

Marta Martín Coca

**IMPACTE DE L'ENERGIA RENOVABLE I DE COGENERACIÓ AL PREU DE
L'ELECTRICITAT AL MERCAT MAJORISTA**

TREBALL DE FI DE GRAU

Anàlisi de Dades Econòmiques

Grau de Economia



**FACULTAT D'ECONOMIA i EMPRESA
Universitat Rovira i Virgili**

Reus

Curs 2022-23

ÍNDEX

1. TÍTOL, RESUM I PARAULES CLAU	3
2. PRESENTACIÓ	4
3. INTRODUCCIÓ	5
4. MERCAT ELÈCTRIC ESPANYOL	6
4.1. ANTECEDENTS	6
4.2. LIBERALITZACIÓ DEL MERCAT	8
5. ESTRUCTURA DEL MERCAT ELÈCTRIC	9
5.1. GENERACIÓ	11
5.1.1. TIPUS D'ENERGIA	11
5.1.2. COSTOS D'ENERGIA	12
5.1.3. MIX ENERGÈTIC	13
5.2. TRANSPORT	14
5.3. DISTRIBUCIÓ	15
5.4. COMERCIALITZACIÓ	16
6. FORMACIÓ DE PREUS	17
6.1. MERCAT MAJORISTA	17
6.1.1. MERCAT DIARI	18
6.1.2. ORDRE DE MÈRIT	19
6.1.3. MERCAT INTERDIARI	21
6.2. MERCAT MINORISTA	21
7. ENERGIA RENOVABLE I DE COGENERACIÓ	21
7.1. CONTEXT	23
8. IMPACTE ENERGIA DE RÈGIM ESPECIAL ALS PREUS DE L'ELECTRICITAT	24
8.1. CONTEXTUALITZACIÓ	24
8.2. IMPACTE RÈGIM ESPECIAL	26
9. DADES	30
10. METODOLOGIA	31
11. RESULTATS	35
12. CONCLUSIONS	45
13. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES	47

1. TÍTOL, RESUM I PARAULES CLAU

IMPACTE DE L'ENERGIA RENOVABLE I DE COGENERACIÓ AL PREU DE L'ELECTRICITAT AL MERCAT MAJORISTA

El preu de l'electricitat als últims dos anys, des de la pandèmia de la Covid-19, ha estat en tota classe de debats econòmics, socials i polítics. La factura de la llum ha augmentat fins al 88% el 2022 respecte al 2021 generant malestar entre la població. Per aquest motiu, el treball es basa a buscar si l'energia renovable, que a priori sembla una variable determinant per desviar la tendència del preu de l'electricitat, produeix moviments en el preu, de quina forma ho fa i si és determinant pel canvi.

Abans de passar a anàlisi, es repassa l'estructura actual que segueix el mercat elèctric explicant cada una de les quatre etapes que la componen i com es forma el preu de l'electricitat.

A través d'anàlisis anteriors, s'aplica un model de regressió lineal múltiple, utilitzant una sèrie temporal, per analitzar l'impacte del règim especial al preu de l'electricitat des del 2018 al 2022.

Paraules clau: preu energia, règim especial, sistema marginal

IMPACTO DE LA ENERGÍA RENOVABLE Y DE COGENERACIÓ AL PRECIO DE LA ELECTRICIDAD EN EL MERCADO MAYORISTA

El precio de la electricidad en los últimos dos años, desde la pandemia de la Covid-19, ha estado en toda clase de debates económicos, sociales y políticos. La factura de la luz ha aumentado hasta el 88% en 2022 respecto a 2021 generando malestar entre la población. Por este motivo, el trabajo se basa en buscar si la energía renovable, que a priori parece una variable determinante para desviar la tendencia del precio de la electricidad, produce movimientos en el precio, de qué forma lo hace y si es determinante para el cambio.

Antes de pasar a análisis, se repasa la estructura actual que sigue el mercado eléctrico explicando cada una de las cuatro etapas que la componen y cómo se forma el precio de la electricidad.

A través de análisis anteriores, se aplica un modelo de regresión lineal múltiple, utilizando una serie temporal, para analizar el impacto del régimen especial en el precio de la electricidad desde 2018 a 2022.

Palabras clave: precio energia, régimen especial, sistema marginal.

IMPACT OF RENEWABLE ENERGY AND COGENERATION ON THE PRICE OF ELECTRICITY IN THE WHOLESALE MARKET

The price of electricity in the last two years, since the Covid-19 pandemic, has been at the centre of all kinds of economic, social and political debates. The electricity bill has increased by up to 88% in 2022 compared to 2021, generating unease among the population. For this reason, the work is based on looking at whether renewable energy, which a priori seems to be a determining variable to deviate the electricity price trend, produces movements in the price, in what way it does so and whether it is decisive for the change.

Before moving on to the analysis, the current structure of the electricity market is reviewed, explaining each of its four stages and how the electricity price is formed.

Through previous analysis, a multiple linear regression model is applied, using a time series, to analyse the impact of the special regime on the price of electricity from 2018 to 2022.

Key words: energy price, special regime, marginalist system.

2. PRESENTACIÓ

El mercat elèctric sempre ha estat el punt de mira de la població, tot i que en aquests últims anys, ha estat el principal tema de debat entre la societat, en particular, des de l'estiu del 2021 on van començar a produir-se increments mai vistos en els preus del mercat majorista, arribant a rècords històrics a Espanya.

Aquest augment dels preus al mercat majorista suposa també, un augment encara més gran a les factures de tota la població, tant si són consumidors domèstics o industrials.

La volatilitat dels preus de l'energia s'ha vist afectada per diversos factors socials, polítics i econòmics que han convergit. I és que per entendre com ha pogut succeir, primer s'ha d'entendre de què està compost el preu de l'electricitat, tema que tractarem al llarg d'aquest treball. Però les principals raons han sigut les següents: l'augment del preu del gas a causa de la guerra de Rússia i Ucraïna, menor producció d'energia renovable degut a l'escassetat d'energia hidroelèctrica per falta de pluja, augment dels preus dels drets d'emissió de CO2 alimentats per l'augment de l'energia fòssil i per últim, l'augment de demanda elèctrica a propòsit de la reactivació econòmica i social després de viure la pandèmia de COVID-19.

Tots aquests successos s'han vist alimentats per l'estructura del mercat elèctric basat en un sistema marginal que ha provocat una allau de reflexions i replantejaments sobre aquest.

Per tant, després d'aquesta presentació, considero que és un tema important i interessant per tractar en el treball de final de carrera i posar en pràctica els coneixements adquirits al llarg d'aquesta a través de l'Anàlisi de Dades, ja que considero que ha estat l'assignatura més interessant que ha pogut proporcionar la carrera i la que més està a l'ordre del dia. Les dades, avui en dia, són el principal instrument de les empreses a l'hora de prendre decisions de mercat, la seva gestió i posterior anàlisi són primordials.

Altres coneixements adquirits a la carrera també han proporcionat una millor comprensió de la teoria com és la Microeconomia. El sistema del mercat elèctric ha patit modificacions al llarg de la història, des de la regularització total del mercat fins a la introducció de competència en alguns àmbits d'aquest i la Política Industrial també ha sigut clau per interpretar les claus del mercat elèctric.

D'aquesta manera, he volgut enfocar el treball per entendre per què el preu de l'electricitat es veu afectat per aquests esdeveniments socials, polítics i econòmics, entendre la base en la qual s'estructura el mercat elèctric, el sistema marginal, i posteriorment veure quin seria l'impacte de les energies renovables i de cogeneració, que segons la revisió de literatura, consideren que són els principals instruments per baixar el preu de l'electricitat.

Existeixen molts debats respecte quins són els factors que produirien una baixada dels preus de l'electricitat, però en la revisió de literatura durant l'elaboració del treball, una de les principals, seria l'eliminació total de les energies no renovables com les de combustible fòssil, que són les que presenten uns preus més elevats dins el mercat elèctric i que fan que la el preu marginal es desplaci a la dreta, deixant a l'esquerra els preus més baixos corresponents a les energies renovables que són les que tenen uns costos inferiors a l'anterior.

3. INTRODUCCIÓ

D'aquesta manera el treball proporciona un primer context de com s'estructura el mercat elèctric a Espanya per entendre el perquè de les variacions dels preus, presentar les dades i la metodologia que he utilitzat per a l'elaboració de l'anàlisi i arribar a la

conclusió sobre quin és l'impacte de les energies renovables i de cogeneració en el preu del mercat majorista sent l'objectiu principal del treball.

Per l'elaboració del treball, s'ha fet servir de referència revisió de literatura ja existent sobre el comportament de la generació d'energia renovable sobre el preu de l'electricitat. S'utilitza un model de regressió lineal múltiple per veure de quina manera i en quina proporció cada una de les variables independents expliquen el comportament del preu de l'electricitat, posant més èmfasi a la producció d'energia renovable i de cogeneració.

Gràcies a estudis anteriors, es podrà veure si aquest impacte ha tingut una evolució similar en el temps o ha fet un canvi de paradigma.

En resum, el treball consta d'una primera part de revisió de literatura pel que fa a l'evolució i l'estructura del mercat elèctric, juntament amb la seva formació de preu. A continuació, es presenta diversos estudis sobre l'impacte de l'energia renovable al preu de l'electricitat i posteriorment, aplicar el mateixa anàlisi a la base de dades actual.

MARC TEÒRIC

4. MERCAT ELÈCTRIC ESPANYOL

El treball comença amb una contextualització per entendre quin és el funcionament del mercat elèctric.

4.1. ANTECEDENTS

La primera aparició pràctica de l'electricitat es produeix al 1852 a la població de Barcelona, on un farmacèutic il·lumina per primera vegada la seva botiga, i finalment, acaba donant lloc al 1875 l'era d'electrificació industrial a Espanya creant la Societat Espanyola de l'Electricitat, primera empresa elèctrica d'Espanya. (Energía y Sociedad, 2017). Aquesta societat va participar en la fabricació de materials per l'electrificació tot i que la majoria van ser importats de constructores estrangeres. (Alayo Manubens, 2019)

La Societat Espanyola de l'Electricitat va ser la sisena entitat del món que va començar a produir i vendre energia després de Londres, Berlín, San Petersburg, Chicago i Nova York. (Cubillo, 2011)

Al 1875 es va construir la primera central elèctrica destinada a la producció d'energia per a la il·luminació d'establiments i tallers de la ciutat, posteriorment a Madrid, l'any 1881, la primera central elèctrica constituïa la utilització de l'electricitat per a l'enllumenat

públic.(Cubillo, 2011)

Abans d'acabar el segle XIX, Espanya es va convertir en un país d'interès en inversió elèctrica i empreses estrangeres van portar la producció de la seva activitat a Espanya on es van acabar instal·lant dos grans empreses elèctriques alemanyes *Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft* (AEG) i Siemens AG. (Alayo Manubens, 2019)

Les empreses estrangeres aterraven a les principals ciutats espanyoles alhora que sorgien empreses més petites de generació d'energia elèctrica recolzades per empresaris locals que tenien representació de les principals cases de maquinària a Espanya. (Isabel Bartolomé Rodríguez, 2007)

Fins a principis del segle XX l'energia elèctrica no es podia transportar, es generava de forma contínua i no es podia transportar a llargues distàncies, d'aquesta manera la ubicació de les centrals construïdes estaven condicionades a les proximitats del centre de consum. (Cubillo, 2011) El desenvolupament del mercat es veia limitat fins que apareix el corrent elèctric altern¹ que donava la possibilitat de transportar electricitat a grans distàncies, de forma que a finals dels anys 20, l'estructura de generació elèctrica havia canviat multiplicant la potència instal·lada per 12 fins arribar a 1.500 MW. (Energía y Sociedad, 2017)

Aquest canvi de paradigma va comportar a Espanya un desenvolupament hidroelèctric gràcies als recursos hídrics amb els quals comptava. La construcció de centrals hidroelèctriques va suposar una inversió important i, per fer front aquest repte econòmic, es van crear nombroses empreses dedicades a la producció i distribució d'electricitat, de les quals segueixen existint actualment alguna d'aquestes.(Cubillo, 2011)

Després d'aquest gran avenç al mercat elèctric a Espanya, arriba l'època de guerra i postguerra civil juntament amb una època de sequera. Durant aquesta època, es veuen afectades moltes de les infraestructures construïdes a principis del segle XX, amb restriccions elèctriques i talls de subministrament (Cubillo, 2011) produint un estancament de la producció que impedeix atendre una demanda creixent.

Per la gestió d'aquest dèficit d'energia, al 1944 es crea l'empresa UNESA² amb l'objectiu de promoure les diferents interconnexions elèctriques regionals i aquestes amb les centrals elèctriques, de manera que es completés la xarxa de transport. (Energía y Sociedad, 2017) Van crear el "despatx centralitzat" on s'operava tota la Xarxa Nacional,

¹ Corrent elèctrica alterna, un tipo de corrent elèctrica, en que la direcció de flux d'electrons va i ve a intervals regulars o en cicles. (Glosario: *Corriente Alterna y Corriente Continua*, n.d.)

² UNESA, Associació d'Empreses d'Energia Elèctrica.

decidint les centrals que havien de funcionar i els intercanvis per assegurar el subministrament. (Cubillo, 2011) A la vegada, el govern espanyol a través de l'Institut Nacional d'Indústria, crea ENDESA³, una empresa pública per donar un impuls al desenvolupament elèctric del país. (Cubillo, 2011)

A partir del 1970, la producció elèctrica s'havia triplicat arribant a una potència instal·lada de 17.925 MW⁴. (Energía y Sociedad, 2017)

Posteriorment, a l'any 1987 es publica el Real Decret 1538/1987, més conegut com Marc Legal Estable, un text legal pel qual es determina la tarifa elèctrica de les empreses que constitueix el sector elèctric (REE, 1997) amb l'objectiu de permetre que els mitjans de producció i de transport s'explotessin de forma unificada assegurant l'estabilitat financera del sector i de tots els agents que el conformaven. (Agosti et al., 2007)

El Marc Legal Estable estava regulat per l'Estat i considerava que l'electricitat era un bé bàsic al qual tothom havia de tenir accés. També considerava que era un element estratègic per al desenvolupament nacional i garantia a les empreses elèctriques amb beneficis acceptables i als consumidors tarifes transparents amb condicions d'un cost mínim. (Gallego & Victoria, 2012)

Tot i així, aquest marc normatiu només serà vigent des del 1988 fins al 1997.

4.2. LIBERALITZACIÓ DEL MERCAT

El procés de liberalització del mercat elèctric a Espanya comença a partir l'aprovació de la Llei 54/1997 amb l'objectiu de redefinir els àmbits d'actuació dels agents com l'Estat, les empreses i els consumidors. (Gallego & Victoria, 2012) La Llei adaptava la Directiva 96/92/EC, la qual establia regles uniformes per al mercat elèctric dins la Unió Europea i aplanava el camí per a la liberalització dels sistemes elèctrics nacionals i la introducció de competència en certs sectors del subministrament elèctric. (Blanco, 2005)

La Llei exposa que per garantir el subministrament elèctric, la seva qualitat i el menor cost possible, tot incloent la protecció del medi ambient, no requereix de més intervenció estatal. No és necessari que l'Estat reservi per al seu exercici cap de les activitats que integren el subministrament elèctric. (Gobern d'Espanya. (1997) Llei 54/1997, 28 de novembre, El Sector Elèctric. Bolletí Oficial de l'Estat, num. 285)

³ Endesa neix al 1944 i actualment és vigent operant al sector elèctric i gasístic.

⁴ MW, unitat de potència que equival a 1 milió de watts.

Per tant, les funcions que fins ara exercia l'Estat, passen a ser de dos societats mercantils i privades de les quals se n'encarreguen de la gestió tècnica i econòmica, acabant amb una desintegració vertical de les diferents activitats i convertint en règim de monopoli natural els sectors del transport i la distribució de l'energia elèctrica. (Regulador et al., 2021)

Aquest autor (Blanco, 2005) anomena el mercat actual com un mercat híbrid, per què per una banda es promou la creació de lliure mercat i per l'altra banda, es limita el paper dels mercats.

“Els antics monopolis integrats segueixen controlant la demanda i l’oferta de generació d’energia elèctrica, i, a més a més, els requisits per introduir competència, via entrada de nous oferents en els segments de comercialització i de generació, s’han vist frustrats per traves i incertesa en la regulació del mercat” (Blanco, 2005)

En conjunt, el procés de liberalització ha sigut un camí cap a la transformació energètica promovent, la competència, la sostenibilitat i eficiència del mercat. La introducció de competència ha donat pas a nous actors del mercat que han brindat als consumidors un ventall de possibilitats, de la mateixa manera que ha incentivat a la millora del serveis i innovació de productes energètics beneficiant als consumidors.

La garantia d'una regularització sòlida i efectiva a través d'organismes com la Comissió Nacional dels Mercats de la Competència (CNMC⁵), asseguren que els actors del mercat compleixin les lleis i preveuen conductes anticompetitives. La CNMC té en compte tant les conductes prohibides, com els acords i l'abús de poder dins del mercat elèctric.

I per últim, la introducció de competitivitat al mercat repercuteix en un increment en el desenvolupament de les energies renovables a través de polítiques de creixement sostenible i energies netes.

5. ESTRUCTURA DEL MERCAT ELÈCTRIC

Un cop tenim una breu explicació sobre els orígens del mercat elèctric a Espanya, a continuació, es mostra quin es l'estat actual del mercat, la seva estructura i els agents implicats en cada una de les seves etapes.

⁵ CNMC, organisme regulador independent.

El Mercat Elèctric Ibèric (MIBEL⁶) es caracteritza per presentar dos activitats en competència: la generació, que correspon al mercat majorista, i la comercialització que pertany al mercat minorista; en el mercat majorista, els productors venen l'electricitat generada als distribuïdors i als comercialitzadors mitjançant contractes bilaterals. (Jimeno & Cebrián, 2015) I dos activitats que estan regulades per l'Estat que són el transport i la distribució de l'energia.

Per tant, des del procés de liberalització del sector energètic al 1997 a través de la Llei 54/1997, el mercat es veu dividit en 4 moments diferents de la producció d'energia elèctrica:



Il·lustració 1: Estructura mercat elèctric actual

Font: Elaboració pròpia

La Generació és la primera etapa de la producció d'energia i consisteix en transformar una energia primària com són l'energia nuclear, tèrmica, hidràulica, eòlica i solar en energia elèctrica. (Energía y Sociedad, 2017).

En segon lloc es troba el Transport que consisteix en transportar l'electricitat que han generat els productors a través de les línies d'alta tensió perquè posteriorment aquesta es distribueixi. (Gallego & Victoria, 2012) La Distribució té com objectiu transportar l'electricitat des de les sortides de la xarxa/ línies de tensió, fins el consumidor final.

Per últim, l'activitat de Comercialització consisteix en entregar l'energia als consumidors finals a canvi d'una contraprestació econòmica. (Energía y Sociedad, 2017)

Entre ells, es diferencien el transport i la distribució que estan relacionats amb el manteniment de les xarxes elèctriques, estan regulats per l'Estat i són un monopoli natural. Per una altra banda, hi ha la generació i la comercialització que es regeixen pels mecanismes del mercat, per tant, estan liberalitzades. (Gallego & Victoria, 2012)

En general, al mercat hi intervenen 3 organismes per garantir la seguretat del sistema elèctric. El primer correspon a l'operador del sistema que està gestionat per Red Elèctrica d'Espanya⁷ (REE); en segon lloc, l'encarregat de dirigir la cassació entre

⁶ MIBEL és el resultat d'un procés de cooperació desenvolupat per els governs d'Espanya i Portugal per promoure la integració dels sistemes elèctrics dels dos països. (*Mibel – Mercado Ibérico de Electricidade*, n.d.-a)

⁷ REE, és fundada al 1985.

l'oferta i la demanda és coordinat per l'Organització del Mercat Ibèric Elèctric⁸ (OMIE); i per últim, el responsable del funcionament i eficiència del mercat és la Comissió Nacional dels Mercats i la Competència (CNMC) (*Mercado Eléctrico Español - EnergiGreen*, n.d.)

A continuació, s'explica amb detall quina és la funció de cada una de les etapes del mercat fent més èmfasi en la Generació d'electricitat, ja que és l'etapa més important per entendre i seguir amb la dinàmica de l'objectiu del treball.

5.1. GENERACIÓ

La producció d'energia es desenvolupa en un règim de lliure mercat basat amb les ofertes d'energia elèctrica realitzades pels productors i un sistema de demandes pels consumidors. (Govern d'Espanya. (1997) Lley 54/1997, 28 de novembre, El Sector Elèctric. Bolletí Oficial de l'Estat, num. 285)

“A partir de la llei de liberalització del mercat, cada empresa pot decidir quin tipus de tecnologia utilitza i quina quantitat instal·la d'acord amb les expectatives de mercat.” (Jimeno & Cebrián, 2015)

5.1.1. TIPUS D'ENERGIA

Dins d'aquest sector es diferencien dos tipus d'energies en funció de la font que s'utilitza. En primer lloc està el règim ordinari, que correspon a les energies convencionals, com són l'energia nuclear, de carbó, hidràulica, de cicle combinat i de fuel o gas. Totes es produeixen en unitats de generació de més de 50 MW. (Agosti et al., 2007).

En segon lloc hi ha l'energia que prové de fonts més sostenibles com són l'energia solar fotovoltaica, eòlica, hidràulica, biomassa, cogeneració i de residus que pertanyen al règim especial que inclouen les instal·lacions amb una potència instal·lada inferior a 50 MW (Agosti et al., 2007).

Pel que fa a l'energia hidràulica, es difereix de la classificació d'aquesta, ja que no es considera una energia neta degut a l'impacte en el medi per les construccions de preses per l'emmagatzemen d'aigua, és per aquesta raó que s'incorpora en els dos tipus de règim.

L'energia de cogeneració és un concepte relativament nou, és un procés on s'aprofita la calor residual i el gas que deixa anar la generació d'una font d'energia per realimentar la xarxa elèctrica, d'aquesta manera s'aprofita al màxim tota la generació. Un exemple

⁸ OMIE, és fundada al 1998.

seria una fàbrica que utilitza gas natural per generar energia i en el procés s'utilitza el gasos que es generen residualment i l'aigua calenta que s'utilitza durant el desenvolupament de l'activitat.

Aquesta tecnologia es reconeguda per l'alta eficiència, la optimització i el baix cost energètic.

5.1.2. COSTOS D'ENERGIA

Cada tecnologia de generació elèctrica conté una estructura de costos diferents. Hi ha tecnologies amb costos fixes elevats a causa de les inversions inicials i el manteniment però, els costos variables són baixos. Per altra banda, hi ha tecnologies que els seus costos fixos són menors però, tenen costos variables elevats. (Energía y Sociedad, 2017) Per exemple, les centrals hidràuliques i les centrals nuclears tenen costos fixos molt elevats perquè necessiten d'una inversió en infraestructura i manteniment, en canvi el costos variables són relativament baixos.

Les tecnologies amb costos fixos elevats i costos variables baixos són les més adequades per produir d'una forma constant a llarg termini, mentre que les que tenen uns costos fixos baixos i un cost variable elevat s'utilitzen per cobrir els períodes amb una demanda més alta, que són moments puntuals durant l'any.

Com es descriu a (Energía y Sociedad, 2017) existeixen tres nivells diferents de producció en funció del tipus de tecnologia:

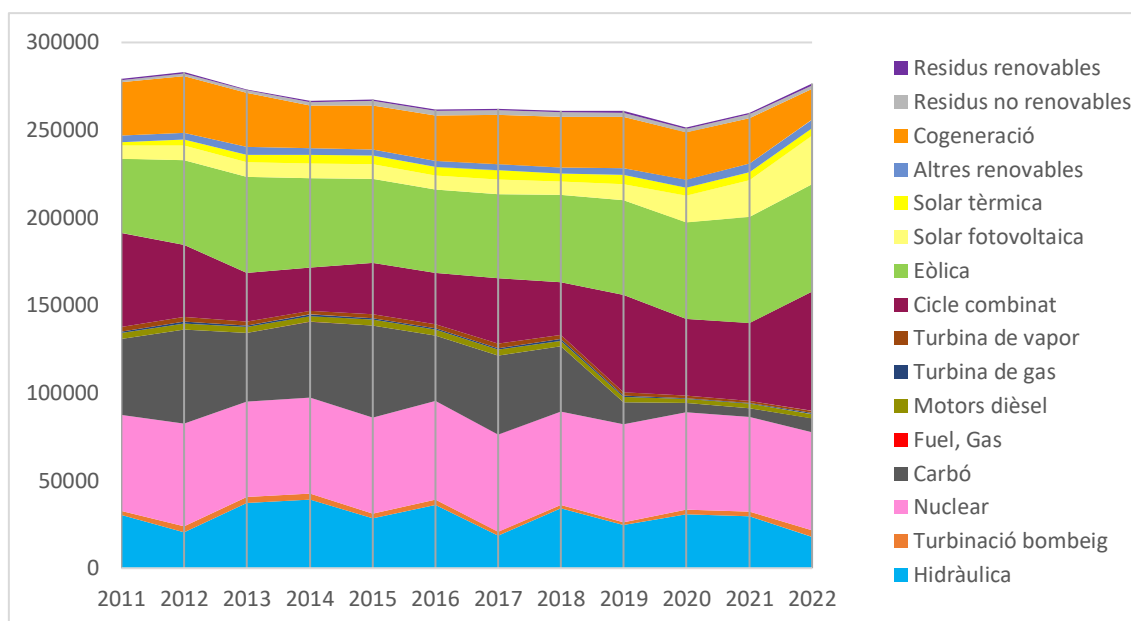
- Tecnologia de base, per exemple les nuclears. Tenen costos fixos elevats i costos variables baixos.
- Tecnologia de punta, com per exemple els cicles combinats, centrals de fuel i de gas. Amb costos fixos baixos i variables elevats.
- Tecnologies intermèdies, com algunes centrals de carbó, de cicles combinats i centrals hidràuliques. Amb costos fixos i variables intermedis entre les tecnologies de base i de punta.

Actualment al mercat es troben diverses empreses que es dediquen a produir energia elèctrica per al mercat ibèric, tot i que 5 d'elles tenen la majoria de quota de mercat i són les següents: Endesa, Naturgy (antigua Gas Natural Fenosa), Iberdrola, EDP Energia i Viesgo. Endesa i Iberdrola controlen més del 55% de la capacitat de generació peninsular total (Agosti et al., 2007)

Per més informació sobre el llistat⁹ d'empreses involucrades al mercat elèctric tant per generadors com comercialitzadors, està disponible a la pàgina oficial de l'operador del mercat OMIE.

5.1.3. MIX ENERGÈTIC

A continuació es mostra quina ha sigut l'evolució de la generació per tipus de tecnologia entre els anys 2011 i 2022 a la il·lustració 2.



Il·lustració 2: Estructura generació per tecnologia (MWh)

Font: elaboració pròpia a partir de REE

A principis del 2011, la font predominant era l'energia nuclear amb una producció de 55.005 MWh juntament amb l'energia de cicle combinat amb 53.430 MWh, representant entre les dos el 40% de la generació total d'aquell any, un total d'energia produïda de 279.353'82 MWh. En tercer lloc es troba la font de carbó amb una producció de 43.177 MWh.

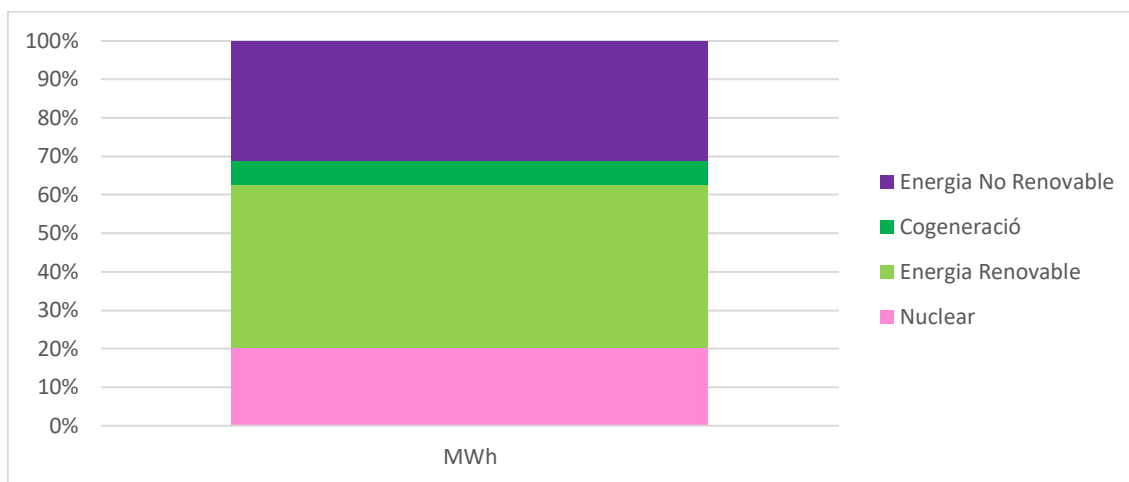
Al llarg dels anys les fluctuacions de producció han anat variant de la mateixa manera que la generació total s'ha reduït de forma progressiva fins arribar al 2019 on el descens és més pronunciat degut a la crisi del Covid-19, arribant a una producció del 10% menys que el 2011.

Fins al 2019, totes les energies netes han tingut un creixement positiu com són l'energia solar tèrmica, solar fotovoltaica i de cogeneració amb un 59%, 51% i 36,1% d'augment respecte al 2011. En canvi, les energies convencionals s'han reduït amb percentatges molt elevats, sent la font de carbó la primera energia amb una reducció de fins a 760%

⁹ Llistat d'empreses del mercat: https://www.omie.es/sites/default/files/dados/listados/LISTA_AGENTES.PDF

menys respecte el 2011 seguits de, la turbina de vapor, el motor dièsel i el cycle combinat els següents a la llista amb 86,8%, 46% i 21,4% menys de producció.

Finalment, com es mostra a la il·lustració 3, l'energia que es produeix actualment agafant d'exemple el 2022, el 40% es d'origen natural i renovable, a continuació hi ha l'energia no renovable o convencional que representa el 30% del total produït i per últim l'energia nuclear, que s'ha mantingut al llarg dels anys i segueix representant el 20% del total generat al mercat elèctric.



Il·lustració 3: Percentatge de producció per tecnologia 2022

Font: elaboració pròpia a través de REE

5.2. TRANSPORT

Com s'ha comentat anteriorment, el transport té per objectiu conduir l'electricitat des del punt on es genera, fins al punt on es troben els consumidors industrials, que estan connectats directament amb la xarxa i fins al punt on es troben les xarxes de distribució, que són les que porten l'energia final a la resta de consumidors. (Energía y Sociedad, 2017)

Dins la xarxa de transport es diferencien 3 tipus segons la tensió de l'estesa elèctrica. (Transport i Distribució. Institut Català d'Energia, n.d.)

- Línies d'alta tensió (AT), transporten energia elèctrica a una tensió molt elevada des de 400.000 fins a 30.000 volts.
- Línies de mitja tensió (MT), porten corrent a una tensió entre els 30.000 i els 1.000 volts.
- Línies de baixa tensió (BT), amb una tensió inferior a 1.000 volts.

Aquesta etapa del procés, es gestionada per Red Elèctrica d'Espanya, REE, que des de la Llei 17/2007, li atorga la condició d'únic gestor de la xarxa de transport en règim d'exclusivitat tenint la responsabilitat del desenvolupament i ampliació de la xarxa, de realitzar el manteniment, gestionar el trànsit i de garantir la incorporació de tercers al sistema amb condicions d'igualtat. (Red Eléctrica de España (2022). Gestor de la Red y Transportista)

A causa de les condicions d'aquesta etapa del mercat, existeix una absència total de competència, perquè es tracta d'un monopoli natural (Blanco, 2005) ja que la xarxa de transport es deriva d'una economia d'escala al obtenir l'energia d'una sola xarxa en comparació amb diverses xarxes, sinó es podria obtenir un avantatge per la fusió d'aquestes, per aquesta raó és més eficient i econòmic que existeixin diverses xarxes integrades en un sistema independent. (Pérez Alemán, 1998)

5.3. DISTRIBUCIÓ

En tercer lloc, es troba la distribució, aquesta activitat té per objectiu la transmissió d'energia elèctrica des de la xarxa d'alta tensió fins als punts de consum amb la finalitat de subministrar la població, sigui per consum domèstic o industrial. Aquesta és realitzada per aquelles societats mercantils espanyoles o de la Unió Europea que tinguin establiments a Espanya, que tinguin la funció de distribuïdores i mantinguin i operin les instal·lacions de distribució. (*Ministerio Para La Transición Ecológica y El Reto Demográfico - Distribuidores*, n.d.)

La xarxa està composta per un conjunt de cables subterranis i aeris que transporten l'energia que permeten arribar al consumidor final a través de línies de mitja tensió que suporta entre el 15 kV i 30 kV. (*¿Qué Es La Red de Distribución y Qué Elementos La Componen?*, n.d.)

En el context de la distribució d'energia a Espanya, els distribuïdors duen a terme un paper fonamental com a titulars de les xarxes de distribució. Són els responsables d'operar el manteniment i el desenvolupament de la distribució així com gestionar les interconnexions amb altres xarxes. Tanmateix, han de garantir que la infraestructura tingui la capacitat de satisfer a llarg termini la demanda.

A Espanya existeixen 5 empreses principals distribuïdores i coincideix amb les mateixes empreses que generen energia al mercat, aquestes són Endesa, Iberdrola, Naturgy, EDP i Electra de Viesgo; també es troben 300 empreses distribuïdores però de menys importància que les anteriors. (Roman, 1998) El dia d'avui, 3 de juny, la CNMC hi han registrades un total de 334 empreses distribuïdores d'energia.

De la mateixa manera que el transport de l'electricitat, aquesta activitat està regulada per un monopoli natural i s'estableix a partir d'un procés d'autorització administrativa per la prestació del servei de noves instal·lacions. (Roman, 1998)

5.4. COMERCIALIZACIÓ

La posició d'aquests és clau per desenvolupar el mercat minorista i que sigui més competitiu. S'encarrega d'adquirir l'electricitat dins el mercat majorista i vent aquesta energia als clients finals tant industrials com domèstics. (Blanco, 2005)

Les empreses comercialitzadores utilitzen la xarxa de transport i distribució mitjançant la contractació de peatges pel seu ús. (Energía y Sociedad, 2017) Aquestes són societats mercantils que adquireixen l'energia per la seva posterior venda als consumidors finals i també efectuen operacions d'intercanvis internacionals. (Blanco, 2005)

Actualment existeixen 747 societats mercantils registrades a la Comissió Nacional dels Mercats i la Competència com empreses comercialitzadors dins el mercat elèctric espanyol tot i que, existeixen 5 principals que predominen el mercat i s'han comentat anteriorment i són: Endesa, Iberdrola Naturgy (antigua Gas Natural Fenosa), EDP i Repsol.

La figura dels comercialitzadors és clau per fer d'intermediari entre els generadors d'energia i el consumidor final dotat d'un marc normatiu propi per permetre la llibertat de contractació i d'elecció per part dels consumidors. (Jimeno & Cebrián, 2015)

La gestió es produeix en funció de dos tipus de contracte regulats pel govern i que ofereix els comercialitzadors als consumidors finals. La primera és a partir d'una tarifa PVPC¹⁰ regulada en funció de l'hora en què es fa ús de l'energia i es distingeixen 3 tipus:

- Hora punta: de dilluns a divendres de 10:00 h - 14:00 h i de 18:00 h – 22:00 h.
- Hora plana: de dilluns a divendres de 8:00 h – 10:00 h, de 14:00 h – 18:00 h i de 22:00 h – 24:00 h.
- Hora vall: de dilluns a divendres de 24:00 h – 8:00 h; i els caps de setmana i dies festius nacionals durant les 24 hores del dia.

L'altre tipus de contracte és de lliure mercat, on el consumidor elegeix la companyia comercialitzadora a la qui contracta el seu servei de subministrament energètic a canvi

¹⁰ PVPC és el Preu Voluntari pel Petit Consumidor.

d'un preu i unes condicions prèviament pactades entre les dues parts encara que una proporció del preu va regulada per l'Estat.

En resum, el mercat elèctric es diferencia per tindre dues etapes lliures a la competència que són la generació i la comercialització de l'electricitat i, per altra banda, el transport i la distribució regulades per l'Estat. El conjunt del mercat està regulat per la Comissió Nacional dels Mercats i la Competència, CNMC, que garanteix la competència efectiva i supervisa el mercat; després està la Red Elèctrica Espanyola, REE, que opera el sistema per assegurar-nos del subministrament i gestiona el transport de l'electricitat; i per acabar l'Operador del Mercat Ibèric d'Energia, OMIE responsable de la cassació de l'oferta i la demanda i la compra venda d'energia.

6. FORMACIÓ DE PREUS

Ara ja es coneix les diferents etapes del mercat elèctric espanyol, des del moment en què es produeix, fins que arriba al consum final. A continuació s'explica quin és el sistema o funcionament del mercat que explica la manera en què es forma el preu de l'electricitat, quins són els períodes que afegeixen valor a la cadena i de quina forma hi repercuteixen.

Abans de tot, s'ha de tindre en compte les peculiaritats del mercat elèctric. Com s'explica a (Polonio, 2022) l'energia és un producte que no es pot emmagatzemar, per tant, obliga a ajustar l'oferta i demanda, i aquesta última és majoritàriament inelàstica, ja que, el subministrament d'energia és un bé indispensable tant per l'aspecte domèstic com de l'economia nacional. A la vegada que també és un bé fungible i acaba sent consumit. (Polonio, 2022)

Actualment, el mercat té una estructura marginal, perquè el preu de l'energia es determina per les ofertes de compra i venda que es realitzen en el Mercat Ibèric de l'Electricitat, MIBEL¹¹. Existeixen dos tipus de mercats: el mercat majorista i el mercat minorista.

6.1. MERCAT MAJORISTA

El mercat majorista pertany a l'etapa de generació d'energia on els agents productors venen l'electricitat als distribuïdors i comercialitzadors incloent, tant l'energia que es ven a través de contractes bilaterals físics, com l'energia que es ven en el mercat organitzat

¹¹ MIBEL és el procés de cooperació desenvolupat pels governs d'Espanya i Portugal per promoure la integració dels sistemes elèctrics dels dos països. (*Mibel – Mercado Ibérico de Electricidade*, n.d.-b)

o *pool*¹² on es realitzen la majoria de les transaccions. (Agosti et al., 2007) L'organisme responsable de la gestió dels mercats organitzats és l'Operador del Mercat Ibèric d'Energia, OMIE¹³.

“La generació d'energia elèctrica, tant de règim especial com ordinari, és una de les activitats més importants del Sistema Elèctric Nacional, donat que representa aproximadament el 50% dels costos de l'electricitat.” (Jimeno & Cebrián, 2015)

El *pool* elèctric es basa en una sèrie de mercats successius en el que s'ajusta l'oferta i demanda sent el mercat diari el més important on es negocia l'energia per a cada una de les hores de l'endemà. (Agosti et al., 2007) El mercat majorista es diferencien dos moments, el mercat interdiari i el mercat diari, sent aquest últim el primer a interrompre.

6.1.1. MERCAT DIARI

El mercat diari, es negocia l'energia per cada hora del dia següent al de la negociació. Els generadors ofereixen les seves instal·lacions per produir energia detallant la quantitat de megawatt hora i el preu mínim que estan disposats a oferir per cada una de les hores de l'endemà; de la mateixa manera que els compradors que són, les comercialitzadores, distribuïdores i consumidors directes, especifiquen les condicions de demanda d'energia, és a dir, la quantitat i el preu màxim que estan disposats a pagar. (Jimeno & Cebrián, 2015) Aquest mercat es du a terme cada dia a les 12.00 CET¹⁴.

D'aquesta manera es construeix un gràfic d'oferta i demanda on convergeixen les dues corbes en un punt, assignant un preu d'equilibri de l'electricitat per cada una de les hores del dia posterior a la cassació.

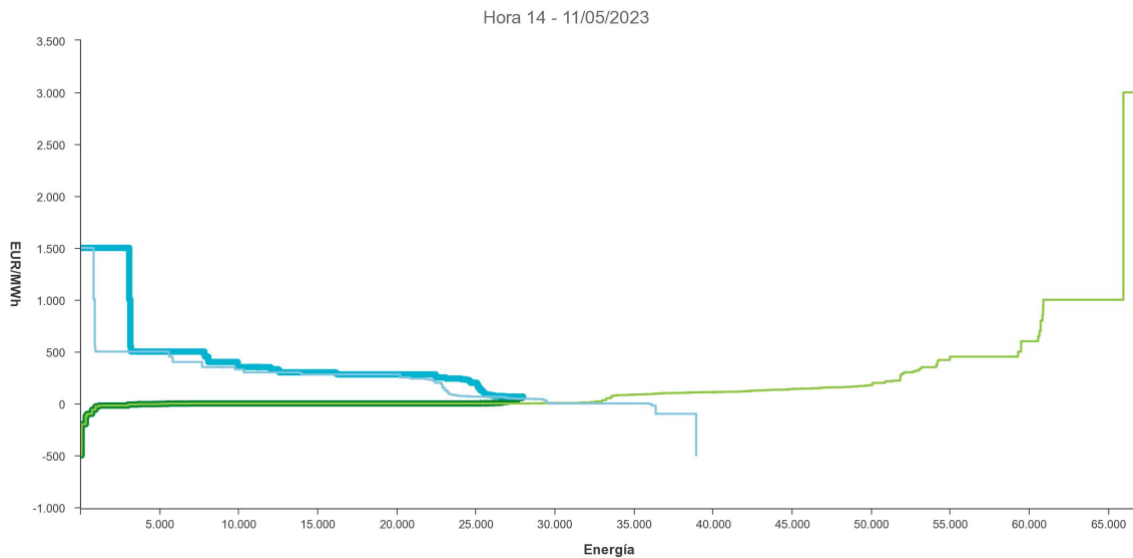
Els resultats del mercat basats en aquest sistema, resulta la solució més eficient des del punt de vista econòmic. Encara que, un cop s'ha obtingut el resultat d'equilibri, aquest es remet a l'operador del sistema OMIE, ja que, ha de ser factible des d'un punt de vista físic i assegurar que els resultats del mercat també són viables dins la xarxa de transport, sinó podria comportar canvis en els primers resultats. (*Mercado de Electricidad | OMIE*, n.d.)

A continuació es mostra la il·lustració 4, una gràfica d'exemple de corbes d'oferta i demanda al mercat diari a dia 10 de maig del 2023.

¹² Pool elèctric, mercat on es gestiona la compra venda d'energia.

¹³ OMIE és l'organisme que gestiona tot el mercat diari i interdiari de la Península Ibèrica.

¹⁴ Hora d'Europa Central



Il·lustració 4: Oferta i demanda Mercat Majorista

Font: OMIE

Aquesta gràfica representa el resultat de les negociacions realitzades a les 14:00 hores del 10 de maig per decidir el preu de l'electricitat de l'endemà, 11 de maig.

La corba de color blau representa la demanda d'energia per part dels demandants i la corba verda representa l'oferta per part de les generadores d'energia. El resultat es presenta en funció del preu per megawatt hora on el punt d'equilibri determina el preu de l'electricitat per al dia següent a la mateixa hora.

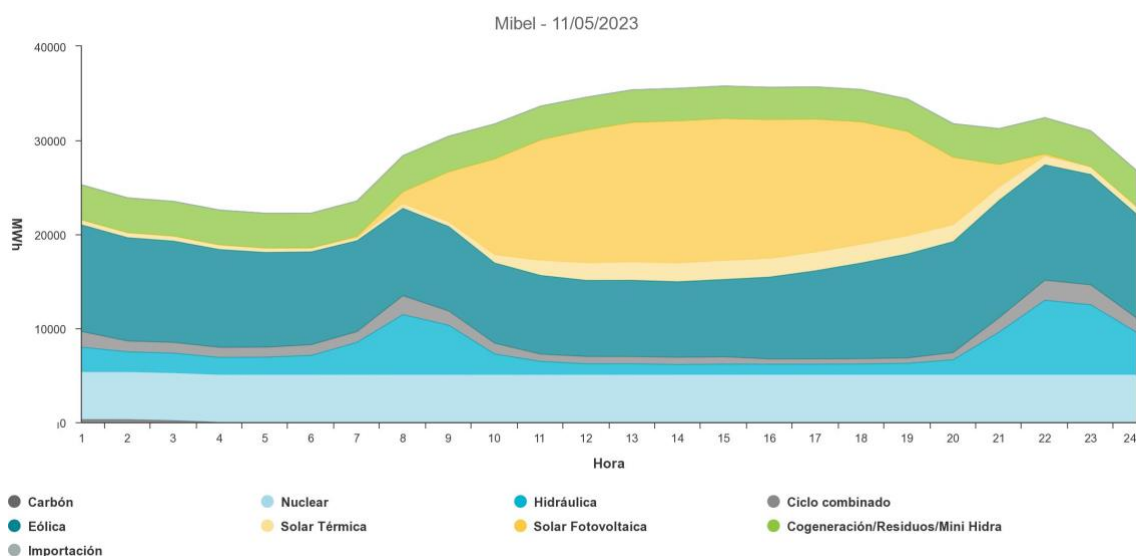
El preu d'equilibri o el preu marginal és el corresponent al preu mínim del generador que ha ofert el preu més alt dins la cassació i, per tant, pot satisfer la demanda amb les seves instal·lacions. (Jimeno & Cebrián, 2015)

Totes les generadores d'energia que hagin quedat a l'esquerra del punt d'equilibri entren al mercat produint energia i per tant, hi participen, en canvi, les que hagin ofert per un preu superior al MWh del preu marginal, queden fora del mercat. Les generadores que han quedat dins la cassació reben la mateixa remuneració per MWh corresponent al preu d'equilibri. (Agosti et al., 2007)

Un cop vist el sistema que determina el preu al mercat diari, s'ha de tindre en compte quin és l'ordre en què entren les diferents energies al mercat, i aquest s'anomena l'ordre de mèrit.

6.1.2. ORDRE DE MÈRIT

La corba d'oferta ve donada per l'ordre de mèrit econòmic de les diferents tecnologies del mercat. (Agosti et al., 2007) A la il·lustració 5 es mostra l'ordre en què han entrat les diferents tecnologies al mercat diari, per hora i per MWh.



Il·lustració 5: Energia horària per tecnologia

Font: OMIE

Les primeres tecnologies a entrar són les que tenen una funció de costos menor. En primer lloc, tenim l'energia nuclear que encara que el desemborsament inicial és molt elevat, aquesta no es pot permetre fer una parada de producció i ha d'estar sempre en funcionament. No es pot permetre quedar fora del mercat i ofereix la seva producció a cost 0. Aquesta energia es considera una tecnologia base i és sempre la primera a entrar.

En segon lloc, es troba l'energia hidràulica amb costos variables baixos tot i que, segons les seves característiques, la disponibilitat i la capacitat d'emmagatzemat, la gestió d'oferta ha de ser sempre segons el seu cost d'oportunitat, que és causat pel major preu al qual pot ser cassat en un moment concret. (Agosti et al., 2007) Aquest tipus d'energia es reserva per cobrir els moments amb més demanda energètica.

El carbó representa uns costos intermedis i les energies renovables, com l'energia solar i eòlica, tenen costos baixos de producció, però la seva disponibilitat depèn de la meteorologia i el moment de l'any que ens trobem.

Segons la gràfica, l'última energia que entra el mercat, en aquest cas és l'energia de cogeneració, és la que determina el preu competitiu del mercat diari. El carbó ha quedat fora degut a l'elevat preu negociat en el mercat el dia anterior.

Les característiques del mercat marginal provoca que els generadors retribueixin el preu més alt de la cassació per tots els generadors d'energia que hagin entrat al mercat i

alguns percebin ingressos superiors als seus costos de producció; a la vegada que quan la demanda és inferior i l'oferta conjunta de renovables i nuclear és suficient, el preu del mercat diari s'aproxima a zero. (Agosti et al., 2007)

6.1.3. MERCAT INTERDIARI

El següent en intervenir és el mercat interdiari on s'ajusten les desviacions que hagi pogut haver-hi entre la demanda real i la prevista. Existeixen diversos motius per haver d'ajustar el preu del mercat diari, com per exemple canvis en la predicció d'un recurs, els parcs eòlics ofereixen en funció de models predictius i poden variar en el temps; un altre exemple és la indisponibilitat, una central ha patit un problema tècnic i no pot generar, i per últim, centrals que només han cassat una part de l'energia que poden produir. (Gallego & Victoria, 2012)

6.2. MERCAT MINORISTA

El mercat minorista es dur a terme a l'etapa de comercialització, on els consumidors acudeixen a través de contractes de subministrament. Les empreses comercialitzadores adquireixen l'energia al mercat majorista i la intercanvien amb els consumidors finals. (Energía y Sociedad, 2017) L'energia s'ofereix en dos tipus de tarifes diferents que s'han comentat anteriorment a l'etapa de comercialització.

Les empreses comercialitzadores fan ús de les xarxes de transport i distribució per adquirir l'energia, on anteriorment han previst en funció del consum dels clients, mitjançant contractes i peatges d'accés. (Energía y Sociedad, 2017)

En conjunt, el mercat minorista proporciona el preu final de l'electricitat en el que es vendrà l'energia als consumidors finals. Després d'haver passat per l'ajust d'oferta i demanda del mercat majorista, per l'increment del valor en el transport, la distribució i finalment la comercialització; tot aquest procés va incrementant el valor final de l'electricitat fins a arribar al preu que trobem a les factures de la llum.

7. ENERGIA RENOVABLE I DE COGENERACIÓ

Un cop s'ha desenvolupat l'estructura, el funcionament del mercat elèctric i la seva formació de preus en els diferents àmbits, es dedica un punt a l'energia renovable i de cogeneració, ja que són les variables objectives del treball.

Per començar es defineix cada una de les variables. L'energia renovable és aquella que s'obté a partir de recursos naturals com el sol, el vent, l'aigua i la biomassa animal i vegetal; i té una capacitat de regeneració contínua i indefinida.

L'energia de cogeneració es defineix com la producció conjunta en un procés seqüencial d'energia mecànica o elèctrica i energia tèrmica útil. (*Cogeneración | Idae, n.d.*) Un exemple seria la utilització del vapor d'aigua, generat per una turbina de producció elèctrica, per subministrar energia en altres àmbits.

Actualment existeixen diferents tipologies d'energies renovables:

- Energia eòlica, s'origina a través del vent, s'aprofita l'energia cinètica de la massa de l'aire.
- Energia solar fotovoltaica o solar tèrmica, la primera s'obté de la radiació solar i la segona de la calor que produeix el sol.
- Energia hidràulica, a partir de el corrent d'aigua
- Energia de biomassa, s'aconsegueix a partir de la combustió de matèria orgànica.
- Energia geotèrmica, l'energia prové de la calor de l'interior de la terra.
- Energia mareomotriu, aprofita el moviment del mar.
- Energia Biometà i biodièsel, són a partir de cereals i cultius abundants en sucres i a partir d'olis vegetals successivament.

Aquestes energies es diferencien de l'energia convencional a causa de l'abundància, l'aprofitament, la sostenibilitat i molt important, per la no contaminació amb gasos d'efecte hivernacle que les altres si aporten a l'atmosfera. També s'ha de tindre en compte, que en ser un recurs provinent de la natura, els costos són menors.

A causa l'efecte del canvi climàtic dels últims anys i la seva acceleració, ha fet incrementar la necessitat d'un canvi del sistema elèctric cap a un mercat sostenible, incrementant i incentivant a través de bonificacions i subvencions per a les empreses i als consumidors, la producció d'energies renovables, sostenibles i el seu consum.

Des del tractat internacional l'Acord de París sobre el canvi climàtic, amb l'objectiu de limitar l'escalfament global, es proposa arribar a un màxim d'emissions de gasos d'efecte hivernacle com més aviat millor a través d'una transformació econòmica i social. (*El Acuerdo de París | CMNUCC, n.d.*)

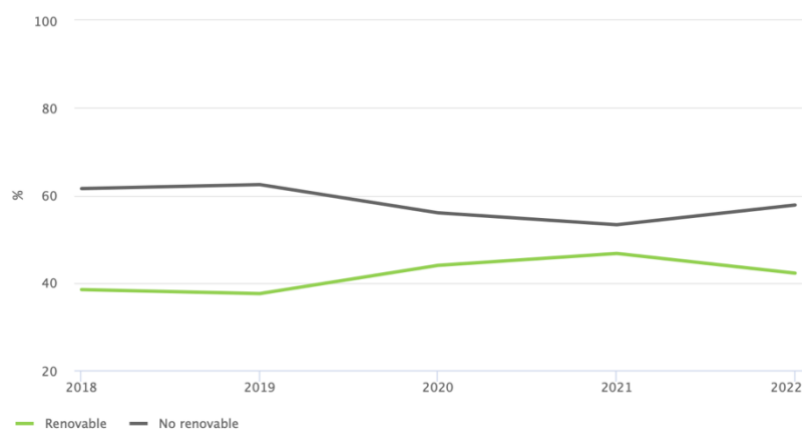
7.1. CONTEXT

Segons apunta (Leandro Frías, 1997) l'evolució del mix de generació d'energia a Espanya, és conseqüència de l'alta dependència energètica amb l'estranger de matèries primeres com el carbó, arribant a ser un 80% de l'energia consumida importada. D'aquesta manera, degut a l'escassetat de recursos energètics, Espanya es converteix en un sistema elèctric sensible a les crisis energètiques.

L'autor (Leandro Frías, 1997) descriu les diferents etapes en les quals el sistema elèctric espanyol s'ha vist afectat. La primera època de crisis va arribar amb la Primera Guerra Mundial, segons la dependència del carbó del Regne Unit i l'escassetat que hi havia causada per la guerra, es va optar per reduir la dependència del carbó i invertir en petroli mitjançant la construcció de centrals de fuel. Una vegada havia canviat el sistema de generació, va arribar la crisi del petroli i va obligar a invertir en centrals de producció d'energia nuclear i de carbó. Des de la segona crisi del petroli, el mix de generació s'ha mantingut estable amb inversions de centrals de tecnologies de cycle combinat i energia renovable buscant una major independència energètica.

7.1 EVOLUCIÓ

Com s'observa a la il·lustració 6, l'energia renovable en els últims cinc anys ha crescut fins arribant al 2021 al punt més alt representant el 47% de l'energia produïda en vers a l'energia no renovable que era el 53%.



Il·lustració 6: Evolució energia renovable 2018-2022

Font: REE

Segons l'últim informe d'energia elèctrica de la Red Elèctrica d'Espanya, al 2022 les energies renovables més significatives del sistema elèctric espanyol són l'energia eòlica i l'energia solar fotovoltaica. (*Informe Del Sistema Eléctrico Informe Energías Renovables 2022*, 2023)

L'energia eòlica representa un 22,1% de la potència instal·lada el 2022, sent la segona tecnologia per darrere del cicle combinat i per davant de l'energia nuclear. Un total de 61.176 GWh s'han produït a partir d'aquesta energia renovable. Per altra banda, es troba l'energia solar fotovoltaica que contribueix amb un 76,3% a produir nova energia renovable, un increment històric que ha suposat quedar per davant de l'energia hidràulica convencional, on el 2010 representava la segona energia renovable del mercat espanyol després de l'energia eòlica. (*Informe Del Sistema Eléctrico Informe Energías Renovables 2022, 2023*)

Segons fons de REE i com es mostra a la il·lustració 6, les energies renovables durant el 2022 han arribat a una quota del 42,2%, 4,5 punts percentuals menys que l'any anterior degut a un descens de la producció hidràulica arribant a mínims històrics com a conseqüència de les condicions meteorològiques, en canvi, s'han registrat valors màxims de producció eòlica i solar fotovoltaica.

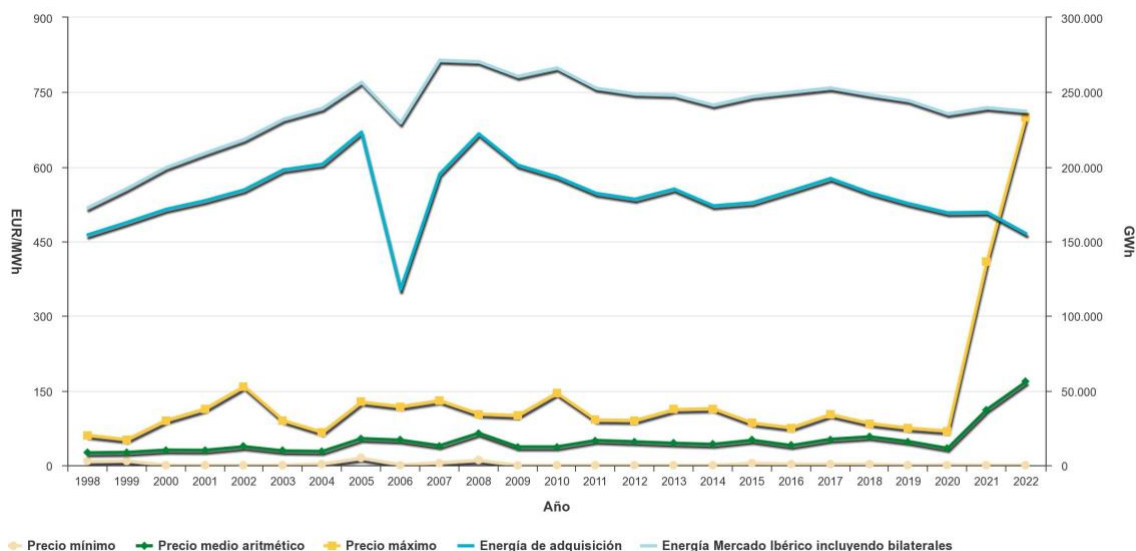
En general, el desenvolupament de les energies renovables en els últims anys ha patit un increment important en el mercat elèctric espanyol, aquestes s'han convertit en una energia competitiva envers les convencionals, especialment l'energia eòlica, la minihidràulica i les instal·lacions solars tèrmiques han arribat a ser rendibles, en canvi, encara existeixen algunes que necessiten un major desenvolupament tecnològic com l'energia solar fotovoltaica i la solar d'alta temperatura. (*Ministerio Para La Transición Ecológica y El Reto Demográfico - Energías Renovables, n.d.*)

8. IMPACTE ENERGIA DE RÈGIM ESPECIAL ALS PREUS DE L'ELECTRICITAT

8.1. CONTEXTUALITZACIÓ

Per començar, la volatilitat del preu de l'electricitat és present en la societat tot i que, en els últims sis anys, des de 2017, s'ha produït un augment constant dels costos de l'energia desembocant en un augment del preu de l'electricitat i de les factures de llum.

El diari l'Economista (*El Precio Del Mercado Eléctrico Marcó En 2017 Su Nivel Más Alto Desde 2008 - ElEconomista.Es, n.d.*) apunta que al 2017 es va produir un increment del preu per MWh de fins a un 31,49% més que l'any 2016, arribant a un preu mitjà de 52,2 €/MWh.



Il·lustració 7: Preu històric Mercat diari a Espanya

Font: OMIE

Com es mostra a la il·lustració 7, el preu del mercat diari a Espanya ha estat amb constant volatilitat al llarg dels anys. El 2017 té un repunt arribant a un preu màxim de 101,99 € tot i que la mitjana va ser de 52,24 €. A partir d'aquest any fins a la pandèmia Covid-19 es va produir un descens dels preus produït per la baixa demanda d'electricitat per l'aturada econòmica que es va dur a terme en pràcticament tot el món.

Finalment, a partir del 2020 és quan es produeix l'increment mai viscut fins al moment del preu de l'electricitat a Espanya. El preu màxim de l'any 2020 al mercat diari és 68,9 €/MWh amb una mitja durant tot l'any de 33,96 €/MWh, a partir d'aquest moment l'augment és exponencial arribant al 2022 a màximes de 700 €/MWh amb un preu de mitja durant tot l'any de 167,52 €/MWh. En definitiva, el preu de l'electricitat des del 2020 ha incrementat un 493% més de mitjana. Si es té en compte el preu del 2017 el creixement ha estat del 320%.

Existeixen diversos factors que han provocat l'augment del preu de l'electricitat a Espanya. En primer lloc, cal destacar l'encariment dels preus del gas natural i el petroli del mercat internacional, que des del començament de la guerra de Rússia i Ucraïna s'ha vist accentuat a causa de la incertesa davant el tall de subministrament per part de Rússia als estats membres de la Unió Europea.

Pel que fa a Espanya, ha tingut una evolució a quant a la dependència energètica positiva, tot i així, fins al 2021 era del 71,1% després de normalitzar-se la situació post pandèmica per la Covid-19, que va fer baixar la demanda energètica i, per tant, la demanda d'energies convencionals com el gas i el petroli. (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Balance Energético de España 1990 – 2021)

Aquesta situació va fer incrementar l'energia produïda al país, situant en més bona posició la producció d'energies renovables juntament amb la producció d'origen nuclear i de residus. Segons el Pla Nacional Integrat d'Energia i Clima (PNIEC) es preveu un increment d'energia renovable arribant a cobrir el 42% de la demanda nacional. (MITERD, 2020)

En segon lloc, i continuant amb les causes de l'increment del preu de l'electricitat, està les polítiques reguladores i els impostos aplicats al sector energètic. Un exemple és els drets d'emissió de CO_2 , un impost amb una oferta limitada i cost incremental al llarg dels anys, per incentivar als productors d'energia a invertir en eficiència energètica i reduir les emissions d'efecte hivernacle. Els drets de CO_2 són costos absorbits per les empreses que repercuteixen en el valor final ofert per aquestes al mercat majorista.

La decisió de produir energia renovable o energia d'origen fòssil és el cost d'oportunitat, d'aquesta manera l'oferta competitiva d'un generador en un mercat marginal, es basa en la suma de tots els costos d'oportunitat incloent els costos per drets d'emissió. (Energía y Sociedad, 2017)

8.2. IMPACTE RÈGIM ESPECIAL

Després de veure quins són els motius pels quals el preu de l'electricitat s'ha vist incrementat als últims tres anys, entenent el funcionament del mercat elèctric i la necessitat d'un canvi cap a la sostenibilitat i independència energètica, Espanya és un país que pot aprofitar les seves característiques climatològiques per transformar el sistema elèctric cap a una energia neta i sostenible.

Davant aquesta premissa, i entenent el sistema marginal pel qual es regeix el mercat elèctric, l'objectiu del treball es basa a veure quin impacte té, dins al mercat majorista, la introducció incremental d'energia renovable i de cogeneració sobre el preu marginal.

Segons el funcionament teòric del sistema marginal i l'ordre de mèrit, la introducció d'energies amb costos de producció més baixos, com poden ser les energies renovables, fan desplaçar aquelles amb costos més alts, com són les energies convencionals, fora del mercat. D'aquesta manera en aquesta investigació es proposa avaluar l'impacte possiblement negatiu sobre el preu a l'augmentar la producció d'energia renovable al mercat elèctric.

A continuació es presenta els diferents autors que han avaluat aquest impacte a través d'anàlisi de dades.

Es troben diversos autors que estudien l'impacte de l'energia renovable sobre el preu de l'electricitat de formes diferents.

- *An ex-post analysis of the impact of renewable and cogeneration on Spanish electricity prices* (Gelabert et al., 2011)

Els autors Liliana Gelabert, Xavier Labandeira i Pedro Linares utilitzen un model multivariant per estimar l'efecte mitjà en el règim especial sobre les variacions del preu de l'electricitat a partir de l'ús de les diferents tecnologies entre els períodes 2005 i 2010 a Espanya.

Per estimar el model i arribar als resultats, usen com variables explicatives la demanda diària d'electricitat i la producció diària d'energia per les diferents tecnologies del mercat, com el règim especial que inclou l'energia eòlica, solar i de cogeneració, i, per altra banda, l'energia hidràulica, nuclear, cicle combinat, carbó i de fuel o gas.

Els autors (Gelabert et al., 2011) no inclouen l'energia hidràulica dins el règim especial. Consideren que l'impacte al preu d'equilibri és diferent, ja que és una energia que es pot emmagatzemar, i per tant oferir-la a un preu més elevat. A més a més, té un cost d'oportunitat positiu.

També tenen en compte la diferència entre la generació total i la demanda final que representaria les exportacions netes i la pèrdua de bombeig i distribució. (Gelabert et al., 2011)

El fet de treballar amb un model de sèries temporals han de fer ajustos al model per poder fer una l'estimació òptima i no esbiaixada. Primer que tot, tenen en compte l'existència d'estacionalitat en la sèrie a través de les proves Dickey-Fuller augmentada (ADF) i el resultat és l'existència d'arrel unitària pel que han d'aplicar la primera diferència de la sèrie. Per controlar l'estacionalitat s'hi afegeix una constant i 3 variables fictícies que indiquen el dia de la setmana, el mes i l'any.

Per poder estimar el model per MCO, Mínims Quadrats Ordinaris, també s'ha de tindre en compte l'autocorrelació dels residus. Utilitzant la prova Durbin-Watson es troba correlació. A la vegada es troba presència de col·linealitat entre algunes variables explicatives i comproven l'existència de multicol·linealitat usant l'indicador d'inflació de la variància.

Segons els seus resultats, durant el període 2005 i 2010 hi ha un incrementen en la producció del règim especial i del cicle combinat passant del 19,6% a 36,1% i del 18,7%

a 24,5% respectivament, tot el contrari per les centrals de carbó i fuel/gas que passen de 28,8% a 7,5% i del 4,3% a 1% respectivament.

La variació mitjana del consum d'energia de règim especial, es correlaciona negativament amb les variacions diàries del preu de l'electricitat. (Gelabert et al., 2011) Els efectes varien en funció de l'any estimat. Per un increment de 1 MWh en la producció de règim especial es redueix el preu en 3,8 € el 2005, 3,4 € el 2006, 1,7 € el 2007, 1,5 € el 2008, 1,1 € el 2009 i l'any 2010 es redueix en 1,7 €.(Gelabert et al., 2011) Encara així, l'impacte és sempre negatiu respecte el preu de l'electricitat.

Els autors expliquen que aquest descens en l'impacte del preu és degut a la major participació de producció de cicle combinat.

Es a dir, els resultats mostren que en general un augment marginal d'1 unitat de MWh de producció d'electricitat de règim especial, es relaciona amb una reducció de mitjana de 2,2 € en els sis anys estudiats. Tanmateix, es troba una tendència decreixent atès a l'increment de la producció de cicle combinat, de manera que el preu del gas natural és el preu de sortida al mercat provocant que les energies renovables modifiquin cada cop menys el preu.

- *Assesing the impact of renewable energy sources on the electricity price level and variability – A quartile regression approach* (Maciejowska, 2020)

Aquest informe (Maciejowska, 2020) analitza la influència d'energia solar i eòlica d'acord amb el nivell i la variabilitat dels preus al comptat de l'electricitat d'Alemanya a través d'un model de regressió per quartils. L'objectiu és estimar l'efecte d'ordre de mèrit per diferents quartils del preu de l'electricitat pel període 2015 i 2018.

El model utilitza les variables càrrega total prevista, generació solar i eòlica prevista per examinar la relació amb els preus al comptat. L'autora discrimina les hores i introdueix variables fictícies en funció de si és hora punta o hora vall. L'estimació es basa en una regressió lineal per quartils simple que relaciona el quartil del preu de l'electricitat amb el nivell de les variables explicatives.

L'efecte d'ordre de mèrit mostra que l'incrementar la producció d'energia eòlica i solar, la corba d'oferta es desplaça amb una caiguda dels preus d'electricitat. Els dies on hi ha una major producció d'energia renovable i, per tant, baixa la producció d'energia convencional, el preu d'electricitat disminueix. D'aquesta manera, un augment d'energia eòlica i solar amb un cost marginal pròxim a 0, expulsa del mercat les empreses més cares provocant una caiguda dels preus. (Maciejowska, 2020).

Els resultats confirmen que l'existència d'ordre de mèrit esmorteixen els preus. (Maciejowska, 2020)

- *Does renewable energy generation decrease the volatility of electricity prices? An analysis of Denmark and Germany*

Els autors Tuomas Rintamäki, Afzal S.Siddiqui i Ahito Sale avaluen quin impacte té l'energia solar i l'energia eòlica en la volatilitat del preu de l'electricitat. Les dades són des del 2010 fins al 2014 per Dinamarca i del 2012 fins al 2014 per Alemanya.

Utilitzen un model autoregressiu i de mitja mòbil, amb un terme d'autoregressió AR(p), un terme de mitja mòbil (q) i un terme autoregressiu estacional (p).

Per Dinamarca les variables explicatives són l'energia eòlica i la demanda total prevista, no recull la generació d'energia solar, ja que és insignificant. Per Alemanya sí que inclou l'energia solar.

Els resultats en general per als dos països interpreten que, per un augment de la quantitat de producció d'energia eòlica en un 1% disminueix la volatilitat diària entre un 0,06% i 0,09%.

L'anàlisi empírica afirma la relació entre les energies renovables i la volatilitat del preu com un efecte significatiu diari pels països d'Alemanya i Dinamarca. A curt termini, l'augment de producció d'energia eòlica es relaciona amb una menor volatilitat dels preus diaris per Dinamarca. Aquesta relació és uniforme durant les hores del dia tot i que a les hores punta es produeix un augment de producció. Per Alemanya, les hores vall són més sensibles a la baixada de la volatilitat i, per tant, la mitjana de producció eòlica és més alta en aquestes hores.

Pel que fa a l'energia solar a Alemanya, la producció més gran es veu a les hores punta i disminueix la volatilitat dels preus en aquests moments del dia.

MARC PRÀCTIC

9. DADES

Les dades que s'ha escollit per treballar daten del 2018 fins al 2022, un període gran per poder analitzar i veure una evolució real en el temps ja que s'han viscut diferents variacions al llarg d'aquest.

L'objectiu del treball és veure de quina manera impacte el règim especial al preu de l'electricitat dins al mercat majorista; partint d'aquesta premissa, la variable endògena que s'utilitza és el preu diari per hora de l'electricitat durant els 5 anys i aquest valor s'agafa de la pàgina oficial OMIE, Operador del Mercat Ibèric d'Energia, <https://www.omie.es>. Tot i que els preus de l'electricitat els tenim per dia i hora, es calcula la mitjana diària per equiparar els resultats amb el de les variables explicatives del model.

Les variables exògenes que es fan servir són les següents

- Règim especial: generació d'energia solar tèrmica, solar fotovoltaica, eòlica, de biomassa, geotèrmica i energia de cogeneració.
- Generació energia hidràulica.
- Generació energia nuclear.
- Generació energia de cycle combinat.
- Generació energia de fuel/gas.
- Generació energia de carbó.
- Demanda total d'energia.
- Diferència entre generació total i demanda total.

Totes aquestes dades s'extreuen de la pàgina oficial de Red Elèctrica Espanyola, REE. <https://www.ree.es/es/datos/aldia>

A més, també es té en compte variables qualitatives que es transformen amb variables artificials.

- Variable fictícia setmanal

$$Entreset = 0 \text{ (Entre setmana)}$$

$$Entreset = 1 \text{ (Cap de setmana)}$$

- Variable fictícia per l'estació de l'any

$$Mes = 0 \text{ (Estiu)}$$

Mes = 1 (Tardor)

Mes = 2 (Hivern)

Mes = 3 (Primavera)

- Variable fictícia per any

Any = 0 (2018)

Any = 1 (2019)

Any = 2 (2020)

Any = 3 (2021)

Any = 4 (2022)

L'estació de l'any es distingeix per estiu (juliol, agost i setembre), tardor (octubre, novembre i desembre), Hivern (gener, febrer i març) i Primavera (abril, maig i juny).

El total de les dades es recullen des de l'1 de gener de 2018 fins al 31 de desembre de 2022 obtenint un total de 1.825 d'observacions.

10. METODOLOGIA

El model que s'utilitza és un model de regressió lineal múltiple perquè es vol explicar la variable dependent (preu de l'electricitat) en funció de les variables independents (generació per tecnologies i demanda total d'energia). La sèrie és temporal, ja que s'usen dades diàries des del 2018 fins al 2022 i estan ordenades en el temps.

L'objectiu de l'anàlisi és veure l'impacte de la generació d'energia renovable i de cogeneració sobre el preu de l'electricitat en diferents moments de l'any. L'impacte en funció de l'estació de l'any, del dia de la setmana, i finalment de l'any.

Per elaborar la part pràctica es té en compte l'estudi *An ex-post analysis of the effect of renewable and cogeneration on Spanish electricity prices*.

$$PELEC_t = \beta_{1t} + \beta_2 REGIMESPECIAL_t + \beta_3 HIDRA_t + \beta_4 NUCLEAR_t + \beta_5 CARBO_t \\ + \beta_6 FUELGAS_t + \beta_7 CLCOMB_t + \beta_8 ALTRA_t + v_t$$

TAULA VARIABLES	
PELEC	Preu electricitat

REGIMESPECIAL	Energia de règim especial
HIDRA	Energia hidràulica
NUCLEAR	Energia nuclear
CARBÓ	Energia de carbó
FUELGAS	Energia de fuel i gas
CLCOMB	Energia de cicle combinat
ALTRA	Diferència entre generació total d'energia i demanda total d'energia

Un model de sèries temporals també es pot estimar per MCO i realitzar hipòtesis per aconseguir els resultats del model, de la mateixa manera que es fa amb les sèries de tall transversal i de secció creuada.

Per poder estimar per MCO tenint en compte que és una sèrie temporal, és segueix el model plantejar segons Jeffrey M. Wooldridge per poder arribar a l'estimació per MCO i els resultats siguin eficients, òptims i no esbiaixat. (Wooldridge, 2010)

- ESTIMACIÓ PER MCO

L'autor planteja els següents supòsits que s'han de complir per estimar per MCO.

S.1 Linealitat dels paràmetres: s'assumeix que la relació entre les variables explicatives i la variable dependent es lineal.

El procés estocàstic $\{x_{t_1}, x_{t_2}, \dots, x_{t_k}, y_t\} : t = 1, 2, \dots, n\}$ segueix un model lineal

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 x_{1t} + \dots + \beta_k x_{kt} + u_t$$

On $\{u_t : t = 1, 2, \dots, n\}$ és una seqüència d'errors o perturbacions. n és el nombre d'observacions.

S.2 No col-linealitat perfecta: aquest supòsit implica que no hi ha variables independents que siguin constants en el temps i que tampoc que tinguin una combinació lineal perfecte entre les variables independents, si no fos així donaria problemes a l'hora d'estimar el model.

S.3 Mitjana condicional zero: implica que l'error en el període t , u_t no es correlaciona amb cap variable explicativa en cada un dels períodes.

$$E(u_t|X) = 0, t = 1, 2, \dots, n.$$

Si no es compleix S.3 indica que el model no pot capturar bé la dinàmica de la sèrie del temps i existeixen altres variables explicatives o altres factors que no estan contemplats al model i tenen una influència sobre la variable dependent.

Si S.3 es compleix, es diu que X_{t_k} és contemporàniament exògens i u_t i les variables explicatives no es correlacionen de manera contemporània. $Corr(X_{t_k}, u_t) = 0$ per tota k .

Aquesta equació és suficient per provar la consistència dels estimadors MCO.

S.4 Homoscedasticitat: el supòsit implica que la variància dels errors siguin constants en el temps, a més a més, si la variància és petita l'estimació del model és més fiable. (*Homocedasticidad - Qué Es, Definición y Concepto | 2023 | Economipedia, n.d.*)

La variància de u_t condicionada en X , és la mateixa per qualsevol

$$t: Var(u_t|X) = Var(u_t) = \sigma^2, t = 1, 2, \dots, n.$$

Per tant, l'homoscedasticitat implica que la variància dels errors ha de ser constant en totes les observacions. Quan el S.4 no es compleix, els errors es consideren heterocedastics.

S.5 No hi ha correlació serial: els errors, condicionals sobre X , en dos períodes diferents, no estan correlacionats.

$$Corr(u_t, u_s|X) = 0 \text{ per qualsevol } t \neq s.$$

Si el S.5 no es compleix, significa que la funció té correlació serial o autocorrelació i la informació d'un període en el temps no ha de donar informació sobre períodes anteriors.

S.6 Normalitat dels errors: els errors són independents de X i són independents i idènticament distribuïts com *Normal* $(0, \sigma^2)$. L'error es distribueix de forma simètrica al voltant de 0 i seguir una distribució normal.

Un cop s'ha explicat la metodologia que es portarà a terme per arribar als resultats del treball, abans s'explica les característiques de les sèries temporals

- CARACTERÍSTIQUES SÈRIES TEMPORALS

Una sèrie temporal és una seqüència de N observacions ordenades i equidistants cronològicament sobre una característica o varies, d'una unitat observable en diferents moments. (Gallego Gómez, 2008)

Quan es tracta amb sèries temporals s'ha de tindre en compte tres conceptes principals: a) el component tendencial, és un canvi a llarg termini de la variable amb relació al nivell mitjà; b) el component estacional, són certs moviments de la variable que es produeix un moment concrets del temps; i per últim c) el component aleatori que són resultats fortuïts de forma aïllada en una sèrie de temps. (Villavicencio, 2010).

Es pot denotar la sèrie de la següent forma:

$$X_t = T_t + E_t + I_t$$

T_t és la tendència, E_t és el component estacional i I_t és el component aleatori

Després, les sèries temporals es poden classificar en dos tipus: sèrie estacionària, quan és estable al llarg del temps i, per tant, la mitja i la variància són constants en el temps; i la sèrie no estacionaria on la tendència i la variància canvia en el temps ja pot ser de forma creixent o decreixent però no té un valor constant. (Villavicencio, 2010)

En general les sèries de temps es consideren un procés estocàstic perquè és una seqüència de dades que evolucionen amb el temps i si també té el component estacional, la sèrie es considera un procés estocàstic estacionari que representa que la seva mitja i la seva variància són constants i també la covariància entre dos períodes depèn només de la distància o retard entre ells i no del temps en què s'ha de calcular la covariància. (Villavicencio, 2010)

$$\text{Mitja } E(X_t) = E(X_{t+k}) = \mu$$

$$\text{Variància } V(X_t) = V(X_{t+k}) = \sigma^2$$

$$\text{Covariància } \gamma_k = E[X_t - \mu](X_{t+k} - \mu)$$

γ_k és la covariància o autocovariància el retard k , és la covariància entre els valors X_t i X_{t+k} , separats per k períodes.

El soroll blanc és un component important en procés estocàstic estacional sent el component aleatori. Cada valor de soroll blanc és independent dels altres, es distribueix

d'acord amb la mateixa distribució de probabilitat, la mitja és zero i la variància en el temps és constant. (Villavicencio, 2010)

$$\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2) \quad \text{cov}(\varepsilon_{t_i}, \varepsilon_{t_j}) = 0 \quad \forall t_i \neq t_j$$

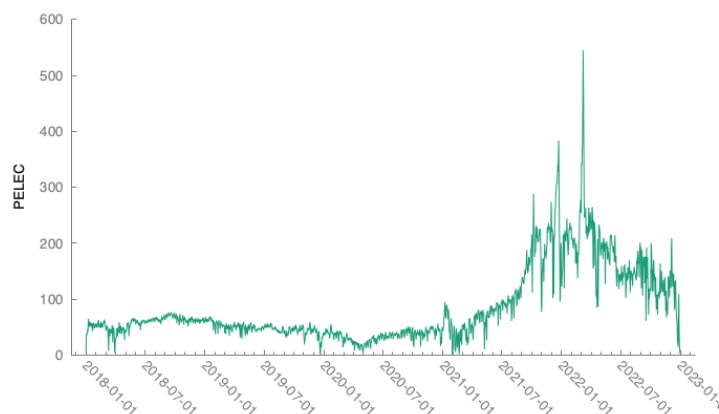
Un dels problemes que es poden trobar a les sèries temporals és quan una variable no és independent en el temps sinó que el seu valor depèn de valors anteriors, aquest fenomen es coneix com a autocorrelació. (Villavicencio, 2010)

$$P_j = \text{corr}(X_j, X_{j-k}) = \frac{\text{cov}(X_j, X_{j-k})}{\sqrt{V(X_j)} \sqrt{V(X_{j-k})}}$$

11. RESULTATS

Un cop s'ha plantejat el tipus de model amb el qual es treballa i quines són les seves característiques, es passa a fer l'anàlisi a través del programa Gretl.

La variable dependent és el preu de l'electricitat diari, PELEC, entre el 2018 i el 2022. Com es mostra a la il·lustració 8, els preus van ser relativament constants fins al 2020 on es viu una petita baixada del preu per després tornar a remuntar ja sense frens fins al 2022, on es troba el pic més alt fins al moment. Per tant, al principi de la gràfica es veu una mitja constant i una variància estable acotada entre 0 i 100, en canvi, a partir del 2020 es produeix unes variacions al preu amb molta volatilitat que provoca que la mitja deixi de ser constant i la variància no sigui estable en el temps.



Il·lustració 8: Sèrie Temporal preu electricitat

Font: Gretl

El model s'ha de transformar en una sèrie més estacionària perquè la mitja i la variància siguin constants durant tot el període estimat, per aquesta raó s'aplica la primera diferència a la variable pelec, ja que, segons el contrast d'arrel unitària a través de la

prova Dickey Fuller augmentada (ADF), la variable té una arrel unitària i la mitja de la sèrie no és estacionària.

La prova ADF presenta la següent hipòtesis:

$$H_0: \delta = 0 \rightarrow \text{Tendència estocàstica}$$

$$H_1: \delta < 0 \rightarrow \text{No tendència estocàstica}$$

Segons el valor p de la prova, es pot rebutjar o no la hipòtesi. Si el valor p és major a un nivell de significació del 5%, no es pot rebutjar la H_0 i existeix arrel unitària, en canvi, si és menor al 5% de nivell de significació, es rebutja la H_0 i la sèrie no té tendència estocàstica. A la il·lustració 9 es mostra el resultat ADF amb un valor p asimptòtic de 0,7204.

```

Contraste aumentado de Dickey-Fuller para PELEC
contrastar hacia abajo desde 24 retardos, con el criterio AIC
tamaño muestral 1801
la hipótesis nula de raíz unitaria es: [a = 1]

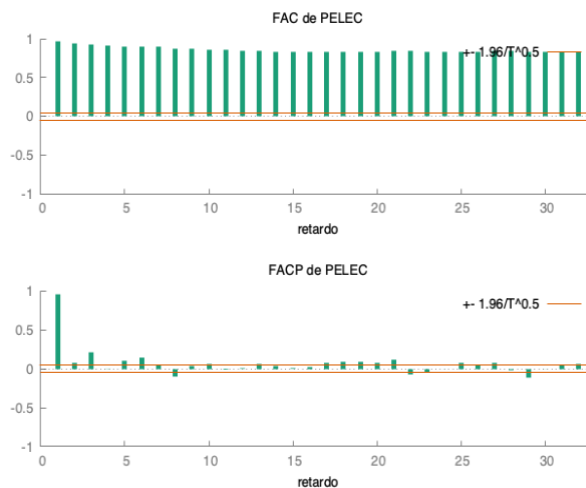
contraste con constante
incluyendo 24 retardos de (1-L)PELEC
modelo: (1-L)y = b0 + (a-1)*y(-1) + ... + e
valor estimado de (a - 1): -0.0099014
estadístico de contraste: tau_c(1) = -1.67349
valor p asimptótico 0.4448
Coef. de autocorrelación de primer orden de e: -0.004
diferencias retardadas: F(24, 1775) = 13.357 [0.0000]

con constante y tendencia
incluyendo 24 retardos de (1-L)PELEC
modelo: (1-L)y = b0 + b1*t + (a-1)*y(-1) + ... + e
valor estimado de (a - 1): -0.0139936
estadístico de contraste: tau_ct(1) = -1.76797
valor p asimptótico 0.7204
Coef. de autocorrelación de primer orden de e: -0.003
diferencias retardadas: F(24, 1774) = 12.635 [0.0000]

```

Il·lustració 9: Test Dickey-Fuller augmentat

Font: Gretl

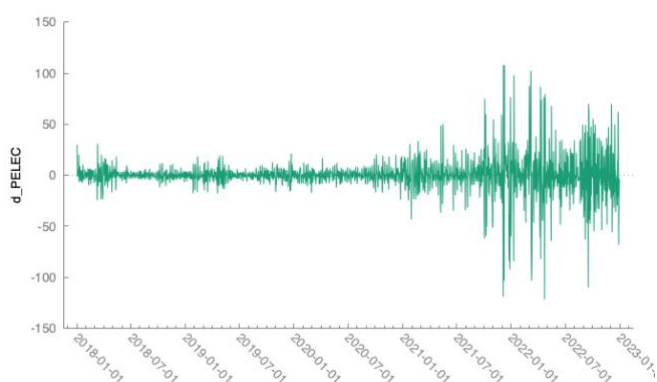


Il·lustració 10: Correlograma PELEC

Font: Gretl

El gràfic de correlació és un altre mesura per comprovar l'estacionalitat. La il·lustració 10 mostra molta inèrcia així i tot, no discrimina entre si la sèrie té tendència en mitja o tendència en variància.

Per corregir la tendència estocàstica, s'aplica les primeres diferències de la sèrie. A la il·lustració 11 es mostra com ha quedat la variable PELEC amb la seva primera diferència d_PELEC. Aquest resulta de restar de forma consecutiva el valor actual respecte el valor anterior.



Il·lustració 9: Primer diferència PELEC

Font: Gretl

A la vegada, també es comprova la resta de variables explicatives si tenen existència d'arrels unitàries a la sèrie. Els resultats de HIDRA, CARBO i CLCOMB també existeix tendència estocàstica i s'introdueix la primera diferència en cada una d'elles. Les variables queden d_HIDRA, d_CARBI i d_CLCOMB.

Un cop s'han fet les anteriors modificacions sobre el model, es fa la estimació d'aquest.

```

Modelo 32: MCO, usando las observaciones 2018-01-02:2022-12-31 (T = 1825)
Variable dependiente: d_PELEC
-----
                coeficiente   Desv. típica   Estadístico t   valor p
-----
const           1.84915          3.28633         0.5627          0.5737
REGIMESPECIAL  -0.00384275         0.00482568      -0.7963          0.4260
d_HIDRA         0.211127            0.0317979       6.640           4.14e-11 ***
d_CARBO        -0.0200630          0.0359477       -0.5581          0.5768
d_CLCOMB       0.145496            0.0104681       13.90           8.20e-42 ***
NÚCLEAR        -0.000642754        0.0167411       -0.03839         0.9694
FUELGAS        2.91373e+06         2.66151e+06     1.095           0.2738
ALTRA          -0.0330056          0.00722445      -4.569           5.24e-06 ***

Media de la vble. dep. -0.002734   D.T. de la vble. dep. 16.92759
Suma de cuad. residuos 398864.3   D.T. de la regresión 14.81614
R-cuadrado           0.236850   R-cuadrado corregido 0.233910
F(7, 1817)           80.56009   Valor p (de F)        4.7e-102
Log-verosimilitud   -7505.238   Criterio de Akaike    15026.48
Criterio de Schwarz 15070.55   Crit. de Hannan-Quinn 15042.73
rho                  -0.125296   Durbin-Watson         2.248632

Sin considerar la constante, el valor p más alto fue el de la variable 4 (NÚCLEAR)

```

Il·lustració 10: Model Estimat per MCO

Font: Gretl

El model de la il·lustració 12 ens mostra l'estimació per MCO del model corregit fins al moment. La prova Durbin-Watson demostra que el model no és correcte perquè existeix autocorrelació dels residus de la sèrie. Per fer una estimació correcta del model no pot haver-hi autocorrelació dels residus.

La prova Durbin-Watson es basa en les següents hipòtesis:

$$H_0: \text{no autocorrelació}$$

$$H_1: \text{autocorrelació}$$

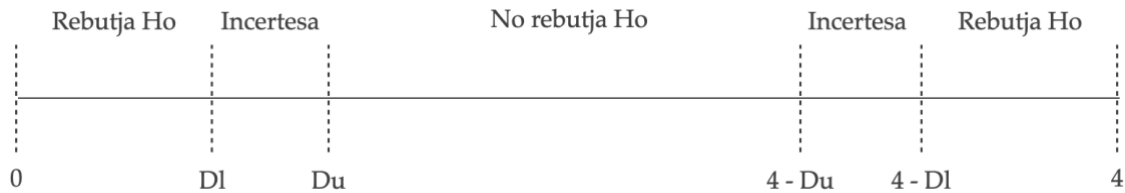
Gretl ens proporciona els valors crítics per rebutjar o no l'autocorrelació dels residus i ens dona el valor del límit superior dU i el valor del límit inferior dL .

Valors crítics al 5% de l'estadístic Durbin – Watson, $n = 1800, k = 6$

$$dL = 1.9158$$

$$dU = 1.9292$$

Per veure si es rebutja la H_0 s'utilitza la següent il·lustració



Il·lustració 11: Hipòtesis Durbin-Watson

Font: elaboració pròpia

Segons la prova DW¹⁵, i tenint en compte el valor 2,248632, es rebutja la H_0 i mostra l'autocorrelació dels residus.

A banda de la prova DW i per rectificar l'existència d'autocorrelació a la sèrie es procedeix a fer el test Breusch–Godfrey que contrasta el mateix que la prova Durbin-Watson seguint les següents hipòtesis:

Contraste Breusch-Godfrey de autocorrelación hasta el orden 7
MCO, usando las observaciones 2018-01-02:2022-12-31 (T = 1825)
Variable dependiente: uhat

	coeficiente	Desv. típica	Estadístico t	valor p
const	0.0829508	3.17106	0.02616	0.9791
REGIMESPECIAL	-0.00123215	0.00466813	-0.2639	0.7918
d_HIDRA	-0.00758558	0.0306706	-0.2473	0.8047
d_CARBO	-0.00367743	0.0346936	-0.1060	0.9156
d_CLCOMB	0.00480073	0.0101160	0.4746	0.6352
NUCLEAR	0.00190514	0.0161378	0.1181	0.9060
FUELGAS	387895	2.56672e+06	0.1511	0.8799
ALTRA	0.00890417	0.00711926	1.251	0.2112
uhat_1	-0.162505	0.0235200	-6.909	6.73e-12 ***
uhat_2	-0.221978	0.0239186	-9.281	4.66e-20 ***
uhat_3	-0.0358284	0.0244099	-1.468	0.1423
uhat_4	-0.105060	0.0243543	-4.314	1.69e-05 ***
uhat_5	-0.0623276	0.0245703	-2.537	0.0113 **
uhat_6	-0.0142294	0.0241364	-0.5895	0.5556
uhat_7	0.0760869	0.0237059	3.210	0.0014 ***

R-cuadrado = 0.074569

Estadístico de contraste: LMF = 20.834924,
con valor p = $P(F(7,1810) > 20.8349) = 4.07e-27$

Estadístico alternativo: $TR^2 = 136.087588$,
con valor p = $P(\text{Chi-cuadrado}(7) > 136.088) = 3.35e-26$

Il·lustració 12: Prova Breusch-Godfrey

Font: Gretl

¹⁵ Durbin-Watson

$H_0: \rho_i = 0, \forall i \in (1, r) = \text{Absència d'autocorrelació}$

$H_1: \text{AR}(p) \text{ o } \text{MA}(q) = \text{Problema d'autocorrelació}$

Com es mostra a la il·lustració 14, la prova Breusch-Godfrey amb 7 retards obté un estadístic de contrast de 136,087 i un p-valor molt proper a 0, d'aquesta manera es pot rebutjar la H_0 d'absència d'autocorrelació com ja s'havia fet a la primera prova DW.

Ara que ja s'ha demostrat l'autocorrelació dels residus, s'ha de tindre en compte un model autoregressiu on s'agafa els valors passats de la variable dependent ja que aquesta també explica el model.

Un model AR(p) es descriu de la forma següent

$$X_t = a_t + \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \dots + \phi_p X_{t-p} + \varepsilon_t$$

Es troba que és un model autoregressiu d'ordre 9, AR(9). El model necessita fins a 9 valors retardats de la variable dependent per explicar el model. La funció AR(9) queda de la següent manera:

$$X_t = a_t + \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \phi_3 X_{t-3} + \phi_4 X_{t-4} + \phi_5 X_{t-5} + \phi_6 X_{t-6} + \phi_7 X_{t-7} + \phi_8 X_{t-8} + \phi_9 X_{t-9} + \varepsilon_t$$

Es determina un AR(9) tenint en compte els valors $R^2 = 0,95$, el nivell de significació del coeficient al 5% i el Criteri Akaike més petit comparat amb altres AR(p).

Per estimar el model per MCO i corregir l'autocorrelació, s'afegeix el retard 9 dels residus, uhat13. A continuació d'estima el model per MCO amb els residus retardats.

Modelo 10: MCO, usando las observaciones 2018-01-03:2022-12-31 (T = 1824)
Variable dependiente: d_PELC

	coeficiente	Desv. típica	Estadístico t	valor p	
const	1.43035	1.52362	0.9388	0.3480	
d_HIDRA	0.192340	0.0147377	13.05	2.83e-37	***
d_CARBO	0.0377286	0.0166732	2.263	0.0238	**
d_CLCOMB	0.113442	0.00486676	23.31	2.41e-105	***
RÉGIMESPECIAL	-0.00557410	0.00223705	-2.492	0.0128	**
NUCLEAR	0.00558580	0.00776049	0.7198	0.4718	
FUELGAS	2.10770e+06	1.23330e+06	1.709	0.0876	*
ALTRA	-0.0230522	0.00334996	-6.881	8.13e-12	***
uhat3	0.950287	0.0116694	81.43	0.0000	***
Media de la vble. dep.	-0.019211	D.T. de la vble. dep.	16.91759		
Suma de cuad. residuos	85546.63	D.T. de la regresión	6.865357		
R-cuadrado	0.836039	R-cuadrado corregido	0.835317		
F(8, 1815)	1156.842	Valor p (de F)	0.000000		
Log-verosimilitud	-6097.547	Criterio de Akaike	12213.09		
Criterio de Schwarz	12262.67	Crit. de Hannan-Quinn	12231.38		
rho	-0.008462	Durbin-Watson	2.015371		

Il·lustració 13: Model (0) MCO final

Font: Gretl

A la il·lustració 15 es mostra el model final sense autocorrelació dels residus. A partir d'aquí es pot començar a interpretar les dades que proporciona. S'inclouen les variables fictícies per separat en funció del que es vulgui observar.

Modelo 3: MCO, usando las observaciones 2018-01-03:2022-12-31 (T = 1824)
Variable dependiente: d_PELC

	coeficiente	Desv. típica	Estadístico t	valor p	
const	-0.925251	1.55141	-0.5964	0.5510	
d_HIDRA	0.185828	0.0146008	12.73	1.33e-35	***
d_CARBO	0.0367351	0.0164720	2.230	0.0259	**
d_CLCOMB	0.114192	0.00481379	23.72	1.50e-108	***
REGIMESPECIAL	-0.00156209	0.00235906	-0.6622	0.5079	
NUCLEAR	0.00362918	0.00772288	0.4699	0.6385	
FUELGAS	1.99441e+06	1.21820e+06	1.637	0.1018	
ALTRA	-0.0426986	0.00434430	-9.829	3.02e-22	***
uhat3	0.949661	0.0115275	82.38	0.0000	***
DANY_1	0.421134	0.508512	0.8282	0.4077	
DANY_2	1.04309	0.514758	2.026	0.0429	**
DANY_3	1.22885	0.520803	2.360	0.0184	**
DANY_4	4.18442	0.637306	6.566	6.74e-11	***
Media de la vble. dep.	-0.019211	D.T. de la vble. dep.		16.91759	
Suma de cuad. residuos	83261.21	D.T. de la regresión		6.780506	
R-cuadrado	0.840420	R-cuadrado corregido		0.839362	
F(12, 1811)	794.7935	Valor p (de F)		0.000000	
Log-verosimilitud	-6072.851	Criterio de Akaike		12171.70	
Criterio de Schwarz	12243.32	Crit. de Hannan-Quinn		12198.12	
rho	0.016125	Durbin-Watson		1.966764	

Sin considerar la constante, el valor p más alto fue el de la variable 4 (NUCLEAR)

Il·lustració 14: Model (1) MCO amb variable fictícia per any. Any base 2018 Font:Gretl

La il·lustració 16 mostra els resultats del model (1) incloent la variable fictícia per any agafant de referència l'any 2018 com a variable base per estimar la resta d'anys.

També es pot fer el mateix anàlisi però tenint de referència l'any 2022. Es mostra el resultat a la il·lustració 17.

Modelo 3: MCO, usando las observaciones 2018-01-03:2022-12-31 (T = 1824)
Variable dependiente: d_PELC

	coeficiente	Desv. típica	Estadístico t	valor p	
const	-0.925251	1.55141	-0.5964	0.5510	
d_HIDRA	0.185828	0.0146008	12.73	1.33e-35	***
d_CARBO	0.0367351	0.0164720	2.230	0.0259	**
d_CLCOMB	0.114192	0.00481379	23.72	1.50e-108	***
REGIMESPECIAL	-0.00156209	0.00235906	-0.6622	0.5079	
NUCLEAR	0.00362918	0.00772288	0.4699	0.6385	
FUELGAS	1.99441e+06	1.21820e+06	1.637	0.1018	
ALTRA	-0.0426986	0.00434430	-9.829	3.02e-22	***
uhat3	0.949661	0.0115275	82.38	0.0000	***
DANY_1	0.421134	0.508512	0.8282	0.4077	
DANY_2	1.04309	0.514758	2.026	0.0429	**
DANY_3	1.22885	0.520803	2.360	0.0184	**
DANY_4	4.18442	0.637306	6.566	6.74e-11	***
Media de la vble. dep.	-0.019211	D.T. de la vble. dep.		16.91759	
Suma de cuad. residuos	83261.21	D.T. de la regresión		6.780506	
R-cuadrado	0.840420	R-cuadrado corregido		0.839362	
F(12, 1811)	794.7935	Valor p (de F)		0.000000	
Log-verosimilitud	-6072.851	Criterio de Akaike		12171.70	
Criterio de Schwarz	12243.32	Crit. de Hannan-Quinn		12198.12	
rho	0.016125	Durbin-Watson		1.966764	

Sin considerar la constante, el valor p más alto fue el de la variable 4 (NUCLEAR)

Il·lustració 15: Model (1) MCO amb variable fictícia per any. Any base 2022

A continuació es prova el model afegint la variable fictícia per estació de l'any però no es significativa, i es continua estimant el model amb la variable fictícia per dia entre setmana o cap de setmana. Aquest model es mostra a la il·lustració 18.

Modelo 2: MCO, usando las observaciones 2018-01-03:2022-12-31 (T = 1824)
 Variable dependiente: d_PLEEC

	coeficiente	Desv. típica	Estadístico t	valor p
const	2.57030	1.57818	1.629	0.1036
d_HIDRA	0.184941	0.0149638	12.36	9.50e-34 ***
d_CARBO	0.0317368	0.0167907	1.890	0.0589 *
d_CLCOMB	0.110811	0.00495455	22.37	4.73e-98 ***
RÉGIMESPECIAL	-0.00717604	0.00231023	-3.106	0.0019 ***
NUCLEAR	0.00389193	0.00777221	0.5007	0.6166
FUELGAS	2.12809e+06	1.23118e+06	1.728	0.0841 *
ALTRA	-0.0208914	0.00343806	-6.076	1.49e-09 ***
uhat3	0.950126	0.0116493	81.56	0.0000 ***
ENTRESET	-1.11264	0.410976	-2.707	0.0068 ***
Media de la vble. dep.	-0.019211	D.T. de la vble. dep.	16.91759	
Suma de cuad. residuos	85202.37	D.T. de la regresión	6.853418	
R-cuadrado	0.836699	R-cuadrado corregido	0.835889	
F(9, 1814)	1032.705	Valor p (de F)	0.000000	
Log-verosimilitud	-6093.869	Criterio de Akaike	12207.74	
Criterio de Schwarz	12262.83	Crit. de Hannan-Quinn	12228.06	
rho	-0.004342	Durbin-Watson	2.006939	

Sin considerar la constante, el valor p más alto fue el de la variable 4 (NUCLEAR)

Il·lustració 16: Model (2) MCO amb variable fictícia cap de setmana. Base entre setmana. Font: Gretl

- Interpretació model (0) per MCO

El primer paràmetre que es té en compte és la bondat de l'ajust, l' R^2 . Abans de corregir l'autocorrelació dels residus del primer model, R^2 era de 0,23; significa que el model plantejat només explicava el 23% de la realitat del model. En canvi, l'últim model explica el 83%.

Tenint en compte que el preu de l'electricitat, a més de ser explicat per les variables independents que s'han utilitzat al model, també s'explica per molts altres factors externs com polítics i socials, el model plantejat finalment s'ajusta molt a la realitat.

En segon lloc, s'usa el valor p per comprovar la significació de les variables al model. El valor p es regeix per la següent hipòtesi nul·la:

$$H_0: \text{coeficient} = 0$$

$$H_1: \text{coeficient} \neq 0$$

Partit de la hipòtesi, els valors p amb un nivell de significació majors a l'1%, 5% i 10% no provoquen cap efecte sobre la variable dependent, en canvi, pels nivells menors a 10% són variables significatives pel model i donen resposta als moviments de la variable dependent.

La majoria de les variables explicatives són significatives. El règim especial és significativa pels nivells 5% i 10% igual que la variable carbó. Després es troben les l'energia hidràulica, cicle combinat i la diferència entre generació total i demanda total a un nivell d'1%, 5% i 10%.

Per altra banda, està la variable energia fuel/gas que és significativa al 10% i per últim hi ha dos variables que no són significatives per aquest model i són: l'energia nuclear amb un valor p de 0,471 i la variable constant del model amb un valor de 0,348.

L'energia nuclear és normal que no sigui significativa per aquest model. Com s'ha comentat a la part teòrica del treball, l'energia nuclear és una energia base pel sistema i és la primera a entrar al mercat segons l'ordre de mèrit. Aquest fet es deu a la producció constant d'energia que s'ha de sotmetre les centrals nuclears, ja que no és possible fer una aturada fàcilment del servei a causa de les seves característiques de control de la radioactivitat, l'escalfor, la gestió dels residus, etc. Per aquest motiu els generadors d'energia nuclear entren al mercat oferint a 0 € l'energia perquè no es poden permetre quedar fora del sistema de cassació.

La no significació de la constant pot indicar que l'efecte mitjà que no ve explicat per les variables independents és petit.

Pel que fa als coeficients de les variables, com era d'esperar, l'energia de règim especial té un impacte negatiu sobre el preu de l'electricitat. L'augment d'una unitat de generació de MWh de règim especial, produeix un descens del preu en 0,005 €. L'altre variable a destacar pel seu impacte negatiu és "Altra", la diferència entre el que es genera i el que es demanda, que repercuteix a fer baixar el preu en 0,02 € per unitat MWh que s'incrementa.

En darrer lloc, les altres variables estan relacionades positivament amb el preu de l'electricitat. L'energia hidràulica té una relació positiva perquè es pot emmagatzemar i especular amb el preu del mercat sortint quan aquest és major. També perquè l'energia hidràulica ajuda en els moments on la demanda és més alta i completa la capacitat de MWh necessària.

El carbó i el cicle combinat, tenen una relació positiva amb el preu de l'electricitat, ja que aquests són de les últimes en entrar a la cassació. Donen el preu marginal pel qual es cobrarà l'energia al mercat majorista. Aquesta relació també es pot explicar per què són de les energies més costoses que hi ha al mercat.

Finalment, està l'energia de fuel i gas amb una relació positiva amb la variable dependent, tot i així el coeficient és molt proper a zero, per tant, té una repercussió sobre el preu quasi inexistent.

- Interpretació model (1) per MCO amb variable fictícia per any

A continuació s'interpreta el model quan s'incorpora la variable fictícia per any. El 2018 s'utilitza d'any base per l'estimació del model.

Els resultats són molt significatius, ja que R^2 augmenta fins al 84% i no hi ha autocorrelació amb els residus.

La incorporació de la variable fictícia altera la significació de la variable règim especial al model. Deixa de ser significativa amb un valor p molt elevat igual a 0,5. En canvi, la forma d'impactar sobre el preu de l'electricitat continua sent negativa, quan augmenta una unitat d'energia renovable i de cogeneració té un impacte negatiu sobre el preu al mercat majorista. Tot i així, la variable no és significativa pel model.

La variable Altra que és la diferència entre la generació total i la demanda total del mercat, és significativa a tots els nivells. El coeficient és negatiu, per tant, quan es produeix un excés d'oferta d'energia el preu de l'electricitat disminueix en 0,04 € menys.

L'any 2019, la variable DANY_1 té un coeficient de 0,42, però el valor p és elevat amb 0,40, per tant, no hi ha suficient evidència per afirmar que l'any 2019 tingui un impacte negatiu al preu de l'electricitat respecte al 2018.

En canvi, els anys 2020 i 2021 tenen un impacte significatiu sobre la variable dependent respecte el 2018. Tots dos són significatius a un nivell de confiança del 95% i els coeficients són positius. L'any 2020 té un impacte al preu de l'electricitat en 1,04 € més que respecte l'any 2018. Pel 2021, l'impacte encara és positiu en més quantitat que l'any 2020 i amb un augment del preu de l'electricitat de 1,22 € més respecte al 2018.

L'any 2022 és el que té un nivell de significació més elevat, des del 10%, 5% i 1%. L'impacte sobre la variable dependent és 4,18 € més que l'any 2018 al preu de l'electricitat del mercat majorista.

En general, a l'introduir les variables fictícies amb any base el 2018, les úniques variables que encara són significatives són: l'energia hidràulica, l'energia de carbó i l'energia de cicle combinat totes amb un impacte positiu sobre el preu de l'electricitat en 0,18 €, 0,036 € i 0,11 € més.

Si es canvia l'any base a 2022, els coeficients dels anys 2018, 2019, 2020 i 2021 es tornen negatius i significatius a tots els nivells, 10%, 5% i 1%. Pel que fa a l'any 2018, el preu de l'electricitat ha disminuït en 4,18 € menys que el 2022. La resta d'anys en 3,76 €, 3,14 € i 2,95 € menys en ordre cronològic.

- Interpretació model MCO amb variable fictícia per estació de l'any.

Ara s'estima el model des d'una altra perspectiva. S'introdueix al model una distinció entre l'estació de l'any en funció si és estiu, primavera, tardor i hivern.

Els resultats del model no són significatius, cap de les variables fictícies són importants pel model. No es tenen en compte els resultats, ja que poden afectar a la interpretació de les variables explicatives.

En resum, el moment del temps respecte a l'estació de l'any no té cap implicació sobre el preu de l'electricitat.

- Interpretació model (2) per MCO amb variable fictícia per dia entre setmana.

La introducció de la variable fictícia entre setmana o cap de setmana si és significativa per a tots els nivells.

L'estimació del model es fa en base a un dia entre setmana. Les variables significatives pel model són les següents: l'energia hidràulica és significativa a l'1%, l'energia de cicle combinat és significativa a l'1% de la mateixa manera que l'energia de règim especial i la variable Altra.

L'energia de règim especial continua tenint un impacte negatiu sobre el preu de l'electricitat en 0,007 € menys davant un increment d'una unitat de MWh. La variable Altra també encara té un impacte negatiu en 0,02 € menys sobre la variable dependent.

La resta de variables significatives i amb un coeficient positiu sobre la variable dependent són: l'energia hidràulica, el carbó i el cicle combinat amb un impacte de 0,18 €, 0,03 € i 0,11 € d'increment per una unitat de MWh.

Pel que fa a la variable en caps de setmana és negativa. Indica que els dies de cap de setmana el preu de l'electricitat disminueix en 1,11 € menys que respecta un dia entre setmana.

12. CONCLUSIONS

Per concloure el treball, a continuació es fa un petit resum de tot el que s'ha vist amb les conclusions finals.

Per començar, el treball comença amb una petita contextualització per veure d'on venia el mercat elèctric i quina direcció ha agafat fins al dia d'avui. Abans de la liberalització del mercat, l'Estat Espanyol era el regulador a través d'una empresa pública anomenada Endesa, empresa que avui dia continua exercint però de forma privatitzada.

La liberalització del mercat en sectors com la generació i la comercialització, va donar lloc a l'entrada de competitivitat entre empreses donant incentius en millorar l'eficiència del mercat. Aquests són els principals agents que intervenen a l'hora de donar el preu del mercat. La distribució i el transport de l'energia són sectors regulats a causa de les seves característiques.

Un component important en la determinació del preu de l'electricitat és el mercat marginal i l'ordre de mèrit. L'ordre en què entren les diferents tecnologies al mercat de cassació és determinant, i l'última energia en entrar és la que dona preu al mercat. La peculiaritat d'aquest mercat és que el preu marginal que hagi sortit al mercat diari, serà al que es pagarà a cada una de les energies que han quedat dins la cassació i no el preu pel qual van oferir l'energia.

D'aquesta manera les energies més barates del mercat com són la nuclear, que s'ofereix a preu zero, i energies renovables com la solar, no determinen el preu del mercat, però cobraran el MWh al mateix preu que la tecnologia més cara de la cassació.

Tenint en compte la teoria d'aquest mercat, les energies més barates com les anomenades anteriorment, un increment en la seva producció de MWh fins a cobrir la demanda total del mercat, haurien de tindre el poder de reduir el preu marginal i substituir les energies convencionals amb costos elevats, tant econòmics, com socials i mediambientals.

Per aquesta raó, l'objectiu principal del treball era avaluar l'impacte de les energies renovables i de cogeneració. Veure el resultat sobre el preu de l'electricitat a causa d'un increment en la seva producció.

L'anàlisi del treball ha tingut en compte altres autors que han fet aquest estudi prèviament en dates diferents de les d'aquest per fer una comparació en el temps. Aquest treball ha tingut en compte els últims cinc anys, des de 2018 fins al 2022, en canvi, el treball d'exemple *An ex-post analysis of the effects of renewable and*

cogeneration on Spain electricity prices va tindre en compte els anys 2005 al 2010, un període amb comportaments del preu de l'electricitat diferents, ja que van experimentar increments i descens en una proporció molt menor a la viscuda actualment.

Tanmateix, els resultats actuals, tot i haver patit increments del preu de l'electricitat de fins al 490% de mitjana, han resultat diferents comparat amb el treball d'exemple. S'ha de tindre en compte que les energies renovables també han crescut durant el mateix període que el preu, encara que del 2021 al 2022 la seva producció ha disminuït a causa de l'escassetat meteorològica i l'impacte mediambiental dels últims anys.

Partit d'aquesta premissa, el règim especial ha deixat de ser una variable significativa per l'explicació del preu de l'electricitat, tot i això, continua tenint un impacte negatiu sobre ell encara que amb menys intensitat que anys anteriors com del 2005 al 2010, on l'impacte de la variable era de 0,55 € menys per MWh. Actualment, l'impacte és de 0,0015 €/MWh menys sobre el preu de l'electricitat.

La pèrdua de significació del règim especial pot ser a causa del creixement exponencial que ha experimentat el preu del mercat majorista en comparació a altres períodes. El preu màxim del 2010 va ser de 145 €/MWh, en canvi, el preu màxim del 2022 ha sigut de 700 €/MWh. L'energia renovable i de cogeneració no han produït la suficient quantitat de MWh per revertir el creixement del cycle combinat i del gas que han sigut els protagonistes que han donat el preu de partida de l'energia.

Respecte al preu de les energies convencionals, també s'ha vist augmentada la funció de costos, ja que els drets d'emissió que han de fer front aquestes energies s'ha incrementat un 509% passant d'un cost mitjà anual de 15,88 € la tona de diòxid de carboni el 2018 a 88,87 € la tona el 2022.

Per tant, el règim especial fins avui ha tingut una tendència descendent pel que fa al poder d'impacte sobre el preu de l'electricitat. Així i tot, a través d'incentius econòmics i del desenvolupament de la tecnologia, es pot revertir aquesta tendència i augmentar la producció d'energia neta. S'ha de tindre en compte que les energies renovables han tingut beneficis molt superiors als anteriors a causa de la pujada del preu de l'electricitat, ja que si recordem, el preu marginal és el mateix per totes les tecnologies i la funció de costos del règim especial s'ha mantingut i no té despeses extraordinàries com han tingut les energies convencionals, de manera que, els beneficis extraordinaris obtinguts als últims cinc anys es poden reinvertir en millores d'eficiència i de capacitat d'aquesta tecnologia.

Si en algun moment s'acabés substituint l'energia convencional per energia neta, es podria donar en el mercat estratègies anticompetitives, ja que entre el mercat de generació d'energia i el de comercialització se situen les mateixes empreses com són: Endesa, Iberdrola, Naturgy i EDP. Aquestes podrien inflar el preu ofert al mercat diari tenint en compte que la demanda de les comercialitzadores es faria per les mateixes empreses que estan oferint. Encara que el sector de generació és de lliure mercat, la introducció de noves companyies té un cost elevat a causa de la infraestructura necessària per dur a terme l'activitat, d'aquesta manera el poder de les empreses comentades és difícil de diluir. Per aquesta raó, si s'arriba a substituir l'energia convencional, el sistema marginal pel qual es basa el mercat elèctric caldria d'una revisió per evitar aquests comportaments anticompetitius.

13. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

¿Qué es la red de distribución y qué elementos la componen? (n.d.). Retrieved May 9, 2023, from <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/red-de-distribucion>

Agosti, L., Padilla, J., & Requejo, A. (2007). El mercado de generación eléctrica en España: estructura, funcionamiento y resultados. *Organización y Competencia En Los Mercados de Generación*, 364, 17.
<https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/364/21.pdf>

Alayo Manubens, J. C. (2019). La electricidad en España en 1900. Actuaciones en la introducción del alumbrado eléctrico. *V Simposio Internacional de La Historia de La Electrificación*, 621–639. <http://www.ub.edu/geocrit/Electricidad-y-transformacion-de-la-vida-urbana/JoanAlayo.pdf>

Blanco, P. B. (2005). La Liberalización Del Sector Eléctrico En España ¿Un Proceso Incompleto O Frustrado? *75 AÑOS DE POLÍTICA ECONÓMICA ESPAÑOLA* Noviembre 2005. N.º 826, 259–283.

Cogeneración | Idae. (n.d.). Retrieved May 15, 2023, from <https://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/transformacion-de-la-energia/cogeneracion>

Cubillo, I. (2011). Review of the History of the electric supply in Spain from the beginning up to now. *Universidad Carlos III*.

- De, N. E. N. M. (2023). *Balance energético de España 1990-2021*.
- El Acuerdo de París | CMNUCC*. (n.d.). Retrieved May 16, 2023, from <https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris>
- El precio del mercado eléctrico marcó en 2017 su nivel más alto desde 2008 - elEconomista.es*. (n.d.). Retrieved May 20, 2023, from <https://www.economista.es/energia/noticias/8843686/01/18/El-precio-del-mercado-electrico-marco-en-2017-su-nivel-mas-alto-desde-2008.html>
- Gallego Gómez, J. L. (2008). Análisis de series temporales. *LADE y LE*, 1(Análisis temporal), 111–128.
- Gallego, J., & Victoria, M. (2012). *Cristóbal J. Gallego Marta Victoria*.
- Gelabert, L., Labandeira, X., & Linares, P. (2011). An ex-post analysis of the effect of renewables and cogeneration on Spanish electricity prices. *Energy Economics*, 33(SUPPL. 1). <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.07.027>
- Gestor de la red y transportista | Red Eléctrica*. (n.d.). Retrieved May 9, 2023, from <https://www.ree.es/es/actividades/gestor-de-la-red-y-transportista>
- Glosario: Corriente alterna y corriente continua*. (n.d.). Retrieved May 1, 2023, from https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/es/campos-electromagneticos/glosario/abc/corriente-alterna.htm
- Homocedasticidad - Qué es, definición y concepto | 2023 | Economipedia*. (n.d.). Retrieved June 2, 2023, from <https://economipedia.com/definiciones/homocedasticidad.html>
- Informe del sistema eléctrico Informe energías renovables 2022*. (2023).
- Isabel Bartolomé Rodríguez. (2007). La Industria Eléctrica en España (1890- 1936). *Estudios de Historia Económica - Banco de España*, 50, 165.
- Jimeno, M. del R. F., & Cebrián, M. S. (2015). El mercado eléctrico en España: La convivencia de un monopolio natural y el libre mercado. *Revista Europea de Derechos Fundamentales*, 25, 257–297.
- Leandro Frías, L. (1997). La integración de las energías renovables en el sistema eléctrico canario. In *Vector Plus* (Vol. 10). <http://cris.ulpgc.es/jspui/handle/10553/8294>

- Maciejowska, K. (2020). Assessing the impact of renewable energy sources on the electricity price level and variability – A quantile regression approach. *Energy Economics*, 85, 104532. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104532>
- Mercado de electricidad | OMIE*. (n.d.). Retrieved May 10, 2023, from <https://www.omie.es/es/mercado-de-electricidad>
- Mercado Eléctrico Español - EnergiGreen*. (n.d.). Retrieved May 24, 2023, from <https://www.energigreen.com/mercado-electrico-espanol/>
- Mibel – Mercado Ibérico de Electricidade*. (n.d.-a). Retrieved June 3, 2023, from https://www.mibel.com/es/home_es/
- Mibel – Mercado Ibérico de Electricidade*. (n.d.-b). Retrieved May 10, 2023, from https://www.mibel.com/es/home_es/
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico - Distribuidores*. (n.d.). Retrieved May 9, 2023, from <https://energia.gob.es/electricidad/Distribuidores/Paginas/Distribuidores.aspx>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico - Energías renovables*. (n.d.). Retrieved May 16, 2023, from <https://energia.gob.es/desarrollo/EnergiaRenovable/Paginas/Renovables.aspx>
- MITERD. (2020). Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030. *Ministerio Para La Transición Ecológica y El Reto Demográfico, Gobierno de España*, 25. <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.aspx>
- Pérez Alemán, Y. (1998). Monopolios naturales y la regulación de los sistemas de transmisión de energía eléctrica. *Ingeniería y Universidad*, 2(1), 53–66.
- Polonio, C. L. de la N. (2022). *Análisis de los precio en el mercado diario Eléctrico Español*.
- REE. (1997). *Red Electrica de España. El Marco Legal Estable. 1988-1997*. <https://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/marcolegalestable.pdf>
- Regulador, D. E. L., Que, R. A. L. O. S., & Enfrenta, S. E. (2021). *LA LIBERALIZACIÓN DEL MERCADO ELÉCTRICO ESPAÑOL : AGENTES INTERVINIENTES , DISTRIBUCIÓN DE COMPETENCIAS Y LA ESPECIAL POSICIÓN THE LIBERALIZATION OF THE SPANISH ELECTRICITY MARKET : AND THE SPECIAL POSITION OF THE REGULATOR . CHALLENGES FACING*

AS A RESULT. 733–770.

Roman, T. G. S. (1998). *De Energía Eléctrica*.

Transport i distribució. Institut Català d'Energia. (n.d.). Retrieved June 3, 2023, from <https://icaen.gencat.cat/ca/energia/formes/electricitat/transport/>

Villavicencio, J. (2010). Introducción a Series de Tiempo. *Manual: Metodología de Series de Tiempo*, 33.

http://www.estadisticas.gobierno.pr/iepr/LinkClick.aspx?fileticket=4_BxecUaZmg%3D

Wooldridge, J. (2010). Introducción a la econometría un enfoque moderno In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.

<https://herioscarlanda.files.wordpress.com/2018/10/wooldridge-2009-introduccion-a-la-econometria-un-enfoque-moderno.pdf>