|  |
| --- |
| IMF BUSINESS SCHOOL |
| PREDICCIÓN DEL PRECIO DEL POOL ELÉCTRICO ESPAÑOL |
| TFM BIG DATA & BUSINESS ANALYTICS |

|  |
| --- |
| Carlos Alonso Salcedo  1-6-2022 |

ÍNDICE:

1. Resumen
2. Introducción y antecedentes

2.1. Introducción y agentes del sector eléctrico

2.2. Historia del sector eléctrico en España

2.3. ¿Cómo se establece el precio de la electricidad?

2.4. Potencia instalada en España.

1. Hipótesis de trabajo y objetivos
2. Material y métodos
3. Resultados
4. Discusión
5. Conclusiones
6. Referencias
7. Anexos
8. RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es el de la predicción del precio del pool eléctrico español durante todo el año de 2021. Para ello, se hará uso de diferentes bases de datos y páginas web con información financiera, de producción de energía renovables y datos meteorológicos, entre otros. Para predecir esta variable objetivo, se hará uso de diferentes algoritmos y métodos, desde los más sencillos, basado en un modelo de persistencia, hasta modelos complejos basados en arquitecturas de redes neuronales. El resultado final será de un *benchmark* de los modelos usados para ver cuáles se comportan mejor en este periodo de tiempo caracterizado por el periodo con más volatilidad de la historia del precio de la electricidad en España. Para ello, todos los modelos se compararán mediante un *backtesting out of sample* para todo el año 2021 y se compararán con las mismas métricas para poder realizar una comparación directa y así poder determinar cuál es el mejor modelo para resolver nuestro problema.

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES
   1. INTRODUCCIÓN Y AGENTES DEL SECTOR ELÉCTRICO

La electricidad se trata de un pilar en el que se basa el mundo actual. Prácticamente todo lo que usamos día a día como ordenadores, electrodomésticos, teléfonos móviles, iluminación, industria y un largo etcétera, dependen de la electricidad. De hecho, la energía es un bien básico de primera necesidad cuyo acceso debe ser garantizado como servicio público (1).

Esto se traduce en que la cantidad de energía que se consume es altísima pues está presente en prácticamente todos los sectores y en el día a día de cada persona. Por ejemplo, la cantidad de energía eléctrica que se consumió en 2021 en España fue de 256.387 GWh, comparado con el consumo en 1980 que fue de 97.231 GWh, se trata de un consumo de más del doble, debido al aumento de la población y al uso cotidiano de cada vez más dispositivos electrónicos (2).

Sin embargo, pese a que cada vez hay más población y se usan más dispositivos electrónicos, en Europa se redujo el consumo de electricidad más de un 10 % entre 2005 y 2015 debido a las mejoras en la eficiencia energética, el aumento de la proporción de energías procedentes de la fuentes hidráulica, eólica y solar fotovoltaica, los cambios estructurales en la economía y la recesión económica de 2008. También ha contribuido el hecho de que los inviernos hayan sido más cálidos, lo que ha permitido reducir la cantidad de energía destinada a calefacción (3).

El sector eléctrico es altamente complejo, pero al mismo tiempo fundamental para poder mantener el estilo de vida contemporáneo. En el *pool* del mercado es donde se compra la energía que llega a nuestros hogares y donde se vende la electricidad producida en las centrales. (3)

Un **sistema eléctrico** es el conjunto de elementos que operan de forma coordinada en un determinado territorio para satisfacer la demanda de energía eléctrica. Este sistema, en España, tiene 7 componentes:

1. Centros o plantas de generación (donde se produce y eleva la tensión de la electricidad para transportarla)
2. Líneas de transporte de la energía de alta tensión, gestionada, desarrollada y mantenida por Red Eléctrica de España (REE).
3. Las estaciones transformadoras, que reducen la tensión.
4. Líneas de distribución de media y baja tensión que llevan la electricidad hasta los consumidores.
5. Las instalaciones de los clientes o consumidores de energía eléctrica
6. Los centros de control de las empresas generadoras, distribuidoras y comercializadoras.
7. Un centro de control eléctrico nacional desde el que se gestiona, coordina y opera el sistema eléctrico, y que está gestionado también por REE.

Sin embargo, el negocio del sector eléctrico no sería tal sin la participación de los siguientes actores:

* **Generadores**: producen la energía eléctrica, independientemente del tipo de tecnología utilizada para ello.
* **Transportista**: transmiten la energía de la red de transporte a los puntos de consumo donde se entrega a los distribuidores. En España, por ley, hay un transportista único y es **REE**.
* **Distribuidores**: son las compañías que llevan la electricidad hasta los clientes finales. Aunque hay numerosas empresas que ejercen esta actividad, en cada área de España sólo puede haber un distribuidor.
* **Operador del sistema**: es la empresa que se encarga de que todo el proceso de la operación del sistema eléctrico funcione correctamente. La clave es cumplir la siguiente ecuación y regla de oro en el negocio de la electricidad.
* **Comercializadoras**: venta de energía eléctrica a los consumidores según la potencia contratada, comprándola a su vez a los generadores en el llamado ‘*pool eléctrico* ’, una especie de subasta que determina el precio de la energía eléctrica en la Península Ibérica.
  1. HISTORIA DEL SECTOR ELÉCTRICO EN ESPAÑA

Durante años, el sector eléctrico en España funcionó como un oligopolio en el que el precio de la electricidad dependía de pocas compañías eléctricas en España. El país estaba dividido en diversas áreas geográficas, cuyo suministro de electricidad se adjudicó en exclusiva a cinco grandes empresas. Cada una de estas eléctricas gestionaba las 4 fases del suministro de energía de su ámbito de actuación, dejando a los consumidores sin posibilidad de escoger su propia compañía eléctrica.

En 1997, con el objetivo de fomentar la competencia en el sector de la energía eléctrica y mejorar el conocimiento que los usuarios tenían del mismo, se aprobó la primera ley de liberalización del sector eléctrico nacional. La normativa prohibía que una misma compañía opere en más de una de las fases del proceso de suministro y transfiera la gestión del transporte a distintas redes eléctricas en España.

Como consumidores, no podemos escoger qué empresa distribuye la energía eléctrica que consumimos, pero sí podemos elegir a quién se la compramos.

Como se ha visto, entonces la electricidad forma parte de la vida y de la actividad económica de las personas. Realizando un cálculo rápido y sencillo, el precio medio de la electricidad en España en 2021 fue de 111,93 €/MWh. Esto indica que, únicamente en el negocio de compra y venta de la electricidad en el mercado del pool, se trató de un negocio que movió cerca de 29 mil millones de euros en España en 2021.

Esto lo convierte en un negocio que mueve mucho dinero y que, debido a lo mucho que se consume, su precio es muy importante ya que afecta a todas las personas y todos los negocios.

* 1. ¿Cómo se establece el precio de la electricidad?

Una vez hemos visto lo importante que es la electricidad, qué agentes participan en el negocio y la cantidad de energía y dinero que mueve este negocio cabe preguntarse, ¿cómo se establece el precio de la electricidad?

La forma de establecer el precio sigue el **algoritmo Euphemia** que surgió en la iniciativa “Price Coupling of Regions” (PCR) por parte de siete mercados eléctricos europeos, entre los que se encuentra el español. Este algoritmo calcula los precios de la energía eléctrica de forma eficiente persiguiendo la maximización del bienestar, que se define como el excedente o beneficio tanto de los compradores como de los vendedores, al tiempo que optimiza el uso de capacidad disponible en las interconexiones.

En resumen, las empresas encargadas de la generación hacen sus ofertas (cantidad de energía y precio) y las empresas encargadas de la venta al por menor, consumidores directos, etc., demandan la energía necesaria a un precio determinado. Una vez realizadas las ofertas, se ordenan según el precio, en orden creciente en el caso de la venta y decreciente en el caso de la compra. La intersección de las curvas de oferta y demanda se denomina **punto de casación**.

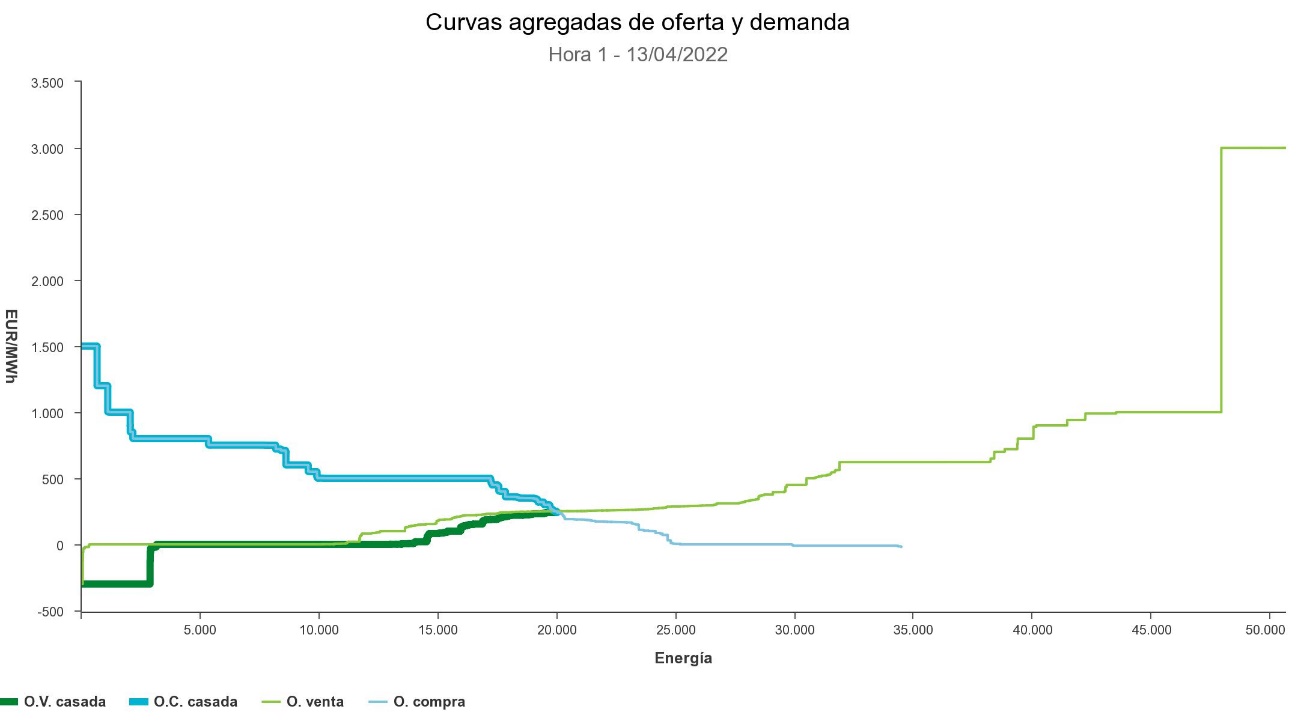


Imagen 1. Curva de oferta y demanda para el 13 de abril de 2022 en la hora 1. Imagen proveniente de OMIE. <https://www.omie.es/es/market-results/daily/daily-market/aggragate-suply-curves>

Por tanto, este punto de corte es el punto que optimiza el bienestar y, por tanto, establece el precio de la energía para esa hora concreta. Toda la energía ofrecida y demandada a un precio inferior al punto de casación se intercambiará a ese precio, mientras que la que tenga un precio superior no lo hará. Este proceso se repite para cada una de las 24 horas de un día, estableciendo el precio de la electricidad para cada una de las horas de cada día.

La energía que se envían a las casas suele ser una mezcla de varias tecnologías (eólica, fotovoltaica, hidráulica, ciclos combinados de gas, carbón…). La generación de electricidad por cada energía tiene un precio asociado, sin embargo, a la hora de venderla a mercado, todas se venden al mismo precio que es el que marca el punto de casación, que es en lo que se basa un **sistema marginalista**.

Pongamos un ejemplo completamente ficticio: a una hora determinada hay una demanda de 20.000 MW, y tenemos ofertando la energía nuclear con 7.000 MW a precio cero; eólica, 12.000 MW a precio también cero. Luego vienen los ciclos combinados (gas), 10.000 MW a precio 40 €/MWh. Y por último carbón, 8.000 MW a precio 60 €/MWh. Al casar la oferta saldrían los 7.000 MW de la nuclear, los 12.000 MW de la eólica y solo 1.000 MW de ciclo combinado, el carbón se queda fuera. **Pero a todos se les paga el precio de casación, 40 €/MW**.

Es por ello que al sistema se le denomina marginalista, porque a todos se les paga el precio marginal de casar la oferta y la demanda, independientemente de lo ofertado.

* 1. Potencia instalada en España.

Como se ha adelantado, la energía que llega a nuestras casas y negocios es una mezcla de la electricidad producida por diversas tecnologías. Actualmente en España se dispone de una potencia instalada de 114.290 MW, distribuida en las siguientes tecnologías. (6)

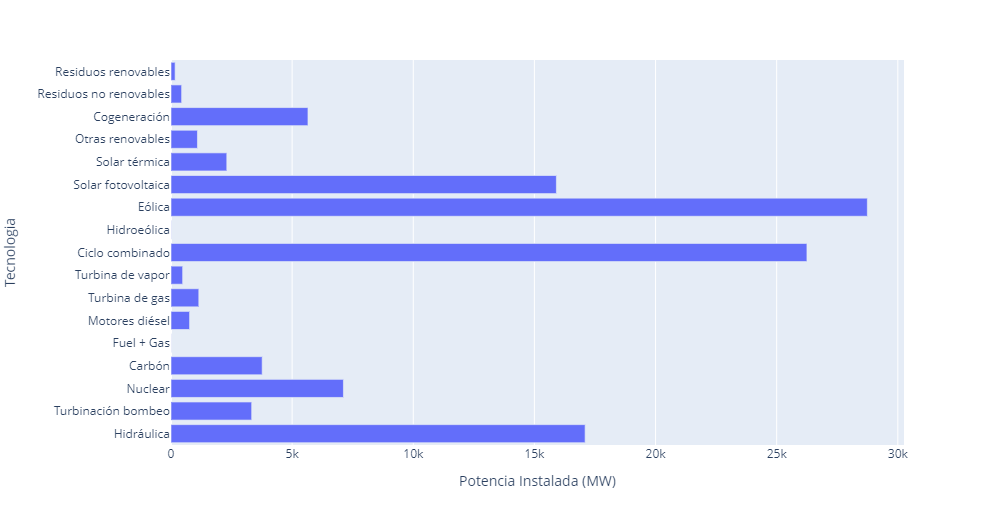


Imagen 2. Distribución por tecnología de la potencia instalada en España (6). Elaboración propia

De ella deducimos que las 4 tecnologías con mayor capacidad instalada en España son, en primer lugar, la eólica (28.743 MW), seguida del ciclo combinado (26.250 MW), la hidráulica (17.094 MW) y la solar fotovoltaica (15.098 MW)

Sin embargo, estos números hay que tratarlos con cuidado. Estos valores de generación hacen referencia a la potencia total que podría producir el sistema si todas las distintas tecnologías produjesen simultáneamente el máximo del que están preparadas. Poniendo un ejemplo más concreto, la energía eólica tiene 28.743 MW de potencia instalada lo que quiere decir, que si todos los aerogeneradores situados en España produjesen el tope de electricidad del que están preparados, producirían esta cantidad de energía, pero esto es bastante complicado que ocurriese, ya que en todas las plantas de España debería estar soplando un viento suficientemente fuerte como para producir la máxima energía de la que está preparada una central en el mismo momento. Lo mismo pasaría con las demás tecnologías.

Tampoco indica que en esta proporción se produce electricidad, por ejemplo, de solar hay 15.098 MW de potencia instalada, pero es evidente pensar que el peso de esta energía respecto a la total en verano e invierno será muy distinta, ya que en verano la potencia generada estará más cerca de la potencia instalada fotovoltaica que en invierno y el % de la generación ocupará un mayor peso en los meses con mayor radiación como los de verano.

En el siguiente gráfico (7) se muestra, para cada día del periodo comprendido entre el 01/01/2022 y 01/05/2022, el % de energía producida por cada tecnología con respecto al total de la energía producida. A simple vista se observa que las barras verdes (correspondiente a la eólica) es muy volátil, pues depende del viento, que producirá cuanto más haya, en caso de que no exista, se observa como crece la barra color naranja claro correspondiente al ciclo combinado, que trata a hacer frente a corregir cuando la eólica no produce en niveles altos.

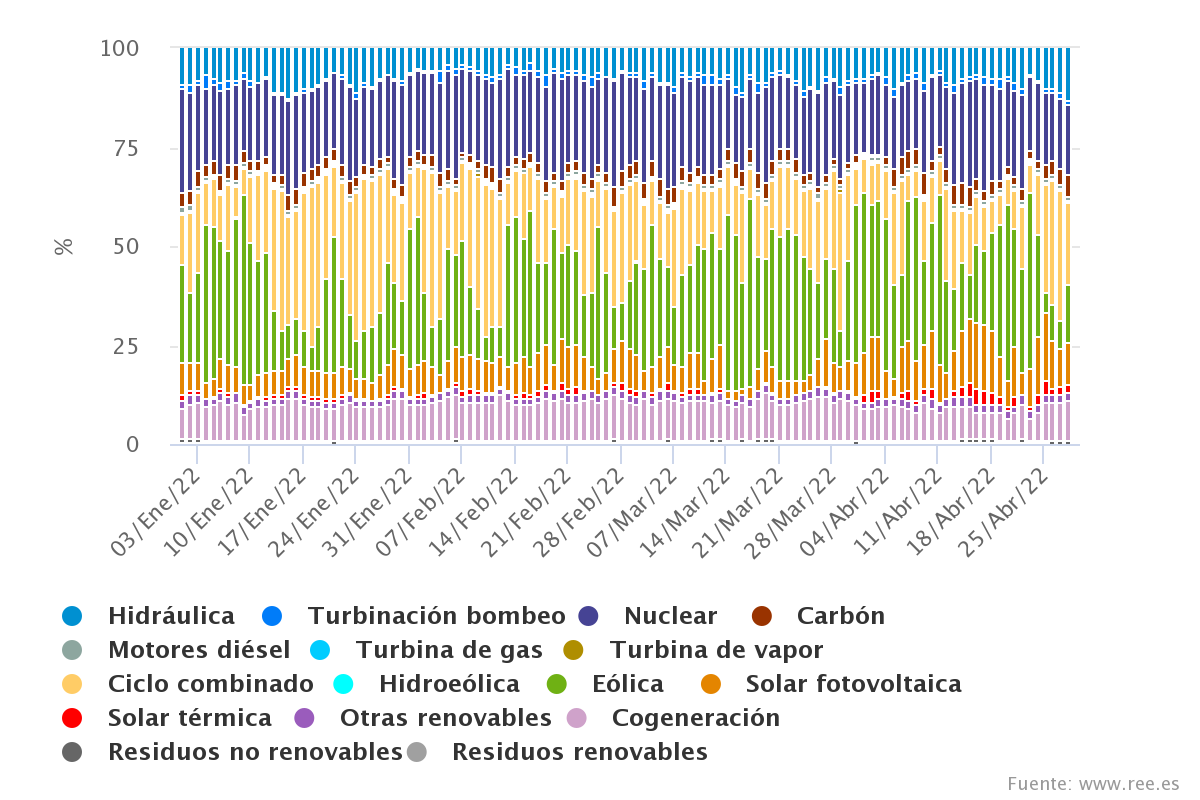


Imagen 3. Porcentaje de energía producida por cada tecnología con respecto al total (7).

Por poner números concretos, comparamos un miércoles de enero con un miércoles de abril y vemos la producción de las tecnologías más importantes.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Tecnología | 05/01/2022  (GWh) | 27/04/2022  (GWh) |
| Hidráulica | 57 | 79 |
| Fotovoltaica | 35 | 68 |
| Eólica | 295 | 48 |
| Ciclo Combinado | 92 | 227 |
| Total | 767 | 695 |

Tabla 1. Comparativa entre las tecnologías producidas el 05/01/2022 y el 27/04/2022.

Como se observa, la fotovoltaica, como era de esperar, produce el doble en abril que en enero. Sin embargo, el 27/04/2022 parece que fue un día en el que no hizo mucho viento, ya que la producción fue muy pequeña comparada con la que se produjo el 05/01/2022. Para contrarrestar esta disminución, se observa un aumento muy claro de producción en el ciclo combinado de la fecha de abril con respecto la de enero.

Todo esto pone de manifiesto lo complicado que es de gestionar este ejercicio de demanda, pues la producción de fuentes renovables como la eólica o fotovoltaica depende de las condiciones climáticas las cuales no son constantes y, si estas no favorecen, se han de utilizar otras fuentes (más caras) para satisfacer la demanda, que impacta directamente en el precio de la energía.

* 1. ¿Cómo se consume en España?

En un día cualquiera, el inicio de la jornada laboral, el cierre de los comercios durante el mediodía o la mayor ocupación de los hogares en las horas finales del día, explican por qué la demanda no es idéntica en las distintas horas del día. (8)

Nuestra sociedad demanda más energía en algunos momentos del día (**horas punta**). En invierno, estas horas punta se dan entre las 11:00 y 12:00 o bien entre las 19:00 y 20:00, debido a la confluencia entre actividad comercial y ocupación de los hogares. Sin embargo, en verano las horas punta se producen en las horas centrales del día, coincidiendo con los momentos de mayor temperatura. (8).

Durante las horas nocturnas se produce la demanda mínima diaria (**horas valle**). A estas horas, únicamente la demanda industrial mantiene un consumo importante, ya que las grandes fábricas consumen las 24 horas del día, aprovechando las horas nocturnas, cuando la energía se puede contratar más barata.(8).

Un perfil de consumo de un día normal (ya que los festivos pueden no seguir este perfil) es el siguiente. (8)

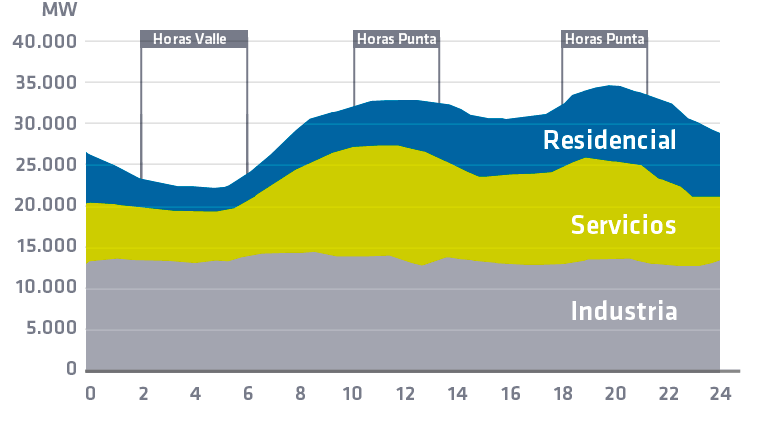


Imagen 4. Perfil de consumo en un día para el sistema eléctrico español (8).

El máximo de consumo en una hora de un día puede oscilar entre los 35.000 y 40.000 MW, mientras que la potencia instalada con la que cuenta España es cercana a los 114.290 MW, es decir, si todo funcionase al máximo de eficiencia en todas las tecnologías, podríamos producir 3 veces más energía de la que normalmente se demanda en un día.

1. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS

Relación entre las variables.

* Hablar de las renovables, variable de hueco térmico
* Lags
* Festivos
* Precio de mañana es parecido al de hoy
* Gas por lo de casación
* Variables financieras

Para evaluar los modelos, se han usado las siguientes métricas, disponibles y usadas en el script *metricas.py* .

Se harán uso y se estudiarán todas las métricas, pero la que se utilizará como métrica principal será el WMAPE. Se optó por no incluir la variable de MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*, que es la media de los errores porcentuales en valor absoluto de cada observación), debido a la naturaleza de la variable objetivo ya que, en algunos periodos de tiempo en el que las renovables producen mucha energía, el precio es menor a 1 €/MWh, por lo que, aun realizando una predicción de 2 €/MWh, el valor de MAPE para esa predicción es del 100 %, lo que desvirtuaba la métrica en algunos periodos y no era buena elección, problema que se soluciona usando su versión ponderada (WMAPE).

Siendo ‘y’ el valor predicho, ‘x’ el valor real y ‘N’ el número de observaciones realizadas:

* MAE (*Mean Absolute Error* ). Función que calcula el error absoluto medio entre las predicciones y los valores reales.
* WMAPE (*Weight Mean Absolute Percentege Error).* Es el MAPE ponderado por el peso de la variable real. De esta forma, se minimizan los efectos de productos con grandes errores, pero cuyo valor es pequeño.
* RMSE (*Root Mean Squared Error)* . Se trata de la desviación estándar de los residuos (errores de predicción). Los residuos son una medida de cómo de lejos de la predicción están los valores reales.
* % Tendencia:

1. Referencias
2. La energía es un bien básico de primera necesidad cuyo acceso debe ser garantizado como servicio público (2022). Consultado el 12 de abril de 2022. <https://www.energias-renovables.com/panorama/la-energia-es-un-bien-basico-de-20191119>
3. España – Consumo de electricidad (2022). Consultado el 12 de abril de 2022. <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/electricidad-consumo/espana>
4. ¿Cómo funciona el sector eléctrico en España? (2021). Consultado el 12 de abril de 2022. <https://www.aura-energia.com/como-funciona-el-sector-electrico-en-espana/#:~:text=Una%20comercializadora%20de%20electricidad%20compra,trav%C3%A9s%20de%20un%20precio%20pactado>
5. BOE: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-13645&p=20211027&tn=1#a30>
6. El sistema marginalista de fijación de precios eléctricos, a debate. Alejandro Nieto Gonzalez (2021). Consultado el 3 de mayo de 2022. <https://www.elblogsalmon.com/sectores/sistema-marginalista-fijacion-precios-electricos-a-debate>
7. Generación en España. (2022). Consultado el 3 de mayo de 2022. [https://www.ree.es/es/datos/generacion/potencia-instalada](https://www.ree.es/es/datos/generacion/potencia-instaladaG)
8. Generación en España (2022). Consultado el 4 de mayo de 2022. <https://www.ree.es/es/datos/generacion/estructura-generacion>
9. Nuestros hábitos de consumo (2021). Consultado el 4 de mayo de 2022. https://www.ree.es/es/red21/eficiencia-energetica-y-consumo-inteligente/nuestros-habitos-de-consumo