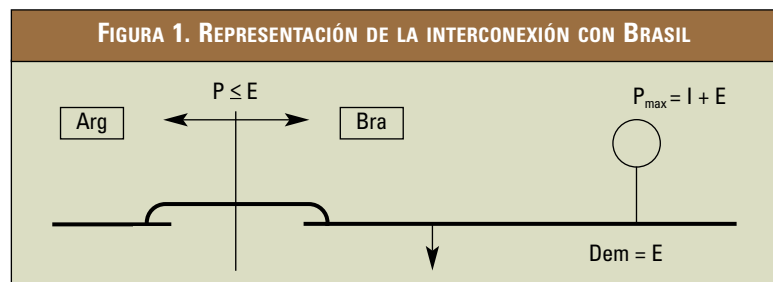
No obstante, este enfoque es incorrecto debido a que la energía del intercambio supone

una cantidad importante para el sistema argentino. De este modo, la exportación o no de energía hace variar de manera considerable los precios en el mercado argentino, especialmente en la zona próxima a la interconexión. Por esta razón se debe utilizar un método que tenga en cuenta estos aspectos y que permita obtener valores intermedios para la exportación de energía a Brasil.

La representación que se ha realizado para modelar la interconexión se basa en introducir una demanda y una central ficticias en el nudo de Brasil en el que se realiza la citada interconexión. Estos dos elementos en el nodo de intercambio de Brasil representan exactamente el comportamiento del sistema brasileño frente al intercambio de energía.

Si suponemos que la exportación de energía a Brasil tiene un valor máximo de E , y que la importación máxima de energía desde Brasil es de I , el esquema resultante es el que muestra la figura 1.

Como se puede observar, la demanda que se introduce es la correspondiente al valor máximo de la exportación de energía de Argentina a Brasil. Por





otro lado, se ha introducido una central que oferta a un precio variable y cuya capacidad de generación está limitada por la suma de los valores de importación y exportación máximos. De este modo, si el precio variable de la central se iguala al precio que hay en el nudo en el que está situada, el comportamiento que tendrá la interconexión es el que se espera de las características del contrato, tal y como se representa en las figuras 2 y 3.

También se puede producir la situación intermedia, de modo que los precios en Argentina y Brasil se igualen mediante un intercambio de energía menor al máximo posible. (Ver figura 4).

Es decir, cuando el precio en Brasil sea mayor que el precio del contrato, existirá exportación que estará limitada por su valor máximo, o bien por el valor que haga que el precio en el nudo de intercambio en Argentina

se iguale con el precio de Brasil. Por el contrario, cuando el precio en Brasil sea menor que en Argentina, no se producirá intercambio, ya que toda la demanda de Brasil estará cubierta por la central ficticia.

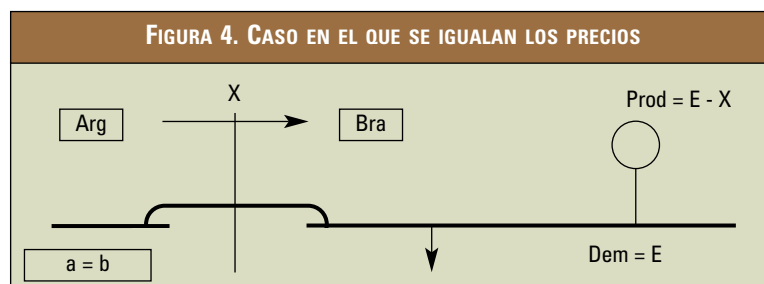
No obstante, se observó que en ocasiones la solución óp-

tima de flujo de cargas no se correspondía con el comportamiento real de la interconexión. En ocasiones, a pesar de resultar un precio menor en Brasil que en Argentina, la exportación de energía no se realizaba por el valor máximo posible. Para evitar esta distorsión en los resultados, se introdujo una segunda ejecución del flujo de cargas en la que se fija el flujo por la interconexión al valor que en realidad tendría con los precios que se tengan.

Cálculo del beneficio

A continuación se describen los cálculos necesarios para obtener el beneficio (o pérdida) que se obtiene por firmar el contrato. El modelo está ejecutado de manera determinista para un conjunto de escenarios y ha facilitado unos precios en todo el sistema argentino, así como un flujo por la línea de interconexión.

“Las particulares características del contrato que se analiza hacen que se proponga un método distinto a los habituales en la valoración de opciones, denominado convolución discreta”



xión a lo largo de todo el horizonte de valoración.

La suscripción o no del contrato por parte de un generador en Argentina es un hecho puramente financiero, de modo que no afecta a los precios futuros ni a la energía exportada. Es decir, se calcula el beneficio que reporta para un generador concreto firmar el contrato sabiendo que el contrato se va a suscribir por la misma cantidad independientemente de dicho generador.

De este modo, se puede calcular el beneficio que obtendrá el generador realizando y sin realizar la firma del contrato por una potencia determinada, así como para distintos precios del mencionado contrato. La diferencia entre ambos valores resulta ser el beneficio que supone la firma del contrato.

Este cálculo se realiza restando el total de costes al total de ingresos. A continuación se detalla el cálculo del beneficio en el caso en el que no haya contrato:

Ingresos:

Potencia en Argentina: tal y como se ha indicado, una vez que se tiene el despacho de energía, se pueden calcular estos ingresos para las horas fuera de valle. Si P_{hfV} es la energía total despachada a la central en horas fuera de valle y p_{PA} es el precio al que se remunera (que es un valor fijo y conocido), tendremos:

$$I_{PA} = P_{hfV} p_{PA}$$

Energía en Argentina: es el producto de la energía producida por la central, P , por el precio puntual en su nodo λ .

$$I_{EA} = P\lambda$$

Costes:

Costes de producción: se calculan como la energía producida por la Central por el coste unitario de producción cp .

$$C_p = P_{cp}$$

Transporte desde la Central al nodo mercado: si llamamos F al término fijo y λ_m al precio en el nodo mercado, tendremos:

$$C_{TA} = F + P(\lambda - \lambda_m)$$

Entonces, el beneficio sin contrato B sería:

$$B = I_{PA} + I_{EA} - C_p - C_{TA}$$

En caso de que se firme el contrato, se añaden nuevos términos al cálculo del beneficio, y algunos de los anteriores se modifican. A continuación se detallan los ingresos y costes en este caso.

Ingresos:

Potencia en Argentina: en este caso, únicamente se cobra este concepto en Argentina por la energía producida por encima de la que se ha firmado el contrato con Brasil. Si P_C es la energía asociada al contrato con Brasil, se tiene:

$$I'_{PA} = (P_{hfV} - P_C) P_{PA}$$

Potencia en Brasil: se cobra una cantidad fija mensual I'_{PB} .

Energía en Argentina: se cobra este concepto por la energía que produce la central menos la despachada en el contrato P_D . Si en algún momento la energía que se despacha en el contrato es mayor que la producida por la central, este ingreso será nulo.

$$I'_{EA} = \max[(P - P_D) \lambda, 0]$$

Energía en Brasil: se corresponde con la energía despachada en el contrato al precio λ_C que se haya fijado en él.

$$I'_{EB} = P_D \cdot \lambda_C$$

Costes:

Costes de producción: coinciden con los calculados sin firma de contrato.

$$C'_p = P_{cp}$$

Transporte desde la Central al nodo mercado: igualmente, el generador siempre ha de costear este transporte, independientemente de la firma del contrato.

$$C'_{TA} = F + P(\lambda - \lambda_m)$$

Transporte desde el nodo mercado hasta el nodo de interconexión con Brasil: consta de un término fijo F_B por potencia máxima disponible (que es la firmada en el contrato) y uno variable proporcional al precio β por unidad de energía despachada.

$$C'_{TB} = F_B + P_D \beta$$

Energía comprada en Argentina: si, en algún momento, la

energía que se despacha en el contrato es mayor que la que está produciendo la central, ésta deberá comprar la parte que no suministre al precio en el nodo mercado λ_m .

$$C'_{EA} = \max[(P_D - P)\lambda_m, 0]$$

Entonces, el beneficio B' en el caso de que se firme contrato será:

$$B' = I'_{PA} + I'_{PB} + I'_{EA} + I'_{EB} - C'_{PC} - C'_{TA} - C'_{TB} - C'_{EA}$$

Se observa en este punto que la firma del contrato es equivalente a la venta de una opción de compra por parte del generador argentino. La prima de la opción coincidiría con la suma de los ingresos fijos mensuales que percibe el generador como término de potencia en Brasil, es decir, I'_{PB} . Por otro lado, Brasil puede ejercer en cualquier momento su opción de compra de energía, lo que hace que las pérdidas asociadas a la venta de la opción dependan, no sólo de los precios en Argentina (que es el activo subyacente), sino también de los precios en Brasil.

Tratamiento de la incertidumbre

A continuación se describe cómo se ha realizado el tratamiento de la incertidumbre, teniendo en cuenta que para cualquier escenario que se considere se puede calcular el beneficio con y sin firma del contrato.

Definición de los escenarios de estudio

Se ha realizado un estudio considerando un conjunto de escenarios de estudio.

Supuesto que se conoce el plan de nuevas entradas de centrales al mercado Argentino, así como de nuevas líneas de transporte en el horizonte temporal de estudio, las dos variables estocásticas más importantes que restan son la evolución de la de-

disponía de escenarios de precios en el nodo de intercambio para diferentes condiciones hidráulicas. De este modo, se decidió generar los escenarios de estudio para la valoración del contrato en función de las dos variables determinantes: los precios en Brasil y la hidráulica en Argentina

Realizando un estudio de las cuencas e hidráulicas de las distintas centrales argentinas, se pudo comprobar que las Cen-

“Se decidió generar los escenarios de estudio para la valoración del contrato en función de las dos variables determinantes: los precios en Brasil y la hidráulica en Argentina”

trales hidráulicas más importantes están repartidas en dos cuencas principales: una al sudoeste del país y otra al noreste.

Teniendo en cuenta diversos estudios de la evolución del mercado argentino, se optó por considerar a la demanda como una variable determinista. Además, se comprobó que el alejamiento de la demanda del valor previsto no realizaba una influencia muy fuerte en los precios obtenidos.

La influencia es, en cambio, mucho mayor en el caso de la hidráulica en Argentina y Brasil, puesto que los precios varían de manera muy importante entre años húmedos y secos.

Para afrontar la estocasticidad en el mercado brasileño se

Debido a que el intercambio de energía con Brasil se produce igualmente por la zona nordeste de Argentina, se comprobó cómo afectan las distintas hidráulicas en ambas cuencas a los precios en el nodo de intercambio, a la energía intercambiada, y a los beneficios obtenidos con y sin contrato. La consecuencia es que todas estas variables son muy sensibles a la hidráulica en la zona noreste, pero muy poco a la de la zona sudoeste. En concreto, considerando la hidráulica media en la zona sudoeste y calculando las desviaciones que sufren los precios en la zona este y noreste, se obtiene que pa-

TABLA 2. ESCENARIOS UTILIZADOS Y PROBABILIDADES ASOCIADAS

Hidraulicidad en Argentina	Precios en Brasil				
	Muy caro	Caro	Medio	Barato	Muy barato
Muy seco	7.69	5.77	0	0	0
Seco	7.69	11.54	13.46	0	0
Medio	0	3.85	7.69	11.54	0
Húmedo	3.85	0	0	5.77	11.54
Muy húmedo	0	0	0	1.92	7.69

ra más del 90% de los escenarios hidráulicos de la cuenca sudoeste, los precios varían por debajo del 5%. Además, para los casos de hidraulicidades extremas los precios nunca superan variaciones del 10%.

En consecuencia, se tomó una hidraulicidad determinista de la zona mencionada, y se realizó el estudio con la hidraulicidad en la zona nordeste de Argentina y los precios en Brasil como variables estocásticas. El estudio de sensibilidad realizado con posterioridad confirma esta hipótesis.

Dada la proximidad geográfica entre ambas zonas, es necesario comprobar si existe algún tipo de correlación entre ambas variables antes de realizar un estudio estocástico.

Se comprobó que en efecto existía una alta correlación negativa (a más hidraulicidad menor precio, y viceversa), lo que condicionó la elaboración de escenarios.

Finalmente, se utilizaron una serie de escenarios conjuntos de hidraulicidad y precios que con-

sideraban la correlación existente, a los que se asignó una probabilidad obtenida de datos históricos. En la tabla 2 se muestran los escenarios escogidos y las probabilidades asociadas en %.

Convolución discreta

Una vez ejecutados todos estos escenarios se calcularon los beneficios obtenidos con y sin contrato de exportación, según se ha indicado en el apartado anterior. Estos cálculos se realizaron para todo el horizonte temporal, de modo que se disponía de unos beneficios con y sin contrato para una serie de años, y cada uno de ellos asociado a una probabilidad.

El paso siguiente es la actualización de todos estos ingresos futuros, de modo que se pudie-

se obtener una distribución de probabilidad para los beneficios en caso de no firmar el contrato, y otra para el caso de firmarlo. A continuación basta con valorar ambas distribuciones con los criterios que se considerasen convenientes (valor medio esperado, valor en riesgo...) para tomar una decisión.

No obstante, y debido al tamaño del problema, el cálculo de estas distribuciones no es en absoluto inmediato. Si se dispone de n escenarios (que se corresponden con n valores posibles de beneficio) durante i años, el número total de valores que se obtendrían en la distribución del beneficio sería de n^i .

Este valor resulta excesivo, por lo que se tuvo que idear un medio de calcular la distribución sin calcular todos los valores. A continuación se describe el método que se utilizó: *la convolución discreta*.

En general, dadas dos variables aleatorias X_1 y X_2 con distribuciones de probabilidad $f_1(x)$ y $f_2(x)$, la distribución de la variable suma $Y = X_1 + X_2$ viene dada por la composición de ambas distribuciones mediante la operación denominada convolución, de forma que:

$$f_Y(y) = f_1(x) \oplus f_2(x)$$

TABLA 3. PROBABILIDADES PARA EL BENEFICIO DE DOS AÑOS PARA UN CONTRATO HIPOTÉTICO

Escenario	Año 2001		Año 2002	
	Beneficio	Probabilidad	Beneficio	Probabilidad
Húmedo	0.75	0.3	0.5	0.4
Seco	1.5	0.7	1	0.6

TABLA 4. PROBABILIDADES PARA EL BENEFICIO TOTAL PARA UN CONTRATO HIPOTÉTICO

Escenario	Años 2001 y 2002	
	Beneficio (M\$)	Probabilidad
2001 húmedo / 2002 húmedo	1.25	0.12
2001 húmedo / 2002 seco	1.75	0.18
2001 seco / 2002 húmedo	2	0.28
2001 seco / 2002 seco	2.5	0.42

TABLA 5. PROBABILIDADES ASOCIADAS A LAS DISTRIBUCIONES DISCRETAS DE PROBABILIDAD

	0-0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2	2-2.5	2.5-3
Año 2001	0	0.3	0	0.7	0	0
Año 2002	0	0.4	0.6	0	0	0
Total	0	0	0.12	0.18	0.28	0.42

La convolución \oplus , se define como:

$$f_1(x) \oplus f_2(x) = f_v(y) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(u) f_2(y-u) du$$

Una definición formal de la convolución se puede encontrar en [7]. En el caso de que las variables aleatorias X_1 y X_2 sean discretas, los cálculos se deben realizar sobre la función de cuantía. Sean $P_1(x)$ y $P_2(x)$ las funciones de cuantía de X_1 y X_2 , que tendrán n y m valores posibles, respectivamente:

$$P_1(x) = [X_1 = x]$$

para $x = x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}$

$$P_2(x) = [X_2 = x]$$

para $x = x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2m}$

Entonces, la variable aleatoria suma $Y = X_1 + X_2$ tendrá un máximo de n.m valores posibles, que se calcularán como sigue:

$$P_y(y) = P[Y=y] = \sum_{u=x_{1j}}^{x_{1n}} (P[x_1=u] \cdot P[x_2=y-u])$$

Para los casos en que n y m son muy grandes, o bien en los que se quiere sumar muchas variables aleatorias, se puede utilizar la convolución discreta por intervalos de igual tamaño, en

terminado contrato para dos años consecutivos (por ejemplo, 2001 y 2002) para dos escenarios (húmedo y seco). Imaginemos que los beneficios (en M\$) con sus probabilidades son los reflejados en la tabla 3.

El beneficio total de los dos años es el resultado de considerar todas las combinaciones posibles entre los escenarios (cuatro en total). Esto se refleja en la tabla 4.

Esta operación es la que resuelve la convolución discreta de forma sistemática representando las probabilidades en intervalos de igual tamaño. Si elegimos intervalos de 0.5 M\$, y tomamos para las distribuciones los valores desde 0 hasta 3 M\$, cada distribución tendría seis intervalos. En el primero se representa la probabilidad de

“Un generador independiente con aversión al riesgo optaría por realizar una cobertura mediante la firma del contrato. En cambio una compañía con diversificación de inversiones podría decidir no realizar la cobertura”

lugar de por todos los valores discretos. Es decir, se escogen unos intervalos tan pequeños como se deseen, y a todos los valores que recaigan en cada uno de ellos, se los caracteriza por su valor medio al que se le asigna la suma de las probabilidades de todos ellos. Un ejemplo aclarará este punto.

los beneficios desde 0 (inclusivo) hasta 0.5 (excluido), en el segundo desde 0.5 (incluido) hasta 1 (excluido) etc.; las distribuciones se pueden ver en la tabla 5.

Control de los errores cometidos

Una decisión importante a la hora de utilizar la convolución discreta es el tamaño del

FIGURA 5. ESCENARIOS PARA EL BENEFICIO SIN CONTRATO DURANTE LOS CINCO AÑOS

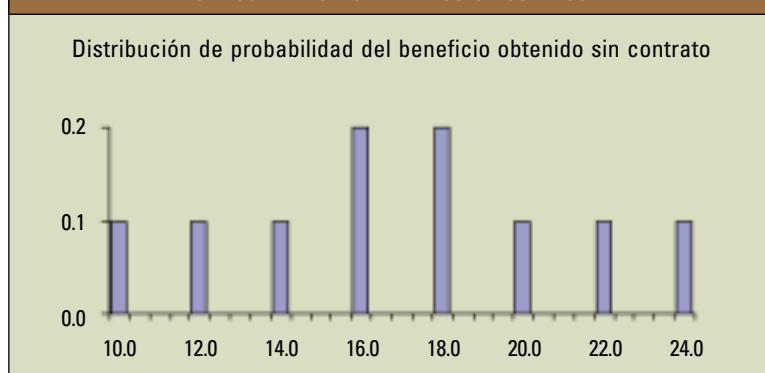
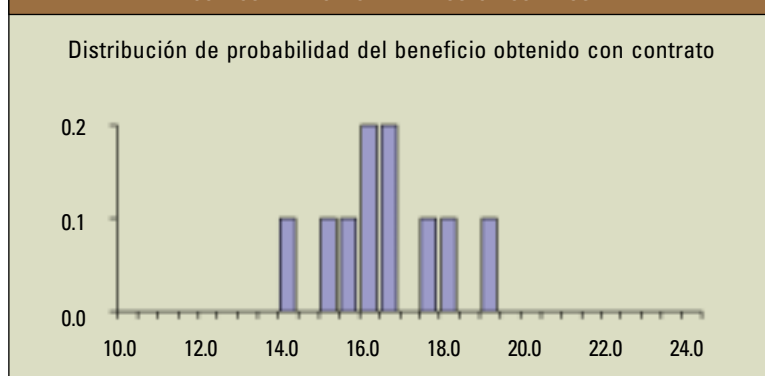


FIGURA 6. ESCENARIOS PARA EL BENEFICIO CON CONTRATO DURANTE LOS CINCO AÑOS



intervalo que se utiliza en la variable aleatoria. En el ejemplo anterior, se podría utilizar un intervalo de 1M\$, de 0.5 o de 0.25 y los resultados serían distintos.

En el caso de estudio, en el que se dispone de un horizonte temporal amplio y de un número considerable de escenarios para cada uno de los años, la decisión del número de intervalos es importante.

Esto se debe a que no basta con introducir como ancho del intervalo el valor máximo que se está dispuesto a aceptar como error en el resultado

final, pues el que se obtendría sería considerablemente mayor. Esto se debe a que, al realizar la convolución discreta para un número elevado de años, los errores se van acumulando sucesivamente. Entonces, se debe escoger el menor intervalo posible dentro de las posibilidades de cálculo computacional de que se disponga.

Se puede verificar el error que se está cometiendo comparando el valor máximo de beneficio teórico (suma de los máximos de cada año) con el valor obtenido al realizar la convolución discreta.

Una vez que se ha obtenido la distribución de probabilidad del beneficio esperado para el horizonte de valoración, se puede calcular su valor esperado, su desviación típica, sus valores al riesgo a distintos grados de confianza, así como cualquier medida estadística o de gestión de riesgos que se requiera.

Caso ejemplo

Como caso ejemplo se ha realizado la convolución para un caso con un horizonte de cinco años. Se ha supuesto que la distribución posible del beneficio es la misma para los cinco años, si bien se ha aplicado una tasa de interés de 10%. En las figuras 5 y 6 siguientes se recoge la función de probabilidad utilizada, tanto para el beneficio sin contrato como para el caso con contrato.

En la figura 7 se pueden observar las distribuciones de probabilidad obtenidas para cada uno de los casos.

Se puede observar que, mientras el beneficio esperado sin contrato es una distribución simétrica y sin picos, en el caso con contrato se observa un apuntamiento y asimetría en los valores más esperados. Esto se debe a los datos de entrada utilizados.

En la tabla 6 se muestran la media y la desviación típica de ambas distribuciones. Además,

FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD OBTENIDA PARA EL ESTUDIO DEL BENEFICIO CON CONTRATO

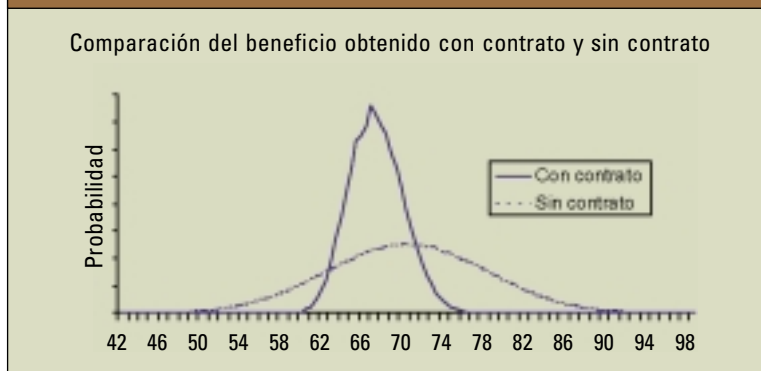


TABLA 6. COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE AMBAS DISTRIBUCIONES

	Sin contrato	Con contrato
Media	70.88	67.74
Desviación típica	7.76	2.68
VaR - 95	58.10	63.51
VaR - 99	53.17	62.07

se muestra el valor en riesgo para el 95% y el 99% de confianza.

Una vez obtenido este resultado, la decisión de firmar o no el contrato de exportación dependerá del generador. Se puede observar que la firma del contrato hace disminuir el be-

neficio esperado, si bien también hace disminuir de manera importante el riesgo en el que se incurre.

Un generador independiente con aversión al riesgo optaría por realizar una cobertura mediante la firma del contrato. En cambio, una compañía

con diversificación de actividades e inversiones podría decidir no realizar la cobertura de cara a obtener un mayor beneficio.

Conclusiones

Se ha presentado un método que permite representar algunos contratos reales de intercambio de energía como una opción de compra. Para realizar el estudio de la venta de dicha opción se ha utilizado un método distinto a los habituales para la valoración de opciones.

Esta metodología permite trabajar con opciones aún cuando las distribuciones de probabilidad obtenidas no se puedan aproximar por normales.

Asimismo, en el caso ejemplo se ha visto que se trata de una herramienta útil que puede proporcionar medidas simultáneas de beneficio esperado y riesgo, de modo que el inversor pueda decidir dependiendo de su aversión o no al riesgo.

Bibliografía

- [1] S. Stoft, T. Belden, C. Goldman, S. Pickle; "Primer on Electricity Futures and Other Derivatives". University of California; Berkeley, 1998.
- [2] D. Pilipovic; "Energy Risk: Valuing and Managing Energy Derivatives". McGraw-Hill; New York, 1997.
- [3] S.E. Fleten, S.W. Wallace, W.T. Ziemba, "Portfolio management in a deregulated hydropower based electricity market". University of British Columbia, 1997.
- [4] X. Vieira Filho, "Playing the odds: Risk management in competitive generation contracts". CIGRÉ, Session 1998.
- [5] P. Lamothe; "Opciones financieras: un enfoque fundamental". McGraw-Hill; Madrid, 1995.
- [6] A.J. Wood, B.F. Wollenberg, "Power generation, operation & control". John Wiley & Sons, New York, 1984.
- [7] A. Leon-Garcia, Probability and Random Processes for Electrical Engineering. Addison-Wesley, California, 1994.