

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Estudi de l'evolució del mercat energètic

MEMÒRIA

Autor: Blanca Giménez Casanovas
Director: Xavier Puig Oriol
Convocatòria: Gener 2017



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



RESUM

Malgrat l'energia estigui present al nostre dia a dia, generalment no som conscients de la seva importància. Tenim poc coneixement sobre com les fàbriques, que després ens ofereixen tot el que necessitem, s'abasteixen de l'electricitat que els permet la producció. És precisament de la manca de coneixement i consciència d'on neix la motivació per a la realització d'aquest treball.

Les empreses pacten amb les companyies elèctriques per tal de tancar un preu fix per a tot l'any, evitant així estar sotmeses a la volatilitat del mercat. Aquest projecte presenta un repàs sobre el funcionament del Mercat Energètic (OMIP, '*Operador del Mercado Ibérico de Energía*'), utilitzant-se de les dades que es publiquen diàriament per a realitzar un estudi estadístic amb l'objectiu de trobar la millor metodologia per decidir quin és el millor moment per arribar a un acord pel preu fix de l'energia elèctrica. La decisió vindrà acompanyada d'un estudi que quantificarà els beneficis o les pèrdues que se'n deriven, sent un indicador sobre la fiabilitat de la metodologia emprada.

La primera part del projecte consisteix en una descripció sobre el Mercat Energètic i les diferents fonts d'energia, així com d'una presa de contacte amb els consums i les produccions a nivell mundial. A la segona part s'exposen les dades i se'n fa una descripció detallada per tal de poder-s'hi familiaritzar. La vessant estadística agafa protagonisme llavors, quan es presenta la metodologia emprada. Consisteix en definir tres models estadístics (sèries temporals, regressions lineals i mitjanes mòbils) i dues estratègies que podria adoptar una empresa. Les combinacions entre models i estratègies ofereixen diferents resultats quantificables mitjançant indicadors prèviament escollits. Finalment s'obtindrà el millor model i la millor estratègia que ens aporten el màxim benefici econòmic.

Tal i com s'esperava en el moment d'inicialitzar el projecte, la informació recopilada i tractada no ha estat suficient per poder escollir un únic model que es comporti de manera robusta i fidel, permetent-nos aplicar-lo en qualsevol any de manera inequívoca. Però sí que, aquest projecte fa una proposta dels passos que cal seguir per a modelitzar el comportament del mercat energètic per tal que una empresa pugui comprar l'energia a un millor preu.

SUMARI

RESUM.....	1
SUMARI.....	2
1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS.....	3
1.1 ORIGEN I MOTIVACIÓ	3
1.2 BREU DESCRIPCIÓ DEL PROBLEMA I OBJECTIUS DEL PROJECTE	4
1.3 ABAST DEL PROJECTE.....	7
1.4 REQUERIMENTS PREVIS	8
2. CONTEXTUALITZACIÓ	9
2.1. L'ENERGIA AL MÓN	9
2.2 NECESSITATS I CONSUMS	11
2.3 TIPUS D'ENERGIA.....	14
2.4. EL MERCAT ENERGÈTIC	17
2.4.1 MERCAT IBÈRIC D'ELECTRICITAT	17
2.4.2 MERCAT DE DERIVATS. L'OMIP	18
3. DESCRIPCIÓ DEL PROBLEMA I DE LES DADES.....	19
4. PLANTEJAMENT PER A LA RESOLUCIÓ DEL PROBLEMA.....	28
4.1 INDICADORS	28
4.2 ESTRATÈGIES.....	29
4.3 MODELS.....	32
4.3.1 SÈRIES TEMPORALS: MODELS ARMA	32
4.3.2 REGRESSIÓ LINEAL	37
4.3.3 MITJANES MÒBILS.....	42
5. RESULTATS: COMPARACIÓ D'INDICADORS, ESTRATÈGIES I MODELS.....	46
6. DISCUSSIÓ.....	50
7. CONCLUSIONS	52
8. AGRAÏMENTS.....	53
REFERÈNCIES	54
BIBLIOGRAFIA	54
WEBGRAFIA.....	54
ANNEX.....	56

1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS

En aquest capítol previ, es farà una breu escombrada per sobre dels temes que han encès l'espurna de la idea que hi ha darrera aquest treball. Parlarem de l'origen i la motivació que han fet possible arrancar l'estudi. Quins són els objectius d'aquest projecte i fins on es vol arribar. D'on provenen les idees que han permès realitzar el projecte, així com tots els matisos que han anat canviant l'orientació del conjunt del treball. D'aquesta manera, cada lector d'aquest treball podrà posar-se en situació i entendre'l de la mateixa manera que s'ha anat elaborant.

1.1 ORIGEN I MOTIVACIÓ

“The way to get started is to quit talking and begin doing”

Walt Disney Company

Durant molts anys s'ha sentit a parlar sobre la importància de l'energia al món. Sobre com hem d'administrar els recursos, com hem de gestionar els efectes secundaris de les fonts d'energia que utilitzem, etc. Això ens converteix en usuaris passius d'aquest entorn, impossibilitant-nos ser-ne partícips. Un dels factors que impedeix tota la societat de saber què passa amb l'energia que consumim, és la manca d'informació. És d'aquí d'on neix la curiositat i la motivació d'endinsar-se en aquest món tan gran i complex.

Una altra font de motivació ha estat l'interès per a utilitzar eines apreses durant cursos anteriors relacionades amb l'estadística. La barreja d'aquestes dues motivacions es veu reflectida en aquesta proposta d'estudi. Tant l'estadística com l'energia (i el seu mercat) són dos mons immensos i amb molt camí per recórrer encara, de manera que la motivació principal és endinsar-nos-hi per poder-los entendre i establir una relació entre ells.

Però aquest treball tampoc hagués existit sense un succés important per a la meua vida personal i professional. Un dels aspectes més importants que ha permès que s'obri una porta de curiositat, va ésser l'estada com a estudiant en pràctiques a un departament en el què es feia anualment un estudi sobre el mercat elèctric per tal d'aprovisionar les fàbriques de tota l'empresa. Fruit de la descoberta de l'existència d'aquesta feina dins d'una empresa de caràcter industrial, va anar creixent a poc a poc la curiositat, donant peu al treball que ara ens ocupa.

1.2 BREU DESCRIPCIÓ DEL PROBLEMA I OBJECTIUS DEL PROJECTE

Els objectius d'aquest treball els presentarem de manera esquemàtica per tal de poder-los validar un cop conclòs el període d'estudi. Abans, però, s'explicarà de manera molt resumida el problema a resoldre per tal de poder entendre millor els objectius.

Gran part de les fàbriques contracten el subministrament d'energia elèctrica amb un preu únic anual; d'aquesta manera s'asseguren un preu constant al llarg de l'any, deixant d'estar sotmesos a la volatilitat diària del mercat. El preu de l'energia elèctrica contractada ve definit pel Mercat Energètic, amb un comportament anàleg a qualsevol mercat financer.

Al final de cada dia, el mercat mostra el preu que ens costaria aquell mateix dia contractar l'energia elèctrica per a tot l'any. Per exemple, avui dia 19 de gener de 2017, podem decidir tancar un preu per a tota l'energia elèctrica del 2018. Aquest valor anirà variant cada dia en funció de molts altres factors externs, i és per això que és objecte d'estudi aquesta evolució per tal d'intentar entendre-la.

Presentem les dades amb què tractarem al llarg del treball: a la Figura 1.1 hi veiem l'evolució temporal del preu que tindria comprar l'energia per a tot l'any 2012 durant el període de la seva cotització (des de l'1 de juny de 2010 fins el 30 de desembre de 2011).

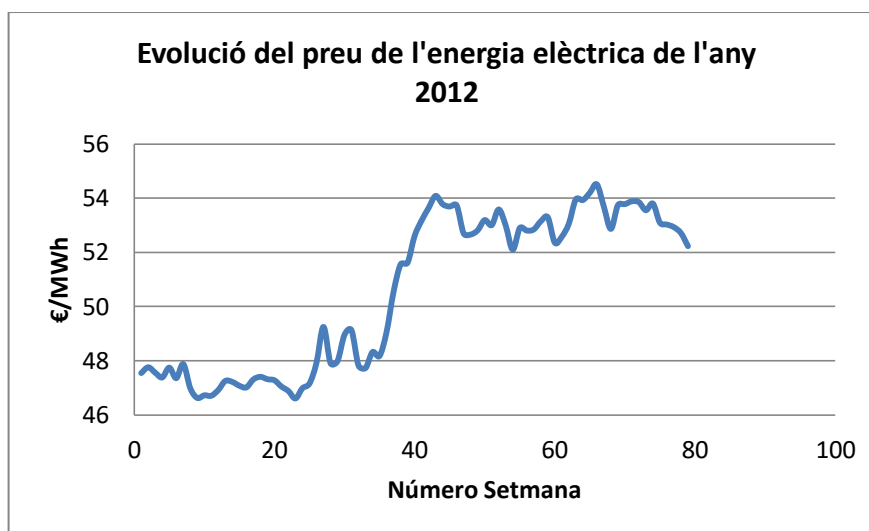


Figura 1.1 - Evolució del preu de l'energia elèctrica de l'any 2012 durant el seu període de cotització, des del 01/06/2010 fins el 27/12/2011.

Com podem veure a la figura, es tracta d'una evolució totalment impredecible, presentant pujades i baixades al llarg de totes les setmanes. El comportament dels anys següents no és igual, però sí que el caràcter és el mateix: volàtil i irregular. Presentem també el cas del 2013 a la Figura 1.2 per poder comparar-los *grosso modo*; veure que no s'assemblen directament, però sí que hi podem trobar coses en comú.

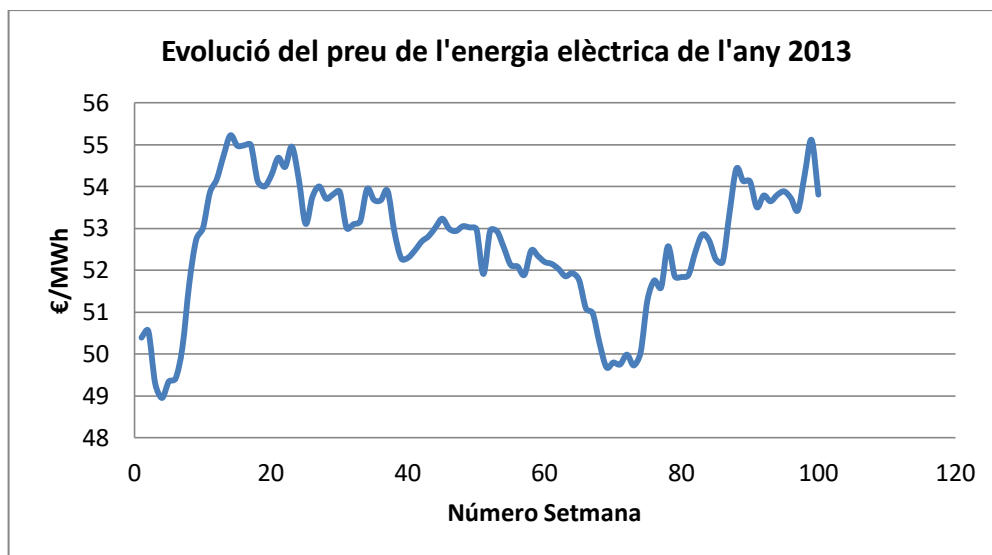


Figura 1.2 - Evolució del preu de l'energia elèctrica de l'any 2013 durant el seu període de cotització, des del 03/01/2011 fins el 27/12/2012.

La situació és, a trets generals, molt semblant a cada any; és a dir, si fem la gràfica del preu que ens costaria comprar l'energia elèctrica per a diferents anys, hi veuríem fluctuacions impossibles de predir amb un primer cop d'ull.

Així doncs, plantegem com a objectiu principal poder decidir quan comprar l'energia; en quin moment de l'any és idoni tancar un preu fix per tal d'aconseguir el màxim benefici possible amb tota la informació que es té del mercat i les seves tendències.

Per tal de treballar sobre aquest objectiu principal, ens caldrà seguir els següents passos:

1. Definir **Indicadors** que ens permetin quantificar com de bons són els resultats obtinguts
2. Perfilar **Estratègies** que ens serveixin com a normes per a la presa de decisions de l'hora de triar en quin moment tanquem un preu per a tot l'any següent.
3. Triar diferents **Models** i realitzar un estudi estadístic amb cadascun d'ells.

Definirem doncs dos Indicadors que ens permetran avaluar les decisions preses. Dues Estratègies basades en diferents perfils empresarials, i tres Models a partir dels quals

vertebrarem els nostres estudis estadístics. Un cop fet això, podrem arribar a conclusions basades en els estudis realitzats, arribant a una decisió final que ens permeti determinar quin és el millor moment de l'any per a contractar l'energia elèctrica per tot l'any següent amb un preu fix.

Plantegem, a més a més, com a objectius complementaris:

- **Entendre** el funcionament del mercat energètic. Fer una recerca sobre aquest entorn desconegut que ens permeti entendre les necessitats que hi ha i quant costa abastir una fàbrica.
- **Adquirir** nous coneixements en relació a l'estadística, en concret que es puguin aplicar en l'àmbit de les sèries temporals.
- **Aplicar** els coneixements d'estadística (nous o ja assimilats) a casos reals com és el de l'evolució del preu de l'energia elèctrica.
- Ser capaços d'**arribar a conclusions** a partir de l'estudi estadístic realitzat i poder prendre decisions en funció d'aquesta anàlisi.

L'Estadística és una eina que ens pot proporcionar **informació** que s'amaga dins les dades que són a l'abast de tothom. Aquesta informació és molt valuosa, ja que ens pot permetre entendre què està passant amb les dades que estem estudiant, quines tendències segueixen, i inclús en alguns casos saber cap on van. Quan hi ha inversions i projectes basats en aquestes dades, a la llarga, tot això es tradueix en **diners**.

L'impacte econòmic de l'energia és un dels temes que més ens ocupa, ja sigui a nivell d'usuari individual com d'empresa. És per això que s'ha decidit fer un estudi centrat en el preu de l'energia elèctrica, relacionant-lo amb altres factors que poden fer fluctuar aquests preus. Així doncs, no només es buscarà un model que pugui descriure el moviment del preu de l'energia basat en les dades històriques del propi preu, sinó que s'introduiran altres variables per veure si existeix alguna relació que influencii aquests moviments.

1.3 ABAST DEL PROJECTE

Al llarg d'aquest projecte, un cop s'hagi contextualitzat i entès el funcionament del mercat i quines dades n'utilitzarem, es farà una anàlisi de les dades extretes de l'OMIP, '*Operador del Mercado Ibérico de Energía*' (a partir d'ara, OMIP) i es proposaran diferents casos hipotètics de presa de decisions en vista de diversos estudis del mercat. Amb aquest estudi es vol comprovar si hi ha una diferència significativa en el resultat de la decisió en funció de les variables tingudes en compte i les estratègies emprades.

Així doncs, l'abast del projecte es resumirà amb els següents punts:

- Contextualitzar, tot explicant el funcionament del mercat energètic i els seus moviments, l'escenari en què succeiran els casos a estudiar.
- Descobrir, mitjançant una anàlisi de diferents dades històriques, si el moviment del mercat és lògic i, conseqüentment, pot ser predit. Fer un estudi estadístic ajustat mitjançant *Minitab* i valorar si es pot fer un model predictiu.
- Proposar diferents estratègies que simulin possibles situacions reals a l'hora de prendre una decisió a nivell industrial per a la compra d'energia elèctrica
- Explorar l'entorn del mercat energètic i proposar diverses variables que puguin tenir un efecte en les decisions a prendre.

- Un cop fetes les anàlisis, utilitzar les millors combinacions obtingudes i aplicar-les als anys següents, dades dels quals no han estat incloses als models. És a dir, realitzar l'estudi amb les dades dels anys 2012-2015, i amb els resultats obtinguts, aplicar-ho als anys 2016 i 2017.
- Trobar una combinació Model-Estratègia que ens serveixi com a guia per a prendre una decisió a l'hora de tancar un preu per tot un any sencer.

A mode de resum de l'abast d'aquest projecte, el propòsit principal és obrir les portes a diferents eines comparatives que més endavant puguin servir per a la realització de nous estudis a partir de plantejar noves estratègies i ajustar altres models.

1.4 REQUERIMENTS PREVIS

Per a la realització d'aquest projecte han estat necessàries les dues assignatures relacionades amb l'Estadística que es cursen al Grau d'Enginyeria en Tecnologies Industrials impartit a l'ETSEIB: Estadística i Tècniques Estadístiques per a la Qualitat. Aquestes dues assignatures ofereixen un gran ventall d'eines per als estudis estadístics, de les quals en farem ús en aquest treball.

La part estadística d'aquest treball es realitzarà mitjançant l'eina *Minitab*. En un primer moment es va valorar la possibilitat d'endinsar-se en programes que permetin la creació de models estadístics basant-se en la programació, però va ser descartat per una desequilibrada relació entre recursos-temps-dificultat.

Els coneixements sobre energia no són imprescindibles per a la realització ni per a la lectura d'aquest treball, però sí que aporten un valor afegit i un sentit a tot el projecte en general. Saber sobre què estem parlant, entorn quines magnituds ens movem, ens permet tenir una visió més global i completa no només del problema, sinó de tota la resolució i dels resultats finals obtinguts.

2. CONTEXTUALITZACIÓ

En aquest apartat es farà una petita explicació sobre la importància de l'energia elèctrica avui dia i el camí que s'ha recorregut per a arribar fins a la situació actual. Quines fonts d'energia existeixen i les seves característiques, així com les seves aplicacions.

Com s'abasteixen les fàbriques per tal de poder alimentar elèctricament tota la maquinària? A qui compren l'energia? La compren al mateix preu que nosaltres? Aquestes són algunes de les preguntes que habiten usualment dins del cap de molta gent, de manera que són precisament les preguntes que es respondran al llarg d'aquest treball. Un cop enteses les respostes a aquestes preguntes, es farà un pas endavant, situant-nos al costat de l'empresa, per tal de descobrir si es pot fer una predicció sobre l'evolució del preu d'aquesta energia.

2.1. L'ENERGIA AL MÓN

“Potència activa d'un organisme, capacitat d'obrar, de produir un efecte”

www.diccionari.cat

L'energia és considerada una necessitat des dels inicis de la vida. L'organisme, el creixement, el moviment, la reproducció, etc. són accions que requereixen l'adquisició d'energia per part de l'ésser viu. Avui dia s'ha creat una associació d'idees entre l'energia i el consum: la generació de llum i calor. Actualment ningú s'imagina una vida sense llum, però per aconseguir el que per nosaltres és normal i necessari ara, hi ha molta història darrera.

La Primera Revolució Industrial va aportar diverses novetats a tota la societat, destacant millores sense precedents com ara la llum elèctrica, el gas i el transport, gràcies als invents de la màquina de vapor i la pila elèctrica. Aquests canvis a nivell tecnològic van permetre que la societat fes també un canvi de mentalitat i una millora de la qualitat de vida. Durant la Segona Revolució Industrial, al voltant de l'any 1870, es descobreixen noves fonts d'energia més enllà del carbó, com ara l'electricitat entesa com a ús per a la humanitat, i el petroli, apareixent doncs els primers motors de combustió. A continuació veiem a la Figura 2.1 una imatge representativa d'un procés de fabricació durant la Revolució Industrial.

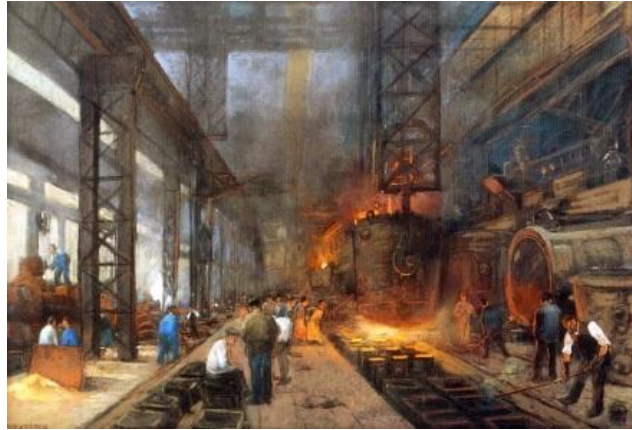


Figura 2.1. Il·lustració de producció referent a la Revolució Industrial.

Font: <http://sobrehistoria.com/todo-sobre-la-revolucion-industrial/>

L'Electricitat va provocar una gran millora a la qualitat de vida, ja que va aparèixer l'enllumenat als carrers. Poc més endavant es va construir la primera central hidroelèctrica als Estats Units, com podem observar a continuació a la Figura 2.2. Poder crear electricitat a partir d'algun procés utilitzant elements o sistemes al nostre abast va ser un dels descobriments més importants de tota la història.



Figura 2.2. Primera central hidroelèctrica, Wisconsin.

Font: <http://www.hidroenergia.net>

És a partir d'aquell moment que comença una evolució del subministrament d'electricitat tant per a la vida quotidiana dels ciutadans com per a les indústries que augmentaran el seu rendiment exponencialment.

Avui dia ningú concep la vida sense milers d'indústries que fabriquin tot el que necessitem. Però rarament la gent pensa en què necessiten aquestes fàbriques per a donar-nos-ho. És per això que aquest treball també servirà per agafar consciència del que costa aprovisionar una fàbrica d'electricitat durant un any sencer.

L'energia no és una necessitat només de l'ésser humà, sinó que tots els éssers vius requereixen d'algun tipus d'energia per a poder complir el seu cicle vital, incorporant nutrients al seu organisme, ja sigui alimentant-se o mitjançant la fotosíntesis. En qualsevol dels casos, l'objectiu és que les cèl·lules s'alimentin i es puguin reproduir. Com a resum, podríem dir que **tot** necessita Energia per a poder produir una **acció**.

2.2 NECESSITATS I CONSUMS

Abans de començar a descriure els tipus d'energia més freqüents avui dia, contextualitzarem els nivells energètics consumits a nivell mundial. A continuació presentem un mapa (Figura 2.3) en què es pot apreciar mitjançant un codi de colors quines són les regions que més energia elèctrica per càpita consumeixen en tot el món.

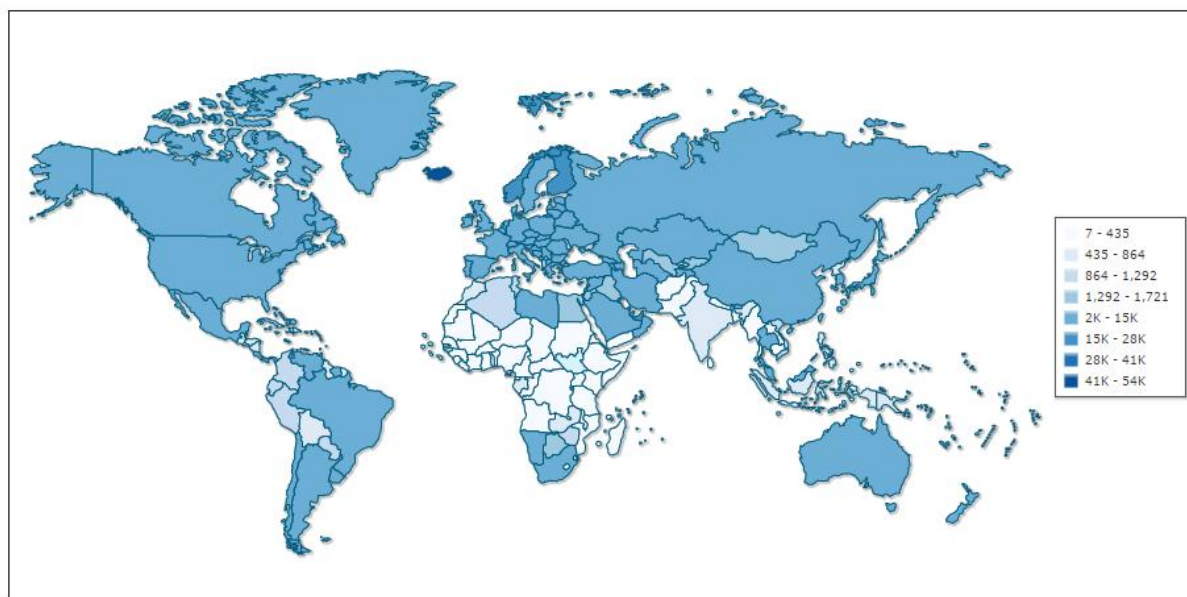


Figura 2.3. Mapa mundial amb consums anuals energètics per càpita.

Font: CIA World Factbook, Gener 2014.

Veiem que els països del nord d'Europa són els qui consumeixen més energia elèctrica per càpita anualment, sent els del continent africà els menys consumidors. El consum d'Espanya ronda els 5,23 kWh per persona i any (posició 40), mentre que el d'Islàndia és de 51,14 kWh per persona i any (posició 1). D'altra banda, si analitzem l'estudi equivalent per a la generació d'energia elèctrica, el resultat és el següent, tal i com es presenta al següent gràfic de barres (Figura 2.4).

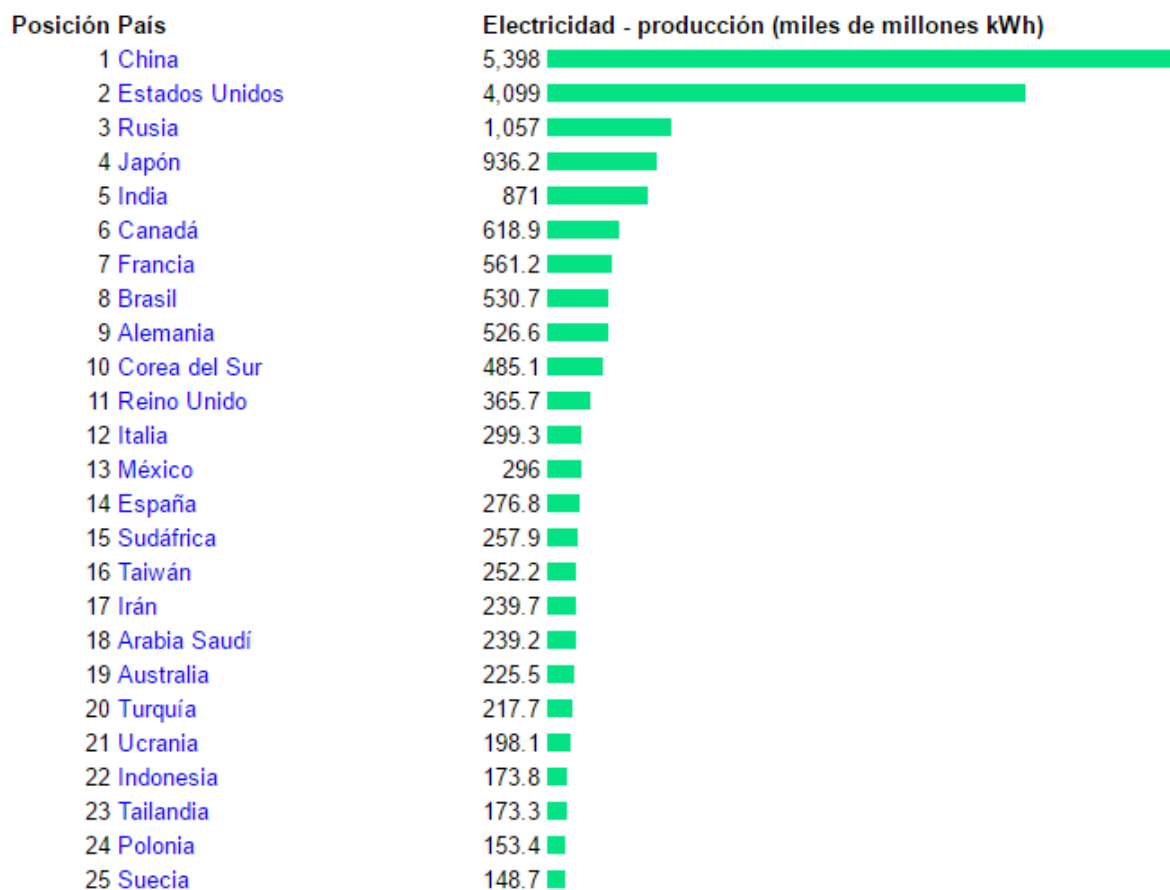


Figura 2.4. Diagrama de barres referent als països amb més generació d'energia elèctrica.

Font: CIA World Factbook, Gener 2014.

Pel que fa a consums més propers al nostre dia a dia, donarem algunes dades que puguin ajudar a fer-nos una idea de les quantitats de què estem parlant. Un habitatge a Espanya consumeix, de mitjana, 9.922 kWh l'any. Això es tradueix en uns 990 €/any en energia. En aquest treball, però, ens centrarem en els consums industrials i la compra de l'energia anual. Més endavant es farà una petita comparativa entre els preus que han de pagar les empreses per a abastir les seves fàbriques i els preus que hem de pagar els usuaris per als nostres consums familiars.

Seguint amb la informació sobre el món de l'energia, en el gràfic següent (Figura 2.5) hi podem veure el flux d'energia en centrals elèctriques:

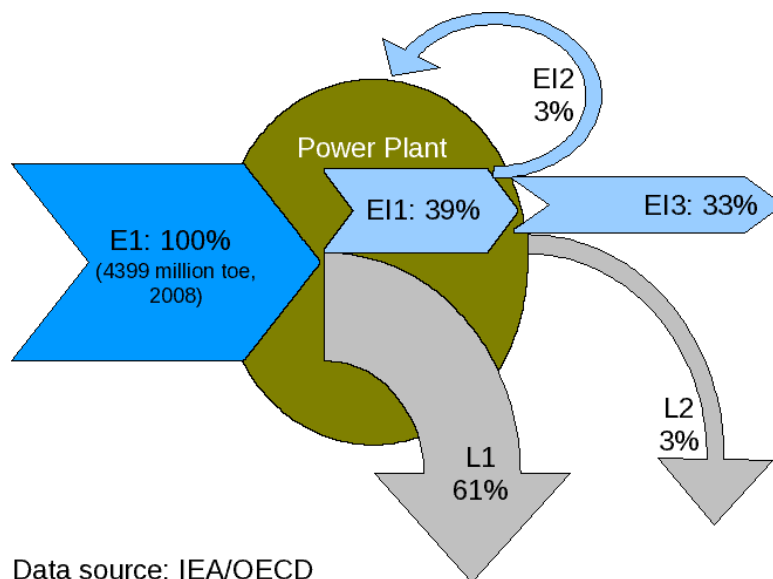


Figura 2.5. Diagrama de flux de l'energia elèctrica generada/consumida al 2008. E1: energia utilitzada, E2: ús intern, E11: energia elèctrica generada, E13: energia elèctrica per a consum final, L1: Pèrdues en processos, L2: Pèrdues en transmissions

Font: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19217550>

Veiem doncs la quantitat d'energia que necessitem i consumim, i a la vegada el percentatge de l'energia generada que podem consumir. Aquesta secció de contextualització té la intenció de conscienciar al lector d'aquest treball de la importància que té l'energia elèctrica, les dificultats que presenta aconseguir-la de manera regular i poc perjudicial per al planeta i els recursos de què disposem ara mateix. És precisament per això que la compra d'energia elèctrica té un pes tan important en una empresa que necessiti una gran quantitat de subministrament. Valorarem, per tant, la vessant econòmica d'aquesta decisió, objectiu principal d'aquest projecte.

2.3 TIPUS D'ENERGIA

Així com les persones necessitem energia per tal de poder funcionar, amb els dispositius tecnològics passa exactament el mateix. És necessari aportar-los diferents tipus d'energia (font d'alimentació) per al seu consum i que es pugui traduir en un esforç que ens sigui útil i profitós. És quan ens referim a la font d'alimentació dels dispositius quan podem parlar d'energia elèctrica. L'energia que alimentarà els nostres dispositius pot tenir diferents orígens que coneixem actualment, els més coneguts dels quals destacarem a continuació:

- Energia Tèrmica

Aquesta energia es basa en les vibracions de les partícules que varien amb la temperatura. Es comporta de manera proporcional amb la temperatura: com més alta sigui la temperatura, més moviment tindran les partícules que constitueixen la matèria, i consegüentment més energia. Aquesta energia tèrmica es transportarà en forma de calor, ja sigui per conducció (contacte entre dos cossos), per convecció (cos-fluid) o per radiació (cossos sense contacte, mitjançant l'espai entre ells).

- Energia hidràulica

Quan parlem del terme *hidràulic*, ens estem referint a tot allò que es mou mitjançant un fluid. Així doncs, si parlem d'energia hidràulica, parlem d'extreure energia a partir del moviment de l'aigua. És una de les energies més rendibles i ecològiques avui dia, presentant una eficiència molt elevada juntament amb un manteniment de les centrals hidroelèctriques molt baix.

- Energia elèctrica

A diferència de l'energia tèrmica, aquest tipus d'energia es basa en el moviment de les càrregues elèctriques per l'interior dels materials conductors. La traducció d'aquest moviment pot ser lumínica, tèrmica o magnètica.

- Energia hidroelèctrica

És, avui dia, la més important de les energies renovables comercialitzades i, segons l'EIA (Energy Information Administration), agència d'energia del Departament d'Energia del Govern dels Estats Units, genera 3.119TWh l'any (2008), equivalent al 16,33% de l'electricitat mundial. Les centrals hidroelèctriques proporcionen més del 50% de l'electricitat

a 43 països.¹ El procés d'obtenció d'energia es basa en els salts d'aigua creats pels embassaments, els corrents dels rius, convertint aquesta energia en electricitat mitjançant turbines.

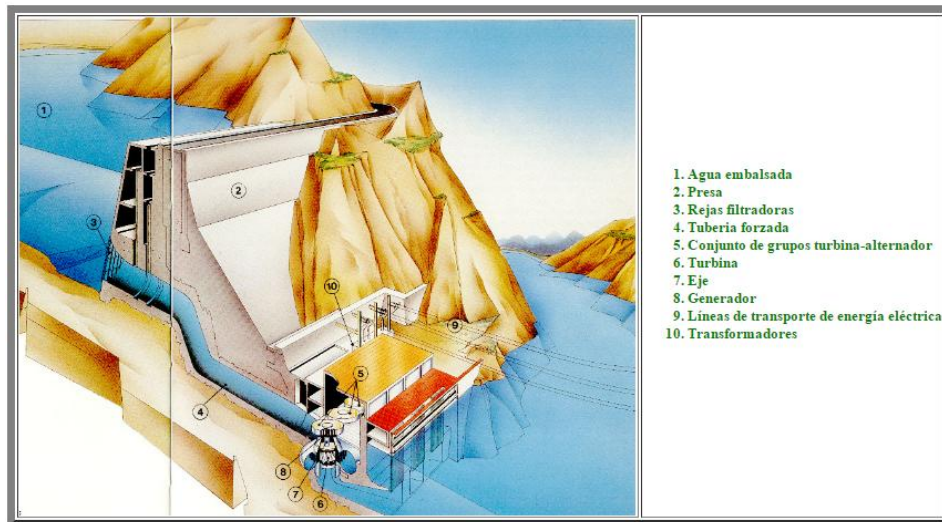


Figura 2.6. Esquema d'una central hidroelèctrica.

Font: Centre Informàtic Científic d'Andalusia (CICA)

- Energia solar

És una de les energies amb més potencial i l'energia a partir de la qual apareixen moltes altres energies renovables. És per això que tot i no ser l'energia renovable més important, l'energia obtinguda directament del Sol té un pes important. En deriva, per exemple, l'energia fotovoltaica, obtinguda per mitjà de semiconductors (anomenats cel·les fotovoltaïques) que amb l'excitació provocada per la llum, donen lloc a una petita diferència de potencial entre els seus extrems, permetent així la generació d'energia elèctrica.

- Energia eòlica

Una de les primeres aplicacions de l'energia eòlica va ésser la navegació a vela, fa milers d'anys, per a obtenir directament energia mecànica. Avui dia, l'energia que és generada és bàsicament elèctrica, tot i que la seva rendibilitat és, de moment, insuficient.

Per finalitzar aquesta secció descriptiva sobre l'entorn energètic, es presenten dues gràfiques que ajudaran a entendre l'estructura i les fonts energètiques. En la Figura 2.7 veiem un diagrama acompanyat de fletxes que ens mostren el procés que segueixen les

1 Dades numèriques extretes del llibre Recursos energètics i crisi, de Carles Riba Romeva.

matèries primeres i en què es veuen materialitzades més endavant. En la Figura 2.8, d'altra banda, podem veure quins països consumeixen més energies provinents de matèries primeres (gas natural, petroli, carbó...), mostrant-nos un diagrama de barres amb un codi de colors i la seva llegenda corresponent.

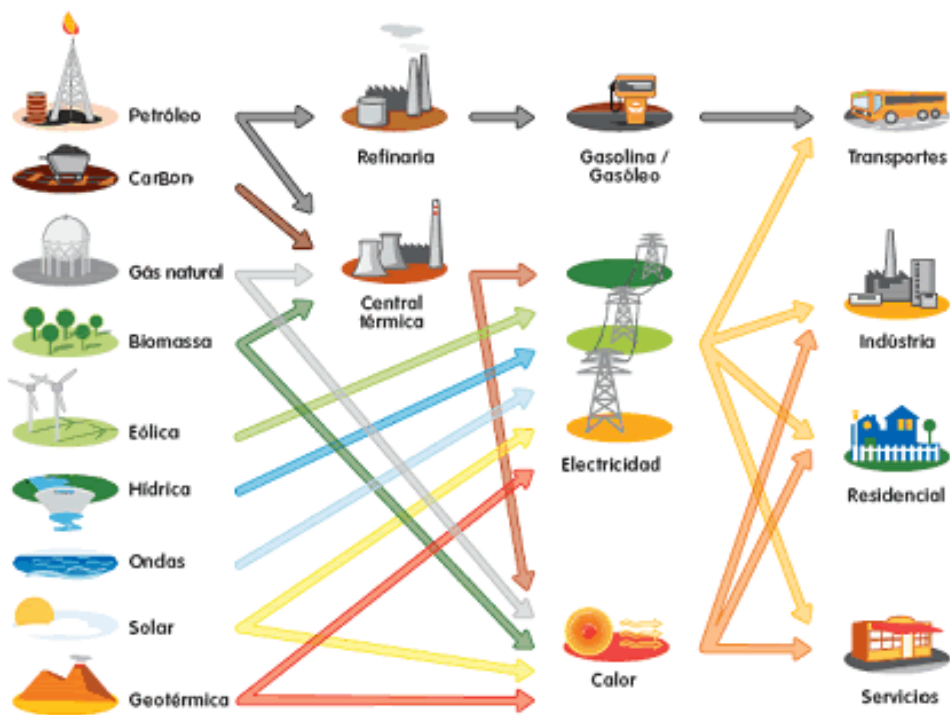


Figura 2.7 Diagrama de flux de l'energia.

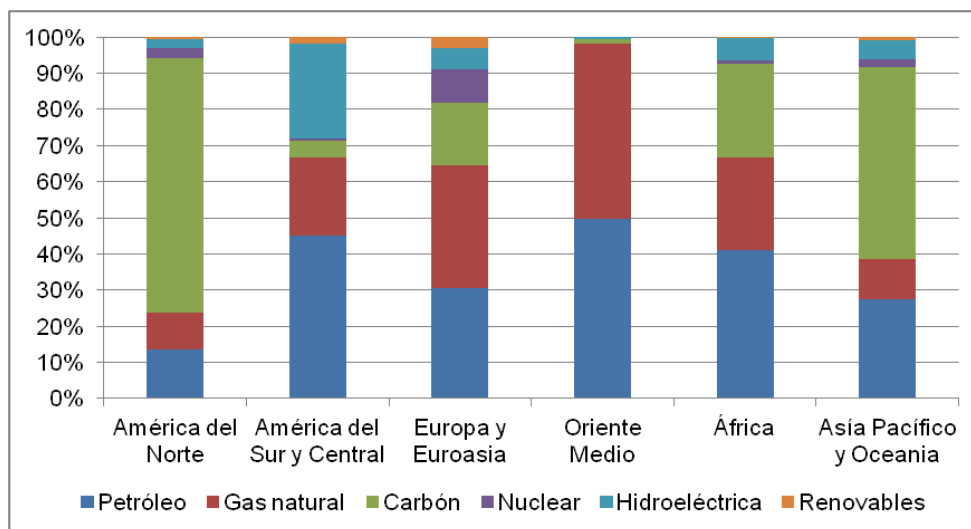


Figura 2.8 Distribució del consum d'energia primària al món segons les fonts, 2011.

Font: B.P Statistical Review of World Energy

2.4. EL MERCAT ENERGÈTIC

Abans d'entrar en la matèria que ens ocupa pel que fa a l'anàlisi de dades, és necessari fer una petita recerca sobre el funcionament del mercat energètic. Actualment, una part molt petita de la població té coneixement sobre com funciona aquesta venda d'energia a gran escala. És per això que recorrerem a pàgines web, articles i llibres que ens facilitin aquest aprenentatge.

2.4.1 MERCAT IBÈRIC D'ELECTRICITAT

El MIBEL és el Mercat Ibèric d'Electricitat, que neix de la fusió d'iniciatives tant del govern espanyol com del portuguès, traduint-se en un mercat intern d'electricitat. Els objectius principals del MIBEL són²:

- Beneficiar els consumidors d'electricitat d'ambdós països mitjançant el procés d'integració dels respectius sistemes elèctrics.
- Estructurar el funcionament del mercat d'acord amb uns principis de transparència, lliure competència, objectivitat, liquiditat, autofinançament i una capacitat autònoma d'organització.
- Afavorir el desenvolupament del mercat d'electricitat d'ambdós països amb l'existència d'un preu de referència únic per a tota la península ibèrica
- Permetre a tots els participants el lliure accés al mercat en condicions d'igualtat de drets i obligacions, transparència i objectivitat.
- Afavorir l'eficiència econòmica de les empreses del sector elèctric, promovent la lliure competència entre elles mateixes.

Aquesta fusió de mercats va néixer l'any 2001 amb la firma d'un protocol anomenat "*Protocolo de Colaboración entre las Administraciones española y portuguesa para la creación del Mercado Ibérico de Electricidad*". Va ser llavors quan varen començar totes les negociacions que van dur a terme el que avui és la plataforma de compra d'energia elèctrica d'ambdós països.

2 Extrets de la seva pàgina web oficial; <http://www.omip.pt/OMIP/MIBEL>

Per a la integració dels dos països al funcionament del mercat, es van preveure dos 'pols' responsables de la gestió dels mercats:

- OMIEL: responsable de la gestió del mercat diari
- OMIP: responsable de la gestió dels mercats per terminis

Després de diverses revisions financeres i discussions polítiques per a acabar de perfilar aquest acord de caire tan important i transcendental, el mercat entra en funcionament juny del 2003.

2.4.2 MERCAT DE DERIVATS. L'OMIP

Pel que fa a la confecció d'aquest treball, les dades extretes són de l'OMIP, ja que és el que ens permet fer una compra de preus a futurs. Concretament, ens centrarem en la compra d'energia elèctrica per a un any sencer n , ja sigui comprat l'any $n-1$, $n-2$ ó $n-3$. Resumirem també, doncs, els objectius que ens indica la pròpia pàgina web de l'OMIP:

- Contribuir al desenvolupament del mercat ibèric d'electricitat
- Promoure preus de referència ibèrics
- Facilitar als clients instruments eficients de gestió de risc

Així doncs, podem entendre l'OMIP com a un gestor per a la compra d'energia elèctrica que permetrà una estabilitat i una regularització dels preus, permetent-nos així mateix visualitzar un desenvolupament i una evolució dels preus al llarg dels dies. L'OMIP farà una admissió dels participants a aquesta plataforma, definirà els contractes que es facin efectius, registrarà totes les accions que tinguin lloc, supervisarà el mercat, actuarà com a jutge i sancionador dels membres, i publicarà informació rellevant del mercat.

Altres aspectes que hem de tenir en compte del funcionament del l'OMIP:

- Totes les accions són anònimes
- La cotització és de dilluns a divendres

3. DESCRIPCIÓ DEL PROBLEMA I DE LES DADES

En aquest apartat farem un aprofundiment de l'explicació de les dades feta a la introducció. Veurem amb més detall quins són els conjunts de dades amb què tractarem, així com les seves característiques més destacables. També plantejarem novament el problema presentat a l'inici del treball, on més endavant es proposaran metodologies per a la seva resolució.

La pàgina web oficial de l'OMIP ens ofereix, diàriament, quin és el preu pel qual es pot tancar l'energia per a diferents períodes. Per exemple, podem saber cada dia què ens costaria comprar tota l'energia de l'any següent, tant quadrimestralment com de manera global. També ofereix els preus de l'energia per setmanes i inclús diàriament, però en aquest treball la dada que ens interessarà serà la de comprar l'energia de tot un any sencer (ja sigui a un o dos anys vista).

Per a l'agrupament de les dades, el mètode que s'ha considerat més lògic i fidel a les dades és el d'adjudicar la setmana 1 al primer dia de l'any (ja sigui 1 o 4 de gener). A partir d'allà anar avançant i agrupant les dades de 5 en 5 fins arribar a les 50 setmanes anuals. En primera instància es va valorar l'opció de respectar cada any les setmanes que tenia, però per a la comparativa comportaria diverses dificultats, sobretot a l'hora de contrastar valors amb els de l'any anterior de la mateixa sèrie. Així doncs, comptem amb **anys de 50 setmanes**, assumint que la darrera setmana pot ser que tingui més o menys de 5 dies, ja que agruparà l'últim bloc de dies de l'any. Cal observar que les dades només estan cotitzades de dilluns a divendres, i a més a més tan sols els dies laborables.

Estudiarem les sèries de dades per separat, és a dir, destacarem els paràmetres de cada any cotitzat, i també farem una valoració global de la seva evolució. La idea és que en aquesta part del treball puguem començar a familiaritzar-nos amb les dades, veure entorn a quins valors fluctuen i quines característiques presenten.

Per començar, seguirem amb els gràfics que s'han mostrat a l'apartat d'Introducció i Objectius. Presentem altra vegada l'evolució del preu de l'energia elèctrica per als anys 2012 i 2013. En aquest cas els presentarem tots dos en el mateix gràfic, la Figura 3.1, solapant les dues sèries temporals. Les dates de cotització de l'energia pel 2012 són des del 01/06/2010 fins l'últim dia laborable de 2011. De la mateixa manera, l'energia per a la totalitat de l'any 2013 es pot comprar des del primer dia laborable de gener del 2011 fins el 27/12/2012. Els preus aniran variant a mesura que avanci el temps, tal i com podem veure reflectit a la Figura 3.1.

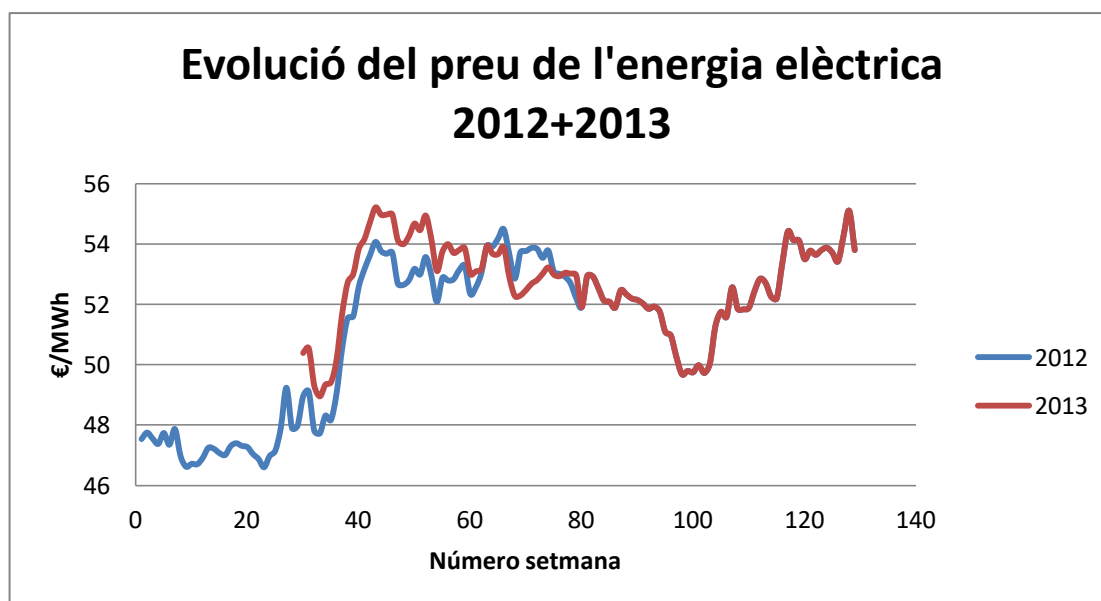


Figura 3.1 - Evolució del preu de l'energia elèctrica dels anys 2012 i 2013 durant el seu període de cotització, des del 01/06/2010 fins el 27/12/2012.

Després d'una anàlisi realitzada amb els recursos d'Estadística Descriptiva que ens ofereix *Minitab*, presentem aquesta taula (Taula 3.1) a mode de resum amb els paràmetres més representatius dels conjunts de dades.

Any	Mínim	Màxim	Rang interquartílic	Mediana
2012	46,29	54,65	5,821	52,15
2013	48,5	55,5	1,87	52,9
2014	46,35	56,5	3,7	51,1
2015	45,9	56,6	3,608	49,09

Taula 3.1- Resum dels estadístics de cada any per a les 100 setmanes.

A la Taula 3.1 hi ha estadístics que ens ajuden a descriure i comprendre el conjunt de les dades. Hi apareixen el màxim, el mínim, el rang interquartílic i la mediana, extrets de l'anàlisi feta per a 100 setmanes de cotització; és a dir, per contractar l'energia del 2013, s'ha pogut fer des del primer dia laborable de gener del 2011. Així és amb tots els casos, exceptuant el 2012 que va començar a cotitzar l'1 de juny de 2010.

Veiem doncs que les sèries són realment semblants tot i tractar-se d'anys diferents. És a dir, que durant el mateix període de temps en què hi ha la cotització al mercat d'anys diferents, el preu que presenten no és exactament el mateix, però sí que segueix bastant la mateixa

tendència. Així doncs, potser serà interessant ajuntar totes les dades i buscar un comportament general per a poder-lo adaptar a la cotització de l'any que ens interessi. Presentem precisament aquest gràfic a la Figura 3.2.

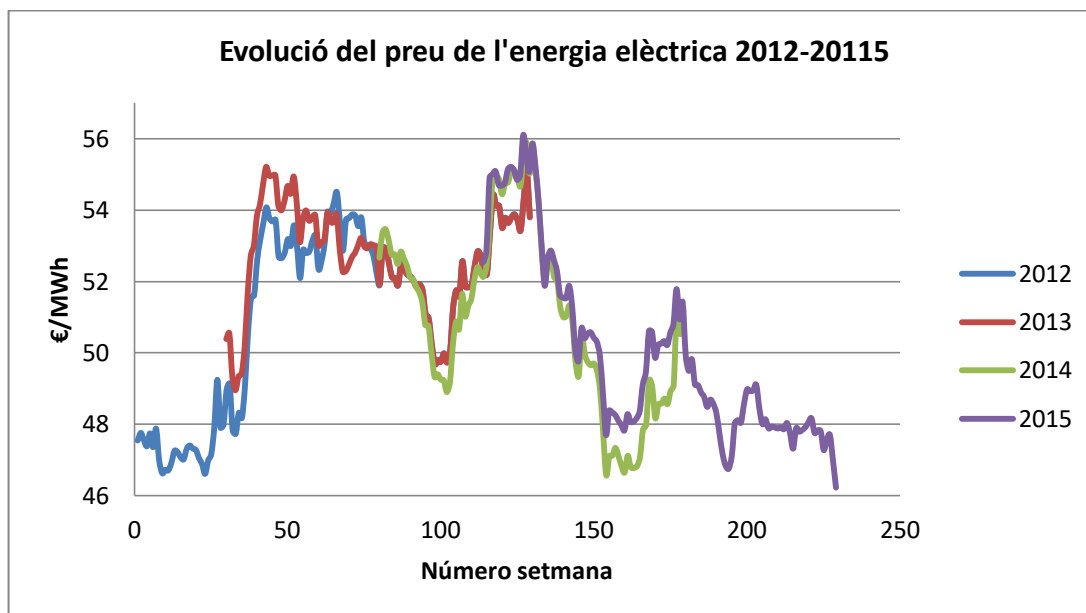


Figura 3.2 - Evolució solapada del preu de l'energia elèctrica dels anys 2012, 2013, 2014 i 2015 durant el seu període de cotització, des del 01/06/2010 fins el 29/12/2014.

Un cop hem plantejat aquest gràfic solapant les cotitzacions per a 4 anys diferents, ens adonem que hi ha certa correlació entre les diferents gràfiques. Veiem com a la zona on es solapen les sèries, els comportaments són molts semblants. Així doncs, més endavant en el treball, buscarem un model particularitzat per a cada any cotitzat i, a més a més, un model que ens sigui útil de manera global. Per a la realització d'aquest model, s'utilitzaran les dades de les 50 últimes setmanes de cotització per a cada any. És a dir, tot el 2011 per als preus del 2012, tot el 2012 per a les dades del 2013... i així successivament fins arribar a l'any final. Mostrem a continuació, a la Figura 3.3, les dades amb què es crearà aquest model global.

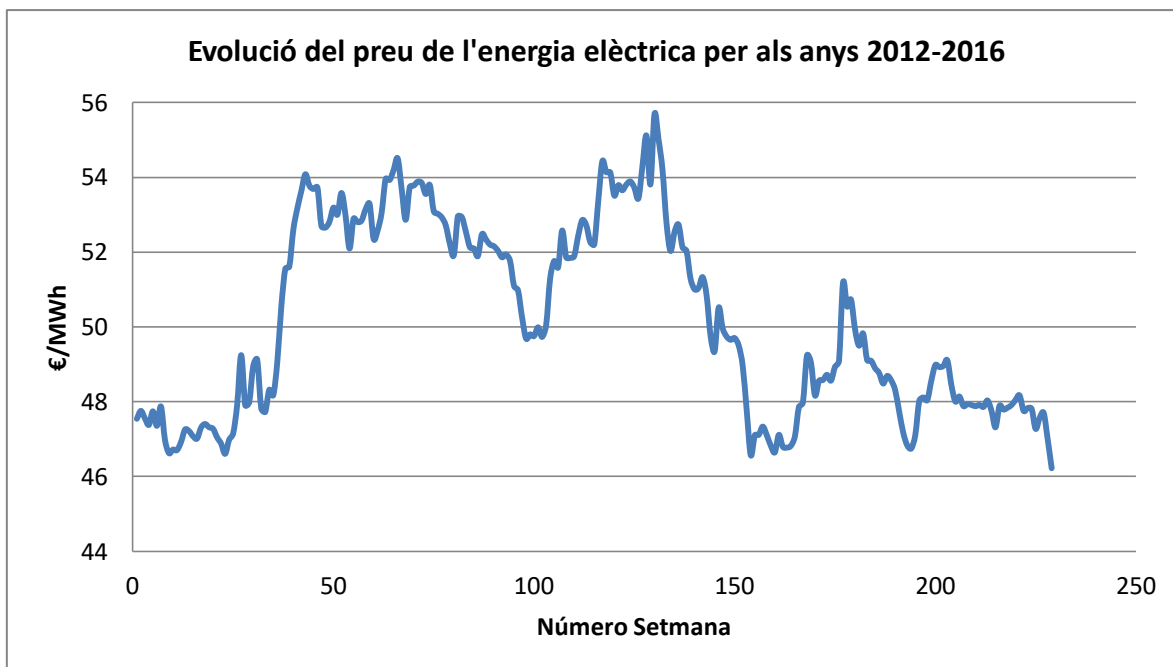


Figura 3.3 - Evolució sense solapar del preu de l'energia elèctrica dels anys 2012, 2013, 2014 i 2015 durant el seu període de cotització, des del 01/06/2010 fins el 29/12/2014.

Però quin és el moment idoni per a comprar l'energia per a tot un any sencer? És aquí on haurem de fer diferents estudis per a poder arribar a una resposta. Presentarem una sèrie de models i estratègies que ens permetin tractar amb diferents escenaris i que, ajuntant totes les eines, es pugui traduir en una presa de decisió.

A continuació presentarem la proposta per a la resolució de la problemàtica que presenten les dades i la necessitat de prendre una decisió de manera anual: definirem dos **Indicadors** que ens ajudaran a saber si els resultats que estem obtenint són bons o no; plantejarem dues **Estratègies** a seguir, basades en diferents perfils que podria presentar una empresa i en comportaments generals i lògics com per exemple no comprar si es preveu una baixada de preus; i finalment plantejarem tres **Models** estadístics diferents que ens permetin realitzar una anàlisi. Per a cada combinació Model-Estratègia, obtindrem dos Indicadors que ens permetran veure quin ha estat el resultat obtingut, i en podrem quantificar el benefici.

Tal i com hem anunciat anteriorment al punt 2.2, ara tenim prou informació com per fer una comparativa entre els preus que paguem nosaltres com a usuaris per tenir electricitat a casa nostra i els preus pactats entre les companyies elèctriques i les empreses que han d'alimentar les seves fàbriques. Avui dia, el preu mitjà de l'energia elèctrica que consumim

com a usuaris al nostres habitatges, ronda els 0,14403€/kWh³. No obstant, si iguaem les unitats per tal de poder comparar aquests valors, el preu mitjà durant els anys 2011-2015 per a les empreses que la volen comprar amb aquest sistema ha estat de 0,051€/kWh.

Seguint amb l'anàlisi descriptiva de les dades que protagonitzen el projecte, presentem també la Taula 3.2, que és una taula anàloga a la Taula 3.1, però centrada en les setmanes que ens seran de més utilitat al llarg del treball: les últimes 50. Generalment, les empreses que valoren l'opció de tancar un preu fix anual per a l'energia elèctrica, fan un plantejament a un any vista. És per això que s'ofereixen també les dades que fan referència tan sols a les últimes 50 setmanes cotitzades. Podrem veure quina variabilitat hi ha en aquest període de temps en què la decisió es pot fer efectiva. Així, per exemple, l'energia del 2012 es podia comprar en un rang de preu que va de 47,72 a 54,50 en funció de la setmana

Any	Mínim	Màxim	Rang interquartílic	Mediana
2012	47,72	54,50	1,373	52,99
2013	49,68	55,11	1,684	52,20
2014	46,57	55,68	3,427	49,28
2015	46,22	49,20	0,842	47,96

Taula 3.2 - Resum dels estadístics de cada any per a les últimes 50 setmanes.

Com es tractarà més endavant, també ens interessarà saber si hi ha algun tipus de relació amb període anual; és a dir, si hi ha algun patró que es repeteixi d'un any a l'altre. A continuació trobem la Figura 3.4, on s'hi troben 4 diagrames de caixa corresponents a l'evolució del preu cotitzat per setmanes durant les últimes 50 setmanes de cadascun dels anys que estudiarem (2012, 2013, 2014 i 2015). Cada diagrama de caixa ha estat creat a partir de totes les dades diàries de què es disposen, agrupant-les setmanalment de manera que el propi diagrama ens permet veure la variabilitat de cada setmana a la vegada que la seva evolució temporal. A nivell descriptiu no hi trobem cap patró que es mostri una clara estacionalitat, però ho avaluarem formalment més endavant en aquest projecte.

³ Informació extreta de la pàgina web oficial d'ENDESA; <https://www.endesaclientes.com/precio-luz-pvpc.html>

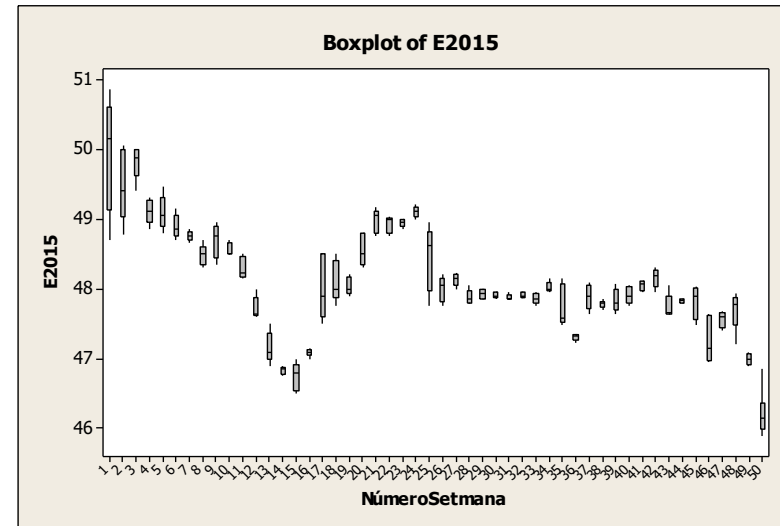
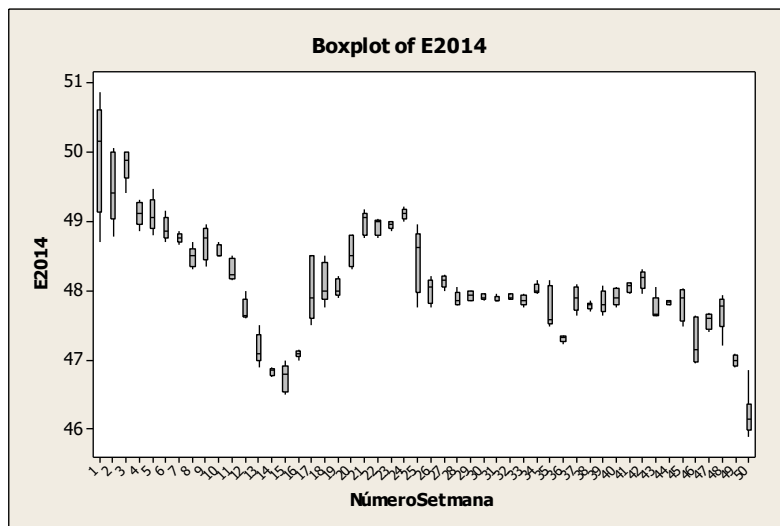
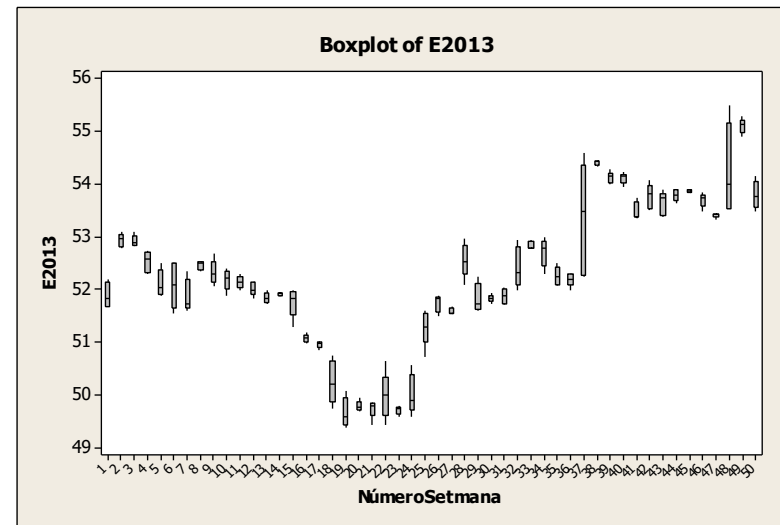
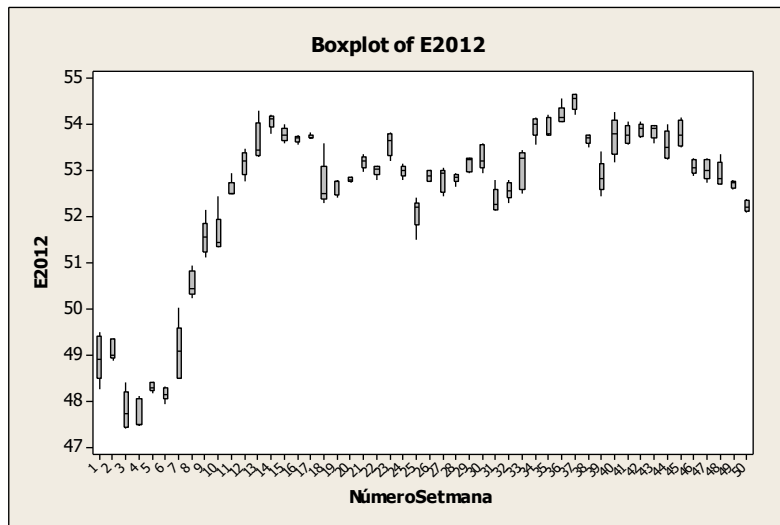


Figura 3.4 – Gràfics de caixa per als anys 2012, 2013, 2014 i 2015.

Com bé sabem, les dades rarament depenen d'una sola variable, sobretot quan fem referència a valors de mercat. Així doncs, a continuació provarem de buscar diversos factors que puguin influir (significativament o no) en el valor esperat de la nostra resposta d'estudi, el preu de l'energia elèctrica. Ens plantejarem, doncs, què pot fer variar aquest valor de l'estudi principal i amb quin impacte.

Una de les temàtiques que generalment va associada a l'energia és **el Petroli**. El petroli és la font d'energia que ha tingut més pes durant dècades, convertint-se en una matèria primera valuosa en tots els sentits. Avui dia, tot i la creixuda de les energies renovables, segueix sent un element important a nivell energètic i econòmic. S'ha decidit d'incloure el preu del petroli com a variable d'estudi degut a la seva aparent relació, a més a més de la facilitat per trobar i emmagatzemar valors de mercat diaris d'aquesta matèria primera.

Com que el preu de l'energia elèctrica té un comportament molt semblant a un mercat econòmic, també s'ha volgut incloure a l'estudi com a variable el valor de **l'Euríbor**. Veurem doncs si l'energia elèctrica també cotitza en relació als mercats econòmics més enfocats a les entitats bancàries. A més a més, s'afegeix la possibilitat que un cop decidit el moment de compra de l'energia elèctrica per a tot l'any següent, cada empresa estableixi un contracte diferent amb la seva companyia elèctrica. Aquests contractes, normalment, estan molt lligats als interessos bancaris i a diferents índex que valoren la facilitat o dificultat de realitzar un pagament. Així doncs, existeix la possibilitat que el valor de l'Euríbor sigui algun tipus d'indicador que ens aportí informació per a la nostra variable d'estudi.

Pel que fa a aquestes dues variables, cal comentar que per al petroli sí que s'ha aconseguit trobar una periodicitat diària del valor del mercat, així que ha estat tractat de la mateixa manera que el preu de l'energia elèctrica. S'ha fet un agrupament setmanal anàleg al que s'ha comentat anteriorment. Per a l'Euríbor, però, l'elecció ha estat una mica diferent. Hi ha diferents valors per a l'Euríbor en funció de si el retorn del préstec ha de ser a una setmana, a un mes, a 6 mesos o a 12 mesos. En aquest treball s'ha escollit, igual que se'n podria haver escollit qualsevol altre, l'Euríbor a un any. Aquest període temporal és el que s'ha considerat més lògic, ja que generalment estarem parlant d'unes quantitats econòmiques molt importants, i el preu pactat per a la compra de l'energia elèctrica és anual. La dada, però, no és diària com les altres; ni tan sols setmanals. L'Euríbor es presenta de manera mensual, de manera que s'ha fet encaixar amb les nostres dades anteriors, repetint el mateix valor mensual 5 vegades per a representar cada setmana. Presentem a continuació a la Figura 3.7 l'evolució temporal de l'Euríbor al llarg dels 4 anys.

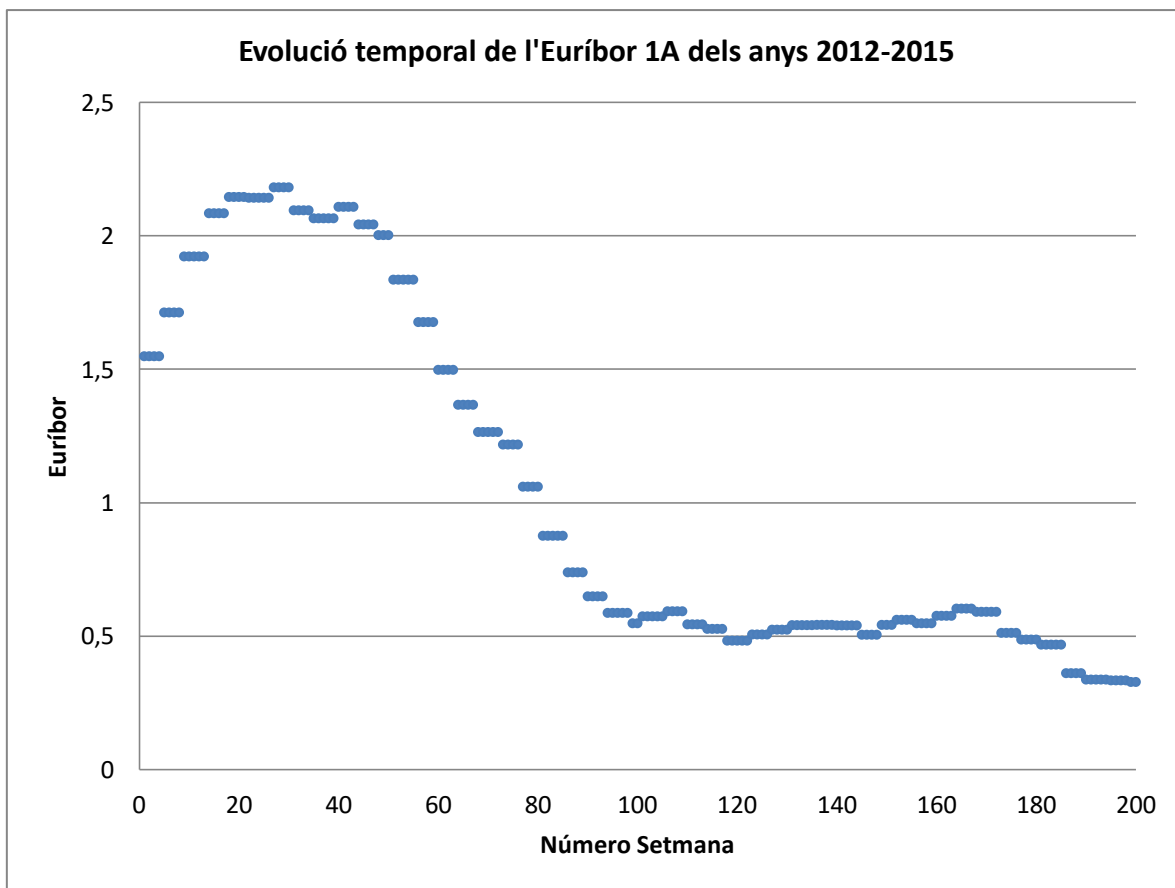


Figura 3.7 – Gràfic de l'evolució temporal del l'Euríbor durant els anys 2012, 2013, 2014 i 2015.

Finalment, a la Figura 3.8 hi mostrem una evolució de les 3 variables que tindran una importància en aquest estudi estadístic: el preu de l'energia elèctrica com a protagonista, el preu del petroli i l'euríbor a un any. Pel que fa al gràfic de la Figura 3.8, cal destacar que les dades de l'euríbor s'han reescalat per tal de poder visualitzar les tres sèries en la mateixa gràfica.

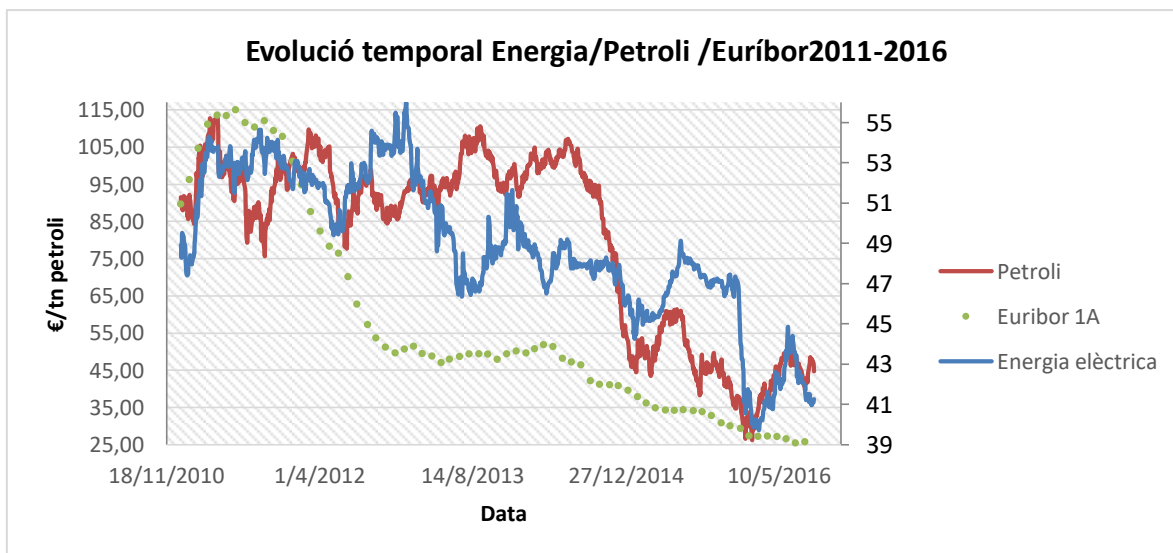


Figura 3.8 – Gràfic de l'evolució temporal del preu de l'energia elèctrica, del petroli i de l'Euríbor durant els anys 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 i 2016.

De la mateixa manera que s'han triat el petroli i l'euríbor, s'han contemplat diferents variables que presentessin una possibilitat de mostrar una relació amb la nostra variable d'estudi. Aquestes variables, finalment, no han passat de l'estat de candidates, impedit doncs comprovar l'existència d'aquesta relació. Algunes d'aquestes variables que, més endavant es podrien incloure a l'estudi amb la mateixa estructura són el clima, l'impost sobre electricitat, el preu del carbó, alguna decisió política, etc.. Obrim d'aquesta manera una porta per a la introducció de noves variables que sens dubte enriquiran el nostre estudi a l'hora d'aportar informació per a la presa de decisions.

4. PLANTEJAMENT PER A LA RESOLUCIÓ DEL PROBLEMA

“Life is 10% what happens to you and 90% how you react to it.”

Charles R. Swindoll

Un cop entesa la problemàtica de la situació, ens disposem plantejar una resolució per tal d'oferir diferents eines per a poder prendre la decisió de comprar l'energia elèctrica per a tot l'any següent en el moment més adequat. Per exemple, si la nostra intenció és comprar energia per a tot l'any 2013, decidir en quin moment del 2012 tanquem el preu. Presentarem en aquest apartat dos **Indicadors**, dues **Estratègies** i tres **Models**. Els models ens serviran per estudiar com es comporta el preu de l'energia elèctrica, i així poder entendre el mercat i tractar de fer-ne una predicció. Les estratègies seran un conjunt de regles de decisió que, a partir de la informació que ens aporten els models, ens permetran decidir de manera inequívoca si hem de comprar o no. Finalment, els indicadors ens oferiran una quantificació d'aquesta decisió que hem pres, i la comparará amb la millor que podríem haver pres.

4.1 INDICADORS

Com sabrem, un cop presa la decisió de comprar l'energia elèctrica per a tot l'any següent, si la decisió ha estat encertada? En aquest apartat crearem uns indicadors que més endavant ens serviran per a valorar la decisió prèviament presa. Presentem a continuació els dos indicadors que s'han escollit per a aquesta tasca:

$$I_1 = \frac{MAX-Preu}{MAX-MIN} \times 100 \quad i \quad I_2 = \frac{Q_1-Preu}{Q_3-Q_1},$$

On *MAX* i *MIN* són els valor màxim i mínim pel que fa al preu de l'energia cotitzada en les darreres 50 setmanes, *Q₁* i *Q₃* en són els seus quartils u i tres respectivament, i *Preu* és el valor del mercat que cotitzava en el moment en què s'ha pres la decisió.

El primer indicador *I₁* ens aportarà informació sobre el percentatge de beneficis que hem tingut amb la decisió presa. En cas d'haver comprat pel preu quan estava al màxim, el benefici serà nul. En cas d'haver comprat amb el valor mínim, el benefici serà màxim (100).

El segon indicador I_2 ens aportarà una informació semblant a la del primer indicador pel que fa a l'existència de benefici, però afegint a més a més que només ens retornarà un valor positiu si el valor del preu que s'ha pactat per a la compra de tot l'any següent està situat en el primer 25%. A més a més, aquest segon indicador ens aporta com a valor afegit una robustesa que el primer indicador no ens pot oferir. Com que està calculat amb els quartils (1 i 3) de les darreres 50 setmanes, no està sotmès a la volatilitat del mercat, com sí que pot ser el cas del primer indicador; si el valor màxim (o el mínim) es tractés d'un moment puntual en la sèrie, allunyant-se molt del valor de la mitjana, el primer indicador es veuria molt afectat, mentre que el segon gairebé no variaria.

4.2 ESTRATÈGIES

“Art de coordinar Les accions i de maniobrar per tal d’aconseguir una finalitat”

Institut d’Estudis Catalans

A continuació es farà una breu explicació de les estratègies que s'empraran per a la presa de decisions pel que fa al moment en què es produeix la compra de l'energia per al transcurs de l'exercici següent. Aquestes estratègies han estat definides en primer lloc per sentit comú, i en segon lloc per un conjunt de factors que es consideren adequats, de manera més subjectiva que la primera. l'objectiu d'aquestes estratègies és que tots els períodes es regeixin sota les mateixes normes i el mètode sigui equivalent per a tots els casos.

Les 'normes estratègiques' que es plantegen a continuació han estat dissenyades sota els següents conceptes i llegenda:

N = Número de setmana

NO COMPRIS = Esperar per veure com reacciona la tendència. No prendre decisió de comprar.

COMPRA = Prendre la decisió de tancar un preu per a l'any següent.

ARRISCA'T = Cap de les dues anteriors és garantia de funcionament. L'usuari té a les seves mans la decisió d'arriscar-se o jugar sobre segur en funció de l'evolució del mercat d'aquell any.

T = Tendència. Pot ser positiva o negativa. Aquesta tendència serà calculada comparant el valor del preu de l'energia de la setmana actual amb el valor predit esperat per a la setmana següent. Si el valor esperat és superior a l'actual, s'assumeix tendència positiva, $T > 0$, i viceversa.

Donat que el nombre de possibles estratègies és il·limitat, en aquest projecte en presentarem dues. En aquestes regles de decisió, no es tindrà en compte l'opció de tancar un preu abans de la setmana 25. Això és degut a que, generalment, les empreses s'esperen a veure les tendències d'aquell mateix any per veure cap on tendirà el preu final que poden acordar. Així doncs, abans de la setmana 25 (que correspon a Juny-Juliol) mai donarem l'opció de comprar. L'interval que es planteja per a diferenciar les dues estratègies és el comprès entre les setmanes 25 i 35. S'han escollit aquests dos límits ja que són els que representen el principi de la segona meitat de l'any. Una empresa més conservadora no es voldrà esperar a final d'any per comprar per si puja molt el preu, mentre que una empresa més arriscada, segurament esperarà per veure com acaba d'evolucionar el mercat.

Així doncs tindrem diferents normes que ens guiaran al llarg de l'any. La diferenciació que podem fer entre dos models estratègics A i B, resideix en la decisió presa en l'interval de les setmanes 25 a 35. Un perfil més **conservador**, preferirà comprar (COMPRA) quan, havent passat l'equador de l'any ($25 \leq N \leq 35$), la tendència puja ($T > 0$) per a evitar possibles pèrdues, deixant d'optar potser per un gran estalvi. D'altra banda, un perfil més **arriscat**, esperarà (NO COMPRIS) per veure si el preu torna a baixar i així estalviar-se més diners.

La resta de normes plantejades es regeixen per la lògica i el sentit comú. Si la tendència és negativa: no compris. Pot seguir baixant, i fins que no trobem un indicador que ens mostri que la tendència és de pujada, podem seguir estalviant diners. Si $N > 35$, és a dir, si sortim de l'interval plantejat anteriorment, el risc que es pren ja comença a ser més perillós. En aquest treball, doncs, es posarà com a norma que si estem a la setmana 36 i la tendència ens indica que els preus pujaran, COMPREM. Evidentment, si arribem a la setmana 50 i encara no hem comprat, haurem de comprar.

A la figura 4.1 que trobarem a continuació es plantegen aquests mateixos escenaris de manera més visual i entenedora mitjançant un diagrama de flux.

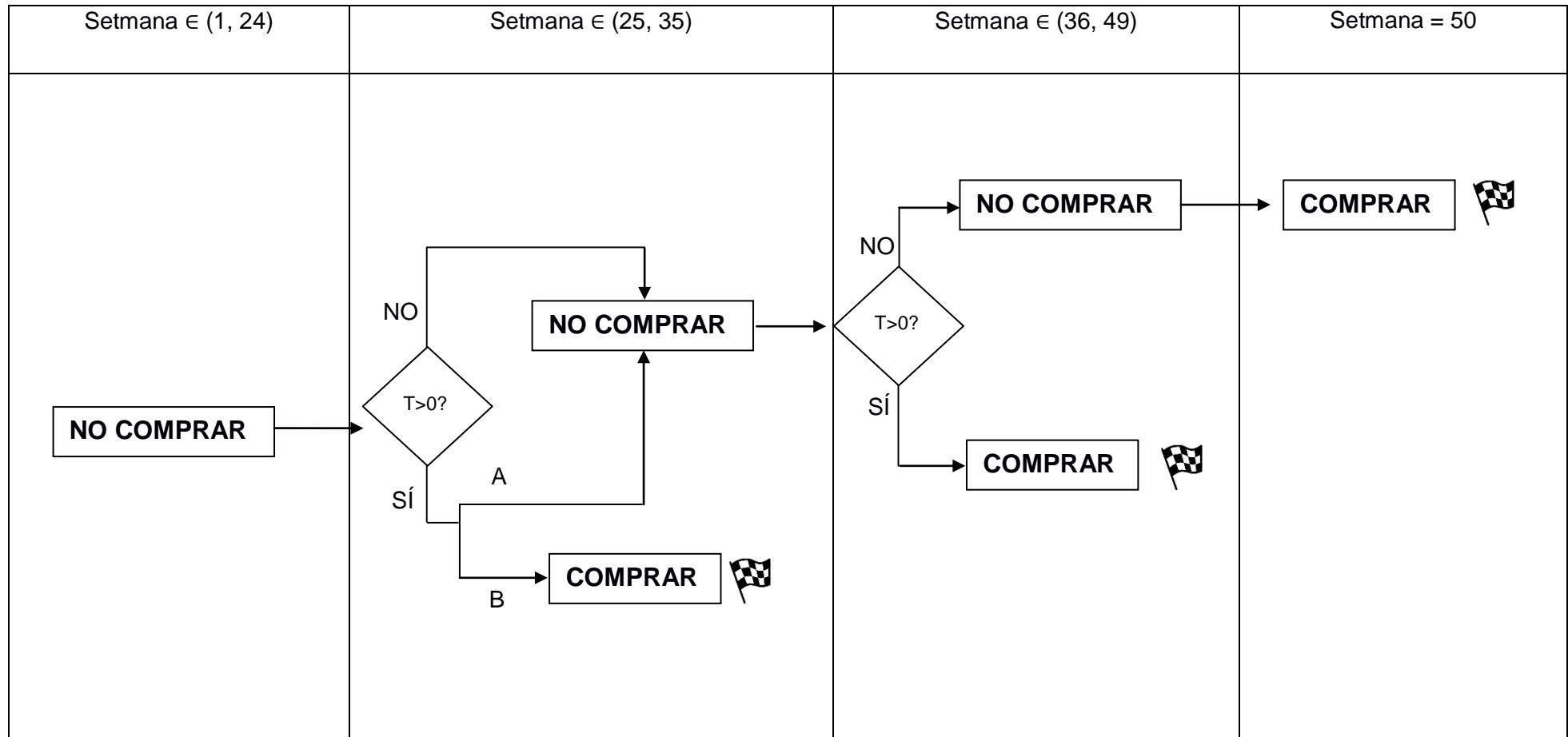


Figura 4.1 – Diagrama de flux basat en les dues estratègies plantejades. ‘A’ correspon a l’estratègia d’assumir un risc, i ‘B’ a l’estratègia més conservadora.

4.3 MODELS

Els dos apartats anteriors han servit com a presentació de les estratègies i els indicadors que es posaran en pràctica; no serà fins després d'explicar, buscar i triar els models que es veuran els resultats traduïts en un número mitjançant l'indicador.

El gruix més important de dades tractades a les assignatures d'Estadística durant el Grau han estat **Regressions Lineals**, simples o múltiples. Tanmateix, les nostres dades no presenten, *a priori*, unes característiques idònies per a què puguin ser analitzades de la mateixa manera. En el nostre cas, haurem d'explorar la via d'estudi de les **Sèries temporals**. A més a més, també es posarà sobre la taula l'opció de fer un model a partir de **Mitjanes mòbils**, que ens permetrà una altra visió del comportament de les dades.

4.3.1 SÈRIES TEMPORALS: MODELS ARMA

“Una serie temporal o cronológica es una secuencia de , observaciones o valores, medidos en determinados momentos y ordenados cronológicamente”

Wikipedia

Ens trobem amb un conjunt de dades recollides en instants equiespaiats: diàriament. La còtització del preu de l'energia elèctrica és diària en dies laborables. Per tant, serà de 5 dies a la setmana, obviant els dies festius. Com és d'esperar, la dada de cada dia depèn de l'anterior i de la tendència dels preus en les darreres setmanes. Així doncs, podem dir que les dades responen correctament a la definició de sèrie temporal. Es defineix sèrie temporal a una seqüència ordenada d'observacions d'un mateix fenomen $(X_{t_1}, \dots, X_{t_n})$ on $t_1 \leq \dots \leq t_n$, l'ordre d'arribada de les quals està definit pel temps en el qual s'ha obtingut cada una de les observacions.

Els models ARMA són els models més utilitzats a l'hora de modelar dades cronològiques. Un model ARMA parteix del supòsit que la sèrie **és estacionària**, és a dir, que la seva mitjana i la variància siguin constants. A més a més, la covariància ha de dependre únicament de la diferència temporal i no del moment on es fixa l'inici temporal. Tal i com hem comentat, per tal de poder construir un model ARMA, com farem més endavant, és necessari que es compleixi la condició que la sèrie sigui estacionària. En cas de no complir-

se algun dels requisits, s'hauran d'aplicar transformacions que ens permetin estacionaritzar la sèrie original; transformacions per exemple logarítmiques o diferencials.

Quines components té, i per tant, podem estudiar, una sèrie temporal?

- **Outliers:** definirem com a *outlier* un valor de la sèrie que difereixi molt significativament de la tendència. En cas d'existir, es valorarà si deixar-lo tal com està o si extreure'l de la sèrie per fer-ne un estudi més acurat.
- **Tendència:** es pot definir com un canvi a llarg termini que es produeix en relació al nivell mitjà, o el canvi a llarg termini de la mitjana. La tendència s'identifica com un moviment suau de la sèrie a llarg termini
- **Efecte estacional:** moltes sèries temporals presenten certa periodicitat o, dit d'una altra manera, variació de cert període (anual, mensual...). per exemple, l'atur laboral augmenta en general a l'hivern i disminueix a l'estiu. Aquests tipus d'efectes són fàcils d'entendre i es poden mesurar explícitament.
- **Component aleatòria:** un cop identificats els components anteriors i després d'haver-los eliminat, persisteixen uns valors que són aleatoris. Es pretén estudiar quin tipus de comportament aleatori presenten els residus, utilitzant algun tipus de model probabilístic que els descrigui.

Els models ARMA (p,q)

Una sèrie temporal pot presentar dependències amb períodes temporals anteriors, ja siguin dependències amb observacions de la pròpia sèrie, processos AR(p), com dependències amb variables aleatòries, processos MA(q). La modelització conjunta d'aquests dos processos donen lloc als anomenats models ARMA.

Processos AR(p)

Les observacions X_t d'una sèrie temporal poden, tal i com hem comentat anteriorment, presentar dependència directa amb períodes anteriors. Suposant que la sèrie depèn d'un nombre finit p d'observacions anteriors, l'expressió de la sèrie resultaria:

$$X_t = \phi_0 + \phi_1 X_{t-1} + \dots + \phi_p X_{t-p} + Z_t$$

On $X_{t-1} \dots X_{t-p}$ són les p observacions anteriors a X_t i Z_t és el que anomenem soroll blanc, corresponent a informació on les variables no estan correlacionades entre elles i presenten una mitjana nul·la. Així mateix, els coeficients $\phi_0, \phi_1 \dots \phi_p$ representen les constants del

model. En aquestes condicions, la sèrie rep el nom de procés Autoregressiu d'ordre p , d'on prové precisament la notació AR.

Processos MA(q)

D'altra banda, un procés també es pot caracteritzar com a procés aleatori i presentar dependències amb les q observacions aleatòries anteriors. En aquest cas, l'expressió de la sèrie resultaria:

$$X_t = \theta_0 + \theta_1 Z_{t-1} + \dots + \theta_q Z_{t-q} + Z_t$$

On $Z_{t-1} \dots Z_{t-q}$ són les q variables provinents del procés aleatori, i el vector θ són els coeficients constants de les variables Z_t . En aquestes condicions, la sèrie rep el nom de Mitjana Mòbil d'ordre q sota la notació MA(q)

Processos ARMA(p,q)

Després de presentar per separat els models Autoregressius i els models amb Mitjana Mòbil, podem parlar d'un model en què apareguin conjuntament. Una sèrie temporal que depengui de les seves observacions anteriors i, addicionalment, de variables aleatòries. Així doncs, ajuntant les dues notacions, la sèrie rep aquesta expressió:

$$X_t = \phi_0 + \phi_1 X_{t-1} + \dots + \phi_p X_{t-p} + \theta_1 Z_{t-1} + \dots + \theta_q Z_{t-q} + Z_t$$

A més a més, utilitzarem el concepte de Funció d'Autocorrelació (ACF) i Autocorrelació Parcial (PACF), on podrem veure la representació de dependència lineal entre observacions. Aquestes dues funcions ens permetran mesurar l'associació entre valors de sèries actuals i sèries passades, i a més a més, es veuran reflectits els valors anteriors que són útils per a la predicció. Utilitzarem aquestes dues funcions de manera gràfica gràcies a l'eina que ens ofereix *Minitab*, podent veure a simple vista quins són els valors adients per definir els coeficients p i q respectivament. En cadascun dels gràfics, l'eix horitzontal ens mostrarà els retards en què es calcula l'autocorrelació, mentre que l'eix vertical ens indica el propi valor d'aquesta autocorrelació.

A continuació presentem una anàlisi de la sèrie temporal per un any en concret, el 2012. En primer lloc, grafiquem les dades extretes directament de l'OMIP (Figura 4.2). Veiem que es tracta d'una sèrie molt canviant en el temps, presentat una estacionarietat nul·la (valor esperat canviant) impedint-nos veure el seu comportament. Així doncs, en aquest cas encara no podem utilitzar els models ARMA, ja que la mitjana no és constant.

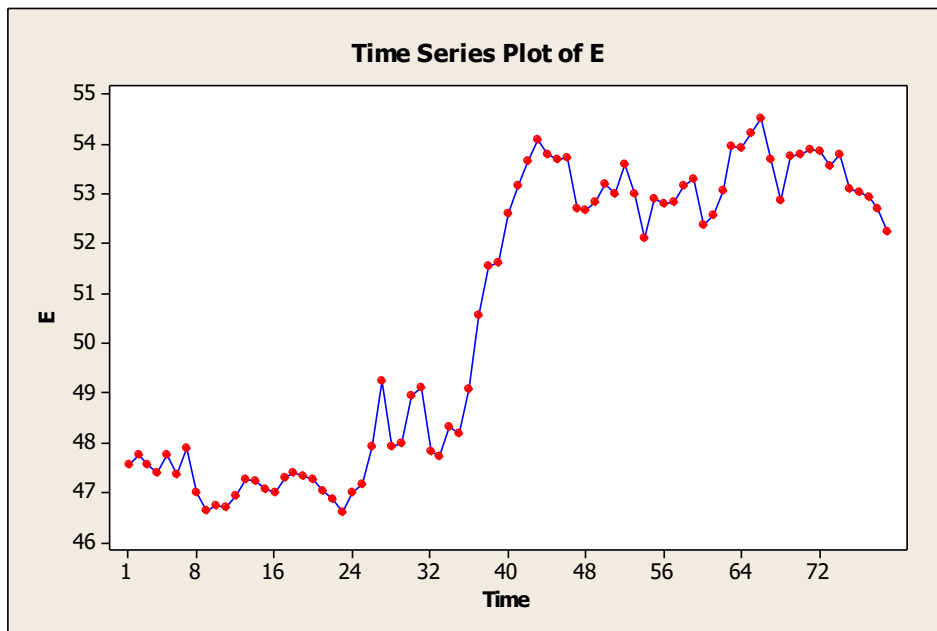


Figura 4.2. Representació temporal de la cotització del preu de l'energia de l'any 2012.

Els passos que seguirem a l'hora de tractar amb un model seran els següents:

1. Identificar el model
2. Ajustar el model
3. Validar el model
4. Fer servir el model

Com identifiquem el model? Les eines que utilitzarem per a identificar el model serà l'Autocorrelació i l'Autocorrelació Parcial (d'ara en endavant, ACF i PACF). Les grafiquem, doncs, mitjançant *Minitab*. Es mostren els resultats obtinguts a la Figura 4.3.

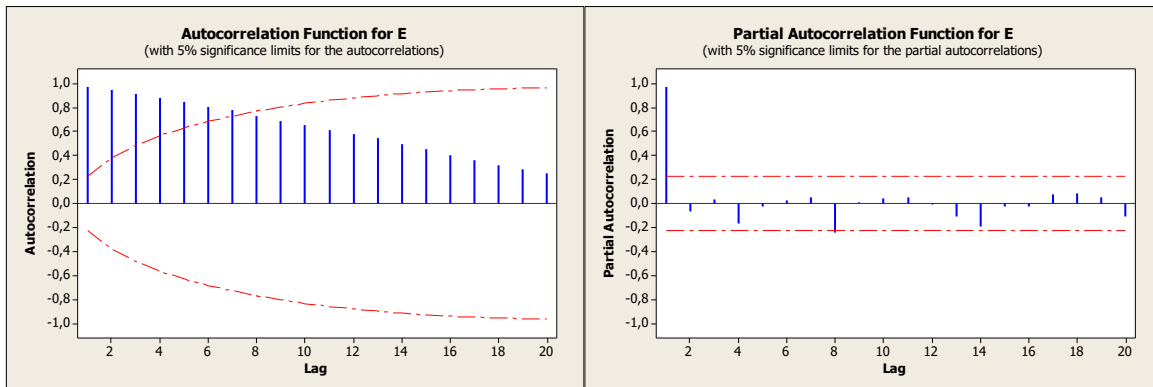


Figura 4.3. Gràfic de l'Autocorrelació i l'Autocorrelació Parcial del preu de l'energia de l'any 2012.

Si el comportament de l'ACF presentés una disminució exponencial, podríem sospitar que segueix un model AR(p), però veiem una disminució gairebé lineal. Això ens indica que no és estacionari, de manera que haurem de fer alguna transformació que ens permeti tractar amb les dades. Com que busquem que la mitjana i la variància siguin constants, un dels mètodes més comuns per a aconseguir-ho és la diferenciació. Moltes sèries temporals presenten com a curiositat el fenomen de les diferències. La **diferència regular** consisteix en fer la resta entre els valors de dues dades consecutives, perdent d'aquesta manera la primera dada. En molts casos, les sèries temporals canvien totalment el seu comportament, facilitant-ne el seu estudi.

Vegem si és aquest un dels casos. Dibuem de la mateixa manera que abans la gràfica temporal de les dades, aquesta vegada de les diferències (Figura 4.4)

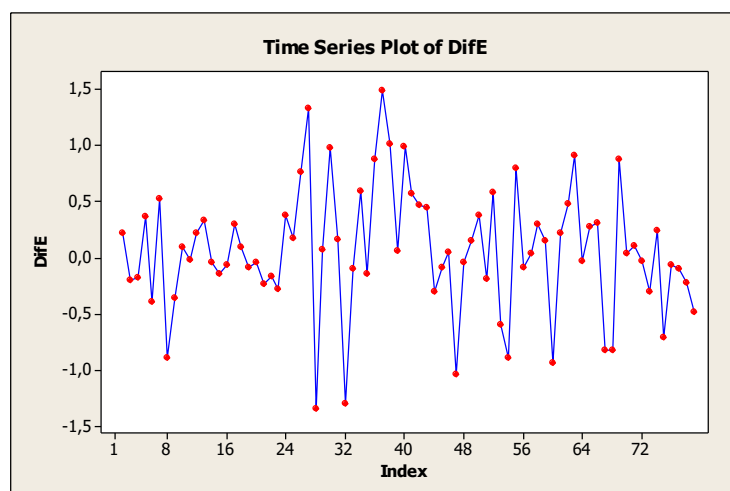


Figura 4.4 - Representació temporal de les diferències de la cotització del preu de l'energia de l'any 2012.

Representant les dades de què disposem ara mateix, veiem que la situació és molt diferent a la inicial. Veiem com simplement graficant la sèrie mitjançant les diferències, la mitjana s'ha estabilitzat gairebé del tot. Procedim a visualitzar altra vegada l'ACF i la PACF a la Figura 4.5.

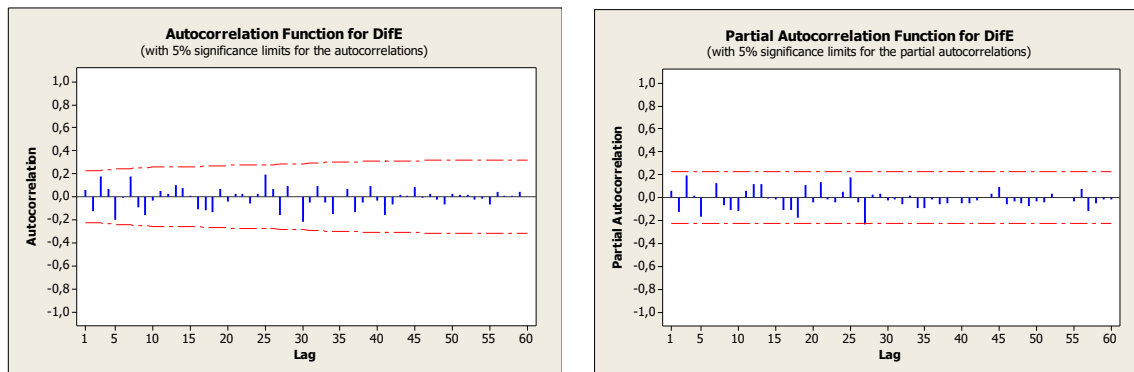


Figura 4.5. Gràfic de l'Autocorrelació i l'Autocorrelació Parcial de les diferències del preu de l'energia de l'any 2012.

Com podem comprovar, la tendència lineal de disminució de l'ACF ha desaparegut, i tant l'ACF com la PACF presenten valors dins dels límits marcats en vermell, indicant-nos que no són significatius. Així doncs, podem dir que les sèries temporals ja no ens aporten cap informació un cop fetes les diferències. En aquest cas, tal i com veiem a la Figura 4.5, veiem l'ACF i la PACF fins la setmana 60; si hi hagués algun tipus d'estacionalitat anual, veuríem que apareix una component significativa al voltant de la setmana 50. No és el cas, de manera que podem assegurar que no hi ha estacionalitat a les nostres sèries de dades. S'ha realitzat el mateix procediment per a les dades de tots els anys i el resultat ha estat el mateix. S'adjunten la resta d'estudis a l'Annex.

Les sèries temporals, però, tindran un protagonisme limitat en aquest projecte, degut a la difícil predicció del valor esperat, ja que la sèrie temporal analitzada es pot interpretar com un passeig aleatori. Així doncs, vist el resultat de l'anàlisi que ens ofereixen les sèries temporals, les descartarem com a model dins del nostre estudi. Era un territori que havíem d'explorar, ja que es tracta d'una sèrie temporal, però el resultat no ens aporta cap tipus d'informació que s'ajusti a la que necessitem.

4.3.2 REGRESSIÓ LINEAL

Utilitzant totes les dades del preu de l'energia elèctrica, del petroli i de l'Euríbor dels anys 2012-2015, i fent un diagrama de dispersió que veiem a la Figura 4.6, podem dir que dues variables estan estadísticament relacionades quan, coneguda la primera, es pot estimar el valor de la segona. És a dir, es pot fer la predicció d'una mesura basant-nos el coneixement

d'una altra. En la Figura 4.6 representem el preu de l'energia elèctrica (E) i les seves respectives relacions amb el propi preu de l'energia de la setmana anterior (E-1), l'energia de la mateixa setmana de l'any anterior (E-50), el preu del petroli (P), i el valor de l'Euríbor (EU).

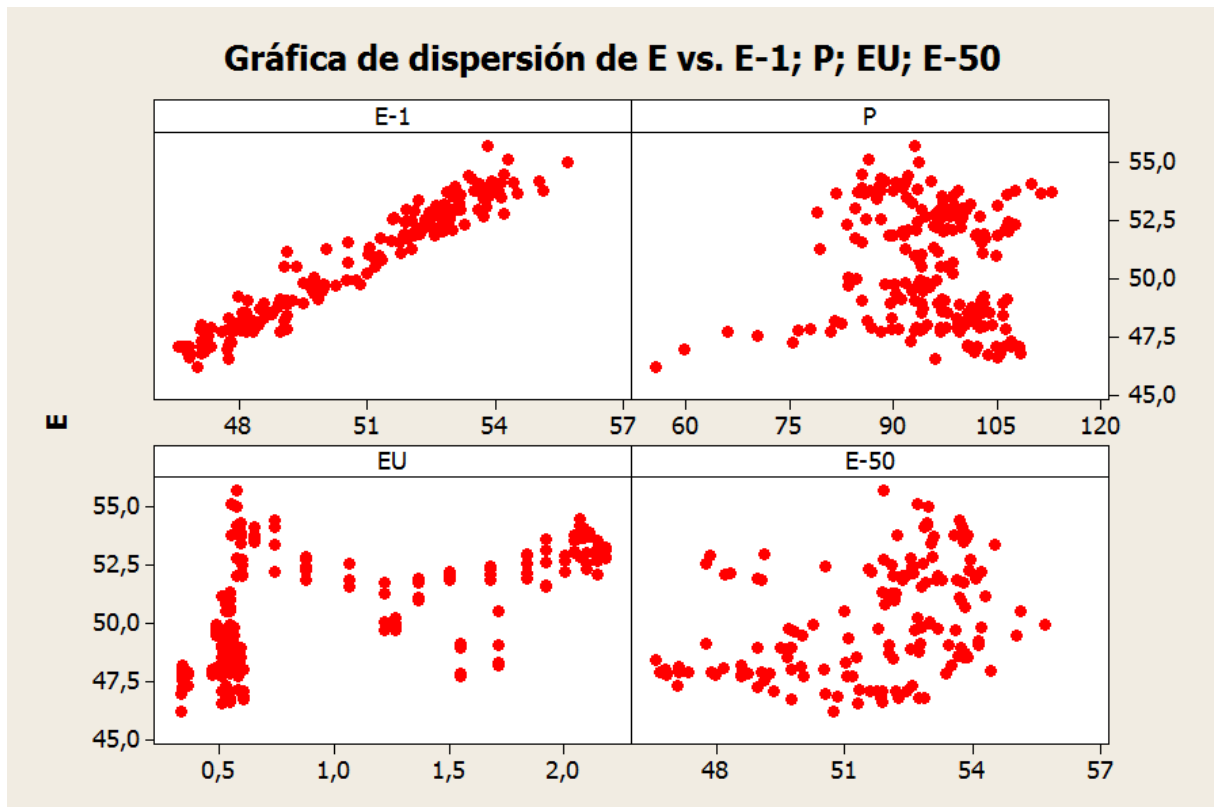


Figura 4.6 - Multigràfics de dispersió entre les variables E, E-1, E-50, P i EU.

Aquestes gràfiques que apareixen en la Figura 4.6 ens mostren que hi ha una clara relació entre el preu de l'energia i el del dia anterior (gràfic superior esquerre), permetent-nos visualitzar pràcticament una recta, cosa que ja era d'esperar. No obstant, també veiem a la resta de gràfiques que les distribucions no són del tot aleatòries, de manera que pot ser un camí a explorar per tal de descobrir si aquestes dades amaguen informació útil per a la nostra presa de decisions.

La **Regressió** ens ajudarà a crear un model on es seleccionen les variables que poden influir en la resposta, descartant aquelles que no aportin informació. Ens permetrà també trobar aquesta relació entre variables mitjançant una recta anomenada **Recta de Regressió**, que és la que s'ajusta millor a la línia de punts que formen el diagrama de dispersió. Però en aquest cas tractarem d'ajuntar totes les variables que puguin ser significatives, de manera que serà una **regressió múltiple**. Presentem a continuació la seva equació:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_p X_{pi} + \varepsilon_i$$

On, en el nostre cas, la resposta Y_i serà el preu de l'energia elèctrica, i les X_i seran el preu del petroli i de l'euríbor, tant de la mateixa setmana com de setmanes anteriors. Tanmateix, per a l'aplicació del model de regressió lineal, cal que es compleixin unes hipòtesis que anomenarem a continuació.

- **H₁:** $E(\varepsilon_i) = 0 \rightarrow E(y_i|x_i) = \beta_0 + \beta_1 x_i$ LINEALITAT
- **H₂:** $V(\varepsilon_i) = \sigma^2 \rightarrow V(y_i|x_i) = \sigma^2$ VARIÀNCIA CONSTANT
- **H₃:** $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma) \rightarrow y_i|x_i \sim N(\beta_0 + \beta_1 x_i, \sigma)$ NORMALITAT
- **H₄:** ε_i i ε_j són independents INDEPENDÈNCIA

Així doncs, abans de donar per bo un model i fer servir les seves propietats, caldrà comprovar que tot això es compleix tot fent-ne una anàlisi dels residus.

A continuació buscarem el model que millor s'ajusti a les nostres dades per tal que ens porti el màxim d'informació. L'objectiu és trobar un model per a cada any que ens porti, en la mesura del possible, una representació sobre el comportament de les dades. Un cop realitzada aquesta tasca, tractarem d'assolir un model global que ens serveixi com a representació dels 4 anys utilitzats en l'estudi (del 2012 al 2015). Afegirem també aquest model a la taula comparativa per tal de quantificar la diferència entre fer servir un model general o un model particular. A priori serà sempre millor el model particular, ja que ha estat creat a partir de les dades concretes d'aquell any mentre que l'altre ha utilitzat les dades de tots els anys, però també s'haurà de valorar fins a quin punt ens és més útil tenir un model robust que ens pugui servir per a qualsevol any, si els resultats no difereixen tant de les anàlisis particulars.

Metodologia

Per a trobar el millor model, en tots els casos s'emprarà el mètode pas a pas (*Stepwise* en anglès i al *Minitab*) dues vegades. La primera vegada no s'inclouran com a variables candidates a entrar al model totes les que presenten un decalatge d'un any (E-50, P-50, EU-50). Això és degut a que *Minitab* exclou del model les observacions en què no té valors de totes les variables. Així doncs, si les hi incloem totes, com a mínim 50 observacions les obviarà. Un cop obtingut el resultat sense aquestes variables, tornarem a fer un *Stepwise* amb totes. Dels dos resultats, valorarem quin és el més adequat i representatiu en cada cas.

Un cop triats tots els models que fan referència a la Regressió Lineal, procedim a fer-ne una anàlisi. A la Figura 4.7 hi trobem, per a cada any i de manera global, un model de Regressió Lineal amb la seva component constant i els seus coeficients acompanyant les variables significatives. Apareix també el terme de R^2 , que ens dóna una idea de com de bo és l'ajust del model.

2012
$E = 1,24 + 0,976 \cdot E_{t-1}$
$R^2 = 96,35\%$
2013
$E = 5,28 + 0,925 \cdot E_{t-1} - 0,0137 \cdot P_{t-3}$
$R^2 = 88,07\%$
2014
$E = -0,88 + 0,907 \cdot E_{t-1} + 0,1032 \cdot E_{t-50}$
$R^2 = 93,43\%$
2015
$E = 1,77 + 0,947 \cdot E_{t-1} + 1,414 \cdot EU_{t-3}$
$R^2 = 96,47\%$
Global
$E = 2,51 + 0,946 \cdot E_{t-1} + 0,2001 \cdot EU_{t-3}$
$R^2 = 95,2\%$

Figura 4.7 - Resum dels models triats per a cada any particular i per al global.

En tots els models, ja siguin particulars o globals, apareix com a variable l'energia de la setmana anterior (E_{-1}). Això era un fet que podríem haver sospitat des del principi; les sèries temporals, per definició, depenen del seu valor anterior. No obstant, en cap any es repeteixen les variables significatives, exceptuant el model global que és més semblant al de l'any 2015, presentat com a variables significatives E_{-1} i EU_{-3} .

Per a tots els anys s'ha fet una validació dels residus per tal d'assegurar-ne, sobretot, la seva independència. Mostrem a continuació l'estudi fet pel primer any (2012), i s'adjunten la resta d'estudis anàlegs a l'Annex. En primer lloc, a la Figura 4.8, presentem els quatre gràfics que apareixen per defecte a l'anàlisi residual de *Minitab*. Veiem que no ens hem de preocupar per la seva normalitat.

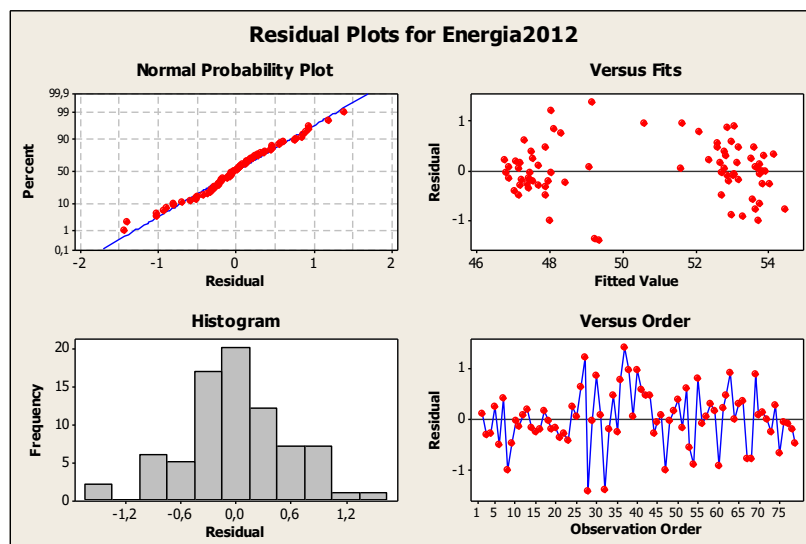


Figura 4.8 – Anàlisi de residus per a la Regressió Lineal de l'any 2012.

$$E = 1,24 + 0,976 \cdot E_{t-1}$$

A més a més, a la Figura 4.9 hi veiem l'ACF i la PACF dels residus; podem comprovar que en cap dels casos apareix un factor significatiu. Així doncs, assegurem la independència dels residus, que, juntament amb la comprovació anterior de la Figura 4.10, ens permeten la comprovació del model regressiu i donar-lo com a vàlid.

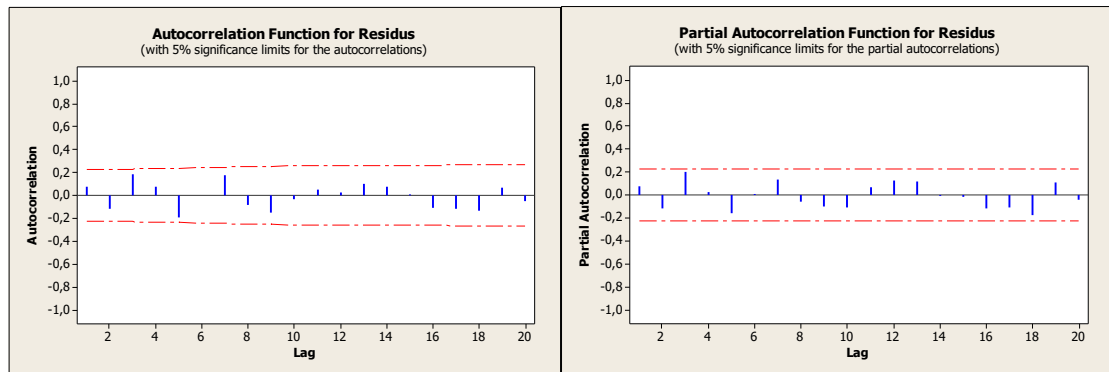


Figura 4.9 – ACF i PACF per als residus de la Regressió Lineal de l'any 2012.

$$E = 1,24485 + 0,976564 \cdot E-1$$

4.3.3 MITJANES MÒBILS

Com a tercer i últim model que servirà per a la comparació dins d'aquest projecte, introduïm el mètode de les mitjanes mòbils. Es tracta d'un sistema utilitzat sovint en mercats econòmics per a identificar un canvi de tendència quan ja s'ha produït. Això ens ajudarà a decidir si la tendència dominant és positiva o negativa.

Una mitjana mòbil ens donarà com a resultat una nova sèrie temporal; en aquest cas, però, haurà estat calculada a partir de les pròpies dades de la sèrie original. Cada valor serà el resultat de la mitjana entre les q observacions anteriors;

$$\frac{\sum_{t=0}^{q-1} X_t}{q}$$

L'únic paràmetre que es pot modificar en una mitjana mòbil simple és l'interval dels períodes (q). S'hauran de triar de manera que mostrin unes tendències igualment representatives tot i ser més simplificades. És a dir, un interval massa ampli podria provocar una mitjana mòbil com la de la Figura 4.10, que veiem clarament que no ens està mostrant una sèrie representativa de la sèrie original; ens està donant una informació que difereix significativament de la realitat, cosa que no seria adequada ni útil per al nostre d'estudi. D'altra banda, un interval massa estret no ens aportaria res nou ni diferent pel que fa a la sèrie original de dades.

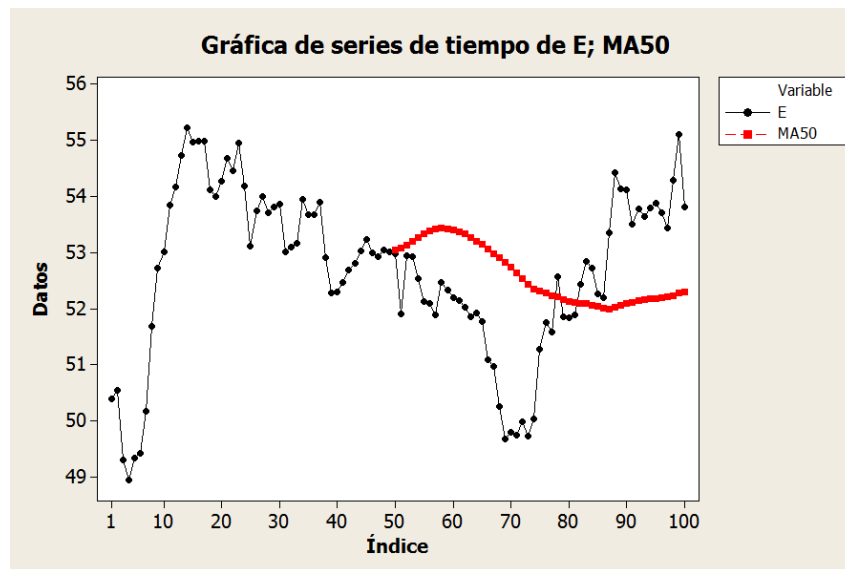


Figura 4.10- En negre, sèrie original del preu de l'energia elèctrica durant un període. En vermell, la mitjana mòbil amb un interval de 50 observacions.

A la Figura 4.10 hi veiem representada la sèrie temporal de l'any 2013. Estan representades les 100 setmanes (des de gener del 2011 fins a desembre del 2012). En aquest cas, l'interval MA (Moving Average) és de 50 observacions. L'objectiu d'aquesta figura és mostrar que una mala elecció d'aquest paràmetre pot fer variar molt els resultats obtinguts. En aquest cas, per a un valor de la mitjana mòbil de 50, o només perdem gran part de la informació de les dades, sinó que la tendència indicada en color vermell no és una representació fiable de la tendència real. Així doncs, serà important que el valor que triem sigui representatiu de la sèrie de dades que volem estudiar.

El que es busca en aquest apartat és trobar dos valors per a les mitjanes mòbils que ens permetin tenir una **mitjana ràpida** (q petit) i una **mitjana lenta** (q alt). Tanmateix, s'hauran de buscar els límits lògics que ens permetin tenir uns intervals suficientment fiables i representatius.

Per a tots els estudis que es realitzen a continuació, s'ha decidit prendre com a intervals per a les mitjanes mòbils $q=10$ i $q=20$. S'han triat aquests dos valors ja que, en tots els casos, es comportaven de manera fidel a la sèrie original de dades i els talls entre les sèries de dades eren clars i no donaven peu a cap dubte. En aquesta decisió, però, recau gran part de la responsabilitat dels resultats finals obtinguts. És evident, com veurem i comentarem més endavant, que si els intervals de les mitjanes mòbils fossin diferents, els resultats també presentarien una variació. A l'Annex hi trobem totes les gràfiques corresponents a les mitjanes mòbils de cada any.

El mètode de mitjanes mòbils que es posarà en pràctica a continuació consisteix en graficar les dues sèries corresponents a les Mitjanes Mòbils (una ràpida i una lenta), de manera que d'una manera visual i ràpida podem entendre què està passant i com actuar al respecte. Un cop dibuixades les gràfiques, cada vegada que es produeix un punt d'intersecció, el mètode ens indica que hi ha una variació de tendència; si després del punt de tall la MA ràpida està per sobre de la lenta, la tendència és positiva i viceversa. Així doncs, tindrem un indicador més fiable i robust dels moviments de les tendències que ens permetran ajustar-nos a les nostres estratègies per a aconseguir uns resultats materials. A la Figura 4.11 presentem un exemple de com es visualitzarien les dues gràfiques de les mitjanes mòbils ràpida i lenta que ens permetria veure clarament si la tendència és positiva o negativa.

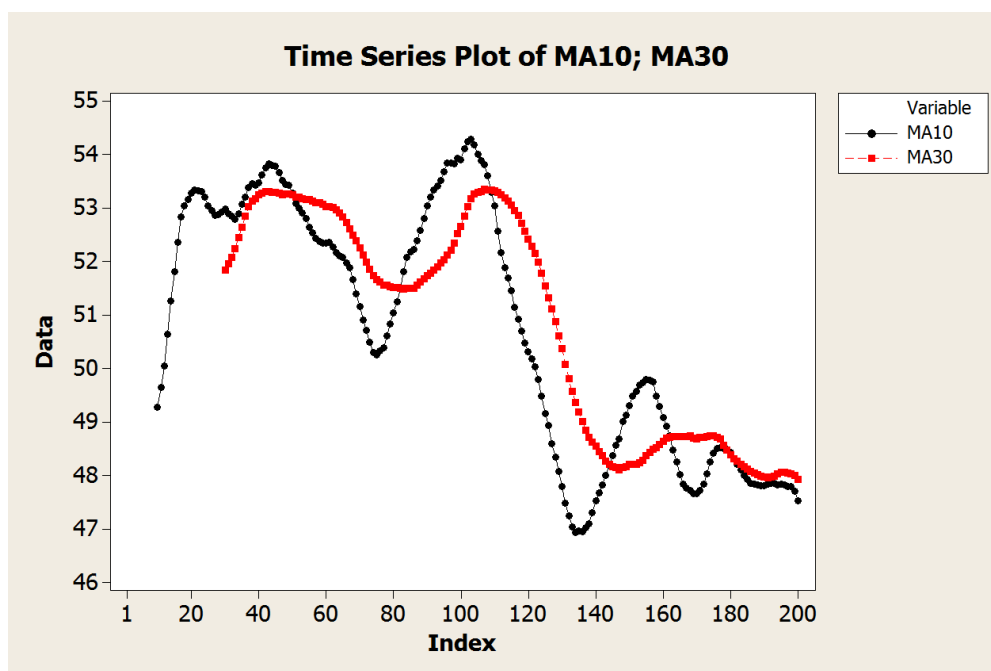


Figura 4.11- Mitjanes mòbils per al període de temps 2011-2015.

Així doncs, quan la corba negra i la vermella es tallen, és un moment de canvi de tendència. En aquest cas la mitjana mòbil ràpida és la que a la llegenda està descrita com a MA10, que veiem al gràfic en color negre. Quan la corba negra talla la corba vermella de baix a dalt, el mètode ens indica que la tendència és positiva, és a dir, que els preus estan pujant. Altrament, quan la corba negra talla la vermella de dalt a baix, la tendència és negativa i els preus estan baixant. Com podem comprovar, és un mètode molt senzill sense necessitats de crear models a partir d'altres variables. Tan sols amb el moviment de la variable d'estudi, s'explica a ella mateixa i ens permet analitzar si la tendència és de creixement o de disminució.

Ens trobem, però, amb una problemàtica que no ens havíem plantejat abans. Què passarà si, en l'interval entre les setmanes 25 i 35 no podem veure cap intersecció?

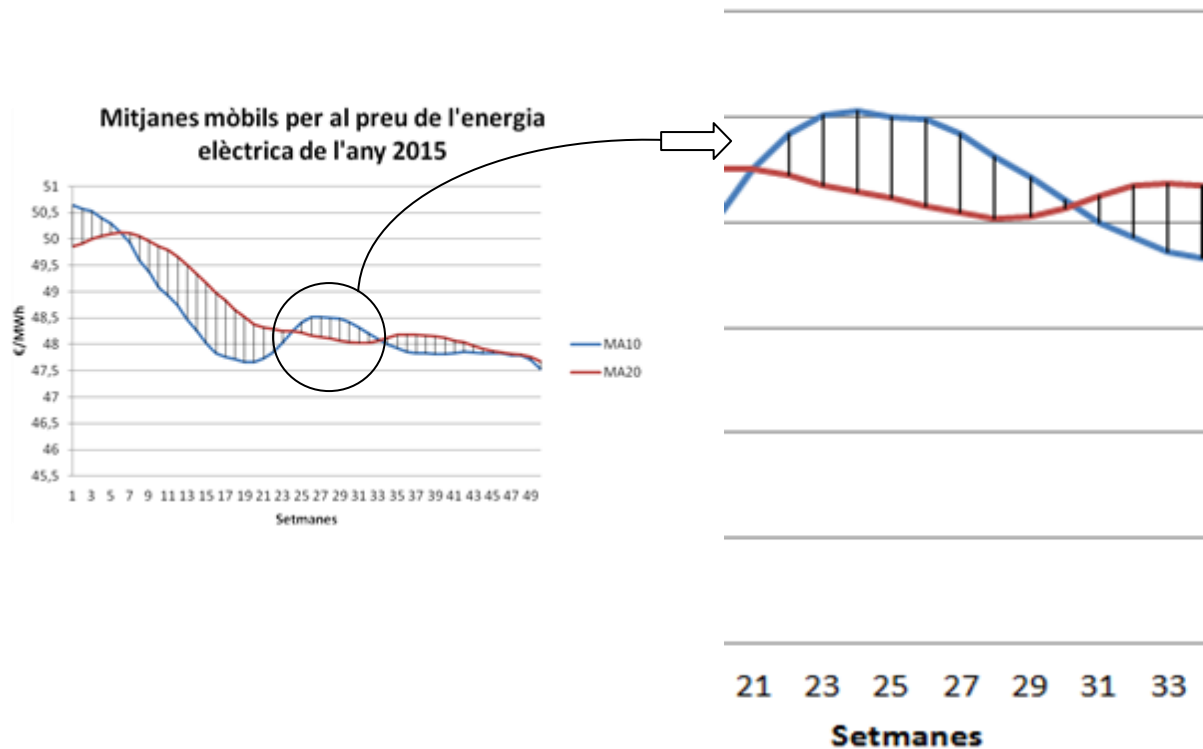


Figura 4.12 - Gràfic de les mitjanes mòbils per al preu de l'energia elèctrica de l'any 2015.

A la Figura 4.12 hi veiem a l'esquerra l'evolució de les mitjanes mòbils per a l'any 2015, i a la dreta una ampliació de la part central del gràfic. Si ens situem a la setmana 25, veiem que les mitjanes mòbils s'estan començant a separar, però no trobem cap intersecció fins a la setmana 30.

És per això que es presenta el següent mecanisme. Es contemplarà com a variable la diferència en cada instant (setmana) entre la mitjana mòbil ràpida i la mitjana mòbil lenta. Una altra variable analitzarà si aquesta diferència es fa gran o petita, de manera que ens servirà com a indicador de tendència. Si la diferència està creixent (havent agafat com a diferència ràpida-lenta), ens indica que la tendència és positiva, mentre que si la tendència disminueix, ens apropem a un punt de tall.

5. RESULTATS: COMPARACIÓ D'INDICADORS, ESTRATÈGIES I MODELS

Per finalitzar l'estudi estadístic, procedirem a analitzar els resultats obtinguts per tal de poder arribar a una conclusió sobre la presa de decisions en la situació plantejada al principi del treball.

L'estructura d'aquest apartat consisteix en la comparativa dels resultats obtinguts després de la realització de l'estudi per als anys 2012, 2013, 2014 i 2015. Així doncs, els models que han estat creats a partir de les dades d'aquests anys, seran provats per comparar els resultats que se n'obtenen. Un cop feta aquesta comparativa, utilitzarem els models escollits en els dos anys següents, 2016 i 2017, dades dels quals no han participat en la creació del model. Serà una manera de comprovar si realment hi ha alguna combinació que pugui ser aplicada amb bons resultats de cara a un futur.

En primer lloc, el primer que analitzarem és la diferència entre els resultats obtinguts pel model de regressió lineal Particular en comparació amb el model Global. Recordem que s'ha triat un model particularitzat per a cada any amb les dades de les últimes 50 setmanes (últim any). No obstant, aquest mètode no seria al 100% aplicable si el volguéssim utilitzar a temps real, ja que a mitjans d'any no podem tenir el model fet amb les dades de tot l'any sencer. Així doncs, aquest model particular ens servirà per veure si el model global en difereix molt, i per fer un estudi a nivell teòric del comportament del mercat energètic.

A més a més, també podrem comparar els resultats obtinguts entre el mètode de Regressió Lineal i el mètode de les Mitjanes Mòbils; veurem si els models ens han conduït cap a decisions molt diferents. Finalment, podrem fer també una comparativa entre les dues estratègies que s'han plantejat en aquest projecte.

Any	Regressió lineal								Mitjanes mòbils			
	Global				Particular				A		B	
	A		B		A		B		A		B	
	I ₁	I ₂	I ₁	I ₂	I ₁	I ₂	I ₁	I ₂	I ₁	I ₂	I ₁	I ₂
2012	35,56	0,166	4,57	-1,363	35,56	0,166	11,33	-1,030	8,11	-1,167	4,57	-1,363
2013	64,87	0,103	18,06	-1,405	70,48	0,284	53,63	-0,259	61,81	0,005	18,06	-1,405
2014	100	0,315	94,51	0,169	94,18	0,160	94,51	0,169	100	0,315	94,51	0,169
2015	51,86	-0,292	70,49	0,527	48,18	-0,454	100	1,825	39,86	-0,819	57,64	-0,038

Taula 5.1 - Taula comparativa dels Indicadors obtinguts per a cada cas.

A la Taula 5.1 s'han omplert de color verd les caselles que presenten el millor resultat (ambdós marcats en cas de coincidir) per a cada any. La Taula 5.2 ens mostra una comparativa de totes les combinacions obtingudes. Indiquem també en verd i en vermell els millors i els pitjors resultats respectivament. La taula 5.3 presenta un nou nivell d'agrupament, diferenciant només entre models, sense introduir la divisió entre el model de regressió particular i el global.

Combinació model-estratègia	Verd	Vermell
Global + A	2	0
Global + B	0	2
Particular + A	2	1
Particular + B	1	0
Mitjanes + A	1	1
Mitjanes + B	0	2

Taula 5.2 – Resum de la comparativa entre models i estratègies

Combinació model-estratègia	Verd	Vermell
Regressió + A	4	1
Regressió + B	1	2
Mitjanes + A	1	1
Mitjanes + B	0	2

Taula 5.3 – Resum de la comparativa entre models i estratègies de manera compacta.

Aquestes dues taules ens mostren de manera evolutiva com podem anar fent una comparació entre els resultats que hem obtingut. En aquest primer pas, destacarem que el model de regressió lineal global presenta els millors resultats en dues ocasions, tot i que no

sempre ens trobem en aquesta situació. Aquesta fotografia final ens permet comprovar que el model global no és sempre el més adequat per a explicar qualsevol any, però que ens pot donar molta informació de manera fidel i robusta.

En una primera instància hem comparat totes les combinacions i, a poc a poc, les hem anat ajuntat. Seguint aquest mateix camí, presentem les taules 5.4 i 5.5, a partir de les quals veurem el resultat final.

Estratègia	Verd	Vermell
A	5	2
B	1	4

Taula 5.4 – Resum dels resultats per a les estratègies.

Model	Verd	Vermell
Regressió	5	3
Mitjanes	1	3

Taula 5.5 – Resum dels resultats per als models.

Així doncs, el resultat que obtenim és que la millor estratègia és l'A, la que correspon a un perfil més conservador quan es preveu que la tendència sigui positiva. Anàlogament, tenim com a resultat que la regressió presenta uns resultats amb més beneficis que el model de les mitjanes mòbils. Això és degut a que, tot i que el model no ens permeti fer una predicció amb exactitud, està creat amb la informació de totes les variables durant 100 setmanes. D'altra banda, el mètode de les mitjanes mòbils ens ofereix informació sobre la tendència de la sèrie original de les dades, sense tenir en compte cap altre tipus de variable independent.

Passem ara, per a finalitzar el projecte, a fer l'estudi que realment ens permetrà valorar si aquests models ens seran d'utilitat en un futur. Tot el que hem fet fins ara ha estat, en certa manera, poc ajustat a la realitat, ja que hem creat models amb informació de les sèries de dades dels anys 2012, 2013, 2014 i 2015, i després hem mirat els resultats que hem obtingut aplicant-los a aquests mateixos anys. L'objectiu ara, però, és veure com es comporten aquests models quan els fem servir per reproduir la mateixa situació amb dades totalment noves que no han tingut cap tipus d'influència en la creació dels models. Serà, doncs, la manera més justa de valorar cada combinació model-estratègia.

Model	Regressió (global)				Mitjanes mòbils			
	A		B		A		B	
	I ₁	I ₂	I ₁	I ₂	I ₁	I ₂	I ₁	I ₂
2016	61,42	0,013	61,42	0,013	0,00	-1,653	32,84	-0,907
2017	18,52	-1,155	83,61	0,190	18,52	0,190	31,50	-0887

Taula 5.6 - Taula comparativa dels Indicadors obtinguts per a cada cas.

Per finalitzar, presentem la Taula 5.7, que és anàloga a l'anàlisi fet a la Taula 5.3. En aquest cas, veiem que la situació és una mica diferent. Amb unes dades totalment noves, l'estratègia amb què sembla que obtenim un millor rendiment és l'A. Sí que és cert que, de la mateixa manera que amb les dades ja estudiades, el model de regressió lineal es comporta millor que el model de les mitjanes mòbils.

Combinació model-estratègia	Verd	Vermell
Regressió + A	1	1
Regressió + B	2	0
Mitjanes + A	0	2
Mitjanes + B	0	0

Taula 5.7 – Resum de la comparativa entre models i estratègies per als anys 2016-2017.

6. DISCUSSIÓ

Al llarg del treball s'han agafat diferents camins que, en cas d'haver-ne triat un altre, el resultat seria molt diferent. Què hagués passat si, en comptes de triar l'euríbor a un any, l'haguéssim triat a una setmana? O si ni tan sols haguéssim triat l'euríbor i, en el seu lloc, haguéssim analitzat les variacions en el clima durant els darrers anys? Totes aquestes preguntes, ara mateix, no tenen resposta. En aquest apartat intentarem plantejar les diferents vies d'estudi que podrien haver aparegut o poden arribar a aparèixer arrel d'aquest projecte.

En primer lloc, parlarem dels Indicadors. En aquest treball se n'han plantejat dos, bastant intuïtius, que ens permeten veure de manera clara si la decisió presa ha estat encertada, molt encertada, o poc encertada. Se n'han triat dos per no basar-nos només en un número, però se'n podrien haver triat més, i diferents.

Pel que fa a les estratègies, és evident que hi ha infinites combinacions de factors que poden donar peu a una nova estratègia. Les dues que s'han escollit aquí són tan sols la punta de l'iceberg. Una petita escletxa de la gran porta que es pot obrir a l'hora de triar estratègies. En cas de disposar de més temps per a la confecció del treball, una de les primeres coses que s'afegirien seria, amb tota seguretat, el fet de tenir dues setmanes consecutives amb la mateixa tendència per tal de considerar que és positiva o negativa. Durant tot el treball, si ens trobàvem una setmana amb tendència positiva, ja consideràvem que així era. Això fa que en moltes ocasions, prenguem una decisió degut a que ens trobem amb una setmana amb un valor mitjà superior a l'anterior, quan en realitat això no és del tot representatiu pel que fa al mercat. Hem vist que presenta una gran volatilitat, i el fet de considerar els valors agrupats de 5 en 5, no fa del tot justícia a la tendència. És per això, que una de les portes obertes és la definició de les regles de decisió que hem batejat com a Estratègies. A més a més d'aquest detall de les setmanes consecutives, es podrien introduir moltes més combinacions que farien que les estratègies fossin cada vegada més complexes i adaptades a la realitat.

Pel que fa als models, hem vist que una recerca més a fons sobre les sèries temporals segurament no seria la millor futura via d'estudi. No obstant, tant la regressió lineal com les mitjanes mòbils, sí que presenten un camp a recórrer molt més llarg. Pel que fa a la regressió, es podria comptar amb una eina de programació que permeti modificar el model mitjançant codis informàtics. L'eina de les mitjanes mòbils és realment senzilla i apareix en tot aprenentatge sobre *trading* econòmic. És tracta d'una eina molt intuïtiva, però de ben segur que se'n podria treure més profit en cas d'estudiar-la més a fons i expressar tota la

informació que ens pot aportar. És evident que un paràmetre que ha limitat molt tot l'estudi és el de les Mitjanes Mòbils. Si es tornés a fer el plantejament del treball, segurament, una de les coses que es canviarien seria el d'afegir diferents opcions per a les mitjanes mòbils; com a mínim, intentar buscar l'interval que ofereix un millor resultat. Al tractar-se d'una eina tan simple i disposar només d'un paràmetre per a modificar, un cop triat, limita molt els resultats obtinguts i segurament no s'adapta a la perfecció a tots els anys.

Seguint en aquesta línia, una de les primeres coses que s'afegirien si es continués l'estudi seria afegir com a model una regressió que inclogués la setmana i la setmana de forma quadràtica com a variables explicatives. A més a més, el que seria més adequat per a les situacions que es plantegen en aquest treball, seria tenir una cartera de models dinàmics que es poguessin anar actualitzant setmanalment. D'aquesta manera els models s'anirien ajustant als moviments del mercat. Afegint doncs aquests dos aspectes comentats, es podria detectar amb més fidelitat un canvi de tendència, cosa que de ben segur ens aportaria més informació i, conseqüentment, millors resultats.

Un cop acabat aquest treball, doncs, ens adonem que això tan sols ha estat un primer contacte amb els estudis de mercat, i que les eines apreses al llarg d'aquest quadrimestre ens poden servir més endavant per a millorar aquest mateix estudi i qualsevol altre que ens plantegem fer.

7. CONCLUSIONS

Un cop finalitzat el treball, s'arriba a la conclusió que l'estudi plantejat té una cabuda de caire real a les preocupacions de les empreses. És evident que trobar un model que ens permeti aconseguir un gran estalvi respecte el preu màxim és d'interès per a qualsevol empresa que es trobi en la situació plantejada en aquest treball.

Al llarg d'aquest projecte s'han anat complint els objectius plantejats a l'inici d'aquest document, tals com l'adquisició de nous coneixements en relació a l'estadística i les seves aplicacions, o l'aprenentatge sobre un món relacionat amb el mercat energètic. Pel que fa a l'objectiu principal, que consistia en poder decidir quan comprar l'energia elèctrica per a l'any següent, aquest projecte planteja diferents camins per on començar a explorar tot el territori. Si bé és cert que no s'ha trobat un model que descriu amb exactitud el comportament del mercat, s'han posat sobre la taula les eines i els passos idonis en cas de voler seguir estudiant aquesta problemàtica.

D'altra banda, sí que ens ha estat possible comparar les combinacions proposades en aquest treball. A mode de resum podríem dir que:

- Els models de Regressió Lineal presenten, generalment, millors resultats que les Mitjanes Mòbils.
- L'Estratègia A, corresponent a la més conservadora, ofereix millors resultats en els anys participants en l'estudi i creació del model (2012-2015). No obstant, l'Estratègia B respon millor amb les dades no incloses per a la confecció del model (2016-2017).
- La combinació Mitjanes Mòbils – Estratègia B no seria mai la primera opció.

Tal i com s'ha puntualitzat a l'apartat de discussions, el camí a recórrer en aquest camp és molt extens. Tanmateix, esperem que aquest treball serveixi d'inici per a futurs estudis, que de bon segur aniran afegint i perfilant nous models que permetin arribar a l'objectiu principal que tenia aquest projecte. De la mateixa manera, la quantitat d'estratègies a afegir són incalculables, podent ser personalitzades a la situació de cada empresa que hi estigui interessada. Obrim, doncs, una porta a futurs estudis que ens permetin acabar decidint en quin moment comprar l'energia elèctrica per tal d'obtenir-ne el màxim benefici.

A mode de conclusió final, remarcar els coneixements apresos al llarg d'aquest projecte, tant en l'àmbit estadístic com industrial, que han servit per a complementar un període d'aprenentatge intens a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.

8. AGRAÏMENTS

Un cop finalitzat el projecte, és inevitable mirar enrere i veure totes les persones que hi han participat. En primer lloc, m'agradaria mostrar el meu agraïment cap al tutor del projecte, Xavier Puig Oriol, col·laborant des dels inicis per perfilar bé els objectius plantejats, així com participant en reunions periòdiques per al seguiment i l'orientació de les vies d'estudi que han anat apareixent durant el camí.

A més a més dels coneixements estadístics apresos al Grau en Enginyeria de Tecnologies Industrials, durant aquests últims mesos he tingut l'oportunitat de poder assistir a classes del Màster en Enginyeria d'Organització, concretament a l'assignatura d'Estadística Aplicada. Així doncs he aprofitat les classes del professor Josep Ginebra en què explicava les sèries temporals, temari que serà necessari per tal de procedir a l'anàlisi de les dades protagonistes d'aquest projecte. Al tractar-se de preus que van canviant cada dia, no ens era suficient el coneixement sobre regressions lineals, així que vam considerar que era necessari adquirir aquests coneixements, i la manera més ràpida i eficaç era assistir a les classes del professor Ginebra.

No podia acabar el treball sense mencionar la persona que realment ha permès que això s'hagi fet efectiu, Joan Segarra Gasull, company de feina durant la meva primera estada de pràctiques a una empresa. Va ser ell qui, casualment, un dia em va fer una consulta sobre un estudi que realitzava sobre el mercat energètic, moment en el qual dins meu es va encendre aquesta espurna que s'ha acabat materialitzant amb aquest document.

Finalment vull que quedi constància del meu agraïment cap a totes les persones que m'han donat suport al llarg d'aquests mesos, donant-me la seva opinió sobre l'estructura i el plantejament del treball, oferint-me referències bibliogràfiques o simplement llegint la memòria per aconsellar-me sobre la seva comprensió.

REFERÈNCIES

BIBLIOGRAFIA

- [1] Estudi '*PANORÁMICA DE LA INDÚSTRIA*', capítol 9. Institut Nacional d'Estadística, 2009.
- [2] Apunts de la Universidad Complutense de Madrid, '*Modelización con datos de series de series temporales*', 2013
- [3] RIBA ROMEVA, CARLES. Iniciativa Digital Politècnica, 2011 '*Recursos energètics i crisi*',
- [4] GIL GARCÍA, GREGORIO. '*La Energía en cifras*'. Marcombo ediciones técnicas, 2013
- [5] MARCO FONDEVILA, MIGUEL i SCARPELLINI, SABINA. '*Guía de Mercados Energéticos*'. Prensas de la Universidad de Zaragoza, 2013
- [6] '*La Energía en el siglo XXI*', Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid, 2009

WEBGRAFIA

- [7] Extracció de les dades de l'energia, OMIP (consultat 12/2016)
<https://www.omip.pt>
- [8] Extracció de les dades del petroli
<https://es.investing.com/commodities/crude-oil-historical-data>
- [9] Extracció de les dades de l'Euríbor 1A
<http://www.expansion.com/mercados/euribor.html>
- [10] '*Apuntes de Bioestadística*'
https://www.bioestadistica.uma.es/baron/apuntes/#grado_tema3
- [11] '*Modelos ARIMA*' Prof. Rafael de Arce, Prof. Ramón Mahía, Dpto. Economía Aplicada, U.D.I. Econometría e Informática
https://www.uam.es/personal_pdi/economicas/anadelsur/pdf/Box-Jenkins.PDF

- [12] *'Introducción al Análisis de Series Temporales'* José Alberto Mauricio. Universidad Complutense de Madrid
<https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-11-11-JAM-IAST-Libro.pdf>
- [13] Pàgina web oficial d'ENDESA
<https://www.endesaclientes.com/precio-luz-pvpc.html>

ANNEX

En aquest Annex es presenta tota la informació que es considera necessària però no imprescindible per a la lectura i la comprensió del projecte. Així doncs, hi trobarem anàlisis de sèries temporals dels quals a la memòria se'n presenta un exemple i la resta resulten repeticions del mateix estudi, així com anàlisis dels residus per assegurar-ne la seva independència. També es mostren els gràfics de les mitjanes mòbils escollides per a cada any per tal de mostrar que són una mostra representativa de la sèrie temporal original.

2012 – Diferenciació per a la sèrie temporal

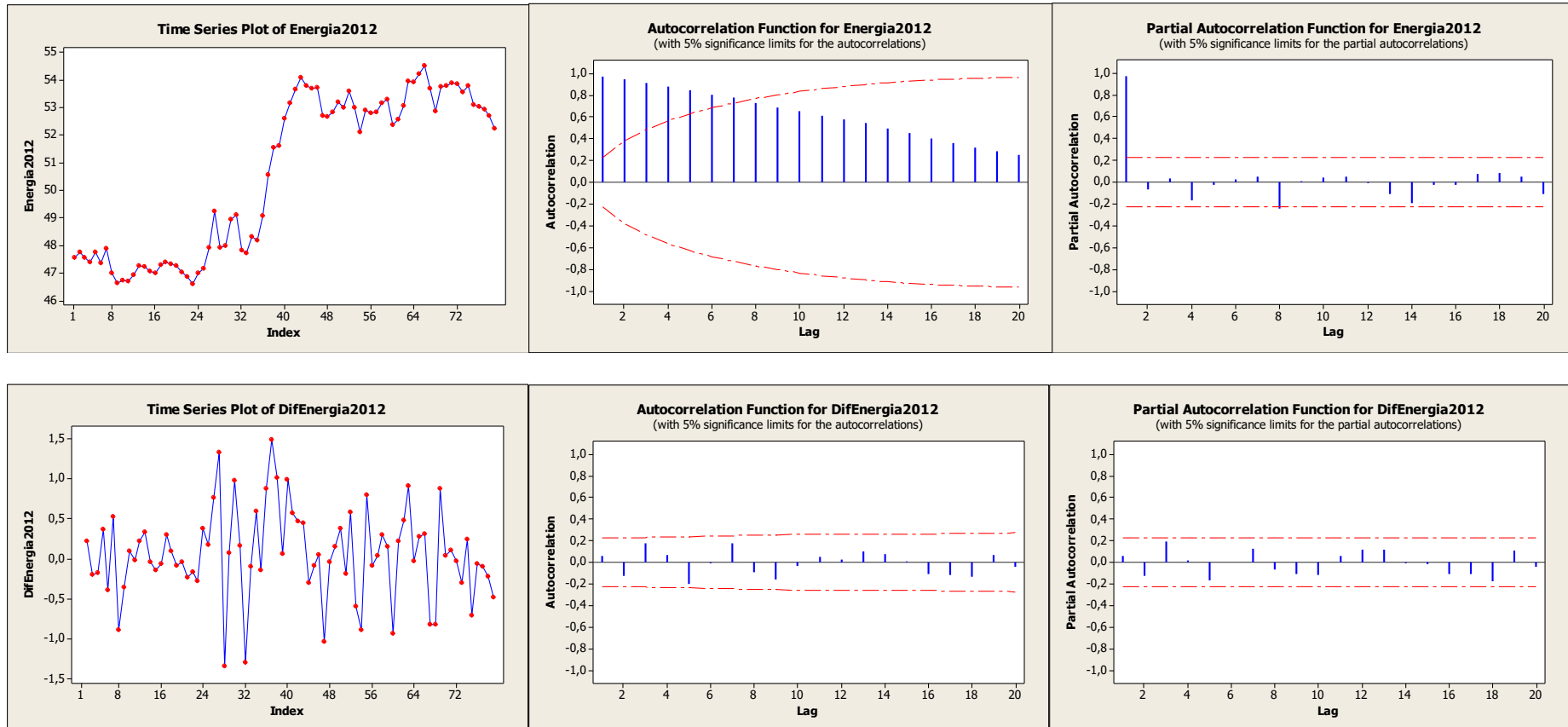


Figura A.1 – Gràfics corresponents a l'anàlisi de les sèries temporals abans i després de la diferenciació del preu de l'energia per a l'any 2012.

2012 – Residus i Mitjanes Mòbils

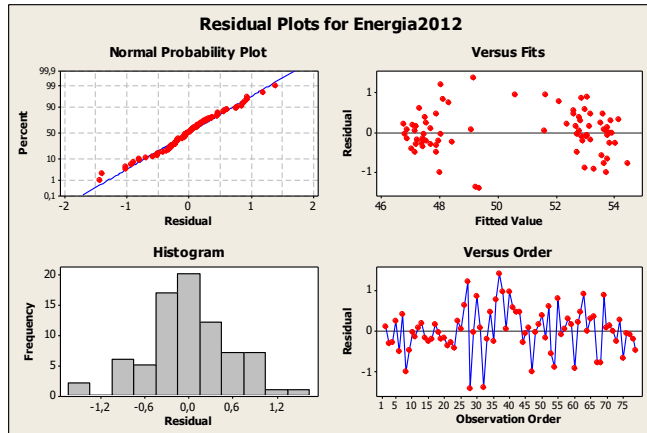


Figura A.2 – Anàlisi de residus per a la regressió lineal.

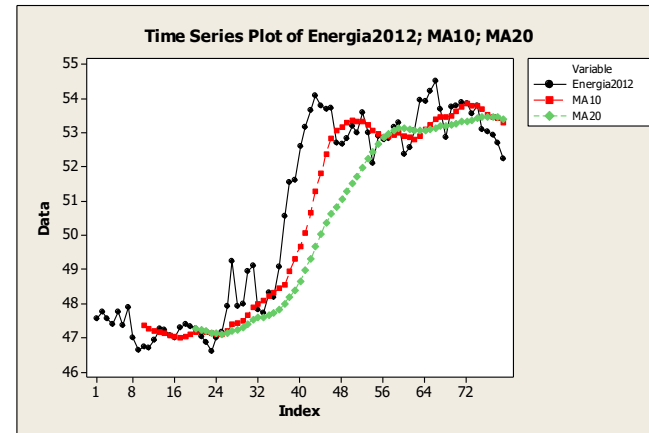


Figura A.3 – Gràfics temporals de les mitjanes mòbils escollides.

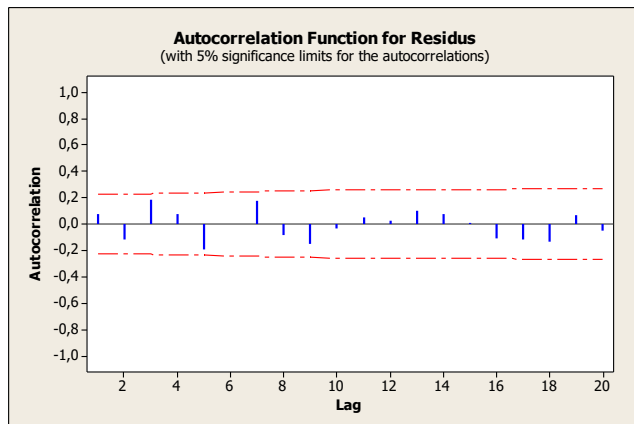


Figura A.4 – ACF dels residus per a l'any 2012.

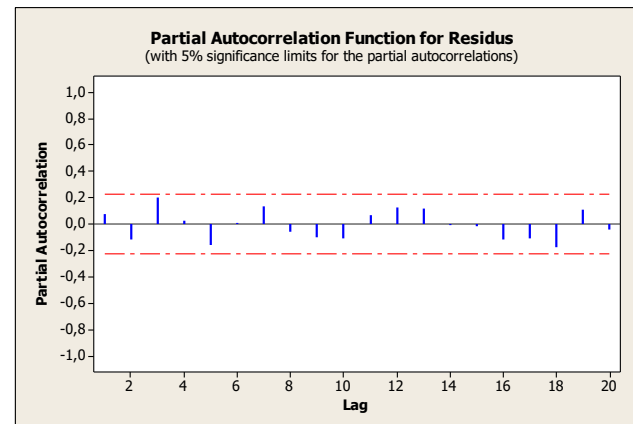


Figura A.5 – PACF dels residus per a l'any 2012.

2013 – Diferenciació per a la sèrie temporal

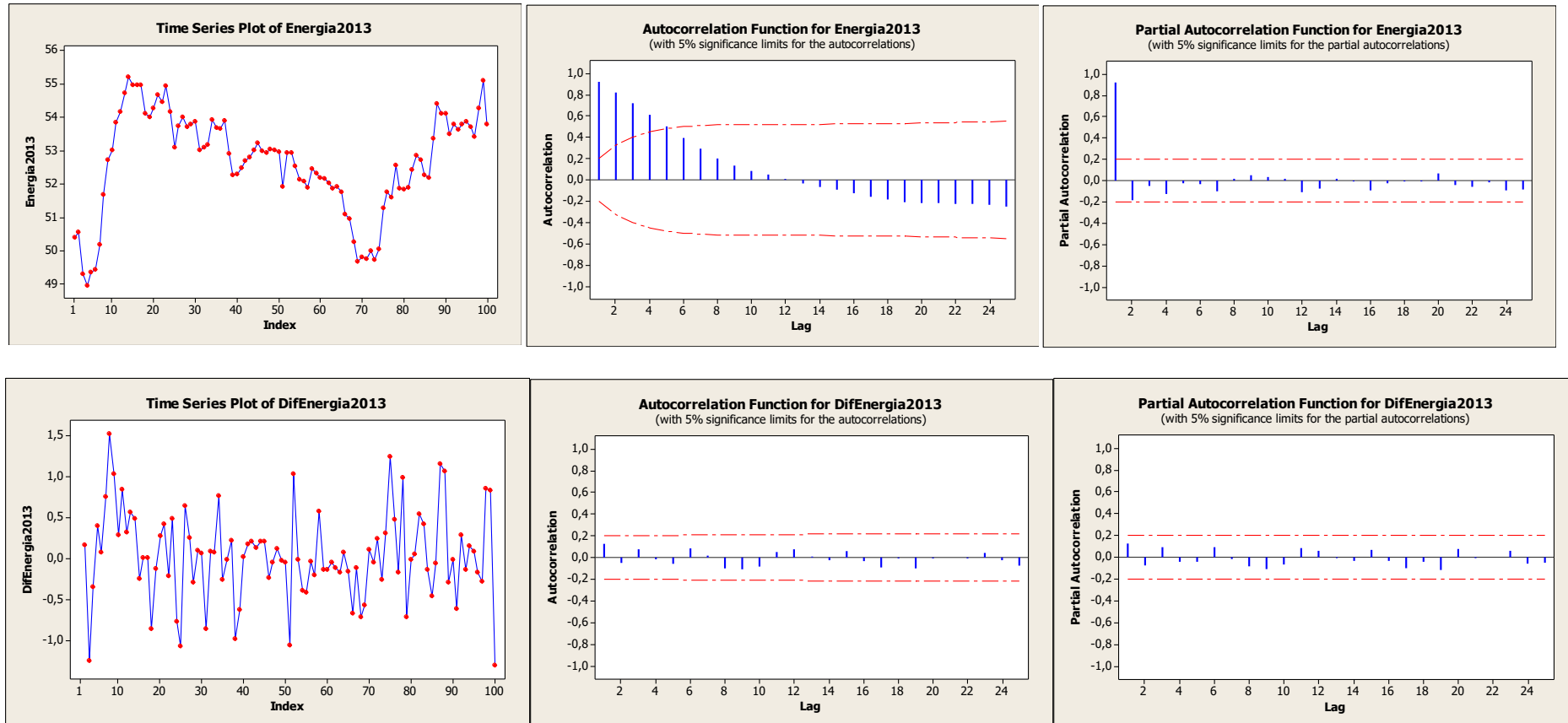


Figura A.6 – Gràfics corresponents a l’anàlisi de les sèries temporals abans i després de la diferenciació del preu de l’energia per a l’any 2013.

2013 – Residus i Mitjanes Mòbils

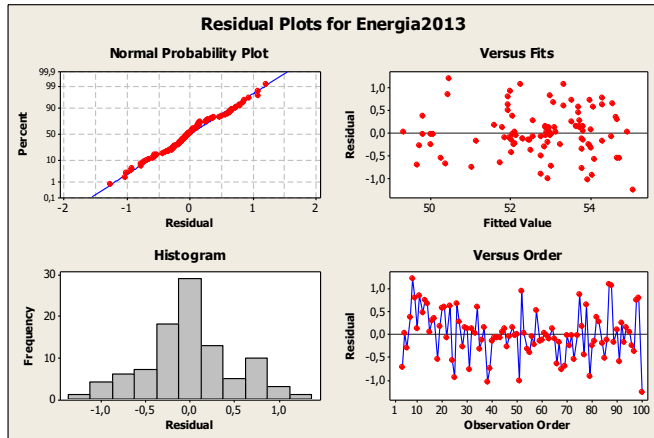


Figura A.5 – Anàlisi de residus per a la regressió lineal.

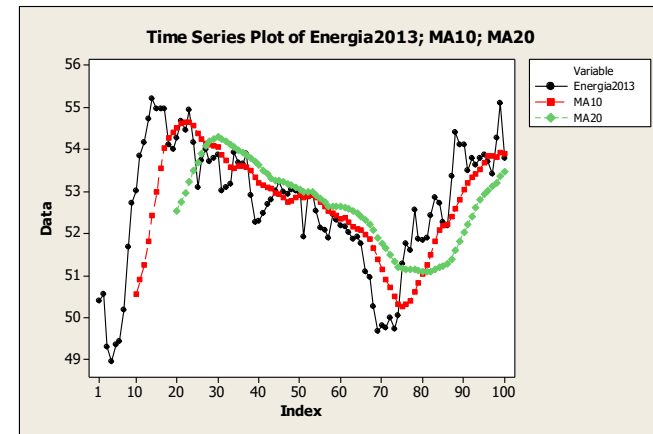


Figura A.6 – Gràfics temporals de les mitjanes mòbils escollides.

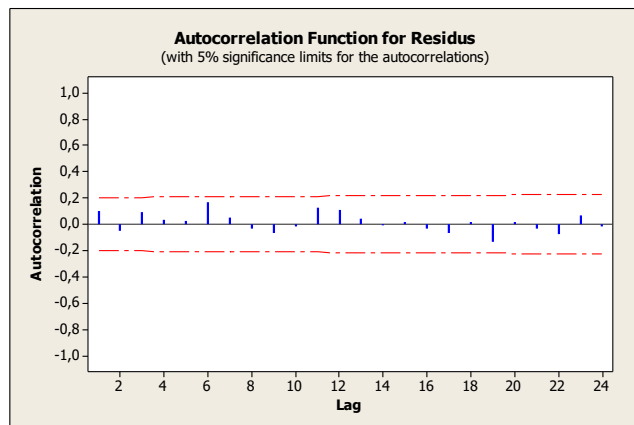


Figura A.7 – ACF dels residus per a l'any 2013.

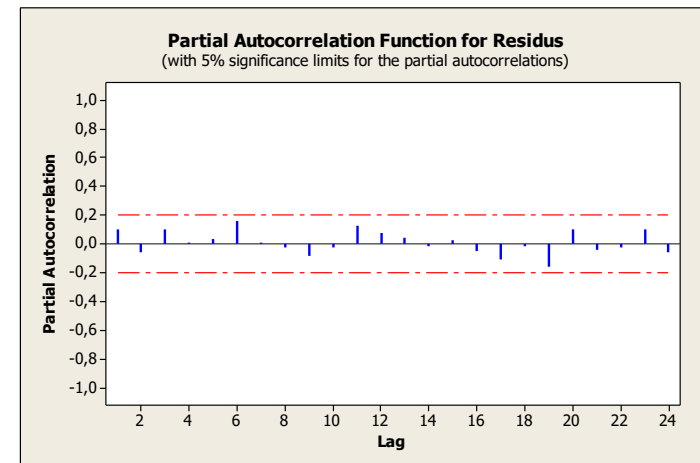


Figura A.8 – PACF dels residus per a l'any 2013.

2014 – Diferenciació per a la sèrie temporal

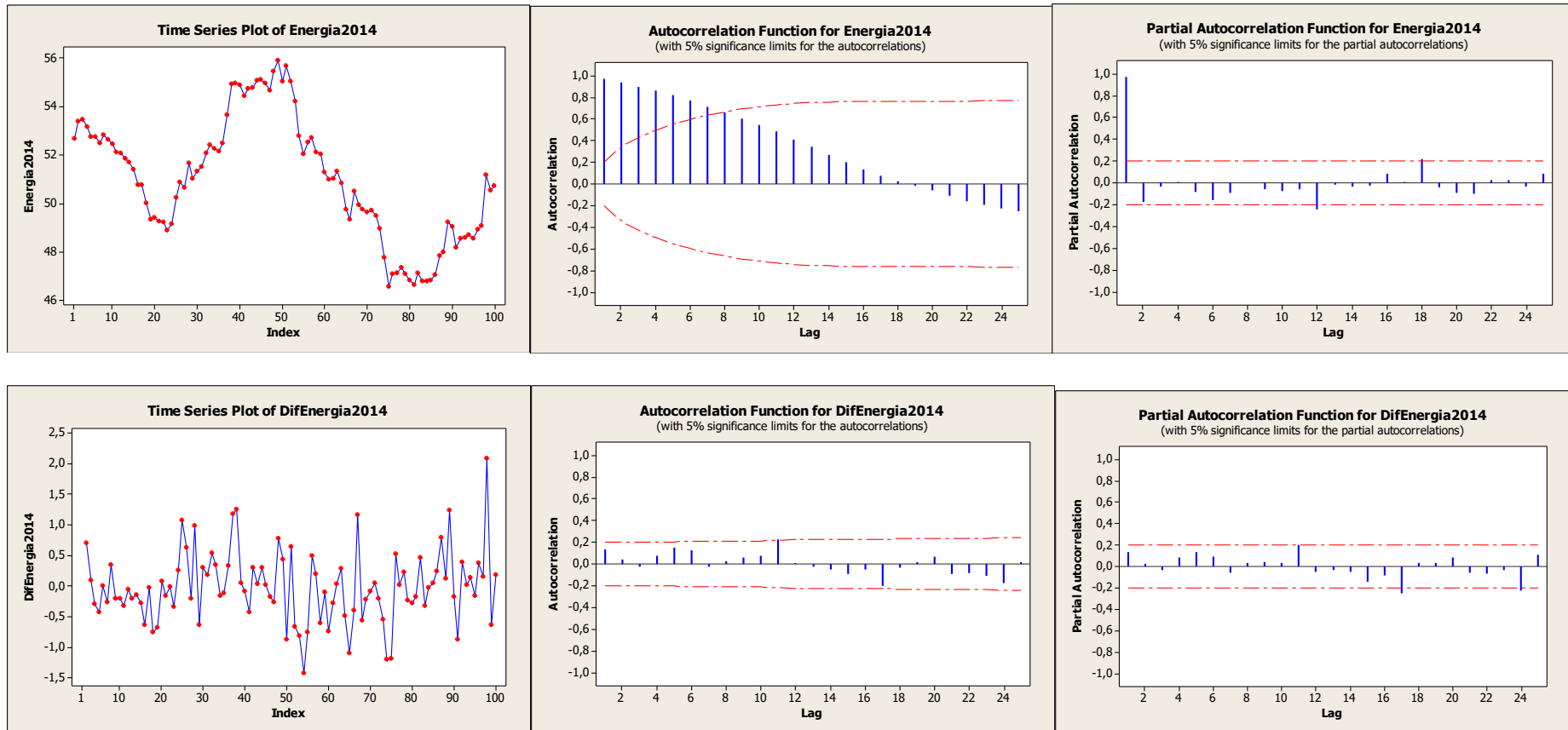


Figura A.9 – Gràfics corresponents a l'anàlisi de les sèries temporals abans i després de la diferenciació del preu de l'energia per a l'any 2014.

2014 – Residus i Mitjanes Mòbils

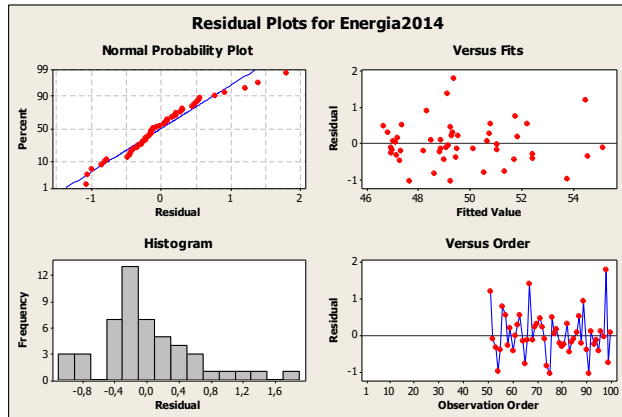


Figura A.10 – Anàlisi de residus per a la regressió lineal.

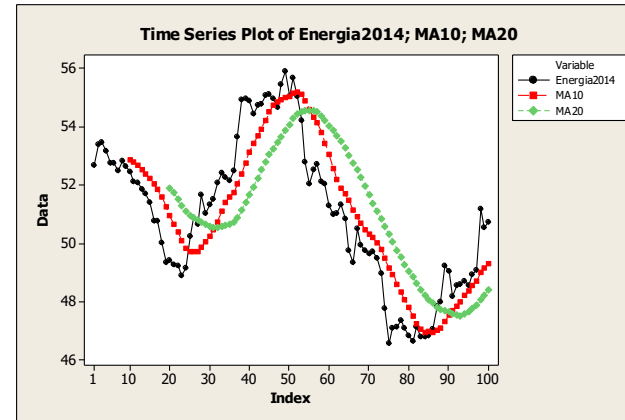


Figura A.11 – Gràfics temporals de les mitjanes mòbils escollides.

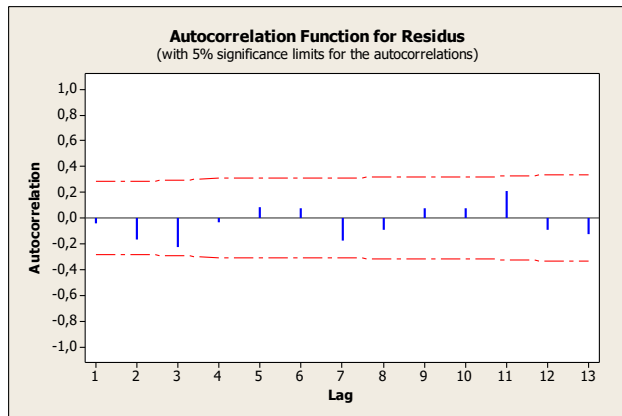


Figura A.12 – ACF dels residus per a l'any 2014.

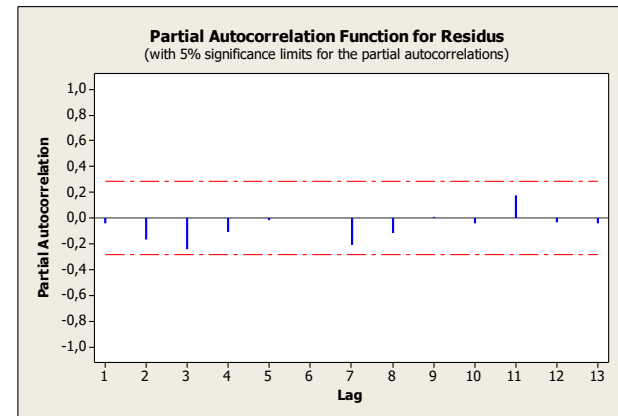


Figura A.13 – PACF dels residus per a l'any 2014.

2015 – Diferenciació per a la sèrie temporal

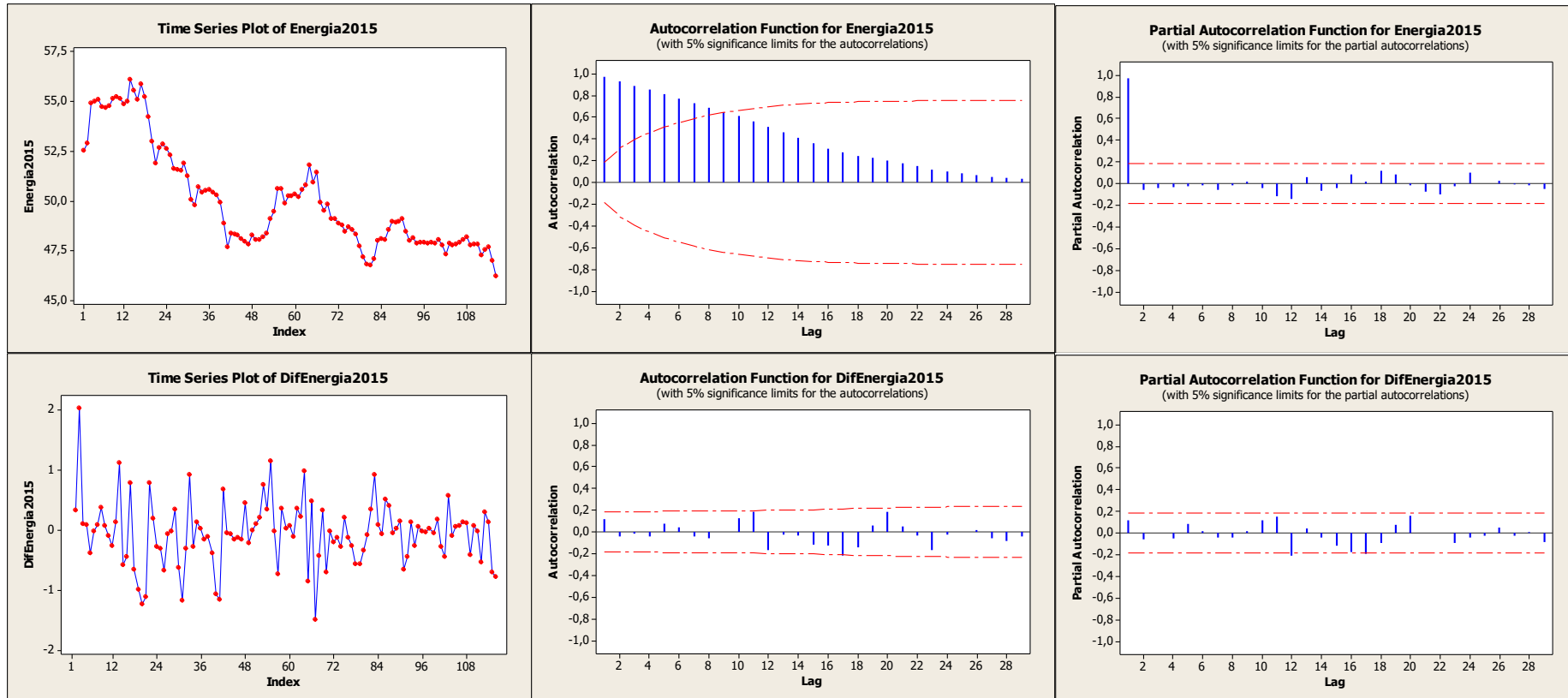


Figura A.14 – Gràfics corresponents a l'anàlisi de les sèries temporals abans i després de la diferenciació del preu de l'energia per a l'any 2014.

2015 – Residus i Mitjanes Mòbils

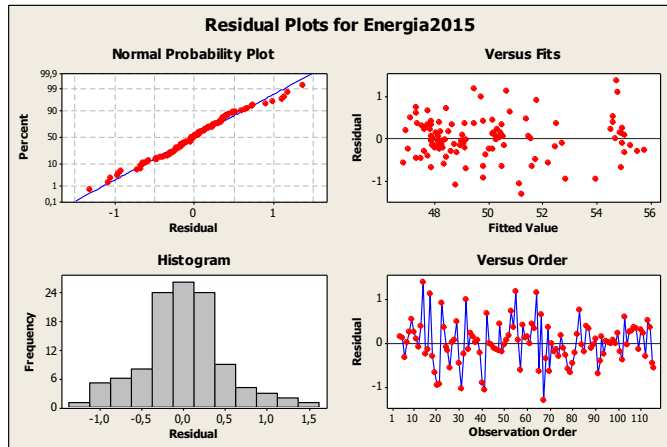


Figura A.15 – Anàlisi de residus per a la regressió lineal.

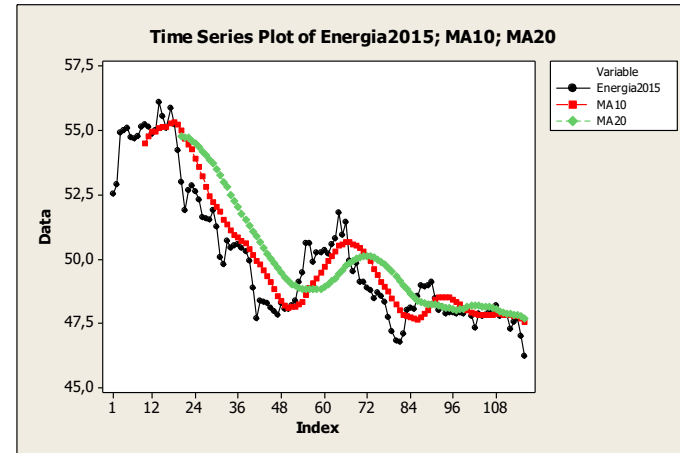


Figura A.16 – Gràfics temporals de les mitjanes mòbils escollides.

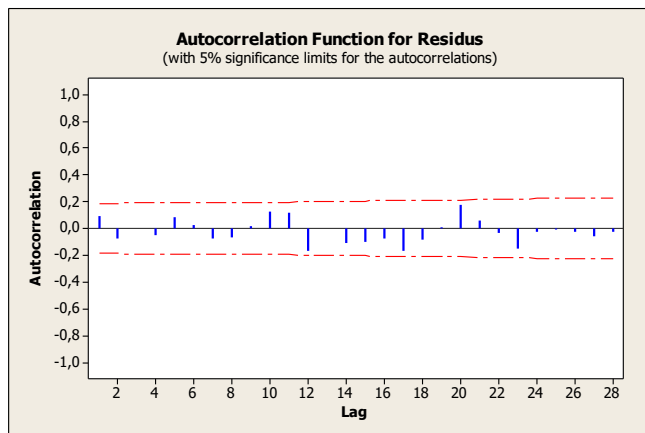


Figura A.17 – ACF dels residus per a l'any 2015.

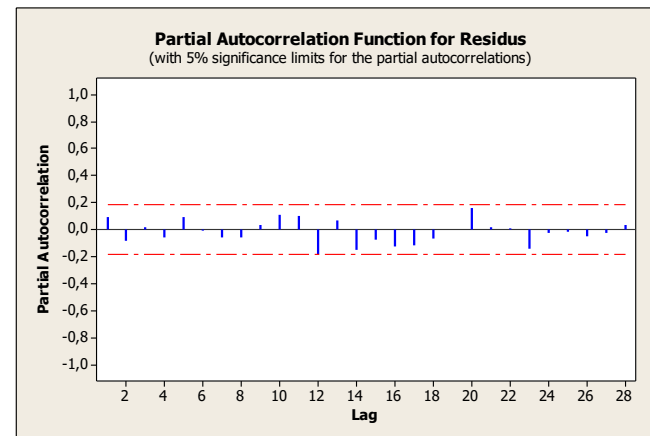


Figura A.18 – PACF dels residus per a l'any 2015.

Anàlisi de residus per al model global

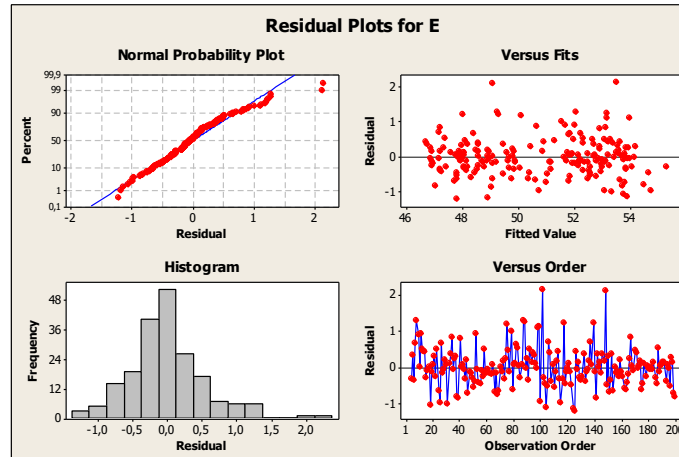


Figura A.19 – Anàlisi de residus per al model global escollit pels anys 2011-2015.

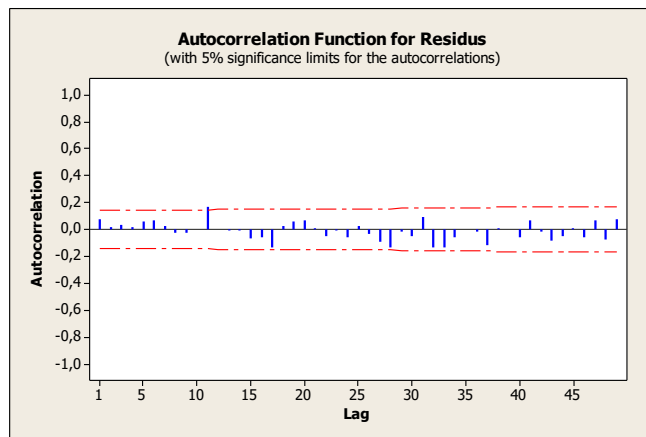


Figura A.20 – ACF dels residus per al model global.

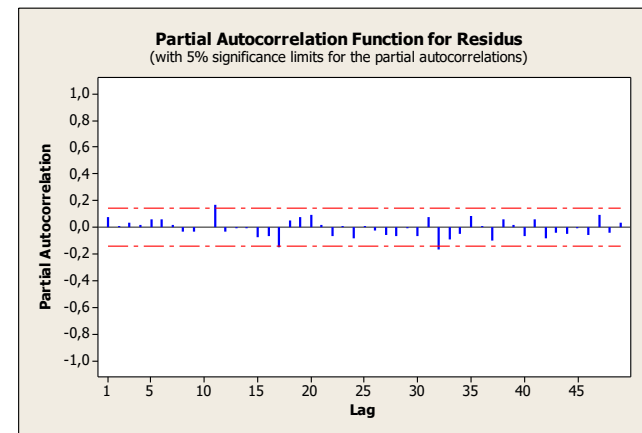


Figura A.21 – PACF dels residus per al model global.