

Los determinantes de los precios de la electricidad en los mercados mayoristas de la Unión Europea: implicaciones para el CEP 20-20-20*

Juan Ignacio Peña, Rosa Rodríguez y Shanshan Yuan**

Este trabajo analiza la capacidad explicativa de los determinantes del precio promedio mensual de la electricidad en los mercados mayoristas de diez países de la Unión Europea en el período 2008-2016. Los determinantes son: el consumo, los precios de los combustibles, la cuota de producción generada por energía renovable, la temperatura, el precio de las emisiones de carbono y el balance neto entre exportaciones e importaciones. El único determinante con capacidad explicativa en todos los países es la cuota de producción por renovables, cuyo aumento está asociado con bajadas en el nivel de precios. Sin embargo, el tamaño del impacto es diferente según los países, siendo España y Portugal los mercados donde su impacto es mayor. Los precios de los combustibles son el factor más influyente en Austria, Dinamarca, Francia y Alemania. La demanda es el factor clave en Finlandia e Italia, mientras que la temperatura lo es en Suecia y el balance neto en Grecia. El aumento en la generación de energías renovables disminuye los precios al por mayor y, por lo tanto, la parte de energía de los precios minoristas. Las caídas en los precios minoristas estimulan el consumo. Esto ocasiona un conflicto entre los objetivos del Paquete de Energía y Clima de la UE (CEP 20-20-20) de reducir el consumo y de aumentar la producción de fuentes renovables.

El acuerdo CEP 20-20-20 sobre clima y energía adoptado a finales de 2008 exige a los Estados miembros de la Unión Europea (UE) reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20%, producir el 20% de la energía de fuentes renovables y reducir el consumo bruto de energía

primaria en un 20%. En octubre de 2014, los Estados miembros acordaron establecer objetivos para 2030: reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 40%, producir el 27% de la energía procedente de fuentes renovables y reducir el consumo de energía en un 27%. Compre-

* Agradecemos la financiación de Funcas (PRELEC2020-2017/00085/001) y del Ministerio de Economía y Competitividad (ECO2016-77807-P). Este artículo forma parte de un trabajo más amplio publicado por Funcas (Peña, Rodríguez y Yuan, 2018).

** Universidad Carlos III de Madrid.

der el impacto de estas medidas en los precios de la electricidad, así como en los servicios públicos y los consumidores, es de suma importancia para los agentes del mercado, los inversores y los reguladores.

En este artículo pretendemos arrojar luz sobre el posible impacto de estas medidas en los precios de la electricidad mediante el estudio de los determinantes de los precios en los mercados mayoristas¹ en diez países de la UE en el período 2008-2016. El objetivo es modelar el impacto de las variables relevantes en el comportamiento de los precios promedio mensuales de la electricidad al por mayor en diez países de la UE (Austria, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Italia, Portugal, España y Suecia) de 2008 a 2016.

El Paquete de Energía y Clima CEP 20-20-20 adoptado a finales de 2008 exige a los Estados miembros de la UE reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20%, producir el 20% de la energía de fuentes renovables y reducir el consumo bruto de energía primaria en un 20%. En 2014, los Estados miembros acordaron objetivos aún más exigentes para 2030, con porcentajes respectivos del 40%, 27% y 27%.

El análisis empírico sugiere que el consumo (carga), los precios de los combustibles, la producción basada en energías renovables, el precio de las emisiones de carbono, las variables climáticas y el saldo neto entre exportaciones e importaciones explican los precios mayoristas mensuales. Pero el impacto económico de cada

factor fundamental varía según los países. La parte de la generación de energías renovables es el único elemento significativo en todos los países, especialmente en Portugal y España, pero el tamaño de su impacto en Finlandia es cuatro veces mayor que en Alemania. Los precios del combustible son el factor determinante en Austria, Dinamarca, Francia y Alemania, pero tienen poco poder explicativo en Finlandia, Grecia y España. La demanda es el ingrediente clave en Finlandia e Italia, pero su impacto es modesto en Austria, Francia o Grecia. La temperatura es un factor clave en Suecia y Dinamarca, pero marginal en Austria, Portugal o España. El saldo neto entre las exportaciones y las importaciones es relevante en los países nórdicos, Grecia y Portugal, pero apenas relevante en Francia, Alemania o Italia. Finalmente, el precio de las emisiones de carbono tiene poder explicativo de los precios en Austria, Alemania, Grecia, Portugal y Suecia, pero no en el resto de los países. Estos resultados enfatizan el hecho de que el modelado de los precios de la electricidad se realiza mejor a nivel de país individual. La imposición de respuestas comunes al impacto de las variables fundamentales en los precios de la electricidad, como hacen los modelos de datos de panel (véase Comisión Europea, 2015; Pereira da Silva y Cerqueira, 2017), puede producir interpretaciones y conclusiones engañosas.

El análisis muestra un punto importante sobre la consistencia mutua de los objetivos del CEP 20-20-20. El aumento en la generación de energías renovables disminuye los precios al por mayor en todos los países. Por lo tanto, la parte de energía de los precios minoristas, basada en los precios al por mayor, disminuye en consecuencia. Las caídas en los precios minoristas estimulan el consumo.

¹ Los precios mayoristas se fijan en mercados competitivos y pueden verse afectados por varios factores (carga, temperatura, precios del combustible, participación de las energías renovables y precios del carbono). Los precios de mercado de los combustibles fósiles disminuyeron desde que los precios del petróleo alcanzaron su punto máximo en 2008. Debido a la fuerte caída del precio del carbono (derechos de emisión de CO₂) no se ha desalentado la producción de energía de las centrales de alta emisión de carbono. Las decisiones de cambio de combustible para las plantas existentes están influenciadas por la demanda, los costos relativos de la entrada de energía (carbón, gas) y la producción relativa de fuentes de energía renovables. Por otra parte, los precios minoristas contienen dos elementos: el costo de la energía (basado en los precios al por mayor e incluidos los costos de distribución y transmisión) y la "cuña del gobierno" (impuestos, subsidios, políticas públicas). En la UE, desde 2008 la primera parte disminuyó, pero, en la mayoría de los países, la segunda parte aumentó más. Con el crecimiento de la producción de electricidad renovable, su apoyo fue financiado por los consumidores a través de gravámenes sobre los precios minoristas de la electricidad. Como resultado, los precios minoristas aumentaron para los hogares y, en cierta medida, para las industrias.

Se produce un conflicto entre el objetivo del CEP 20-20-20 de reducir la demanda de energía y el objetivo del CEP 20-20-20 de aumentar la producción de electricidad basada en fuentes renovables.

Determinantes del precio de la electricidad

El precio de la electricidad tiene unas características diferentes a las de otras mercancías energéticas (véase Escribano, Peña y Villaplana, 2011) y puede explicarse por varios factores fundamentales. Las respuestas de precios a la demanda, los precios del combustible, la temperatura, la precipitación, el viento, el precio del carbono y otros se han estudiado en la literatura (para una revisión general véase Weron, 2014). El viento y la energía

La literatura muestra que las variables fundamentales que han demostrado ser útiles para explicar los precios de la electricidad son: precios del combustible, variables meteorológicas, demanda, precios de las emisiones de carbono, proporción de energías renovables y saldo neto entre exportaciones e importaciones de electricidad.

solar tienen una fuerte influencia en los precios de la energía debido a diferencias fundamentales con otras fuentes de energía. Además, el bajo costo marginal, casi cero, de ambas energías (y de otras renovables) puede desplazar la función de suministro hacia la izquierda. Los resultados de muchos estudios respaldan la idea de incluir la generación de energías renovables (eólica, solar) como un factor influyente en el precio de la electricidad. Por lo tanto, la literatura muestra que las siguientes variables fundamentales han demostrado ser útiles para explicar los precios de la electricidad².

- Precios del combustible (petróleo crudo, gas natural, carbón).

- Variables meteorológicas (temperatura, velocidad del viento).
- La demanda medida por el consumo (carga).
- Precios del certificado de emisión (precios del carbono).
- Proporción de generación por energías renovables.
- Diferencia entre exportaciones e importaciones de electricidad (saldo neto).

Además, y dependiendo de la frecuencia de los datos, se deben considerar otros factores micro y macro para modelar los precios de la electricidad (véase Peña, 2012). Cuanto menor es el intervalo de tiempo, los efectos transitorios (por ejemplo, cortes de producción, mantenimiento de la planta no planificado, cortes en las redes de distribución) y factores microestructurales (diseño y estructura del mercado) se vuelven dominantes. Estos factores pueden nublar la medición del impacto de los factores fundamentales. La razón es que algunos de ellos evolucionan con alta inercia. Por ejemplo, varios estudios muestran que los costos del combustible pueden no influir en los precios de electricidad de alta frecuencia (Guirguis y Felder, 2004). Cuanto mayor sea el intervalo de tiempo, más importantes serán los factores fundamentales (por ejemplo, la demanda, los precios del combustible). En este artículo nos enfocamos en una perspectiva de medio a largo plazo y, por lo tanto, usamos datos mensuales.

Datos

Los datos mensuales del precio *spot* de electricidad se calculan como promedios de precios diarios (precio mayorista, *one-day-ahead*, carga base, €/MWh) de diez países de la UE: Austria, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia,

² Los precios de contratos de derivados negociados en mercados líquidos y eficientes podrían actuar como indicadores adelantados de los precios de contado. Sin embargo, la evidencia en Peña y Rodríguez (2016) sobre la eficiencia en tiempo cero de varios mercados de derivados europeos sobre electricidad, sugiere que solamente el mercado alemán cumple esas condiciones de eficiencia.

Italia, Portugal, España y Suecia, que representan el 95% de la cantidad total de electricidad utilizada en la UE. Los datos mensuales para las variables explicativas se calculan tomando promedios

de datos diarios. El tamaño de la muestra es de 108 datos desde enero de 2008 hasta diciembre de 2016. Los precios al por mayor se muestran en el gráfico 1.

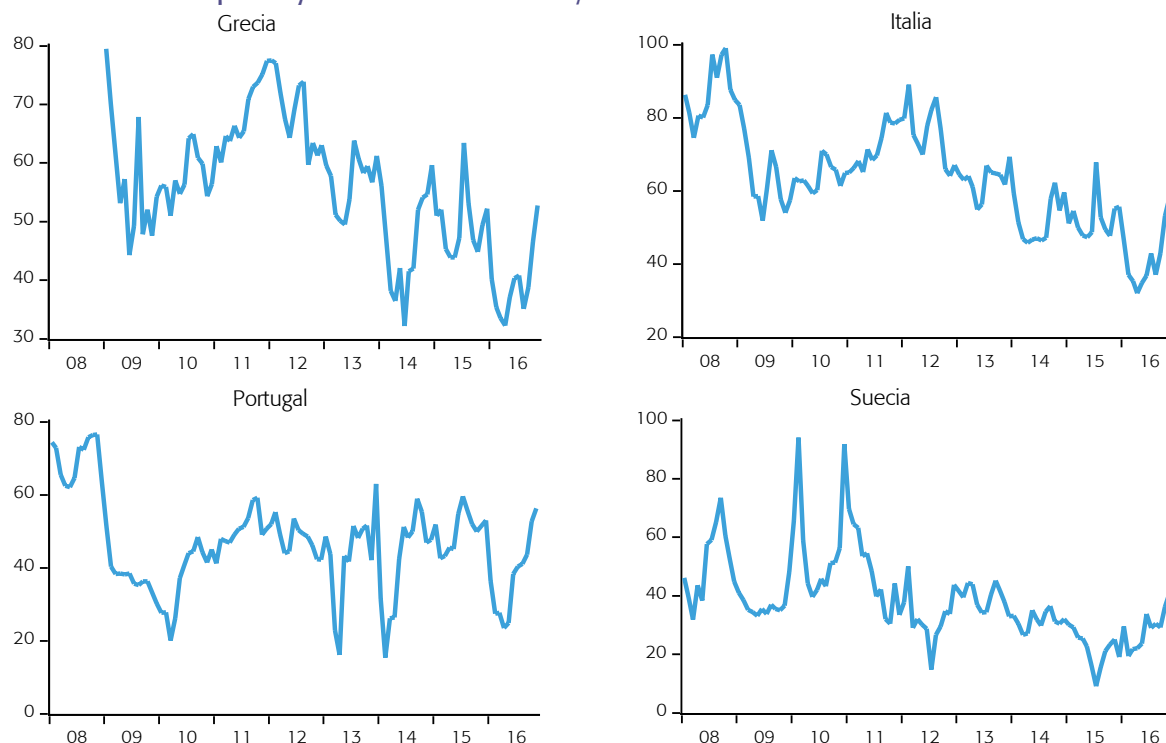
Gráfico 1

Precios mensuales al por mayor de la electricidad en €/MWh



Gráfico 1 (continuación)

Precios mensuales al por mayor de la electricidad en €/MWh



Fuentes: Austria EXAA <http://www.exaa.at/en/marketdata/historical-data>. Dinamarca ENERGINET <https://en.energinet.dk/Electricity/Energy-data>. Finlandia NORDPOOL <http://www.nordpoolspot.com/Market-data/1/Elspot/Area-Prices/FI/Monthly/?view=table>. Alemania ENERGINET <https://en.energinet.dk/Electricity/Energy-data>. Grecia GME <http://www.mercatoelettrico.org/En/Download/DatiStorici.aspx>. Francia GME <http://www.mercatoelettrico.org/En/Download/DatiStorici.aspx>. Italia GME <http://www.mercatoelettrico.org/En/Download/DatiStorici.aspx>. Portugal OMIP <http://www.omip.pt/Downloads/tabid/104/language/en-GB/Default.aspx>. España OMIP <http://www.omip.pt/Downloads/tabid/104/language/en-GB/Default.aspx>. Suecia ENERGINET <https://en.energinet.dk/Electricity/Energy-data>

En el gráfico 1 podemos ver una caída en los precios en todos los países alrededor de 2008, coincidiendo con el período de la crisis financiera. Sin embargo, el proceso de recuperación es dife-

La proporción de generación de energías renovables es el único elemento significativo en todos los países, especialmente en Portugal y en España. Los precios del combustible son el factor determinante en Austria, Dinamarca, Francia y Alemania, pero tienen poco poder explicativo en Finlandia, Grecia, España y Portugal.

rente para cada país. Dinamarca, Finlandia y Suecia experimentaron picos de precios en 2010-2011. En Austria y Alemania, los precios se recuperaron hasta

2011 y disminuyen desde entonces. En Francia, Grecia e Italia, los precios de la electricidad se recuperan alrededor de 2011-2012, pero también disminuyeron desde entonces. Los precios de España y Portugal se recuperaron alrededor de 2011 y aparecen como estacionarios desde esas fechas.

Modelos

Como estamos interesados en el impacto de las variables fundamentales en los precios al por mayor, utilizamos una regresión lineal basada en los factores de mercado fundamentales definidos con anterioridad, que capta la formación de precios promedio durante el período de muestra.

$$P_{t,j} = \beta_0 + \sum_{j=1}^K \beta_j X_{t,j} + \eta_t \quad [1]$$

La variable dependiente $p_{j,t}$ es el precio medio mensual de la electricidad en el país j en el momento t , y $X_{t,j}$ son las variables explicativas. El proceso estocástico η_t sigue el modelo:

$$\phi(B)\eta_t = \theta(B)\sigma_t \varepsilon_t \quad [2]$$

$$\phi(B) = 1 - \sum_{l=1}^{\phi} \phi_l B^l; \theta(B) = 1 - \sum_{l=1}^{\theta} \theta_l B^l \quad [3]$$

Las funciones $\phi(B)$ y $\theta(B)$ son polinomiales del operador de retardo B , ($Bx_t = x_{t-1}$) σ_t es la volatilidad y las innovaciones ε_t son $Niid(0, \sigma)$. La volatilidad sigue un proceso EGARCH(1, 1)

$$\log(\sigma_t^2) = \omega + \alpha_1 \left| \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} \right| + \gamma_1 \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} + \phi_1 \log(\sigma_{t-1}^2) \quad [4]$$

El modelo [4] incluye efectos de apalancamiento exponencial en la varianza y garantiza que las predicciones de la volatilidad son siempre no negativas.

Las variables explicativas son³:

Load, el promedio mensual de consumo final. Esperamos que incrementos en *Load* estén asociados con incremento en precios.

Brent Oil, Coal and Gas Prices. Esperamos que incrementos en el precio de los combustibles estén asociados con incrementos en precios.

Carbon Prices. Aumentos del precio del CO₂ eleva el coste del uso de plantas convencionales; si no hay otras fuentes alternativas, su efecto debería ser incrementar los precios de la electricidad.

Temp. Es el promedio diario de la temperatura en grados Celsius. En países con bajas temperaturas promedio, el signo esperado es negativo (disminución de la demanda y los precios debido a las altas temperaturas) y es positivo en el caso contrario.

Renew. La parte de las energías renovables sobre la generación bruta es nuestra medida del impacto de las energías renovables. Varios estudios (por

ejemplo, Würzburg, Labandeira y Linares, 2013) documentan que el aumento de la generación a partir de las energías renovables está asociado con la disminución de los precios al por mayor.

Netbal. Definimos el saldo neto (*Netbal*) como la diferencia entre las exportaciones y las importaciones de electricidad. Si los precios internos están por debajo (por encima) de los precios en los países vecinos conectados, es rentable exportar (importar) energía a (de) otros países. Por lo tanto, el impacto de *Netbal* puede depender de dos situaciones diferentes. Si en el mercado interno hay una demanda alta (baja) y el saldo neto es positivo, deberíamos ver una correlación positiva (negativa) entre los precios al por mayor nacionales y *Netbal*, porque hay menos (más) electricidad neta disponible en el mercado interno. Pero, si en el mercado interno hay una demanda alta (baja) y el saldo neto es negativo, debería observarse una correlación negativa (positiva) entre los precios mayoristas nacionales y *Netbal* porque las importaciones (aumento) netas (de las exportaciones) disminuyen los precios internos.

Seasonality. Una parte estacional es importante como *proxy* para el patrón anual de precios del combustible. Las variables ficticias mensuales y los coeficientes autorregresivos estacionales son la representación más adecuada para esta muestra de datos.

Los resultados de la estimación del modelo [1]-[4] por máxima verosimilitud están en Peña, Rodríguez y Yuan (2018). Las pruebas convencionales de multicolinealidad, correlación serial residual, residuos cuadrados, influencia de datos extremos (*outliers*), endogeneidad, normalidad y exceso de ajuste, muestran que no hay problemas significativos en la especificación elegida. El grado de ajuste del modelo, medido por el R² ajustado, varía entre el 91,8% para Dinamarca y el 77% para España o el 76,6% para Finlandia.

El cuadro 1 presenta las medidas de impacto económico⁴ (EI) de cada variable explicativa en

³ Las definiciones y fuentes de todas las variables están en Peña, Rodríguez y Yuan (2018), cuadro 1.

⁴ $EI(X) = (\beta_x * \sigma(X)) / \text{Mean}(Y)$. Este coeficiente mide el efecto de un incremento de una desviación típica de la variable explicativa, multiplicada por la pendiente de la línea de regresión, como proporción del nivel medio de la variable dependiente. Es una medida más adecuada que la pendiente β_x ya que tiene en cuenta el diferente nivel de volatilidad de cada variable explicativa.

Cuadro 1

Impacto económico (EI) de los determinantes de los precios al por mayor

	AU	DK	FI	FR	ALE	GR	IT	PT	ESP	SUE
Brentoil	0,000	0,000	0,000	0,099	0,000	0,000	0,077	0,000	0,000	0,019
Coal	0,147	0,189	0,000	0,000	0,212	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Gas	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014
Renew	-0,101	-0,086	-0,116	-0,059	-0,032	0,000	-0,068	-0,095	-0,085	-0,075
Load	0,000	0,061	0,364	0,000	0,000	0,000	0,133	-0,101	0,000	0,000
Carbon	0,077	0,000	0,000	0,000	0,075	0,062	0,000	0,042	0,000	-0,011
Temp	0,000	-0,150	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,321
Netbaldiv	0,000	0,113	0,101	0,000	0,000	0,077	0,000	-0,092	0,000	-0,170

Notas: Este cuadro presenta los EI del modelo en ecuaciones [1] – [4]. $EI(X) = \beta_x \sigma(X) / \text{Mean}(Y)$. Los coeficientes son significativos al 1%. En negrita figura el coeficiente asociado con la variable de mayor impacto.

cada país, utilizando los coeficientes significativos al 1%. Cuanto mayor (en valor absoluto) es el EI de una variable, mayor es el impacto sobre la variable dependiente de cambios en el factor fundamental.

Un primer aspecto por resaltar es que el impacto económico de cada factor fundamental varía según los países. La parte de la generación de energías renovables es el único elemento significativo en todos los países⁵, especialmente en Portugal (-0,095) y en España (-0,085), donde es el factor con mayor EI. Esto quiere decir que (*ceteris paribus*), si en un mes determinado la producción de renovables aumenta en una desviación típica, la bajada de precio de la electricidad es del 9,5% y 8,5% sobre el nivel medio de los precios. En el caso de España, como el nivel promedio de los precios en este período 2008-2016 ha sido 45,73 €/MWh, esto implica una bajada promedio de 3,88 €/MWh. Nótese que el tamaño del impacto en Finlandia (-0,116) es cuatro veces mayor que en Alemania (-0,032). Los precios del combustible son el factor determinante en Austria (carbón, 0,147), Dinamarca (carbón, 0,189), Francia (brentoil, 0,099) y Alemania (carbón, 0,212), pero tienen poco poder explicativo en Finlandia,

Grecia, España y Portugal. La demanda es el ingrediente clave en Finlandia (0,364) e Italia (0,133) y en menor medida, en Dinamarca (0,061). La temperatura es el factor más importante en Suecia (-0,321) y Dinamarca (-0,150), y con efecto negativo, como se esperaba. El saldo neto entre las exportaciones y las importaciones es negativo en Suecia (-0,170) y Portugal (-0,092) y positivo para Dinamarca (0,113) y Finlandia (0,101) y además es el factor de mayor EI para Grecia (0,077). Finalmente, incrementos en el precio de las emisiones de carbono están asociados con aumentos de precios en Austria (0,077), Alemania (0,075), Grecia (0,062) y Portugal (0,042) y con disminuciones de precio en Suecia (-0,011), pero su efecto no es significativo en el resto de los países.

Conclusiones

En este trabajo estudiamos si las variables fundamentales tienen poder explicativo para los precios de electricidad al por mayor mensuales para diez países de la UE en el período 2008-2016. Variables como la demanda, los precios del combustible, la producción basada en energías renovables, las variables climáticas, los precios del

⁵ En el caso de Grecia, el EI es de -0,036, significativo al 5%, pero no significativo al 1%.

carbono y el saldo neto entre las exportaciones y las importaciones ayudan a explicar los precios mensuales al por mayor. Pero la importancia y el tamaño de su impacto varía notablemente entre los países. El único determinante con capacidad explicativa en todos los países es la cuota de producción por renovables, cuyo aumento está asociado con bajadas en el nivel de precios.

La disminución de precios mayoristas causada por el aumento de generación a partir de fuentes renovables reduce, en relación con el peso relativo de aquellos, los precios minoristas, lo cual estimula el consumo. La consecuencia es un choque entre dos de los objetivos del CEP 20-20-20: reducir el consumo y una mayor producción de energías renovables.

Además, los resultados plantean dudas sobre la consistencia mutua de dos de los objetivos del Paquete de Energía y Clima de la UE (CEP 20-20-20). La evidencia empírica sugiere que el aumento en la generación a partir de fuentes renovables disminuye significativamente los precios mayoristas en todos los países. Por lo tanto, la parte de energía de los precios minoristas, basada en los precios al por mayor, también disminuye. Las caídas en los precios minoristas estimulan el consumo. La consecuencia es un choque entre el objetivo del CEP 20-20-20 de reducir el consumo y el objetivo del CEP 20-20-20 de una mayor producción de energías renovables. Si los gobiernos ponen más peso en el objetivo de recortar el consumo y aumentar la parte no energética de los precios minoristas, crecerá el descontento de los consumidores con el mercado de la electricidad liberalizado. Si los gobiernos apoyan los aumentos en la generación renovable, la presión a la baja sobre los precios crecerá, haciendo que el recorte en el consumo sea aún más problemático. Además, en 2017 la Comisión Europea ha propuesto objetivos vinculantes para 2030 en conflicto con el acuerdo del Consejo Europeo de 2014 de que no habría objetivos vinculantes para la eficiencia energética.

En resumen, los resultados son relevantes para entender la evolución de los mercados de electricidad liberalizados en Europa y señalan que los ambiciosos objetivos de política de integración de los mercados europeos de electricidad se enfrentan a grandes desafíos, tales como objetivos del CEP-20-20-20 (disminución del consumo y apoyo a las renovables) que son difícilmente compatibles entre sí.

Referencias

- COMISIÓN EUROPEA (2015), Investment perspectives in electricity markets, *European Economy Institutional Paper* 003, ISSN 2443-8014 (online).
- ESCRIBANO, A.; PEÑA, J. I., y P. VILLAPLANA (2011), "Modelling Electricity Prices: International Evidence", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 73 (5): 622-650.
- GUIRGUIS, H., y F. FELDER (2004), "Further Advances in Forecasting Day-Ahead Electricity Prices Using Time Series Models", *KIEE International Transactions on Power Engineering*, 4: 159-166.
- PEÑA, J. I. (2012), "A Note on Panel Hourly Electricity Prices", *The Journal of Energy Markets*, 5(4): 81-97.
- PEÑA, J. I., y R. RODRÍGUEZ (2016), "Time-Zero Efficiency of European Power Derivatives Markets", *Energy Policy*, 95: 253-268.
- PEÑA, J. I.; RODRÍGUEZ, R., y S. YUAN (2018), The Determinants of EU Electricity Prices: Wholesale and Retail, *Documentos de Trabajo*, 797, Funcas, Madrid.
- PEREIRA DA SILVA, P., y P. A. CERQUEIRA (2017), "Assessing the determinants of household electricity prices in the EU: a system-GMM panel data approach", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73: 1131-1137.
- WERON, R. (2014), "Electricity Price Forecasting: A Review of the State-of-the-Art with a Look into the Future", *International Journal of Forecasting*, 30 (4): 1030-1081.
- WÜRZBURG, K.; X. LABANDEIRA, y P. LINARES (2013), "Renewable generation and electricity prices: Taking stock and new evidence for Alemania and Austria", *Energy Economics*, 40, Supplement 1: S159-S171.