

**42 Jornadas Nacionales de Administración Financiera**  
Septiembre 22 y 23, 2022

# **Estimación del costo de la energía a partir del mercado de derivados**

**Daniel Miliá**

*Universidad de Buenos Aires*

## SUMARIO

1. Introducción
2. Antecedentes: Estado del arte
3. El mercado de The Nord Pool: Productos negociados
4. Modelización: Características esenciales
5. Conclusiones

## **Resumen**

La pandemia generó un mayor consumo de energía en los hogares debido a la permanencia dentro de sus miembros producto del teletrabajo y el aumento del desempleo. En tal sentido, el precio spot de MWh ha subido considerablemente desde la declaración de la emergencia mundial y su tendencia hace presumir que se ha estabilizado en un valor a largo plazo más alto. A raíz de ello, se proyecta la cotización futura a partir de un proceso estocástico cuyo proceso generador contempla una reversión a la media, presencia de estacionalidad y una tasa de descuento estimada mediante un modelo ARCH.

El estudio utiliza como fuente de datos los precios diarios spots y precios de contratos forward provenientes del mercado Nord Pool para el período 2018-2021. A partir de ello, se estima la trayectoria futura del subyacente empleando como tasa de descuento las tasas implícitas del mercado forward. El análisis exhibe un sostenimiento de la tendencia alcista iniciada a inicios de 2020, donde el valor del MWh rozaba alrededor de los 10 euros, hasta trepar a los actuales 40 euros. La proyección a futuro arroja una continuación de la tendencia alcista la cuál en el corto plazo parece estabilizarse en los 60 euros. La incidencia en el precio del subyacente obligará a las empresas energéticas a ajustar sus hojas de balance y a los Estados de países en desarrollo los someterá a un replanteo de la política energética, en la cual deberán decidir si avalar subas en el precio de la energía o incrementar los subsidios a la misma con el consecuente deterioro en las cuentas públicas.

## **1. Introducción**

Los mercados sobre derivados de la energía han tenido un desarrollo considerable en este último tiempo, en tanto dan a los inversores la posibilidad de insertarse en el universo de la energía como otra posibilidad de inversión financiera, en la que uno de sus fines, además de la búsqueda de ganancias, es la diversificación de riesgos. En este sentido, el primer mercado europeo en la negociación de derivados de la electricidad es The Nord Pool. Este es un mercado que apunta a una gama considerable de las necesidades del sector eléctrico, tanto de productores, como de distribuidores, comercializadores, consumidores y demás inversores que busquen diversificar su portfolio.

Actualmente el Nord Pool permite negociar contratos de futuros, forwards, opciones, certificados eléctricos (energías renovables) y permisos de emisión (EU As), cuyos precios de referencia son los del mercado energético nórdico en su conjunto. Este mercado, además de proveer una base de datos que sirve a fines financieros, de inversión y de cartera, también provee datos históricos de precios de derivados financieros de energía, los cuales son utilizados como un proxy al precio del subyacente.

A la luz de la pandemia mundial, el mayor periodo de estadía en el hogar o el auge de actividades del sector IT, resulta interesante observar la evolución del costo de la energía frente a esta nueva demanda. En tal sentido, la modelización de precios en el mercado de derivados y

su proyección permitirán obtener conclusiones acerca de la tendencia en la formación de precios del activo subyacente que posibiliten la optimización de la política energética.

## 2. Antecedentes: Estado del arte

Dadas las características de los precios eléctricos, los modelos que ocupan este tópico tratan mayormente de ajustar el comportamiento dinámico de los precios apuntando a sus características estadísticas observadas. Usualmente, dicho comportamiento dinámico se modela con: una tendencia promedio de largo plazo con reversión a la media; un componente de volatilidad, donde dan pie a un movimiento browniano; y, una función que contempla alguna estacionalidad típica de la demanda de energía. Modelos más complejos, modelan saltos usando una distribución de Poisson. En definitiva, se trata de que la especificación funcional en su conjunto pueda mantener o replicar, lo mejor posible, la serie de precios observada. La literatura existente sobre el análisis de variaciones de precios de la electricidad es relativamente escasa, por lo que resulta prudente hacer un análisis retro y prospectivo de lo elaborado a la fecha.

Deng (2000) fue uno de los pioneros en modelar los precios de la electricidad con saltos. Propone tres modelos de salto-difusión con reversión a la media, incluyendo volatilidad determinística y estocástica. Los saltos los modela con un proceso de Poisson, donde verifica una reversión a la media muy fuerte, aunque termina fallando al estimar las trayectorias de precios. Schwartz y Smith (2000) modelan el comportamiento del precio del petróleo con una componente de reversión a la media de corto plazo y un nivel de equilibrio de largo plazo. Este trabajo es la antesala, en términos de especificaciones funcionales, del trabajo esbozado por Lucia y Schwartz (2002), donde combinan modelos con clusters de volatilidad, reversión a la media y la presencia de estacionalidad en el precio de los contratos de derivados sobre la electricidad. Una arista distinta plantean Fleten y Lemming (2003), los cuales estiman curvas de precios forward utilizando información de los modelos de operación de sistemas eléctricos y los datos que entrega el sistema eléctrico, argumentando que la información de los precios futuros / forwards de los mercados eléctricos es escasa. Similar estrategia de modelización adopta Knittel y Roberts (2005), donde analizan los precios eléctricos de California a través de observaciones horarias de precios antes y después de la crisis que afectó a USA en la última década. De ello concluyen que todo modelo de precios eléctricos debe tener en cuenta: la reversión a la media, efectos horarios, por semana, fin de semana y efectos estacionales, como así mismo, los clustering de volatilidad y valores extremos (picos de demanda).

Por último, Geman y Roncoroni (2006) exponen una superación de los anteriores modelos, en tanto elaboran una representación de saltos en la estructura dinámica del modelo de precios spot de la electricidad. Fundan su análisis en el sentido de que los precios de la electricidad producen saltos por la inelasticidad de la demanda ante las contingencias por fallas en el sistema eléctrico.

### 3. El mercado de The Nord Pool: Productos negociados

*Contratos de Futuros sobre Electricidad:* Los contratos de futuros se liquidan por diferencias, y tienen liquidación diaria y final, no existiendo entrega física. El activo subyacente es un MW/h cada hora del periodo de entrega, la moneda en la que se negocia es el Euro. La liquidación diaria de los contratos se realiza contra el mercado financiero, aunque hay una liquidación contra el mercado de contado, que se realiza durante el periodo de entrega.

*Contratos Forward sobre Electricidad:* A lo igual que los contratos de futuro, éstos se negocian en euros y el subyacente de cada uno de los contratos es un MW/h. La liquidación se hace por diferencias, no existiendo entrega física.

*Contratos por Diferencias sobre Electricidad:* Anteriormente en este trabajo se mencionó que tanto los contratos forward como los de futuro se liquidan por diferencias, en el sentido de que los costos de compra vienen determinados por los precios de contado de cada área, los cuales pueden o no diferir de los precios del Sistema del Nord Pool.

### 4. Modelización: Características esenciales

Lucia y Schwartz (2002) tienen en cuenta cinco aspectos que caracterizan al proceso generador de precios de los contratos de la electricidad. En primer lugar, el factor más importante es la imposibilidad de almacenamiento, y de la utilización de modelos de tipo *cost of carry*. En segundo lugar, los precios de la electricidad presentan una volatilidad mayor que los productos negociados en mercados financieros. Además, la volatilidad depende también del precio, en el sentido de que, a precios más altos, mayor volatilidad, y a precios más bajos, menor volatilidad. En tercer lugar, los autores comentan respecto a los picos de precios, donde éstos suben en periodos cortos de tiempo debido a insuficiencia en la oferta, aumento de la demanda por encima de la cota del sistema, o diversos problemas de transmisión de electricidad y afines. El cuarto factor es la reversión a la media de los precios. Incluso cuando se registren grandes variaciones en periodos muy cortos de tiempo, se tiende a volver rápidamente a la media de largo plazo. Por último, la presencia de estacionalidad, donde se evidencia no solo un patrón, digamos trimestral, sino que también se presentan pautas según la hora, día, mes o estaciones del año. (Lucia & Schwartz, 2002, pág. 29-30).

Con el propósito de describir la dinámica del precio spot del sistema de The Nord Pool y su implicación en la valuación de derivados, se empleará en el siguiente trabajo un modelo de un factor basado en el precio spot del derivado. El precio spot ( $P_t$ ), está compuesto por un componente determinista del tiempo  $F = f(t)$  y otro de difusión, el cual será un proceso estocástico  $X_t$ , con  $t \in [0, \infty)$ . es decir:

$$P_t = f(t) + X_t \quad \text{Ec 1}$$

Asumimos que  $X_t$  sigue un proceso estocástico de la forma:

$$dX_t = -kX_t dt + \sigma dZ \quad \text{Ec 2}$$

Donde  $k$  es una constante positiva y el proceso estocástico valuado en  $t = 0$  toma un valor de  $x_0$  ( $X(0) = x_0$ ).

Por otro lado,  $dZ$  denota el incremento de un proceso browniano  $Z_t$ . En tanto,  $X_t$  sigue un proceso estacionario con reversión a la media, o un proceso de Ornstein Uhlenbeck, con media a largo plazo cero y velocidad de ajuste  $k$ . Si asumimos que  $F = f(t)$  satisface las condiciones de regularidad apropiadas, despejando  $X_t$  de (1), obtenemos:

$$X_t = P_t - f(t) \quad \text{Ec 2'}$$

Reemplazando (2') en (2), se obtiene:

$$d(P_t - f(t)) = k(f(t) - P_t)dt + \sigma dZ \quad \text{Ec 3}$$

La ecuación precedente nos muestra que cuando  $P_t$  se desvía de su tendencia  $f(t)$  es traída de vuelta a una tasa proporcional a su desviación ( $k$ ). También se observa, que la única fuente de incertidumbre viene del proceso estocástico  $X_t$ , al cual llamaremos la variable estado. Despejando de (3)  $dP_t$  y reagrupando convenientemente:

$$dP_t = k[f(t) - P_t + \frac{1}{k} \frac{df(t)}{dt}]dt + \sigma dZ \quad \text{Ec 4}$$

$$dP_t = k(a(t) - P_t)dt + \sigma dZ$$

donde

$$\alpha(t) = \frac{1}{k} \frac{df}{dt}(t) + f(t) \quad \text{Ec 5}$$

Si suponemos que la variable  $P_t$  satisface la relación

$$Y_t = P_t e^{kt} \quad \text{Ec 6}$$

Aplicando el Lema de Ito a esta ecuación, obtenemos:

$$dY_t = \left[ \frac{\partial Y}{\partial t} + \frac{\partial Y}{\partial P} a(t, P) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 Y}{\partial P^2} \sigma^2 \right] dt + \sigma \frac{\partial Y}{\partial P} dZ$$

Practicando las derivadas parciales, y tomando  $a(t, p) = k(a(t) - P_t)$  como el término tendencial de ecuación 4:

$$dY_t = \{kP_t e^{kt} + e^{kt}ka(t) - e^{kt}kP_t\}dt + e^{kt}\sigma dZ$$

Reemplazando  $Y_t$  por su definición en ecuación 6:

$$\int_0^t dP_t e^{kt} = \int_0^t e^{ks}ka(s)ds + \int_0^t \sigma e^{ks}dZ(s)$$

Ahora bien, nos interesa hallar la ecuación que describe el comportamiento de precios que en el momento  $t = 0$ , lo denotamos  $P_0$ . Se resuelve la integral para encontrar la variable primitiva.

$$P_t e^{kt} = P_0 + \int_0^t e^{ks}ka(s)ds + \int_0^t \sigma e^{ks}dZ(s) \quad \text{Ec 7}$$

Sabiendo que  $a(s) = \frac{1}{k} \frac{df(s)}{ds} + f(s)$ , reemplazamos este valor en la ecuación precedente

$$P_t = P_0 e^{-kt} + \int_0^t e^{k(s-t)} \frac{df(s)}{ds} ds + k \int_0^t e^{k(s-t)} f(s) ds + \sigma \int_0^t e^{k(s-t)} dZ(s)$$

El segundo término del lado derecho de la igualdad es una integral a la cual se le debe aplicar el método de integración por partes. Operando convenientemente y reemplazando en la ecuación 4, se llega a la siguiente expresión:

$$f(t) - f(0)e^{-kt} - k \int_0^t f(s) e^{k(s-t)} ds$$

Introduciendo esta expresión en la ecuación que describe el comportamiento de precios y sabiendo que  $P_0 = f(0) + X_0$ ; ó  $X_0 = P_0 - f(0)$ , se llega a que

$$P_t = X_0 e^{-kt} + f(t) + \sigma \int_0^t e^{k(s-t)} dZ(s)$$

La solución que describe el comportamiento de precios está dada por:

$$P_t = f(t) + X_0 e^{-kt} + \sigma \int_0^t e^{k(s-t)} dZ(s) \quad Ec 8$$

donde  $P_t = f(t) + [P_0 - f(0)]e^{-kt} + \sigma \int_0^t e^{k(s-t)} dZ(s)$

Luego, la distribución condicional de  $P_t$  es una normal con media y varianza condicional a  $X_0$  dada por:

$$E_0(P_t) \equiv E\left(\frac{P_t}{X_0}\right) = f(t) + (P_0 - f(0))e^{-kt} \quad Ec 9$$

A partir de esta ecuación, podemos afirmar que el proceso  $P_t$ , tiende a una media de largo plazo, cuyo valor es  $f(t)$ , dado su valor al momento  $t = 0$ . El parámetro  $k$  es la velocidad de convergencia, es decir, en la medida que sea alto (bajo), los precios volverán más rápidamente (lentamente) a su media de largo plazo.

$$\text{Var}_0(P_t) \equiv \text{Var}\left(\frac{P_t}{X_0}\right) = \frac{\sigma^2}{2k} (1 - e^{-2kt}), k > 0 \quad Ec 10$$

La varianza permite obtener ciertas conclusiones: es decreciente con la velocidad de convergencia y con el horizonte temporal, y tiene un límite finito cuando éste tiende a infinito. Para valuar el derivado, necesitamos encontrar el proceso neutral al riesgo para la variable estado  $X_t$ . En primer lugar, diferenciamos el proceso, tal como se hizo anteriormente:

$$dX_t = k(o^* - X_t)dt + \sigma dZ^* \quad Ec 11$$

donde

$$o^* \equiv \frac{-\lambda\sigma}{k} \quad Ec 12$$

Vale destacar que  $dZ^*$  representa el incremento del movimiento browniano  $Z_t^*$  bajo la medida de probabilidad neutral al riesgo, mientras que  $\lambda$  es el precio de mercado por unidad de riesgo vinculado a la variable estado  $X_t$ , parámetro que vamos a suponer constante, aunque los autores mencionan que puede ser una función de la variable estado y del tiempo. Reemplazando la ecuación 9 en la ecuación 8 y definiendo a  $X_t$  según la ecuación 1:  $X_t = P(t) - f(t)$ :

$$d(P_t - f(t)) = [-\lambda\sigma - k(P_t - f(t))]dt + \sigma dZ^*$$

$$dP_t = [-\lambda\sigma - kP_t + kf(t) + \frac{df(t)}{dt}]dt + \sigma dZ^*$$

$$dP_t = k[a^*(t) - P_t]dt + \sigma dZ^*$$

donde

$$a^*(t) \equiv \frac{-\lambda\sigma}{k} + f(t) + \frac{1}{k} \frac{df(t)}{dt}$$

A partir de aquí, realizamos el mismo procedimiento que en el caso anterior. Si  $P_t$  sigue el proceso:

$$P_t = Y_t^* e^{-kt}$$

Despejando para  $Y_t^*$ :

$$Y_t^* = P_t e^{kt}$$

Aplicando el Lema de Ito, y operando convenientemente:

$$dY_t^* = \{e^{kt} k a^*(t)\}dt + e^{kt} \sigma dZ^*$$

Reemplazando  $Y_t^*$  por su definición, e integrando para hallar  $P_t$ , se llega a la siguiente expresión:

$$P_t = P_0 e^{-kt} + \int_0^t e^{k(s-t)} k a^*(s) ds + \int_0^t \sigma e^{k(s-t)} dZ^*(s)$$

donde

$$a^*(s) = \frac{-\lambda\sigma}{k} + f(s) + \frac{1}{k} \frac{df(s)}{ds}$$

$$P_t = P_0 e^{-kt} - \lambda\sigma \int_0^t e^{k(s-t)} ds + \int_0^t e^{k(s-t)} \frac{df(s)}{ds} ds + k \int_0^t e^{k(s-t)} f(s) ds + \int_0^t \sigma e^{k(s-t)} dZ^*(s)$$

Resolviendo el tercer término del lado derecho de la igualdad con el método de integración por partes, se llega a la siguiente expresión:

$$P_t = P_0 e^{-kt} - \lambda\sigma \int_0^t e^{k(s-t)} ds + f(t) - f(0) e^{-kt} - k \int_0^t f(s) e^{k(t-s)} ds + \int_0^t e^{k(s-t)} f(s) ds + \int_0^t \sigma e^{k(s-t)} dZ^*(s)$$

Sabiendo que  $P_0 e^{-kt} - f(0) e^{-kt} = X_0 e^{-kt}$ , condición que se deduce de valuar (1) en  $t = 0$ , concluimos que:

$$P_t = X_0 e^{-kt} + f(t) - \lambda\sigma \int_0^t e^{k(s-t)} ds + \sigma \int_0^t e^{k(s-t)} dZ^*(s)$$

La solución explícita de la ecuación 11 resulta ser:

$$P_t = f(t) + X_0 e^{-kt} + a^* (1 - e^{-kt}) + \sigma \int_0^t e^{k(s-t)} dZ^*(s) \quad \text{Ec 13}$$

$$P_t = f(t) + [P_0 - f(0)] e^{-kt} + \alpha^* (1 - e^{-kt}) + \sigma \int_0^t e^{k(s-t)} dZ^*(s)$$

A partir de acá  $P_t$ , está distribuida condicionalmente como una normal bajo una medida neutral al riesgo con la siguiente esperanza:

$$\begin{aligned} E_0^*(P_t) &= f(t) + X_0 e^{-kt} + \alpha^* (1 - e^{-kt}) \\ &= f(t) + [P_0 - f(0)] e^{-kt} + \alpha^* (1 - e^{-kt}) \end{aligned} \quad \text{Ec 14}$$

Con ello, podemos definir el valor del contrato forward, como el valor presente de la esperanza entre, la diferencia del precio del subyacente para el tiempo  $T$ , y el valor del futuro o forward para el mismo momento temporal.

$$v_0(X_T, T) = e^{-rt} E_0^*[P_T - F_0(P_0, T)] \quad \text{Ec 15}$$

$P_T$  ya fue definida anteriormente, solo que esta vez, consideramos el precio hacia el final de la vida del contrato ( $t = T$ ), mientras que  $F_0(P_0, T)$  es el precio del forward en  $t = 0$  para un contrato con tiempo de maduración en  $t = T$ . En definitiva, el valor del derivado será el valor actual esperado, bajo la medida neutral al riesgo, de sus payoffs descontados por una tasa libre de riesgo.

El resultado es el valor presente de la diferencia entre, el precio del activo subyacente en  $T$ , y el precio del Forward o de futuro para el mismo plazo de vencimiento. El componente determinista  $f(t)$ ,  $\forall t = 0, 1, \dots, T$ , del precio Spot (o de su logaritmo), aparece directamente en el precio del contrato forward o de futuros, lo cual lo transforma en un elemento importante a la hora de describir la curvatura de éstos, contribuyendo, además, en evidenciar la alta correlación existente entre los precios de estos derivados.

Utilizando una base de datos de precios diarios spots y precios de contratos forward provenientes del mercado Nord Pool para el período 2018-2021, se obtiene la serie de tasas implícitas de descuento  $r_t$ . Este mercado nuclea países de la zona euro, además del grupo de países conocidos como países nórdicos (Noruega, Suecia y Finlandia). A partir de la obtención de la serie de tasas implícitas se procede a modelar su comportamiento bajo un modelo de la familia de modelos autorregresivos condicionalmente heterocedásticos (ARCH, por sus siglas en inglés).

Un proceso ARCH ( $q$ ) viene definido por las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} Y_t &= \sigma_t \varepsilon_t \\ \sigma_t^2 &= a_0 + \sum_{i=1}^q a_i Y_{t-i}^2 \end{aligned}$$

donde,  $\varepsilon_t$  es un proceso idénticamente distribuido con media cero y desviación típica uno, como ya fuera descrito anteriormente. Además  $a_0 > 0$  y  $a_i \geq 0$ , y para todo  $i = 1, \dots, q$  y para cumplirse la condición de estacionariedad en media,  $\sum_{i=1}^q a_i < 1$ . Por último, si  $\varepsilon_t$  es gaussiano y su distribución es normal,  $Y_t$  es condicionalmente normal y su varianza es  $\sigma_t^2$ .

En un modelo ARCH( $q$ ) se verifica que:

- i) las esperanzas marginales y condicional son iguales a cero
- ii) la varianza marginal es constante

- iii) la varianza condicional depende de los valores que hayan tomado  $Y_{t-i}^2$  para  $i = 1, \dots, q$ , por lo que no resulta de carácter fijo
- iv) la distribución marginal del proceso ARCH(q) tiene una forma desconocida

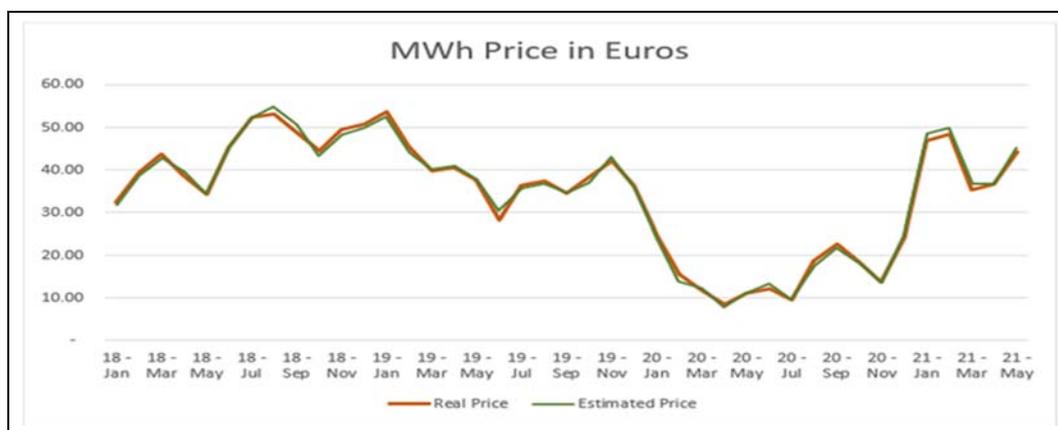
El ajuste utilizando la metodología clásica ARCH arroja los resultados que se muestran en tabla 1.

Tabla 1: Resultados regresión modelo ARCH

ARCH family regression		Number of obs. = 683					
Sample: 01Jan2018 - 31May2021		Wald chi2 (.) =					
Distribution: Gaussian		Prob. > chi2 =					
Log Likelihood = 7806.314							
OPG							
Discount Rate	Coef.	Std. Err.	z	P > (z)	[95% Conf. Interval]		
Discount Rate							
_cons	0.017554	0.00419952	4.18	0.0031	0.009322938	0.02578506	
ARCH							
arch							
L1.	0.229504	0.02751847	8.34	0.0000	0.175567808	0.28344019	
L2.	0.189603	0.03653237	5.19	0.0000	0.117999555	0.26120645	
L3.	0.446539	0.04896261	9.12	0.0000	0.350572285	0.54250571	
_cons	0.000515	2.0485E-05	25.14	0.0000	0.000474849	0.00055515	

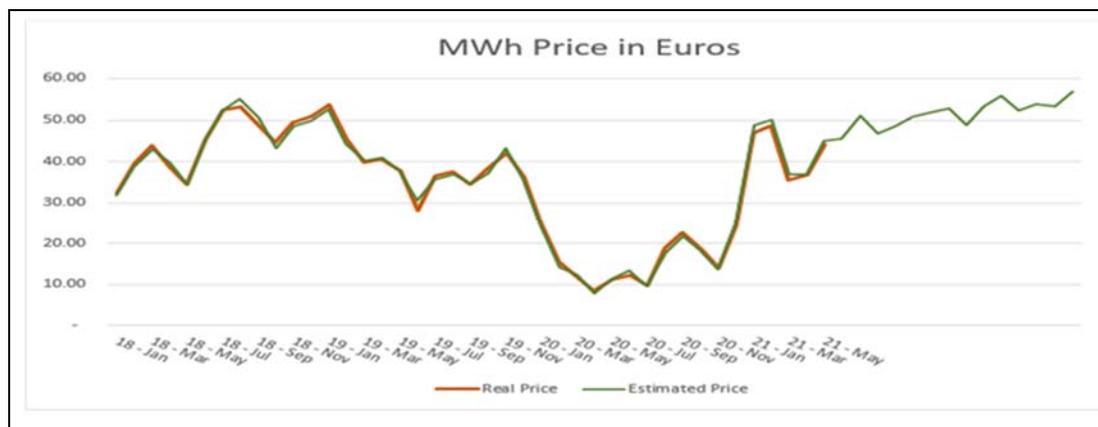
En la figura 1 se expone la comparación entre el precio del MWh spot en dicho mercado y el precio estimado utilizando los  $r_t$  estimados ( $\hat{r}_t$ ).

Figura 1: Precio de MWh realizado y estimado



Utilizando dicho modelo se procede a proyectar la trayectoria de tasa implícita de descuento de manera tal de obtener la trayectoria estimada del valor del contrato forward, que se expone en la figura 2.

Figura 2: Precio de MWh realizado y estimado proyectado



## 5. Conclusiones

Con lo expuesto en el gráfico de precios de contratos forward históricos y estimados proyectados se concluye que la tendencia actual del precio de su subyacente (MWh) es alcista. Esta tendencia se fundamenta principalmente en el aumento del consumo de energía eléctrica, producto de la coyuntura vivida a partir de los primeros meses de 2020 de pandemia. La misma, genera que los consumidores destinen mayor parte de su tiempo a actividades dentro de sus hogares y en relación a bienes que consumen energía eléctrica (televisión, consolas de video juegos, computadoras personales, etc.).

Por otra parte, resulta muy elocuente el cambio de tendencia en el precio observado alrededor de dicha fecha. Este fenómeno, sin embargo, podría estar pronto a dar paso a una nueva etapa de lateralización del precio en el rango de 50 a 60 euros por MWh, consecuencia de la estabilización de la coyuntura actual. Quedará para más adelante, entender si esta nueva escala de precios permite y fomenta inversiones en el sector, que generen aumentos de oferta y consecuentes caídas de precios, o bien ante la imposibilidad de ajustar tarifas, la suba proyectada potencie el déficit de las economías.

## REFERENCIAS

- Deng, S. (2000). *Stochastic models of energy commodity prices and their applications: Mean reversion with jumps and spikes*, POWER Report, UCEI, Berkeley
- Fleten, S-E. & Lemming, J. (2003). *Constructing forward price curves in electricity markets*. Energy Economics 25: 409-424
- Geman H. & Roncoroni, A. (2006). *Understanding the fine structure of electricity prices*. Journal of Business, 79 (3): 1225-1261
- Hull, J. (2002). *Futures, Options and other derivatives*. Prentice Hall
- Hunt, S. (2002). *Making Competition Work in Electricity*, Wiley

- Knittel, C.R. & Roberts, M.R. (2005). *An empirical examination of restructured electricity prices*. Energy Economics 27: 791-817
- Landrein, M. (1999). *Evaluación de los contratos de futuros y opciones eléctricos en Argentina*, Lecturas 3 BCRA
- Lucia, J. & Schwartz, E. (2002). *Electricity prices and power derivatives: Evidence from the Nordic Power Exchange*. Review of Derivative Research, 5 (1): 5-50
- Navarro, Rocío M. (1996). *Los mercados de futuros de electricidad*. Endesa. Sevilla. España.
- Koekebakker, S. & Fridthjof, O. (2001). *Forward curve dynamics in the Nordic electricity market*. Working paper Agder University College
- Schwartz, E. & Smith, J.E. (2000). *Short-term variations and long-term dynamics in commodity prices*. Management Science, 46 (7): 893-911
- Vayanos, P., Wiesemann, W. & Kuhn, D. (2011). *Hedging electricity swing options in incomplete markets*. IFAC Proceedings 44 (1): 846-853
- Vehvilainen, I. (2002). *Basics of electricity derivative pricing in competitive markets*. Applied Mathematical Finance, 9 (1): 45-60
- Velásquez Henao, J., Dyner Resonsew, I. & Castro Souza, R. (2007). *¿Por qué es tan difícil obtener buenos pronósticos de los precios de la electricidad en mercados competitivos?* Cuadernos de Administración, 20 (34): 259-282
- Viswanath, A. (2015). *Overview of risk management in electricity markets using financial derivatives*. International Journal of Energy and Power Engineering, 9 (1): 116-120
- Vizcaíno-Sánchez, G. A., Alzate, J. M., Cadena, A. I. & Benavides, J. M. (2010). *Setting up standard power options to hedge price-quantity risk in a competitive electricity market: the Colombian case*. IEEE Transactions on Power Systems, 26 (3): 1493-1500
- Zhang X., Wang, X. & Wang, X. (2005). *Exotic options bundled with interruptible electricity contracts*. 2005 International Power Engineering Conference, 1-115
- Zhang, S., Fu, X. & Wang, X. (2012). *Effects of option contracts on electricity markets: A Cournot equilibrium analysis*. Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, 1-5.