

# Grau en Estadística

---

**Títol: Disseny d'un mòdul de validació per un sistema de gestió d'energia**

**Autor: Elsa Soler Alvarez**

**Director: Cristina Corchero Garcia**

**Departament: Estadística i investigació operativa**

**Convocatòria: Setembre 2022**



**Resum**

Aquest treball consisteix en la creació d'un mòdul de validació per un sistema de gestió d'energia, mitjançant la formulació d'indicadors que permeten verificar l'actuació del sistema. Per a fer-ho s'utilitzaran sèries temporals per analitzar l'evolució dels resultats obtinguts a través de la implementació d'una sèrie d'indicadors.

L'objectiu principal és contrastar el sistema de gestió d'energia pel cas pràctic proporcionat per l'Institut de Recerca d'Energia de Catalunya amb l'ús d'indicadors per via de resultats gràfics i numèrics.

Paraules clau: Sistema de gestió d'energia, potència, energia, generació, consum, sèries temporals

**Abstract**

This final thesis consists of the development of a validation module for an energy management system; by creating indicators that allow to verify the function of the system. In order to do so, temporary series will be used to analyze the periodic evolution of the obtained results.

The main objective is to contrast the system of energy management by the practical case provided by the "Institut de Recerca d'energia de Catalunya" with the usage of indicators through graphical and numerical results.

Keywords: energy management systems, power, energy, generation, consumption, time series

AMS classification:

- 37M10 Time series analysis

# Índex

<b>1</b>	<b>Introducció</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Metodologia</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Sistemes de Gestió d'Energia</b>	<b>6</b>
3.1	Definició . . . . .	6
3.2	Funcionalitats . . . . .	7
3.2.1	Normativa . . . . .	7
3.3	Conceptes bàsics . . . . .	8
3.4	Mercat i preus de l'energia a Espanya . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Exposició del cas pràctic</b>	<b>10</b>
4.1	Hybrid panel (PV) . . . . .	10
4.2	Bateries . . . . .	11
4.3	Cotxes elèctrics i carregadors . . . . .	11
<b>5</b>	<b>Indicadors per un sistema de gestió energètica</b>	<b>13</b>
5.1	Variables i paràmetres . . . . .	13
5.1.1	Plaques fotovoltaïques híbrides . . . . .	13
5.1.2	Bateries híbrides inversores . . . . .	13
5.1.3	Cotxes elèctrics i carregadors (V2G) . . . . .	14
5.1.4	Edifici . . . . .	15
5.1.5	Xarxa elèctrica . . . . .	15
5.1.6	Altres . . . . .	15
5.2	Formulació . . . . .	16
5.2.1	Indicadors econòmics . . . . .	16
5.2.2	Indicador mediambiental . . . . .	17
5.2.3	Indicadors energètics . . . . .	18
<b>6</b>	<b>Implementació dels càlculs</b>	<b>19</b>
6.1	Tipus base de dades i organització . . . . .	20
6.1.1	Extracció d'informació de la API . . . . .	20
6.2	Reorganització i transformació de les dades . . . . .	20
6.2.1	Càlcul de paràmetres: Ks . . . . .	21
<b>7</b>	<b>Anàlisi de dades</b>	<b>23</b>
<b>8</b>	<b>Resultats obtinguts</b>	<b>29</b>
8.1	Indicadors econòmics . . . . .	29
8.2	Indicador mediambiental . . . . .	31
8.3	Indicadors energètics . . . . .	34
<b>9</b>	<b>Conclusions</b>	<b>37</b>
<b>10</b>	<b>Bibliografia</b>	<b>38</b>
<b>11</b>	<b>Annexos</b>	<b>40</b>

## Índex de figures

1	Cercle de Deming: Les 4 etapes . . . . .	7
2	Gràfic representatiu de l'elecció del preu de l'energia (Heredia J., s/f) . . . . .	9
3	Esquema resum dels components de l'EMS i les seves característiques . . . . .	10
4	Diagrama de flux del procés d'implementació dels càlculs . . . . .	19

## Índex de taules

1	Paràmetres conjunt <b>PV</b> . . . . .	13
2	Variables conjunt <b>PV</b> . . . . .	13
3	Paràmetres conjunt de <b>HBI</b> . . . . .	14
4	Variables conjunt de <b>HBI</b> . . . . .	14
5	Paràmetres del conjunt <b>V2G</b> . . . . .	14
6	Variables del conjunt de <b>V2G</b> . . . . .	14
7	Paràmetres edifici. . . . .	15
8	Variables edifici. . . . .	15
9	Paràmetres xarxa elèctrica . . . . .	15
10	Variables xarxa elèctrica . . . . .	15
11	Altres paràmetres. . . . .	16
12	Mostra de potències del dia 16 d'octubre (kW) . . . . .	21
13	Mostra de 5 tecnologies del mix elèctric amb la proporció diari de generació . . . . .	21
14	Coefficients d'emissió de cada tecnologia (k) . . . . .	22

## Acrònims

- EMS: *Energy management system* o sistema de gestió d'energia
- IREC: Institut de Recerca i Energia de Catalunya
- API: *Application programming interface*

# 1 Introducció

El món de l'energia i les seves diferents aplicacions, com per exemple els sistemes de gestió d'energia, que consisteix en una tecnologia capaç de regular l'energia. Un tema que em va descobrir la Cristina Corchero, la qual em va motivar a portar a terme aquest treball de final de grau quan vaig començar a cursar l'assignatura que ella mateixa impartia d'optimització en enginyeria.

Com a tutora em va presentar dos possibles projectes, un d'ells era l'opció de crear un mòdul de validació per un sistema de gestió d'energia, on principalment hauria d'analitzar si l'aplicació d'aquest sistema millorava la gestió de l'energia en casos on hi hagués plaques fotovoltaïques i altres elements que afavoreixen l'autoconsum. Per altra banda, afegint que es tracten de dades d'una mateixa unitat observada en diferents moments en el temps i, per tant, s'han de tractar com sèries temporals, fet que em va semblar més motivador per decidir-me pel projecte. A més a més m'agrada plantejar-me reptes i crear un mòdul de validació d'un sistema de gestió d'energia, temàtica sobre la qual no tenia cap classe de coneixements inicials em suposava un gran estímul per nodrir-me de noves aptituds.

Els primers objectius marcats són, per ordre de rellevància, crear un mòdul de validació per a un sistema de gestió mitjançant la creació d'indicadors, implementar el mòdul en un cas pràctic real, analitzar els resultats amb complements gràfics i connectar les bases de dades d'influx amb l'aplicació *RStudio* per tal d'automatitzar el procés de validació.

El treball està estructurat en diferents capítols, en els capítols 3,4 i 5 es troba el marc teòric on es defineixen els conceptes, s'exposa el cas pràctic amb el qual s'aplica el mòdul de validació i finalment es presenten els indicadors que s'han creat per aquest. Als capítols restants hi ha l'aplicació dels indicadors i la representació dels resultats obtinguts amb la seva pertinent anàlisi.

Finalment, voldria agrair a la meua família i amics que han estat sempre recolzant-me en tot moment. També una especial menció a l'Alba Colet i Roger Valdés de l'IREC (Institut d'Energia de Catalunya) que han sigut un suport vital per poder fer el treball, d'igual manera que la meua tutora la Cristina Corchero, que sense ella no hagués estat possible.

## 2 Metodologia

Per el·laborar aquest treball de fi de grau es va dividir el procés en tres parts, la recerca d'informació per tal de contextualitzar tot el tema a treballar, aprendre sobre els conceptes bàsics d'un sistema elèctric per extreure el màxim d'informació que proporcionen les dades i poder interpretar-les correctament. La segona part consisteix en la redacció de la part teòrica de la memòria juntament amb la formulació dels indicadors. Finalment, la part pràctica on s'han analitzat les dades i la implementació dels càlculs.

L'objectiu de la primera part és assolir els coneixements necessaris per poder crear uns indicadors amb lògica per l'anàlisi. Així doncs, es va fer una recerca per diversos articles, primer cercant informació més sobre els sistemes de gestió d'energia, un cop comprés el seu ús i aplicacions es va cercar informació més detallada de cada element que es troba en el cas pràctic. Un cop obtinguda la informació, es va passar a la recerca de possibles indicadors útils. Es van fixar dos articles com a fonts principals on hi havia diferents indicadors ja formulats de forma genèrica que s'havien d'adaptar al cas pràctic i els seus components. Es van seleccionar els indicadors, que amb les dades proporcionades, es podria extreure uns resultats més interessants.

La part pràctica es basa en el treball de base de dades, amb la lectura de les taules i importació de les dades externes, transformacions i creació de les taules necessàries per al càlcul dels indicadors i finalment, l'el·laboració d'una anàlisi simple d'aquestes. Un cop preparat tot el conjunt de dades, es van implementar els càlculs dels indicadors. La manera d'organitzar-se va ser el·laborar un document per la preparació de les taules i per cada indicador un *script* amb els seus càlculs i gràfics necessaris. En el capítol 6, implementació dels càlculs, s'entra més en detall com ha estat tot el procés de tractament de les dades i implementació dels indicadors per obtenir els resultats. Paral·lelament a l'escriptura del codi es va anar redactant la memòria en un document *RMarkdown*.

Les dades provenen de dues fonts diferents, les principals, on hi ha registrat tota la potència de generació i consum del sistema de gestió d'energia i els nivells de càrrega dels elements amb bateries, són cedides per l'Institut de Recerca d'Energia de Catalunya (IREC) i per tal de poder obtenir uns indicadors que aporten més informació s'han obtingut diferents bases de dades de la *red eléctrica de España*. El tractament de dades i implementació de càlculs s'ha realitzat amb llenguatge *R*, i en casos puntuals *SQL*, mitjançant l'eina *RStudio* en tots els casos. Per tal de fer un seguiment cada setmana es duia a terme una reunió amb l'Alba i en Roger per solucionar dubtes, revisar l'evolució de la feina feta durant la setmana i marcar objectius per assolir abans de la següent trobada.

## 3 Sistemes de Gestió d'Energia

L'energia s'ha convertit en un recurs diari per la vida de les persones, directament relacionat amb el creixement econòmic i la millora de la vida quotidiana. De fet, l'electricitat és un servei essencial per l'economia moderna segona la Llei (54/97) i és considerat un bé bàsic. Per aquest motiu han sorgit necessitats per poder obtenir el màxim rendiment de l'ús d'aquesta i com a conseqüència també s'han creat els sistemes de gestió d'energia.

### 3.1 Definició

Amb el desenvolupament de les energies renovables i l'empitjorament del canvi climàtic ha sorgit la necessitat de millorar la gestió de l'ús de l'energia. Per aquest motiu han sorgit els sistemes de gestió d'energia o *energy management systems* (EMS), una tecnologia especialitzada en regular l'ús de l'energia en espais concrets, com ara espais públics, edificis o fins i tot en cases de particulars. Un EMS és capaç de recollir dades, processar-les de manera contínua en el temps i d'aquesta manera es pot gestionar el consum d'energia.

Segons l'article anomenat *Energy management systems*, el·laborat per Sherezod Horinov i Shsnoza Horinova, ambdues enginyeries a la universitat politècnica de Turin, la gestió d'energia és la clau per reduir el consum d'energia d'una organització o entitat pública. Un EMS és capaç de detectar a on i en quin procés s'està consumint un recurs i amb aquesta informació poder actuar-hi depenent de la finalitat que es vulgui assolir. Els principals objectius, segons Andrew Singer, professor d'enginyeria electrònica i computacional a la universitat d'Illinois, per aconseguir un EMS eficaç, són augmentar i millorar l'eficiència energètica, gestió dels riscos on s'engloba la reducció dels costos i finalment la sostenibilitat ambiental com ara la rebaixa de les emissions de diòxid de carboni ( $CO_2$ ).

En la situació actual, on el cost de l'energia ha augmentat molt respecte a anys anteriors, degut sobretot al context social que s'està vivint amb falta de recursos, com ara el gas, motiu pel qual augmenta el seu preu i en conseqüència el cost de l'energia. El mercat estableix un preu únic per tota l'energia indiferentment d'on provingui, aquest preu és marcat amb el preu de la tecnologia de l'última unitat d'energia comprada. Per poder proveir tota la demanda és necessària l'energia que prové dels combustibles fòssils i finalment són aquests els que marquen el preu de l'electricitat. L'any 2019 el preu mitjà del mega watt hora va ser de 47,68 €, mentre que el 2021 va superar els 110 €/MWh, arribant a un pic màxim de 545 €/MWh el març de 2022 (E·SIOS, s/f).

El ràpid augment del preu del gas va començar a principis de 2021 amb la borrasca Filomena a Espanya, que va deixar les reserves de gas baixes, a causa de l'augment de la demanda. A més a més amb la pandèmia de la COVID-19 l'activitat econòmica es va aturar i en conseqüència la demanda de gas natural, ara l'economia s'ha anat recuperant però de manera més ràpida que les reserves de gas. S'ha de tenir en compte que actualment Espanya importa quasi el 100% del gas de països com Argèlia, Rússia o Qatar entre altre, això fa que les reserves depenguin bàsicament de les relacions comercials i geopolítiques amb aquests països (Molina C, 2021), les quals actualment són complicades donada la guerra entre Rússia i Ucraïna.

Un altre factor molt rellevant pel qual s'ha d'estalviar l'energia és per frenar el canvi climàtic, ja que la producció d'energia suposa una gran quantitat d'emissions de  $CO_2$ , el principal causant d'aquest (What's Your Impact, 2017). Aquestes emissions van començar amb la revolució industrial i el 1950 en tot el món es van emetre sis bilions de tones de  $CO_2$ , però quaranta anys després aquesta xifra ja superava els vint-i-dos bilions de tones. L'any 2019, just abans de la pandèmia, les emissions van arribar quasi als trenta-set bilions de tones. Una conseqüència d'aquest augment de les emissions ha estat l'efecte hivernacle amb impactes mediambientals com l'increment del nivell del mar, augment de les sequeres i de les temperatures entre altres. La principal font responsable d'aquestes xifres elevades ha estat el combustible fòssil, la qual des de fa uns anys s'estan prenent mesures per reduir el seu ús potenciant les energies renovables.

L'EMS es basa a monitorar, controlar i conservar l'energia d'una organització, ja pot ser un edifici o un grup d'habitatges. Els passos principals que se segueixen són la recopilació de les dades de l'energia consumida, convertir aquestes dades en informació i d'aquesta manera trobar oportunitats per estalviar energia, trobar algun patró de malbaratament d'energia i trobar-ne l'origen per poder actuar-hi. Finalment fer un seguiment del procés amb l'ajuda d'uns indicadors que són útils i permeten mesurar l'evolució i ajudar a prendre decisions basades únicament en els resultats de manera completament objectiva (US EPA, 2021).

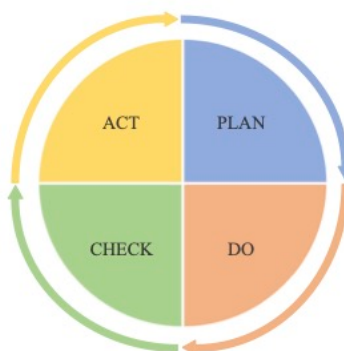
Actualment, en el mercat podem trobar diferents tipus d'EMS especialitzats segons el context en el qual es volen aplicar.

Els tres tipus són *home energy management system*, *building EMS* i finalment *industrial EMS*. A més a més també els podem diferenciar per aplicació, bàsicament residencial o comercial, per client final, com ara *IT*, producció, venda al detall o atenció sanitària entre altres. Segons un informe publicat per *Allied Market Research*, els sistemes de gestió d'energia el 2020 estaven valorats amb 36.2 bilions de dòlars i s'estima que cap al 2030 estarà valorat en 161.9 bilions de dòlars, un mercat amb molt bones previsions de futur i que podrà anar millorant encara més amb l'ajuda dels avenços tecnològics.

## 3.2 Funcionalitats

Els EMS es basen en un cicle de millora constant a través de la recollida d'informació a temps real. Aquest procés és conegut com a Cercle de Deming, utilitzats sobretot en entorns de millora de les empreses per millorar la seva competitivitat, qualitat dels productes o serveis que presenten, reduir costos o eliminar riscos entre altres necessitats. Aquest està format per quatre etapes que s'executen de manera circular, és a dir, quan s'acaba l'última es torna a començar el cicle. Això permet anar aprenent dels cicles anteriors i anar millorant els resultats (Meinsa, 2020).

Figura 1: Cercle de Deming: Les 4 etapes



Les quatre etapes principals són planificar, fer, controlar i actuar, conegudes en anglès com *plan*, *do*, *check* i *act* (PDCA).

- **Planificar:** Es defineix el problema o activitat a millorar. S'identifiquen els objectius energètics que es volen assolir i es determinen unes metes concretes. Amb ajudes d'eines com diagrames de Gantt, anàlisi modal d'errades i efectes.
- **Fer:** Consisteix en l'assignació de recursos energètics respectant una estratègia de consum concreta, moment on s'apliquen els primers càlculs i es registri els càlculs obtinguts.
- **Controlar:** Es mesuren els canvis detectats anteriorment gràcies a l'EMS, s'avaluen els beneficis i es comprova el compliment de les obligacions legals. Amb l'ajuda d'eines com diagrames de Pareto o Check lists es comprova si la millora implantada ha aconseguit arribar al propòsit plantejat.
- **Actuar:** Per últim, es revisa l'EMS per comprovar si el seu ús ha estat satisfactori. Si s'ha assolit la finalitat, s'establiran les condicions per mantenir-lo. En cas que no, es tornarà a reproduir el cicle per poder continuar millorant.

### 3.2.1 Normativa

A Espanya per tal d'aconseguir el certificat ambiental i energètic s'han de complir un seguit de normatives, d'aquesta manera les organitzacions poden demostrar el seu compromís amb la reducció de l'impacte mediambiental i la millora del rendiment energètic.

Per una banda, es troba la regulació internacional ISO 14001, la més reconeguda pels sistemes de gestió ambiental que permet aplicar-se a qualsevol sector, àmbit o activitat empresarial. Obtenir aquest certificat permet a les organitzacions, entre altres beneficis, construir i operar un sistema de gestió mediambiental, facilitar la reducció de la contaminació



incloent l'impacte relacionat amb el producte des d'una perspectiva del cicle de vida o millorar la gestió dels seus recursos incloent l'ús de l'energia.

Per tal de garantir l'eficiència de les mesures adoptades pel sistema de gestió d'energia es va crear la regulació ISO 50001 que proporciona els requisits per establir, gestionar i millorar el consum i eficiència energètica. De la mateixa manera que la normativa ISO 40001 aquesta permet ajudar a qualsevol classe d'organització, però centrant-se a executar un mètode sistemàtic que permet establir correctament les prioritats.

La principal diferència és que la llei ISO 140001 es centra en el resultat ambiental mentre que l'ISO 50001 estableix un marc en comú per la gestió de l'energia. De totes maneres es va dissenyar l'ISO 50001 amb elements en comú amb la primera (ISO 140001), permeten integrar de manera senzilla un sistema d'ISO 50001 a les diferents estructures. La implementació d'aquestes normatives suposen fins a un 41% d'estalvi en el consum energètic de diferents empreses (NORMAS ISO, s/f).

### 3.3 Conceptes bàsics

A continuació es definiran de manera precisa alguns conceptes que intervenen en el procés de creació d'indicadors.

L'energia elèctrica és un tipus d'energia que es genera per l'atracció i repulsió entre càrregues elèctriques i té la capacitat de transformar-se en altres classes d'energia com pot ser l'energia lumínica (S., 2019). En canvi, la potència elèctrica, es defineix com la quantitat d'energia que emet o absorbeix un cos en una unitat de temps (S., 2017). Els dos conceptes es poden relacionar com

$$Energia = Potència \cdot duració.$$

Així doncs, en el cas de la potència elèctrica es genera amb el moviment d'electrons positius i negatius dins de materials conductors i es mesura en Kilowatts (kW). És la proporció de corrent elèctrica que es transfereix en un circuit elèctric per unitat de temps. En canvi, l'energia elèctrica consumida per un dispositiu es medeix en Kilowatts hora (kWh), i es defineix com l'existència d'una diferència potencial entre dos punts (Planas O, 2021).

La capacitat d'una bateria és la potència que té aquesta quan està completament carregada. Aquesta es mesura en quilowatt hora (kWh), és a dir en el cas que es tingui una bateria de 10 kWh, vol dir que en una hora pot oferir un corrent de 10 kW o de manera equivalent durant 10 hores pot oferir 1 kW cada una. A la pràctica també intervenen altres factors com ara que contra més ràpid es descarregui una bateria més energia es pot perdre per la resistència interna.

Directament relacionat amb la capacitat d'una bateria hi ha l'estat de càrrega o *state of charge (SOC)*. Mesura la quantitat d'energia disponible d'una bateria i està expressada en percentatge. Permet saber si està molt o poc carregada però el temps dependrà de com estiguem fem la càrrega, a alta o baixa potència.

A la teoria tota l'energia de càrrega, per exemple d'una bateria, és equivalent a l'energia descarregada. En aquest cas diríem que la bateria té una eficiència del 100%, a la pràctica mai es compleix. Així doncs, es defineix com eficiència de càrrega a la relació entre l'energia, utilitzada per carregar una bateria o generada per una placa solar, i la que està realment emmagatzemada.

Les instal·lacions elèctriques poden ser de dos tipus diferents: monofàsic o trifàsic. Un sistema monofàsic és aquell que està format per un únic corrent altern el qual produeix, distribueix i consumeix l'energia. Aquests són comuns per càrregues bàsiques d'il·luminació i calefacció o per petits motors elèctrics. Per altra banda, el sistema trifàsic consta de tres corrents alternes monofàsiques de la mateixa freqüència. Normalment, s'utilitza generadors trifàsics, ja que, la xarxa elèctrica també ho és, s'usa habitualment en àmbits més industrials on la maquinària requereix aquesta tensió (Iguen, 2021).

Finalment, cal definir el concepte d'autoconsum o *self-consumption*, aquest és definit segons el DIEC (Diccionari de l'Institut d'Estudis Catalans) com *consum de la producció pròpia*. En l'àmbit energètic s'entén com la proporció d'energia generada i consumida de manera pròpia per l'agent generador.

### 3.4 Mercat i preus de l'energia a Espanya

L'electricitat no és un bé que es pot emmagatzemar en grans quantitats, per aquest motiu quan es parla de la generació d'electricitat a escala de la xarxa és necessari que hi hagi un sobre capacitat, és a dir, que hi hagi més generació que

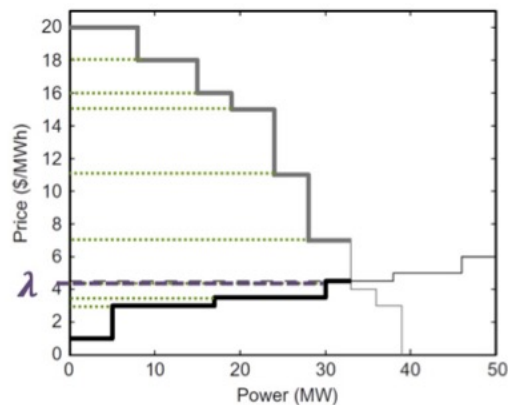
pic de consum per poder assegurar que abastiment en tot moment i a la vegada s'ha de realitzar la generació al mateix moment que es consumeix, donada la dificultat d'emmagatzematge a nivells tan elevats com poden ser els de la xarxa pública.

Per poder determinar quina central genera en cada moment i a quin preu, depèn de dos criteris: tècnic i econòmic, corresponents a l'operador de xarxa i de mercat respectivament. Hi ha dues premisses que s'han de complir, l'exercici de lliure competència per tal que els consumidors tinguin el menor preu a pagar; i també s'ha de tenir la capacitat de subministrar en qualsevol moment a tothom. Com a conseqüència, per tal de determinar la demanda que hi haurà la *Red Eléctrica de España* disposa d'un algoritme que preveu amb molta precisió el nivell de demanda per tal de poder treballar amb una base.

El mercat de producció d'energia elèctrica a Espanya és gestionat pel *Operador del Mercado Ibérico, polo Español* (OMIE). Per determinar el preu hi ha una sessió diària en la qual es negocia el major part de l'energia, després hi ha sis sessions interdiàries, són subhastes on s'acaba d'ajustar algunes quantitats un cop està fix el mercat diari. Llavors els diferents generadors presenten diàriament les seves ofertes de venda per cada hora de l'endemà i al mateix moment les comercialitzadores i grans consumidors presenten les seves ofertes de compra, l'energia que es té previst consumir en cada hora. Aquí també intervé la capacitat d'interconnexions internacionals on es valora si surt més econòmic exportar o importar l'energia (Munguía, S.F, 2021).

L'OMIE és l'encarregat de trobar el punt d'equilibri entre les ofertes dels generadors i la demanda dels consumidors. El procediment que se segueix és ordenar de menor a major les ofertes de generació i de major a menor el preu de compra de la demanda. El preu final de l'electricitat serà el del punt d'equilibri, per tots els generadors hi haurà el mateix preu tot i que la seva oferta fos inferior. En la figura 2 es pot observar com es determinaria el preu final  $\lambda$  en aquest cas hipotètic, on tots els generadors que queden a la dreta del punt d'equilibri no entrarien dins del mercat en aquell període i d'igual manera passaria amb els consumidors que el seu preu de demanda no arriba al valor d'equilibri  $\lambda$ .

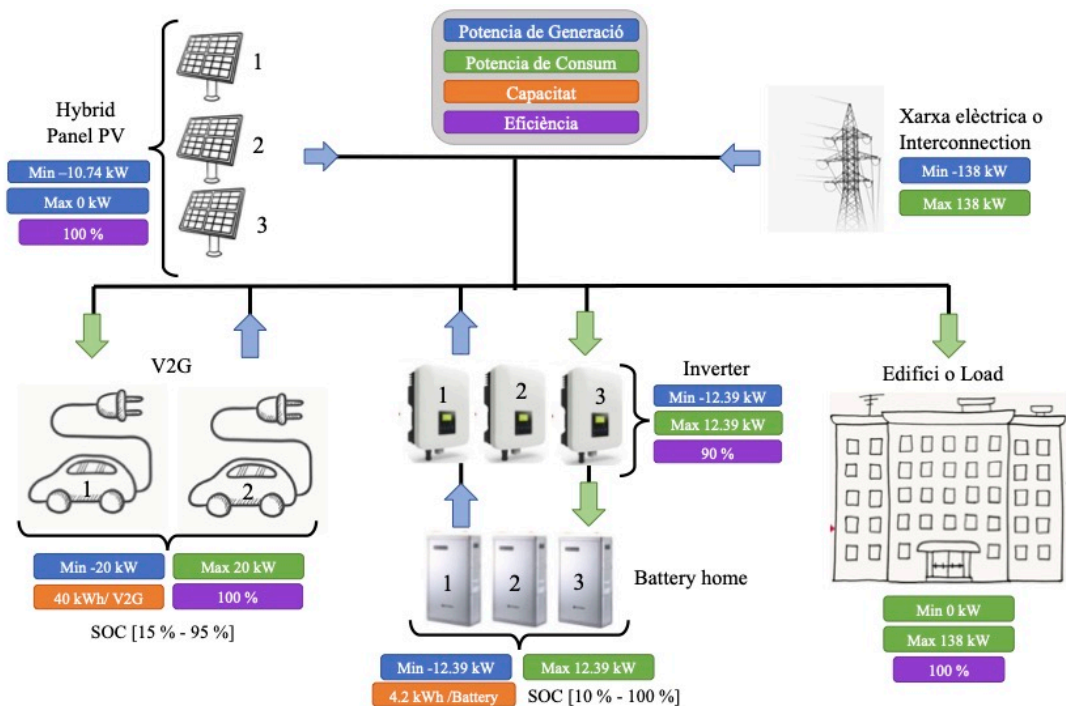
**Figura 2:** Gràfic representatiu de l'elecció del preu de l'energia (Heredia J., s/f)



## 4 Exposició del cas pràctic

El principal objectiu és crear un mòdul de validació per un sistema de gestió d'energia. Les dades que es disposen han estat recollides per un EMS d'un recinte amb diferents components l'any 2019. Els principals components que proporcionen l'energia són la xarxa elèctrica i un conjunt de tres panells solar (*Hybrid Panel PV*). Com a unitats de consum es té un edifici i dos carregadors de vehicles elèctrics de tipus V2G, aquests permeten tant la càrrega com la descàrrega del vehicle en cas que sigui necessari. Finalment, també està compost per un conjunt de tres bateries que poden estar carregades per energia de la xarxa o pels panells solars i utilitzar aquesta energia en algun altre moment per abastir les necessitats de les unitats de consum. Ens trobem en el cas d'un sistema trifàsic on alguns dels components, els panells i les bateries, cada unitat es equivalent a una fase (R,S i T).

Figura 3: Esquema resum dels components de l'EMS i les seves característiques



### 4.1 Hybrid panel (PV)

En un sistema de gestió d'energia les plaques solars són un element molt important per a l'autoconsum. Aquestes les podem classificar segons la seva finalitat en plaques solars fotovoltaïques, tèrmiques o híbrides. A grans trets la principal diferència entre fotovoltaïques i tèrmiques és que la tecnologia de les primeres és més complexa, converteixen l'energia solar en electricitat, tenen una vida útil d'entre 25 i 30 anys i una eficiència d'un 20%. Per altra banda, les plaques solars tèrmiques tenen una tecnologia més senzilla, utilitzen l'energia solar per calefacció, una vida útil d'entre 10 i 15 anys i una eficiència d'un 90%. Finalment, les plaques solars híbrides són una combinació de les dues anteriors amb la capacitat de generar electricitat com calefacció (Tarifasluz, 2022).

Els panells solars fotovoltaïcs estan formats per cel·les solars, les encarregades de transformar la llum del Sol en electricitat. Aquestes estan connectades entre elles dins els panells, contra més superfície tingui el panell, més cel·les tindrà i, per tant, captarà més llum que es podrà transformar en corrent continua.

Les cel·les solars estan construïdes en dues parts, la primera amb un material semiconductor amb excés d'electrons de càrrega negativa i l'altra part amb un material semiconductor amb dèficit d'electrons de càrrega positiva. Quan s'uneixen i reben la llum, els fotons de la llum donen l'energia als electrons del semiconductor movent-se entre les dues parts de la cel·la generant corrent elèctric. La majoria dels panells solars fotovoltaïcs tenen entre 36 i 96 cel·les connectades en serie. La potència total generada per un panell és la suma de les potències de cada una de les cel·les.

Tot aquest procés transforma l'energia procedent del sol i la transforma en corrent continu no apte per l'ús en cases, excepte determinats equips. Per aquest motiu és necessari un inversor per a plaques solars que transforma l'energia continua en alterna i d'aquesta manera permet poder utilitzar l'energia generada en el consum diari de les cases o instal·lacions necessàries. Els inversors poden anar connectats a la xarxa elèctrica o no; també poden ser monofàsics o trifàsics. Els monofàsics són els que es fan servir a la majoria dels habitatges, ja que només empenen una fase, un únic corrent altern i la seva tensió normalitzada és aproximadament de 230 volts. En canvi, els inversors trifàsics estan formats per tres fases, tres corrents alterns monofàsics diferents i la seva tensió normalitzada és fixa en 380 volts, el seu ús és més habituals en instal·lacions més grans com empreses, indústries o habitatges molt grans (Àrea tecnologia, s/f). Pel cas pràctic les plaques que s'usen són trifàsiques on cada una suposa una fase diferent.

Els principals avantatges d'utilitzar panells solars són que produeixen energia renovable, ajuden a estalviar energia, tenen un manteniment mínim i una vida útil molt llarga. Però tot i que produeixi una energia renovable la seva fabricació depèn d'energies no netes i requereixen una inversió inicial amb un cost bastant elevat, tot i que amb el temps es va recuperant. L'energia generada no sempre es pot consumir tota i en aquest cas hi ha dues opcions per donar-li ús, la primera seria emmagatzemar aquesta energia en bateries solar i la segona seria vendre-la a la xarxa elèctrica per l'ús d'altres usuaris.

## 4.2 Bateries

A diferència de les plaques solars, les bateries o acumuladors són elements prescindibles en una instal·lació fotovoltaica, però d'una gran importància quan s'utilitzen. Permeten reduir el consum d'energia de la xarxa i estalviar a la factura de la llum, ja que emmagatzemen l'energia generada per les plaques i usar-la en hores on el sol no brilla o quan més energia es requereix. Per connectar les plaques amb les bateries s'usen els inversors, anteriorment esmentats.

Els acumuladors solars els podem dividir en diferents tipus segons la tecnologia utilitzada pels fabricants. Les principals categories són les bateries de plom àcid obert, AGM, de gel, estacionàries o de liti. Les principals diferències entre cada tipus és el nombre de cicles de vida, la proporció de descàrrega que permeten o si és necessari o no el manteniment. Les bateries de plom àcid obert i les AGM estan més pensades per l'ús de caravanes amb cicles curts, les bateries de gel es poden arribar a fer servir en habitatges que tinguin un consum molt baix, per últim les bateries solars estacionàries i de liti són les emprades per instal·lacions amb consums grans o desconnectats de la xarxa elèctrica amb cicles de vida molt més elevats i permeten descarregar fins al 80% o quasi al 100%, respectivament cada una (Hilcu M., 2022). D'igual manera que les plaques, les bateries també poden tenir un sistema trifàsic, en el cas pràctic hi ha un conjunt de tres bateries de liti on cada una representa una fase d'aquest.

Les instal·lacions fotovoltaïques amb bateries proporcionen un major estalvi, però requereixen una major inversió inicial. Les instal·lacions que no disposen d'acumuladors tenen l'opció de vendre l'energia, però el preu de venda és més baix que el de compra i en proporció s'estalvia més en les instal·lacions que disposen dels acumuladors. De totes maneres aconseguir una desconexió total de la xarxa requereix una gran inversió en bateries i mai es perd del tot el risc de quedar-se sense subministrament elèctric.

## 4.3 Cotxes elèctrics i carregadors

Un cotxe elèctric es caracteritza per utilitzar com a font d'energia l'electricitat, està format per un o més motors elèctrics que s'alimenten de l'energia emmagatzemada en una bateria. Normalment, aquestes bateries es carreguen en punts on hi ha carregadors elèctrics amb una presa de corrent, de totes maneres tenen un sistema d'autocarrega que s'activa quan circulen normalment en pendents en baixades o durant les frenades. Estan formats per tres parts principals motors, bateria i transformadors (RACE, 2021).

La funció del motor és transformar l'energia elèctrica en mecànica, que és la que impulsa el vehicle, a més a més és el que permet recuperar energia en les situacions anteriorment esmentades. El motor està compost pel carregador, receptor de l'electricitat, l'inversor, transforma el corrent continu a altern trifàsic i per últim el controlador, gestiona l'ús de l'energia emmagatzemada perquè arribi a tots els equips necessaris de manera eficaç i segura. La bateria és l'equivalent al dipòsit en els cotxes de combustió, un component clau que intervé directament en l'autonomia, prestacions i cost final del vehicle. En el cas dels cotxes les bateries més comunes són les de liti i la seva capacitat pot estar entre els 16 kWh i 90 kWh. Finalment, els convertors s'encarreguen de modificar el corrent altern rebut per la xarxa elèctrica a corrent continu per emmagatzemar-lo a la bateria.

Les bateries dels cotxes elèctrics són molt potents i per aquest motiu no només es limiten a la finalitat de desplaçar el vehicle. Per no desaprofitar energia han sorgit els cotxes elèctrics V2V, V2H i V2G que permeten donar-li més utilitat a aquestes bateries. El tipus V2V, *Vehicle to Vehicle*, permet recarregar entre diferents vehicles elèctrics, actualment alguns vehicles de rescat ja estan preparats per aquesta necessitat. Els cotxes V2H, *Vehicle to Home*, com en el primer cas, però on el receptor és un habitatge. Finalment, els cotxes V2G, *Vehicle to Grid*, són la base de les ciutats intel·ligents, on el principal receptor és la xarxa elèctrica; a més a més aquest tipus és el que s'usa en el cas pràctic. Aquestes característiques poden ser possibles gràcies a la càrrega bidireccional, tecnologia que permet la transferència entre dos punts en les dues direccions, per poder proporcionar energia a altres components és necessari que el cotxe tingui el màxim de capacitat possible i un inversor (Plaza D., 2021).

La càrrega dels vehicles elèctrics pot variar segons la seva rapidesa. Primer es troba la càrrega convencional, utilitzada en àmbit més domèstic, on normalment és necessari entre 4 i 8 hores per obtenir una càrrega sencera i se sol fer a la nit. En el següent nivell es trobaria la càrrega semiràpida, creada per ser usada en espais on és habitual estar amb el cotxe estacionat entre una o dues hores on la potència elèctrica varia entre 7,4 i 22 kWh en corrent altern, coma ara supermercats, centres comercials o fins i tot a la feina, aquesta opció permet carregar el vehicle fins al 80% en una hora aproximadament, depèn de les característiques pròpies de cada un. Finalment, la càrrega ràpida, permet tenir el vehicle pràcticament carregat en 20 o 30 minuts arribant a una potència elèctrica de fins a 43 kWh en corrent altern, pensat per estacions de serveis.

## 5 Indicadors per un sistema de gestió energètica

Amb l'objectiu de validar el sistema de gestió d'energia s'han proposat un grup d'indicadors que es classifiquen en econòmics, mediambientals i energètics. La seva finalitat és poder concloure si la implementació de l'EMS (*Energy Management System*) ha millorat la gestió de l'energia pel cas pràctic proporcionat durant el període de temps que va estar actiu.

### 5.1 Variables i paràmetres

A continuació es plantegen totes les variables i paràmetres que s'utilitzen per al càlcul dels indicadors, separats pels principals components del cas pràctic i altres paràmetres. Els paràmetres de limitació per màxims i mínims són equivalents al cas de tenir una potència màxima o mínima contínua durant un període de temps, en casos puntuals es podria superar aquests valors. Per tots els casos que es fa referència a la variable potència engloba la potència de generació amb valors negatius i potència de consum amb valors positius

$$\begin{cases} P_x > 0 & \text{Potència de consum o càrrega} \\ P_x < 0 & \text{Potència de generació o descàrrega} \end{cases}$$

#### 5.1.1 Plaques fotovoltaïques híbrides

L'element generador principal és el conjunt de les tres plaques fotovoltaïques. Cada placa està en una fase del sistema trifàsic. Es treballarà sota el supòsit que és un sistema balancejat i, per tant, es tractaran les tres plaques com a conjunt, aquest serà anomenat **PV**. Cada placa té una potència de generació màxima de 3,58 kW, així doncs el conjunt **PV** té una potència de generació equivalent a 10,74 kW i una eficiència del 100%. Com ja s'ha esmentat anteriorment la potència de generació s'expressa en valors negatius, per tant, l'interval de valors que oscil·la la potència del conjunt **PV** es troba entre -10,74 kW i 0 kW.

#### Paràmetres

Símbol	Descripció	Valor	Unitats
$P_{PV}^{min}$	Potència mínima pel conjunt <b>PV</b>	-10,74	kW
$P_{PV}^{max}$	Potència màxima pel conjunt <b>PV</b>	0	kW
$E_{PV}$	Eficiència del conjunt <b>PV</b>	100	%

**Taula 1:** Paràmetres conjunt **PV**

#### Variables

Símbol	Descripció	Domini	Unitats
$P_{PV(d,t)}$	Potència per <b>PV</b> dia $d$ al time step $t$	$P_{PV}^{min} < P_{PV(d,t)} < P_{PV}^{max}$	kW

**Taula 2:** Variables conjunt **PV**

#### 5.1.2 Bateria híbrida inversora

Com s'ha mencionat en capítols anteriors les bateries no són un element obligatori per poder tenir un EMS, però el seu ús millora el rendiment obtingut. En aquest cas es té un conjunt de tres bateries, que de la mateixa manera que les plaques PV cada una forma part d'una fase del sistema trifàsic i d'igual manera es tractarà com un conjunt que s'anomenarà **HBI**. La informació principal disponible és la potència de consum i generació, amb una capacitat màxima de 4,2 kWh per bateria, és a dir 12,6 kWh per **HBI** i un nivell de càrrega (SOC) entre el 10% i 100%. També es té en compte els inversors, cada un amb una fase diferent amb una eficiència del 90%.

## Paràmetres

Símbol	Descripció	Valor	Unitats
$P_b^{min}$	Potència mínima del conjunt <b>HBI</b>	-12,39	kW
$P_b^{max}$	Potència màxima del conjunt <b>HBI</b>	12,39	kW
$Cb^{max}$	Capacitat màxima per bateria	4,2	kWh
$SOCb^{min}$	Nivell de càrrega mínim de cada bateria	10	%
$SOCb^{max}$	Nivell de càrrega màxim de cada bateria	100	%
$E_i$	Eficiència del conjunt d'inversors	90	%
$P_i^{min}$	Potència mínima del conjunt d'inversors	-12,39	kW
$P_i^{max}$	Potència màxima del conjunt d'inversors	12,39	kW

**Taula 3:** Paràmetres conjunt de **HBI**

## Variables

Símbol	Descripció	Domini	Unitats
$P_{b(d,t)}$	Potència del conjunt <b>HBI</b> el dia $d$ al time step $t$	$P_b^{min} \leq P_i^{min} \leq P_{b(d,t)} \leq P_i^{max} \leq P_b^{max}$	kW
$soc_{b(d,t)}$	Nivell de càrrega de la bateria el dia $d$ al time step $t$	$SOCb^{min} \leq soc_{b(d,t)} \leq SOCb^{max}$	%

**Taula 4:** Variables conjunt de **HBI**

### 5.1.3 Cotxes elèctrics i carregadors (V2G)

Pel cas dels cotxes elèctrics i els carregadors, a diferència dels elements anteriors, en ambdós carregadors es troben les tres fases unificades i cada un representa un element independent, tot i això, seran tractats com un únic element anomenat conjunt dels **V2G**, perquè comparteixen les mateixes característiques. Es disposa d'un conjunt de variables similar a **HBI** amb una potència de generació i de consum, representada amb valors negatius i positius respectivament, amb una eficiència del 100%, una capacitat màxima per vehicle de 40 kWh i un nivell de càrrega entre el 15% i el 95%. En aquest cas, però s'ha de diferenciar la potència de consum del carregador i del vehicle, ja que depenent de l'eficiència poden tenir valors diferents.

## Paràmetres

Símbol	Descripció	Valor	Unitats
$P_c^{min}$	Potència mínima del conjunt <b>V2G</b>	-20	kW
$P_c^{max}$	Potència màxima del conjunt <b>V2G</b>	20	kW
$Cb^{max}$	Capacitat màxima per vehicle elèctric	40	kWh
$SOCb^{min}$	Nivell de càrrega mínim per vehicle elèctric	15	%
$SOCb^{max}$	Nivell de càrrega màxim per vehicle elèctric	95	%
$E_c$	Eficiència dels carregadors	100	%

**Taula 5:** Paràmetres del conjunt **V2G**

## Variables

Símbol	Descripció	Domini	Unitats
$P_{c(d,t)}$	Potència del conjunt <b>V2G</b> al dia $d$ al time step $t$	$P_c^{min} \leq P_{c(d,t)} \leq P_c^{max}$	kW
$P_{r(d,t)}$	Potència del conjunt de vehicles elèctrics al dia $d$ al time step $t$	$P_c^{min} \cdot E_c \leq P_{r(d,t)} \leq P_c^{max} \cdot E_c$	kW
$soc_{c(d,t)}$	Nivell de càrrega per cotxe el dia $d$ al time step $t$	$0 \leq soc_{c(d,t)} \leq SOC^{max}$	%

**Taula 6:** Variables del conjunt de **V2G**

Tot i que a la pràctica l'eficiència mai pot ser del 100%, en l'avaluació dels indicadors es tindrà en compte aquest valor, ja que a les dades proporcionades per l'IREC s'afirma que és aquest. Així doncs, les variables  $P_{c(d,t)}$  i  $P_{r(d,t)}$  les podem relacionar com  $P_{r(d,t)} = E_c \cdot P_{c(d,t)}$ , per tant, en aquest cas pràctic on l'eficiència dels carregadors és equivalent 100% podem afirmar que  $P_{c(d,t)} = P_{r(d,t)}$ , pel càlcul dels indicadors s'utilitzarà  $P_{c(d,t)}$  com la potència del conjunt **V2G**.

### 5.1.4 Edifici

L'edifici o *load* és el component principal de consum d'energia on només es disposa de la informació de la potència consumida amb uns màxims de 138 kW i una eficiència del 100%.

#### Paràmetres

Símbol	Descripció	Valor	Unitats
$P_e^{max}$	Potència màxima de l'edifici	138	kW
$E_e$	Eficiència de l'edifici	100	%

**Taula 7:** Paràmetres edifici

#### Variables

Símbol	Descripció	Domini	Unitats
$P_{e(d,t)}$	Potència consumida de l'edifici el dia $d$ al time step $t$	$0 \leq P_{e(d,t)} \leq P_e^{max}$	kW

**Taula 8:** Variables edifici

### 5.1.5 Xarxa elèctrica

Per finalitzar, l'últim component és la xarxa elèctrica o *interconnection* on l'organització té una potència màxima de 138 kW, aquesta energia és generada per un mix elèctric que cada dia pot variar. A més a més, es considera els valors negatius el cas quan es ven l'energia i positiu quan se'n compra.

#### Paràmetres

Símbol	Descripció	Valor	Unitats
$P_i^{min}$	Potència mínima de la xarxa elèctrica	-138	kW
$P_i^{max}$	Potència màxima de la xarxa elèctrica	138	kW

**Taula 9:** Paràmetres xarxa elèctrica

#### Variables

Símbol	Descripció	Domini	Unitats
$P_{i(d,t)}$	Potència de la xarxa elèctrica el dia $d$ al time step $t$	$P_i^{min} \leq P_{i(d,t)} \leq P_i^{max}$	kW

**Taula 10:** Variables xarxa elèctrica

La variable  $P_{i(d,t)}$  no està proporcionada directament per les dades disponibles, llavors s'aproximarà com

$$P_{i(d,t)} = P_{PV(d,t)} + P_{b(d,t)} + P_{c(d,t)} + P_{e(d,t)}.$$

### 5.1.6 Altres

A part de les variables i paràmetres relacionats amb els components del cas pràctic exposats anteriorment, als indicadors es trobaran diferents paràmetres que la seva informació ha estat obtinguda de fonts externes i permeten complementar les dades originals per tal de poder obtenir uns indicadors que aportin més informació.

#### Paràmetres



Simbol	Descripció	Domini	Unitats
$Cost_{(d,t)}$	Cost de l'electricitat el dia $d$ al time step $t$	$0 \leq Cost_{(d,t)}$	€
$s$	Llistat de tecnologies utilitzades per generar el mix elèctric	-	-
$K_s$	Coefficient d'emissió de $CO_2$ per kWh generat per la tecnologia $s$	$0 \leq K_s$	$\frac{KgCO_2}{kWh}$

**Taula 11:** Altres paràmetres

## 5.2 Formulació

Els indicadors estan agrupats en tres categories econòmica, mediambiental i energètica. La primera fa relació al cost de l'energia i permetrà analitzar si durant la implementació de l'EMS s'ha pogut reduir el cost que suposa per l'organització. La mediambiental, on el seu objectiu principal és mesurar l'impacte que té l'ús de l'energia en les emissions de  $CO_2$  i finalment l'última categoria, l'energètica, permet mesurar el nivell d'energia consumida i les seves possibles fluctuacions.

Aquests, estan formulats per obtenir un resultat diari amb la finalitat d'obtenir una sèrie temporal i poder determinar alguna relació entre les variables que fluctuen amb el temps i entre sí. L'objectiu principal de la implementació dels indicadors és observar la tendència de cada un per aconseguir visualitzar si es compleix la finalitat establerta per cada un, ja pot ser maximitzar o minimitzar el valor o fins i tot buscar una estabilitat. A més a més també es busca trobar patrons d'influència en certs períodes de temps i determinar possibles *ouliers*. Finalment, si la sèrie ho permet, amb els valors aconseguits realitzar una predicció pels següents períodes.

Per la formulació i adaptació d'aquests al cas pràctic s'han basat en dues fonts principals amb uns indicadors ja plantejats. Aquestes dues fonts han estat, un informe elaborat per Nikolaos Efkarpidis i altre col·laboradors publicat el gener de 2022 i anomenat *A Generic Framework for the Definition of Key Performance Indicators for Smart Energy Systems at Different Scales* [Font 1.] on agrupen diferents indicadors pels grups *network operation optimization, improved network development, increased flexibility i enhanced system feasibility*. L'altra font és un article elaborat per Pedro Faria entre altres autors, publicat a l'abril de 2021 i anomenat *A methodology for energy key performance indicators analysis* [Font 2.], on en aquest cas s'agrupen en *energy related KPI, environmental impact, reliability-related objectives i power quality*. S'han considerat adaptar alguns dels indicadors plantejats en els anteriors escrits segons el seu interès i el possible potencial per aportar informació per validar l'EMS.

### 5.2.1 Indicadors econòmics

#### (Ind 1.) Cost diari total (€)

El primer indicador permet obtenir el cost diari real que paga l'organització per l'energia consumida de la xarxa elèctrica. En aquest a part de l'energia de la xarxa es té en compte tota l'energia que s'ha generat i no ha estat utilitzat en cap dels elements mitjançant la venda d'aquesta a la xarxa pública.

$$(Ind 1.) C_{(d)} = \sum_{t \in T, P_{i(d,t)} > 0}^T [P_{i(d,t)} \cdot Cost_{(d,t)}] + \sum_{t \in T, P_{i(d,t)} < 0}^T [P_{i(d,t)} \cdot Cost_{venda}]$$

on  $Cost_{(d,t)}$  és el preu (€) de l'energia en el dia  $d$  al time step  $t$ ,  $P_{i(d,t)}$  Potència adquirida de la xarxa elèctrica el dia  $d$  al time step  $t$  i  $Cost_{venda}$  és un cost fixe per la venda de l'energia en cas de haver generat més energia de la que s'ha consumit, aquest preu pot variar entre 0.05 i 0.06  $\frac{€}{kWh}$ , segons *Selectra* (<https://selectra.es/autoconsumo/info/tarifas>), pel càlcul de l'indicador s'ha fixat en el valor de 0.05  $\frac{€}{kWh}$  ja que no es disposa del valor real per cada time step  $t$ . L'hipòtesis inicial que es vol contrastar es que l'ús del EMS ha reduït el cost de l'electricitat que li suposa a l'organització.

#### (Ind 2.) Reducció del cost operacional de la xarxa diari (€)

Per el càlcul del següent indicador es requereix uns càlculs previs. Primer és necessari conèixer l'energia diària consumida, és el total d'energia adquirida de la xarxa afegint l'energia generada pels components **PV**, **HBI** i **V2G**. Per tant,

$LT_{(d)}$  és la potència diària consumida, mesurada en kW i es calcula com

$$LT_{(d)} = \sum_{t \in T, P_x > 0}^T P_{i(d,t)} - \sum_{t \in T, P_x < 0}^T [P_{PV(d,t)} + P_{b(d,t)} + P_{c(d,t)}], \quad x \in [PV, b, c],$$

Aquest càlcul s'utilitzarà per calcular el cost hipotètic diari de l'energia, que és el cost total de l'energia utilitzada en el cas que tota l'energia provingués de la xarxa elèctrica, és a dir en el cas que durant tot el període no es tingués l'energia obtinguda pel conjunt **PV**. En aquest cas hipotètic, com no hi ha un element que generi energia no es considera que es pugui vendre energia a la xarxa pública i, per tant, no es té en compte aquesta reducció del cost.

$$C'_{(d)} = \sum_{t \in T}^T [LT_{(d)} \cdot Cost_{(d,t)}].$$

Així doncs, amb el cost hipotètic calculat, l'indicador de la reducció del cost operacional de la xarxa es defineix com la diferència del cost real i el cost fictici en cas de no disposar de **PV**.

$$(Ind 2.) \quad \Delta C_{(d)} = C'_{(d)} - C_{(d)},$$

on  $C_{(d)}$  és el cost diari (€) de l'energia utilitzada i  $C'_{(d)}$  és el cost hipotètic diari (€) que es pagaria en el cas de no disposar de les plaques solars. L'objectiu principal és màximitzar l'estalvi generat gràcies a l'ús de les **PV**.

Ambdós indicadors econòmics han estat formulats a partir de la informació proporcionada per Font 1. En el grup d'indicadors anomenat per l'autor *netowrk operation optimization*.

## 5.2.2 Indicador mediambiental

### (Ind 3.) Emissió CO2 (kgCO2/kWh)

L'objectiu principal d'aquest indicador és poder mesurar els nivells d'emissió de  $CO_2$  produïts per l'energia consumida, en aquest s'hauria de tenir en compte el nivell d'emissió que suposen les **PV** i el del mix elèctric de la xarxa elèctrica, però com les plaques no tenen nivells d'emissió de manera directa, ja que són una font d'energia renovable, aquest indicador és centrar en les emissions que suposa l'energia adquirida de la xarxa elèctrica únicament.

Per tal de conèixer el nivell d'emissions diari que ha suposat la quantitat d'energia diària consumida de la xarxa és necessari obtenir dues informacions addicionals, primer la tecnologia que ha proporcionat aquesta energia i tot seguit el coeficient d'emissió que suposa aquesta tecnologia. Tot i que la tecnologia que s'utilitza per proporcionar l'energia de la xarxa elèctrica no és un element que es pugui controlar des de l'organització ni mitjançant l'EMS, s'espera que durant l'ús del mateix es redueixi la quantitat d'electricitat proporcionada per la xarxa i, per tant, el nivell d'emissió de  $CO_2$  es redueixi.

Així doncs, per formular l'indicador es planteja la variable  $x_{s(d)}$  que equival a la proporció d'energia generada el dia  $d$  per cada tecnologia  $s$ . Amb aquesta informació i els coeficients d'emissió per tecnologia l'indicador 3 es formula com

$$(Ind 3.) \quad E_{CO2(d)} = \sum_{s \in S}^S [P_{i(d)} \cdot x_{s(d)} \cdot K_s],$$

on  $K_s$  és el coeficient d'emissió de  $CO_2$  per kWh ( $\frac{KgCO_2}{KWh}$ ) generat per la xarxa elèctrica on  $s$  és la tecnologia utilitzada.  $K_s$  és un paràmetre fix per cada tecnologia  $s$  durant tot el període d'estudi. La variable  $x_s$  que ens permet saber la proporció d'energia generada per cada tecnologia per dia i finalment  $P_{i(d)}$  la potencia adquirida de la xarxa el dia  $d$ . L'objectiu que es busca és reduir les emissions de  $CO_2$ .

L'indicador ha sorgit de l'idea original de la Font 2. en l'apartat *environmental impact* amb certes modificacions segons les dades disponibles.

### 5.2.3 Indicadors energètics

#### (Ind 4.) Load factor (%)

Per mesurar l'eficiència de l'ús de l'energia s'utilitza la mesura *Load Factor*, una ràtio que calcula la variabilitat de l'energia consumida. L'indicador 4 permet calcular la variabilitat de la càrrega consumida diària a partir de la mitjana diària consumida i el pic diari, es calcula com.

$$(Ind 4.) \quad LF_{(d)} = \frac{LT_{avg(d)}}{\widehat{LT}_{(d)}},$$

on  $LT_{avg(d)}$  és la mitjana d'energia consumida el dia  $d$  i  $\widehat{LT}_{(d)}$  el pic màxim d'energia consumida el dia  $d$ . El resultat és una ràtio que pren valors entre 0 i 1. L'objectiu principal és minimitzar la variabilitat, com més propers siguin els valors a 1 significa que hi ha menys variabilitat i, per tant, és més senzill poder regular l'ús de l'electricitat. Aquest indicador s'ha basat en el grup *netowrk operation optimization* de la font 1.

#### (Ind 5.) Energia diària generada i reserva diària de les bateries (kWh)

Amb l'objectiu de mesurar el nivell d'ús que se li dona a les **PV** i les reserves de bateries, tant **HBI** i **V2G**. Es crea l'indicador 5 per observar com fluctua tota l'energia generada i obtenir el total d'energia que s'ha produït gràcies a l'ús d'aquestes.

Es considera que **HBI** pot aconseguir energia per les dues vies, xarxa elèctrica i **PV**, per tant, es tractarà com en el cas de **V2G** on es pot donar el cas on l'energia que es descarrega d'aquests provingui de la xarxa. Es considera que la informació que s'obtingui serà útil, ja que, tot i no provenir directament de la generació per **PV**, l'ús d'aquestes bateries hauria de suposar una millor gestió de l'energia per l'organització tot i poder aconseguir energia de la xarxa per carregar-se en algun moment.

Finalment, l'indicador és el sumatori de tota la potència de generació dels tres elements citats anteriorment.

$$(Ind 5.) \quad P_{g(d)} = \sum_{t \in T, P_x < 0}^T [P_{PV(d,t)} + P_{b(d,t)} + P_{c(d,t)}], \quad x \in [PV, b, c]$$

on  $P_{PV(d,t)}$ ,  $P_{b(d,t)}$ ,  $P_{c(d,t)}$  amb valors inferiors a zero són les potències de generació de les plaques solars, bateries i dels vehicles elèctrics respectivament. L'objectiu és maximitzar l'ús d'aquesta energia per potenciar el seu ús. L'indicador ha estat inspirat amb la base de l'indicador extret de la Font 2. en el grup de *power quality*, l'anomenat *power supplied from DERs* en l'article esmentat.

#### (Ind 6.) Autoconsum diari o self-consumption rate (%)

Es defineix com autoconsum la part de generació d'energia utilitzada de manera local, és a dir, tota aquella energia que s'ha generat i no ha estat exportada a la xarxa. Així doncs, l'últim indicador és la proporció de l'energia exportada a la xarxa respecte a l'energia total generada i la reserva diària de bateries. La fórmula d'aquesta ràtio és

$$(Ind 6.) \quad AC_{(d)} = \left( 1 - \frac{\sum_{t \in T, P_{i(d,t)} < 0}^T P_{i(d,t)}}{P_g(d)} \right),$$

on  $P_{g(d)}$  és l'energia diària generada amb **PV** i la reserva disponible a les bateries i el sumatori de  $P_{i(d,t)}$  representa l'energia total venuda a la xarxa cada dia.  $AC_{(d)}$  pren valors entre 0 i 1, on obtenir un resultat molt proper a l'1 significa que gran part de l'energia que es genera és consumida de manera local i, per altra banda, quan és proper a 0 equival al fet que l'energia que s'està generant s'està exportant a la xarxa elèctrica. L'objectiu principal és maximitzar l'autoconsum per evitar pèrdues d'energia que generen les **PV**. L'últim indicador s'ha extret de la font 1, agrupat en la categoria *enhanced system feasibility*.

## 6 Implementació dels càlculs

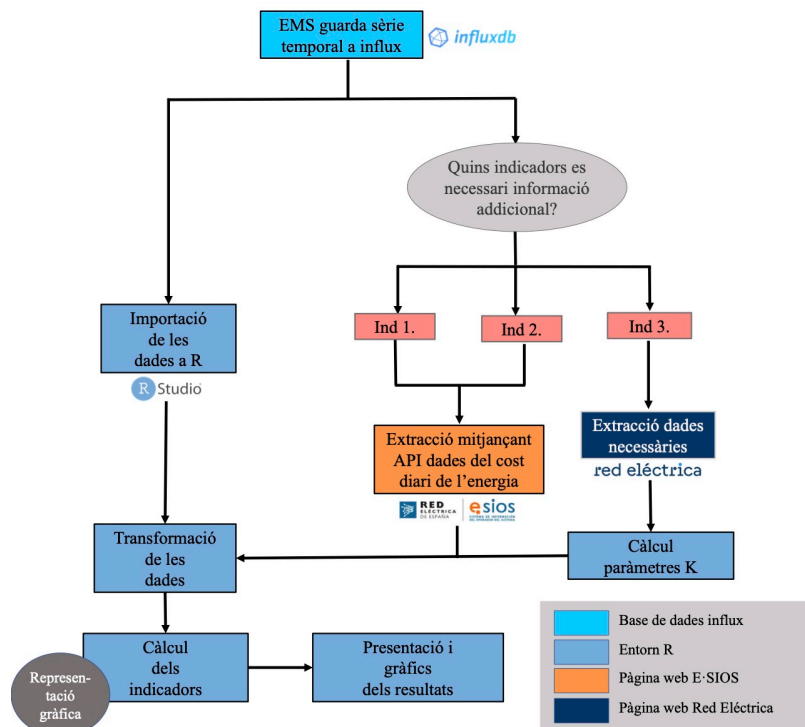
El procés de transformació de les dades, càlcul dels indicadors i anàlisis dels mateixos és realitzada amb llenguatge *R* mitjançant *RStudio*, però abans s'han d'importar les dades que es troben a *InfluxDB* on l'EMS ha registrat tota la informació. *Influx* és una base de dades que permet registrar dades de sèries temporals amb codi obert. A més a més permet tenir les dades penjades al núvol i facilita el procés de compartir-les. En el cas de les dades del cas pràctic estan enregistrades per l'institut de recerca de l'energia de Catalunya (IREC) i no són d'accés públic.

Un dels objectius de la creació del mòdul de validació és aconseguir connectar les dades d'influx automàticament amb el *R* per així poder obtenir els resultats actualitzats cada cop que s'anés recollint més dades. Per poder-ho fer es requereix una llibreria de *R* anomenada *InfluxDB* creada el 2018 per Domini Leutnant. Per problemes externs amb la llibreria no s'ha pogut connectar el *RStudio* amb l'influx per poder automatitzar aquest procés, llavors la manera de procedir ha estat descarregar manualment les dades del núvol en arxiu *CSV* i finalment importar-les al *R* des d'un directori local.

Amb totes les dades que proporciona l'EMS no es poden calcular tots els indicadors, és necessari afegir informació procedent d'agents externs, en aquest cas les dades addicionals són proporcionades per les pàgines web de *E-SIOS* i *REData*, ambdues organitzacions pertanyen a la *red elèctrica espanyola*. Els indicadors que requereixen aquesta informació addicional són els Ind1, Ind2, Ind3. Pels indicadors 1 (cost diari total) i 2 (reducció del cost operacional de la xarxa diari) és necessari el preu de l'electricitat per cada hora durant tot el període estudiat i pel càlcul del tercer indicador és necessari saber el total d'emissions de cada tecnologia generadora d'electricitat i la quantitat d'energia que ha generat durant tot el 2019, any d'estudi. Aquesta informació permet calcular els paràmetres  $K_g$ , els coeficients d'emissió de  $CO_2$ . Finalment, es requereix informació sobre el mix elèctric utilitzat en cada moment per poder determinar quin coeficient serà utilitzat per calcular el nivell d'emissió.

Un cop obtinguda i importada al *R* totes les dades necessàries es fan totes les transformacions pertinents a les dades per poder-les treballar adequadament, en següents capítols s'especificarà més com s'han tractat les dades. Finalment, es calcularan tots els indicadors, s'analitzaran i representaran gràficament. En el següent diagrama es veu representat tot el procés que s'ha seguit per crear el mòdul de validació amb *RStudio*.

Figura 4: Diagrama de flux del procés d'implementació dels càlculs



## 6.1 Tipus base de dades i organització

Es classifiquen les bases de dades disponibles en dues categories segons la seva procedència. La primera és la procedent d'*Influx*, és a dir les proporcionades per l'IREC, on la seva informació ha estat registrada per l'EMS i la segona és procedent de fonts externes. Principalment es pot trobar a la pàgina oficial de la *Red Eléctrica de España*, la REE s'encarrega del funcionament global del sistema elèctric espanyol. Dins d'aquesta mateixa font d'informació s'han utilitzat dues extensions diferents, el *sistema de informació del operador del sistema* (E·SIOS) <www.esios.ree.es/>, desenvolupat per permetre l'explotació d'informació del sistema elèctric espanyol en temps real. La segona extensió és *REData* <www.ree.es/es/datos/> on es troba informació complementària sobre la xarxa elèctrica espanyola.

Les bases de dades que s'obtenen d'influx són dades de sèries temporals on obtenim dues bases diferents, una té registrada la potència de l'energia per cada element i per cada hora del dia, anomenada *Potència EMS* i l'altra el SOC, o nivell de càrrega, anomenada *SOC EMS*, de tots els elements que tenen bateries, els **V2G** i **HBI**. Les dues tenen una mateixa estructura amb 3 variables.

- **Data**: variable de tipus *POSIXct* amb format *YYYY-MM-DD HH:MM:ss*
- **Id**: variable categòrica utilitzada com identificador per cada element
- **P** o **soc**: variable numèrica amb el valor de la potència (kW) o nivell de càrrega (%) segons la base de dades utilitzada.

Procedent de fonts externes hi ha 4 bases diferents, *Cost de l'energia*, *Emissions de CO2 2019*, *Total d'energia generada 2019*, *Generació diària d'energia per tecnologia*. Amb l'ús de l'API (*application programming interface*) s'extreu el cost de l'energia per cada hora del dia, base amb dues variables, la primera el valor en euros per MWh i la segona el dia i hora per cada valor. Per calcular el coeficient d'emissió de  $CO_2$ , el paràmetre  $K_s$ , s'utilitza una taula amb una llista de les tecnologies i les tones emeses de  $CO_2$  l'any 2019 i una taula amb la mateixa estructura, però amb el total d'energia produïda, ambdues tenen dues variables una amb la tecnologia utilitzada i l'altre amb el valor que proporcionen respectivament. Finalment, l'última taula que s'usa té tantes variables com dies que l'EMS va estar operatiu i una observació per cada tecnologia generadora que hi ha al mercat, on per cada cas mostra el total d'energia generada.

### 6.1.1 Extracció d'informació de la API

Per poder calcular l'indicador 3, es requereix informació adicional que no es troba en la base de dades proporcionada per l'IREC. Aquesta informació és extreta de la pàgina de la *Red Eléctrica de Espanya* E·SIOS. Com a operador elèctric té l'obligació de fer pública aquests resultats que es poden obtenir a través d'una API que permet obtenir tota la informació disponible de manera lliure sol·licitant un *token* personal. Per poder extreure la informació s'han utilitzat les llibreries d'*R* *RCurl*, *jsonlite*, *lubridate* i *dplyr*. Cada indicador té un codi d'identificació, per exemple en cas del preu de mercat de l'energia és el 600. Per poder fer la crida de la informació es necessita també un interval temporal de les dates que es requereixen i finalment amb quina diferència de temps es vol cada informació. Les opcions són intervals de 5, 10 o 15 minuts i més amples com hores o fins i tot dies, mesos o anys. En el cas concret del preu de mercat trobem un valor únic per cada hora per tant serà l'utilitzat per calcular els indicadors que el requereixen.

## 6.2 Reorganització i transformació de les dades

Cada base de dades s'ha hagut de tractar per poder-la adaptar per facilitar el càlcul dels indicadors. En aquest apartat es comentarà els canvis que han estat necessaris per a cada base de dades. Tots els canvis han estat programats en llenguatge *R*, amb la complementació de *SQL*, utilitzant la llibreria *sqldf*.

La base principal on està la informació bàsica pels càlculs és *Potència EMS*. En aquesta, com ja s'ha esmentat hi ha tres variables, data i hora, element i la potència que ha utilitzat en aquell moment. La variable element és diferència per tipus d'element, és a dir, bateries, plaques solars, carregadors i edifici amb el seu respectiu valor (1, 2 o 3), en el cas que hi hagi més d'un. Com s'ha decidit que tots els elements es tractin com a conjunt es crea una variable nova on agrupa per cada conjunt d'element i no es distingeix de manera individual. Definint finalment els conjunts com **PV**, **HBI**, **V2G** i **Load** corresponent a la càrrega de l'edifici.

Per continuar facilitant la manera de calcular els indicadors es reorganitza la base de dades. Passant a tenir 6 variables diferents, la primera la data i hora, les 5 restant equivaldran una per cada conjunt d'elements, afegint el càlcul de la

potència de la xarxa. Aquest càlcul equival a la suma de tots els elements disponibles. Una mostra de com queda la taula final és:

**Taula 12:** Mostra de potències del dia 16 d'octubre (kW)

Data	HBI	PV	V2G	Load	Interconnection
2019-10-16 10:00:00	-0.0009833	-2.1945583	0.9492042	54.498631	53.252293
2019-10-16 11:00:00	-0.0040167	-2.2621000	1.0036167	64.503117	63.240617
2019-10-16 12:00:00	-0.0137288	-2.1010209	0.9668693	34.798494	33.650613
2019-10-16 13:00:00	-0.0041500	-1.4313667	0.9407667	27.851017	27.356267
2019-10-16 14:00:00	-0.0043861	-0.8021514	0.9386056	20.342110	20.474178
2019-10-16 15:00:00	-0.0008943	-0.2191850	0.8336843	7.919519	8.533124

Per la base de dades on obtenim el nivell de càrrega de les bateries, en aquest cas no es requereix la informació per calcular cap indicador, així doncs només s'utilitzarà per fer una anàlisi de sèries temporals. Tampoc caldrà reorganitzar i transformar les dades, ja que com es proporcionen les dades és adient per elaborar l'anàlisi.

La taula *Cost de l'energia* proporciona el cost en €/MWh, per tant, es transforma per aconseguir el preu per €/kWh. Per tal de mantenir el mateix format a totes les dates també si li dona format *POSIXct* per poder unir-la posteriorment amb *Potència EMS*.

Per la taula *Emissions de CO2 2019* les dades que proporciona estan expressades en tones de  $CO_2$ , per tant l'únic requisit necessari és transformar-les a quilograms de  $CO_2$ , on  $1 tCO_2 = 1.000 kgCO_2$ . De la mateixa manera la taula *Total d'energia generada 2019* expressa els totals d'energia en Giga Vatts hores i es transforma a quilo vatts hores, on  $1 GWh = 1.000.000 kWh$ .

Per últim falta tractar la taula *Generació diària d'energia per tecnologia*, en aquest cas els passos han estat, primer convertir totes les variables, on cada una representa un dia, transformar-les a numèriques i transposar la taula. De tal manera obtenim una taula de 18 variables, una per cada tecnologia, i 281 observacions equivalent al total de dies de l'estudi. Per deixar la taula preparada es deixa calculat la proporció diària de generació de cada tecnologia.

**Taula 13:** Mostra de 5 tecnologies del mix elèctric amb la proporció diària de generació

	Hidráulica	Turbinación bombeo	Nuclear	Carbón	Motores diésel
30/06/2019	0.075	0.001	0.247	0.029	0.011
01/07/2019	0.078	0.001	0.194	0.037	0.010
02/07/2019	0.070	0.001	0.194	0.040	0.010
03/07/2019	0.074	0.001	0.211	0.042	0.010
04/07/2019	0.075	0.001	0.214	0.049	0.011
05/07/2019	0.096	0.000	0.214	0.051	0.011

### 6.2.1 Càlcul de paràmetres: $K_s$

La informació externa a la base de dades original que s'ha de complimentar és l'equivalent als paràmetres  $Cost_{(d,t)}$ ,  $K_s$  i  $x_{s(d,t)}$ . El primer representa el cost diari de l'energia en el step time  $t$ , on l'interval de temps entre observacions és d'una hora. El paràmetre  $K_s$  és els coeficients d'emissió de  $CO_2$  de cada tecnologia,  $\frac{kgCO_2}{kWh}$ . En aquest cas no hi ha una dada específica per un espai de temps que pugui fluctuar, per tant, s'utilitzarà una aproximació d'aquesta amb un valor fix durant tot el període.

La informació que sí es pot obtenir és el total d'emissions de  $CO_2$  i la quantitat d'energia generada per tecnologia. Per tant, utilitzant les dades de 2019, ja que és l'any on es troben les dades recollides per l'EMS, s'aproxima el coeficient anual d'emissió de diòxid de carboni per cada tecnologia. Tenint en compte les transformacions d'unitats, realitzades

anteriorment, la fórmula utilitzada per obtenir un valor aproximat dels coeficients d'emissió ( $K_s$ ) és

$$K_s = \frac{10^3 \cdot T_{CO_2}}{10^6 \cdot GWh} = \frac{Kg_{CO_2}}{KWh}, \quad \forall s,$$

on  $T_{CO_2}$  són les tones emeses per cada tecnologia i  $GWh$  són el GWh generats per cada tecnologia l'any 2019. Els coeficients obtinguts han estat:

**Taula 14:** Coeficients d'emissió de cada tecnologia (k)

Tecnologia	kgCO2	kWh	k
Hidráulica	0	24719015198	0.00
Turbinación bombeo	0	1645505104	0.00
Nuclear	0	55824226775	0.00
Carbón	12384273156	12670637398	0.98
Fuel + Gas	3	-1	0.00
Motores diésel	1998445302	2836053144	0.70
Turbina de gas	675945145	670532077	1.01
Turbina de vapor	1970362334	2189010668	0.90
Ciclo combinado	21183920116	55241970218	0.38
Hidroeléctrica	0	23248718	0.00
Eólica	0	54245055899	0.00
Solar fotovoltaica	0	9252018881	0.00
Solar térmica	0	5166431145	0.00
Otras renovables	0	3617713900	0.00
Cogeneración	11253752863	29615085005	0.38
Residuos no renovables	533391187	2222463307	0.24
Residuos renovables	0	889813750	0.00

## 7 Anàlisi de dades

Les principals dades obtingudes per l'EMS són la potència (P), mesurada en kW, i l'estat de càrrega (SOC), mesurada en percentatge, pel cas de les bateries i els cotxes endollats als carregadors. Les variables que representen la potència hi ha un conveni de signes, els valors negatius equivalent a l'energia generada, ja sigui per les **PV**, **HBI** o **V2G** i els valors positius és l'energia consumida. En el cas de l'energia de la xarxa també es pot donar algun cas de potència negativa i seria l'equivalent a vendre l'excés de potència generada.

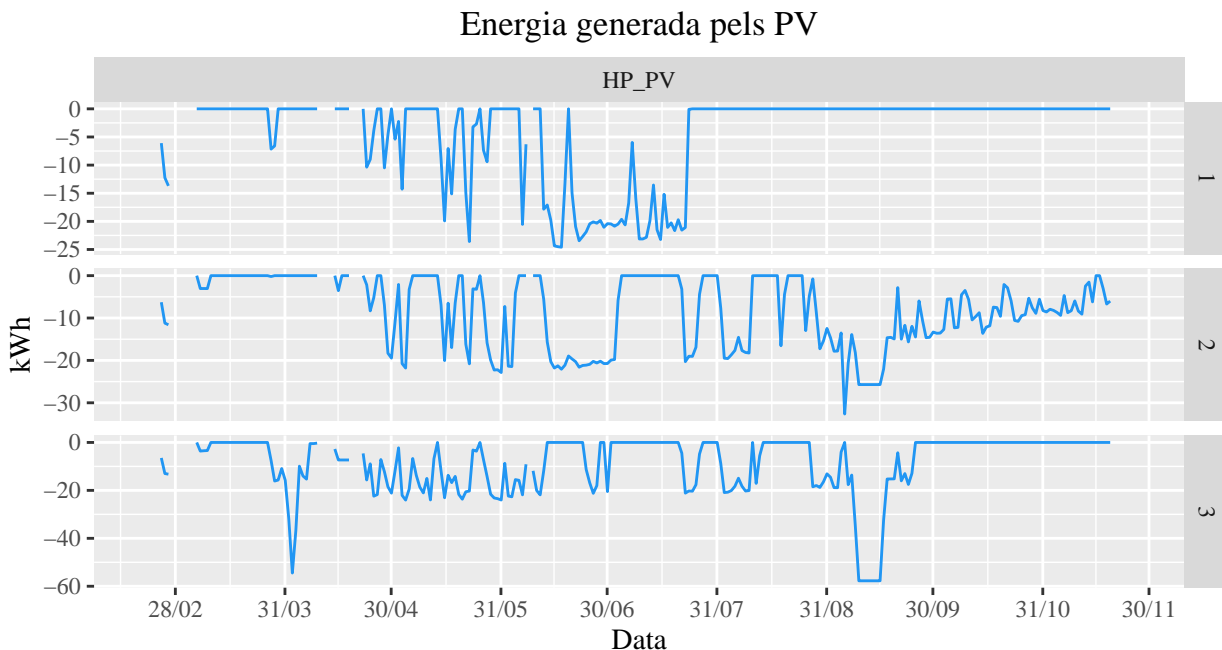
L'objectiu principal és analitzar la tendència i estacionalitat del flux d'energia de cada component i d'igual manera amb el SOC, identificar possibles patrons i conductes a les dades que permetin comprendre com millora l'EMS el procés de gestionar l'ús de l'energia.

L'inconvenient que es troba en aquest conjunt de sèries temporals és la seva durada, el període de recull de les dades va des del 20 de febrer de 2019 fins al 20 de novembre del mateix any, és un període curt el qual no permet l'anàlisi mitjançant allisats. Per poder realitzar aquests tipus d'anàlisi seria necessari disposar de més d'un període per poder observar canvis i obtenir uns resultats sòlids.

Tot i que a l'hora de tractar cada component pel càlcul dels indicadors s'utilitzarà el seu conjunt, primer s'elaborarà una anàlisi simple de cada un desglossat. Per tot el conjunt de dades es podrà observar que hi ha un conjunt de dies on no hi ha valors disponibles, això pot ser degut al fet que aquells dies l'EMS va estar parat i no va registrar les dades.

### Plaques fotovoltaïques (PV)

Per cada panell es pot observar l'energia total generada per dia. Cada un representa una fase del sistema trifàsic, en general tots tres van produir molt poca energia durant tot el mes de març, en canvi, a principis d'abril es pot considerar una gran diferència del panell 3 amb la resta, ja que va produir un pic de més de 50 kWh mentre que els altres no superen la unitat de kWh. Entre els mesos d'abril i juny els tres produeixen en uns nivells molt similars amb pics que superen els 20 kWh diaris. Durant gran part de juliol l'únic panell que produeix és l'1, mentre que els panells 2 i 3 no produeixen pràcticament res d'energia. A partir de juliol i fins al final del període el panell 1 ja no produeix més energia, els altres dos panells continuen produint i a excepció d'algun pic a mitjans de setembre es pot observar un decreixement de la generació, en el panell 2 de manera més gradual i al panell 3 s'observa un canvi dràstic similar al primer panell però més a finals de setembre.

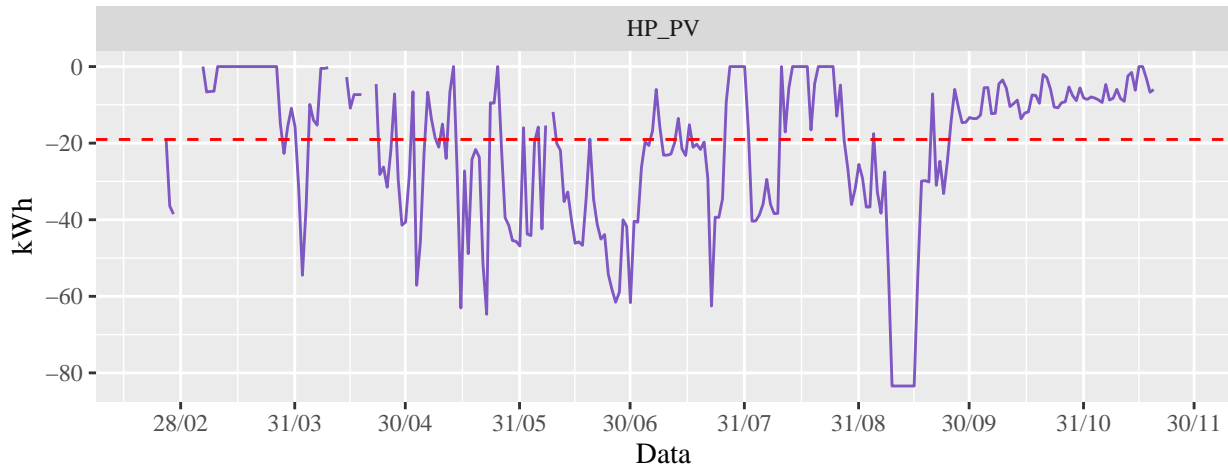


Observant finalment de manera global el conjunt **PV**, obtenim que la mitjana de generació d'energia de tot el període ha estat de -19 kWh. Durant els mesos que van produir els tres panells de manera similar és equivalent al període on es va produir més de manera regular, entre finals d'abril i fins a finalitzar juny. Durant gran part del mes de juliol la generació disminueix considerablement com a conseqüència de només produir un dels panells. Entre els dies 10 i



16 de setembre es va realitzar el pic màxim de producció on cada dia es va produir -83,4 kWh, és a dir, un total de 583,8 kWh en set dies. A partir d'octubre només produeix una de les plaques i es veu afectat notablement, ja que no se supera la mitjana global en cap moment.

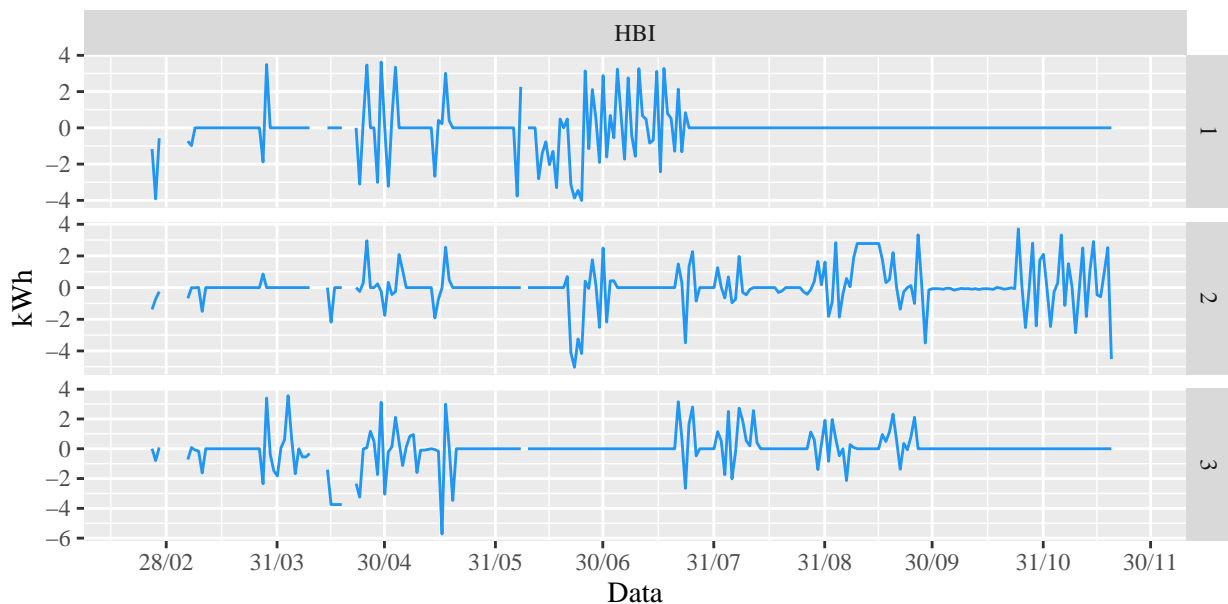
### Energia total generada per PV



### Bateries híbrides inversores (HBI)

D'igual manera que en les plaques fotovoltaïques cada bateria equival a una fase del sistema trifàsic. En aquest cas trobem que l'energia pot fluctuar entre valors positius i negatius, ja que pot consumir energia, per carregar-se o pot descarregar l'energia. En totes tres bateries s'aprecia que l'interval de valors que prenen és entre 3 kWh i -4 kWh normalment, arribant a sobrepassar aquests límits en alguns moments puntuals, com ara la bateria 3 el dia 17 de maig amb una energia de 5,73 kWh. Podem observar un patró d'ús amb les plaques on cada element de la mateixa unitat no s'usa en les mateixes dates, com per exemple la bateria 1 a partir del 25 de juliol ja no càrrega ni descarrega més energia. Aquest fet també s'afirma amb les altres bateries en els mateixos períodes esmentats anteriorment amb els panells. La bateria 3 durant un llarg període de temps, entre mitjans de maig i mitjans de juliol, s'observa que està parada i, per tant, no s'utilitza en molt bona part de tot el període d'estudi.

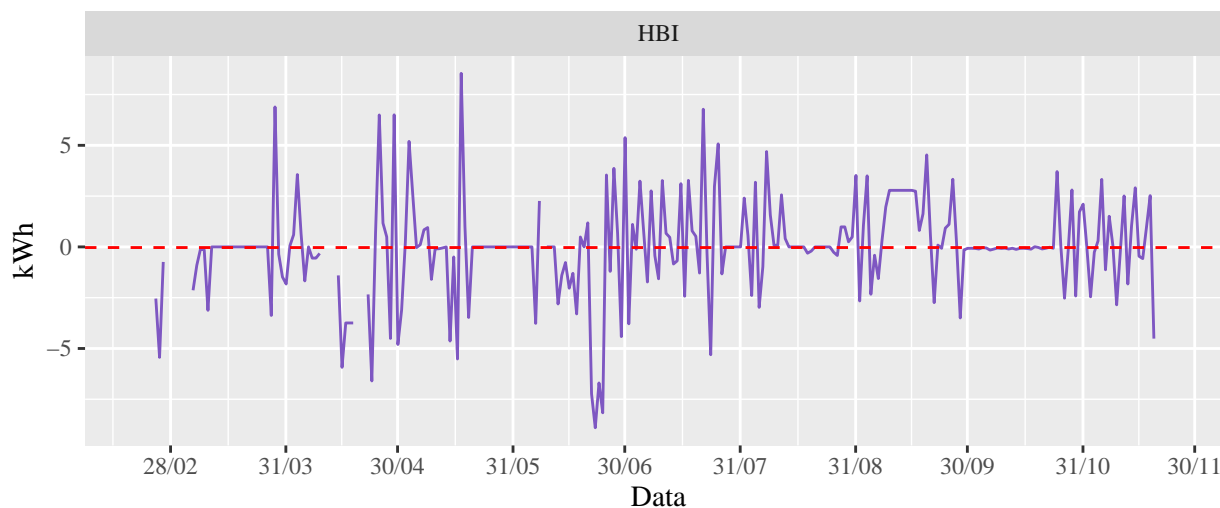
### Fluxe d'Energia de les Bateries



Mirant el conjunt **HBI**, el primer que s'observa és que la mitjana està pràcticament centrada en 0 kWh, té un valor exacte de -0.03 kWh, obtenir un valor així demostra que l'energia està compensada i per tant es carreguen i descarreguen en proporcions similars. En general s'observa un patró força similar on es carrega i descarrega l'energia

de forma equitativa amb certs períodes llargs on no hi ha pràcticament un ús considerable, entre el 21 de maig i el 6 de juny o més posterior durant casi tot el mes d'octubre amb valors molt propers a 0.

### Energia total generada per les bateries



En el cas de les bateries també s'obté el nivell de càrrega, que segons els límits establerts per l'organització haurien d'oscil·lar entre el 10% i el 100%, així doncs tots els casos on el valor és inferior, és considerat que la bateria ha estat apagada. Comparant amb els gràfics anteriors on s'observava períodes on no es generava ni consumia energia, es veu que equivalent als mateixos períodes i bateries amb valor interior al 10%. Cap de les unitats de bateries ha estat més d'una setmana amb el SOC al 100%, però, en canvi, sí que s'analiza un període, durant gran part d'octubre, on la bateria 2 va estar al mínim nivell de càrrega, per tant, no va ser usada però continuava operativa.

En general no s'observa un patró entre les diferents unitats, excepte en moments concrets com al mes de setembre entre les bateries 2 i 3 on ambdues van estar a nivells molt baixos durant el mateix període de temps. La bateria 2 en tot el període té un nivell mitjà de càrrega del 50.31%, la que obté la mitjana més alta contrarestant les bateries 1 i 3 amb un nivell mitjà de 36.88% i 34.31% respectivament. També coincideix que és la bateria que més potència ha descarregat amb un total de -78.94 kW en tot el període estudiat, mentre que les altres restants han descarregat -66.60 kW i -65.27 kW.

### Fluxe nivell de carrega de les bateries



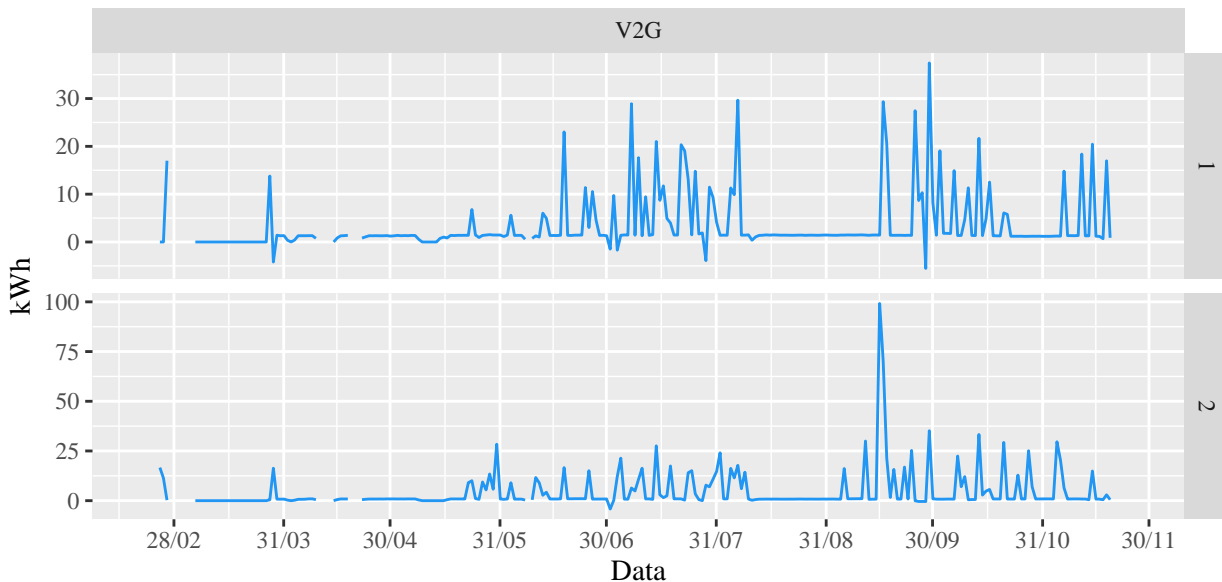
## Cotxes elèctrics i carregadors (V2G)

En aquest cas tot i tenir més d'una unitat com els anteriors components, els V2G són elements que tenen un sistema monofàsic. Tot i ser components independents s'observa que segueixen un patró d'ús similar on la seva potència de càrrega és menor, pràcticament nul·la els primers mesos d'estudi i va augmentant el seu ús durant els mesos de juny i juliol amb uns nivells molt pròxims. Durant tot el mes d'agost no s'usa pràcticament, a causa de l'aturada temporal de l'activitat per les possibles vacances del personal.

El pic màxim de potència de càrrega és del carregador 2 amb una energia total diària de quasi 100 kWh, tenint en compte que la mitjana diària de consum de tot el període és de 4,13 kWh és un cas bastant extraordinari. Pel carregador 1 el pic de consum pren un valor superior a 35 kWh i aquest té una mitjana diària de consum per tot el període de 3,14 kWh.

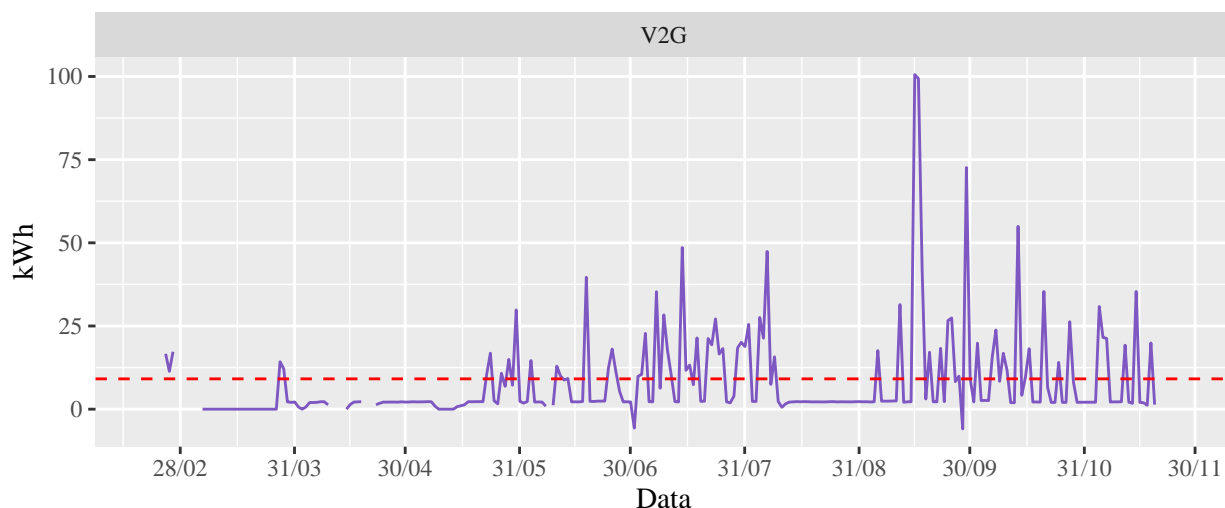
Els carregadors V2G també permeten la descàrrega d'energia si fos necessari, en el cas pràctic s'observa que no és un fet molt comú i acostumen a ser petites quantitats. Durant tot el període el V2G 1 ha descarregat una energia total de -16,81 kWh, amb un pic diari màxim de -5.52 kWh, mentre que el V2G 2 una energia total de -5,47 kWh i un pic diari màxim de -4,19 kWh que representa el 76% de tota l'energia descarregada per aquesta unitat.

### Fluxe de Energia dels carregadors



Per facilitar el càlcul d'indicadors, tot i no tractar-se d'un sistema trifàsic es consideraran com una única unitat, ja que les dues unitats tenen les mateixes característiques. Així doncs, observant de manera global el conjunt **V2G** obtenim que la mitjana d'energia en tot el període és de 9,11 kWh. Es veu un ús reduït els primers dos mesos de l'estudi i durant el mes d'agost, mentre que el pic màxim es troba a mitjans de setembre amb quasi una potència de 100 kWh de càrrega. A partir del mes de setembre s'analitza una tendència decreixent on cada mes s'aprecia un pic i durant el pas del temps va disminuint fins al novembre on aparentment s'estabilitza, però per determinar-ho amb certesa seria necessari tenir accés als següents períodes.

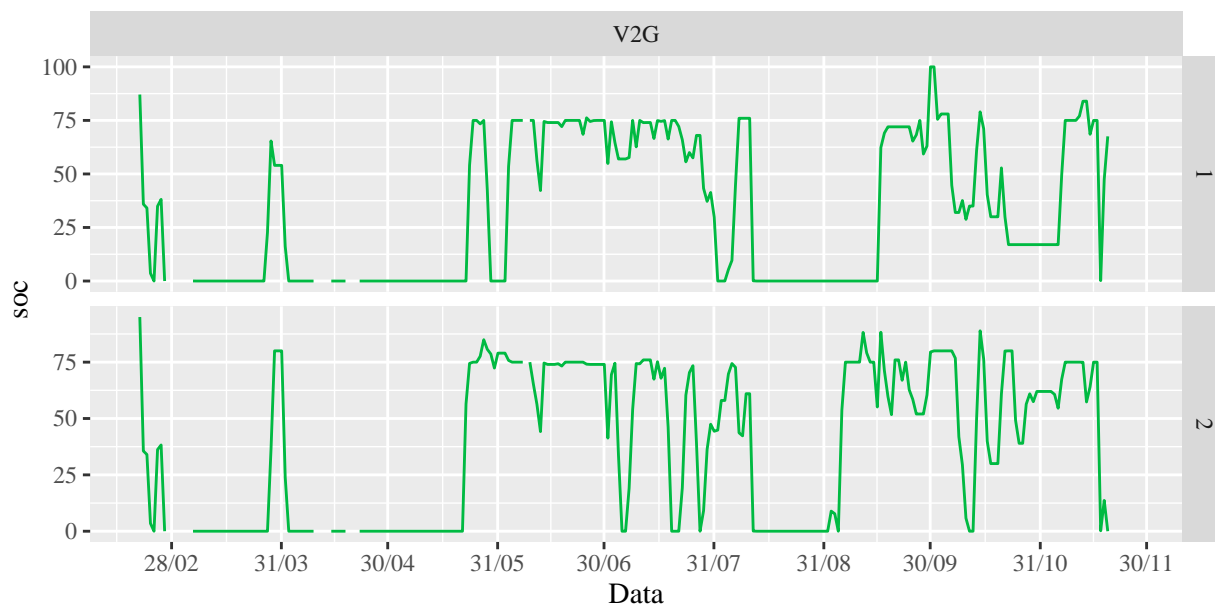
## Fluxe total d'Energia per V2G



En aquest cas la informació que es registre per l'EMS és el nivell de càrrega del cotxe que es connecta en aquell moment del dia i, per tant, en un mateix carregador poden haver-hi diferents cotxes carregant en diferents moments del temps. No es disposa de la informació per diferenciar els possibles cotxes i, en conseqüència, les dades no es poden analitzar com una única unitat que fluctua a través del pas del temps.

Tot i això, podem observar que quan el valor del nivell de càrrega és 0% podem determinar que no hi havia cap vehicle elèctric connectat, equivalent als períodes on no es consumia pràcticament energia. A més a més es considera una tendència on estranyament els valors sobrepassen el 75% de capacitat i solen variar entre el 0% i el 75%, amb petites excepcions en ambdós carregadors.

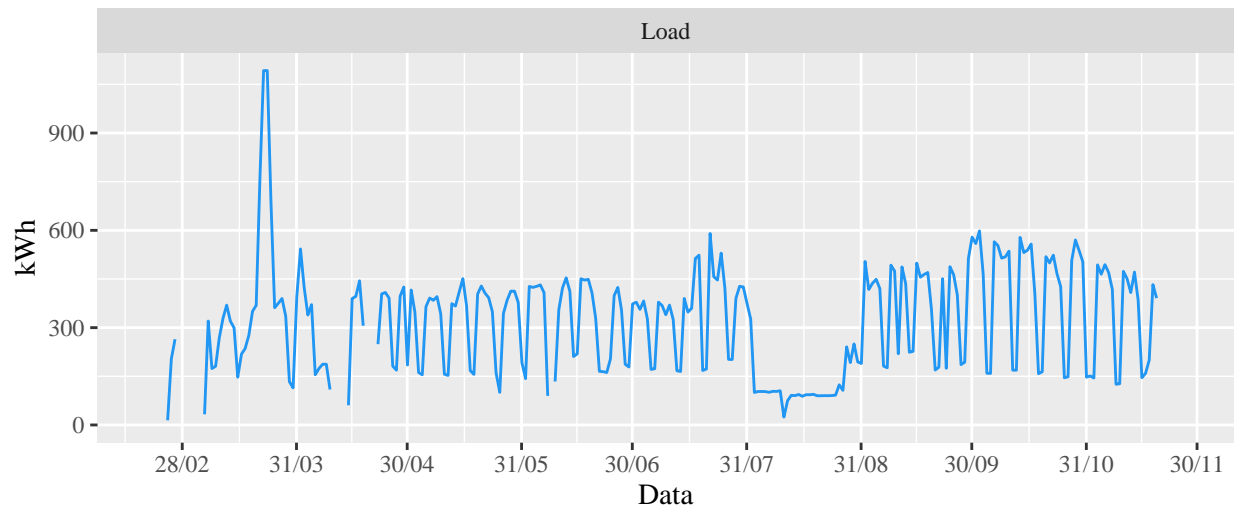
## Fluxe nivell de càrrega dels carregadors



### Load o edifici

El consum de l'edifici és bastant irregular al principi del període amb un pic màxim diari als dies 23 i 24 de març amb una energia superior a 1000 kWh ambdós dies. A partir d'abril es comença a establir el consum d'energia on s'aprecia una reducció del consum els caps de setmana. A l'agost a més a més s'aprecia un fort decreixement, que pot ser degut a la reducció de l'activitat per vacances. Després es torna a apreciar un patró similar amb valors inferiors els caps de setmana.

## Energia total consumida per l'edifici



## 8 Resultats obtinguts

En els resultats obtinguts no es poden calcular prediccions ni elaborar cap classe d'allisat, ja que es disposa d'un període de temps curt i no permet analitzar de manera precisa. Per poder-lo elaborar s'haurien de tenir més informació pels diferents períodes i així observar correctament si hi ha una millora.

S'han calculat de totes maneres els indicadors per analitzar si es distingeix algun tipus de patró i veure com afecta en cada cas. A part de la representació diària assolida pels indicadors, també s'ha afegit un valor mensual de cada indicador, que representa l'agregat del diari en la majoria de casos si no s'especifica un altre metode, per analitzar de manera més general cada un. En l'anàlisi es valora que els mesos de març i novembre les dades estan incompletes i, per tant, quan es consideri resums mensuals es té en compte al moment de comparar mesos.

### 8.1 Indicadors econòmics

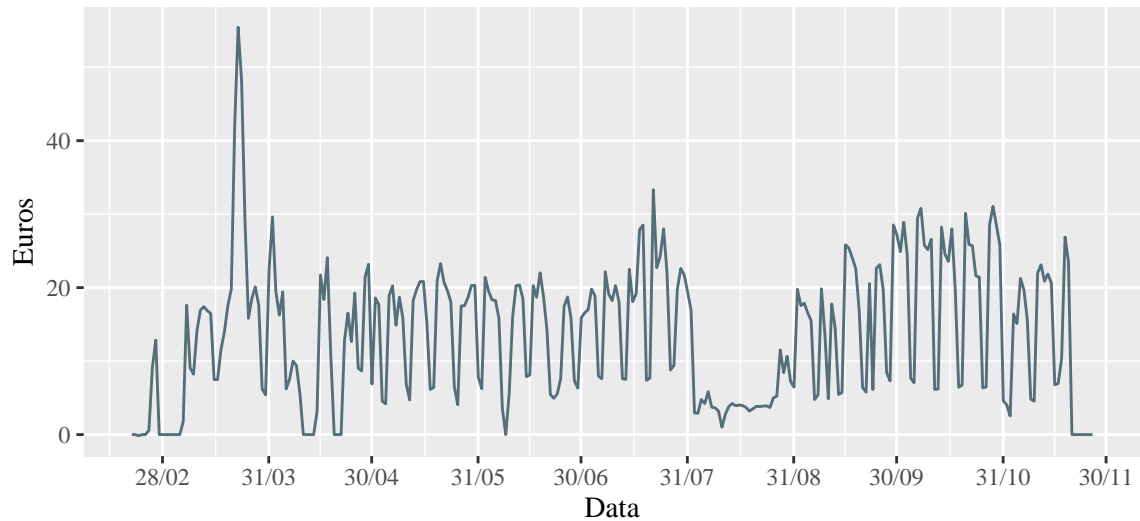
#### (Ind 1.) Cost diari total

El cost diari total és el preu que ha de pagar l'organització per tota l'energia consumida de la xarxa elèctrica. Aquest valor depèn de la quantitat d'energia consumida i el preu del kWh. També es té en compte que es pot donar el cas on l'organització pot vendre l'energia restant de generació no utilitzada, amb un preu fix de 0.05 €/kWh. El resultat obtingut resumit mensualment es pot observar en el següent gràfic.



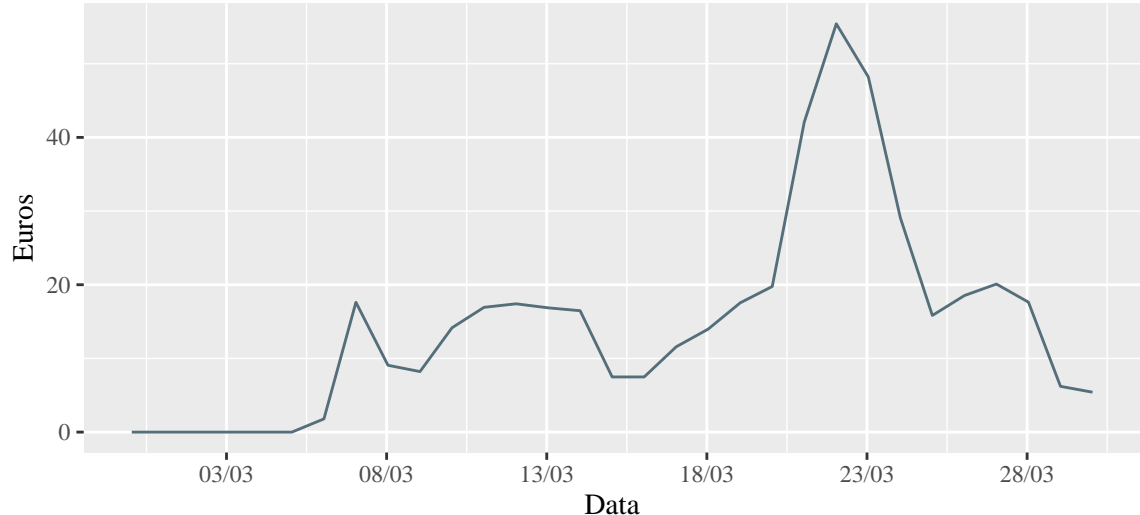
En aquest no s'observa una tendència clara on el cost s'hagi anat reduint. El cost es minimitza al mes d'agost on s'ha vist anteriorment que el consum d'energia també es va reduir, en canvi, al mes d'octubre el cost superava els 650 € on hi ha un augment del consum d'energia i disminueix el nivell de generació de les PV. Durant els mesos de març i juliol té una variació bastant notable, comparant amb els mesos anteriors, on el cost varia entre 350 € i 550 €. Considerant més detalladament per dies es detecta que tot i que el mes amb el cost més elevat és octubre, al març hi ha tres dies on el cost superava els 40 €. Es diferencia una reducció del cost els caps de setmana on el nivell d'energia consumida és inferior, excepte el mes de març que es comporta diferent.

## Cost Diari



Mirant més detalladament el mes de març, com ja s'ha detectat anteriorment, no segueix un patró distingible a primera vista. Els primers dies del mes no estan disponibles les dades registrades per l'EMS, per tant, el seu valor és 0. Es podria determinar que el cost es redueix lleugerament els primers dos caps de setmana, però hi ha una clara anomalia en el tercer cap de setmana que equival al pic màxim de preu. Aquest pic concorda també amb el pic observat anteriorment en el consum d'energia de l'edifici, per tant, es pot descartar que aquest augment sigui donat pel preu de l'energia durant aquell cap de setmana. Així doncs, es tracta d'un cas particular que es pot haver donat per una situació extraordinària per les necessitats de consum de l'organització.

## Cost Diari Març



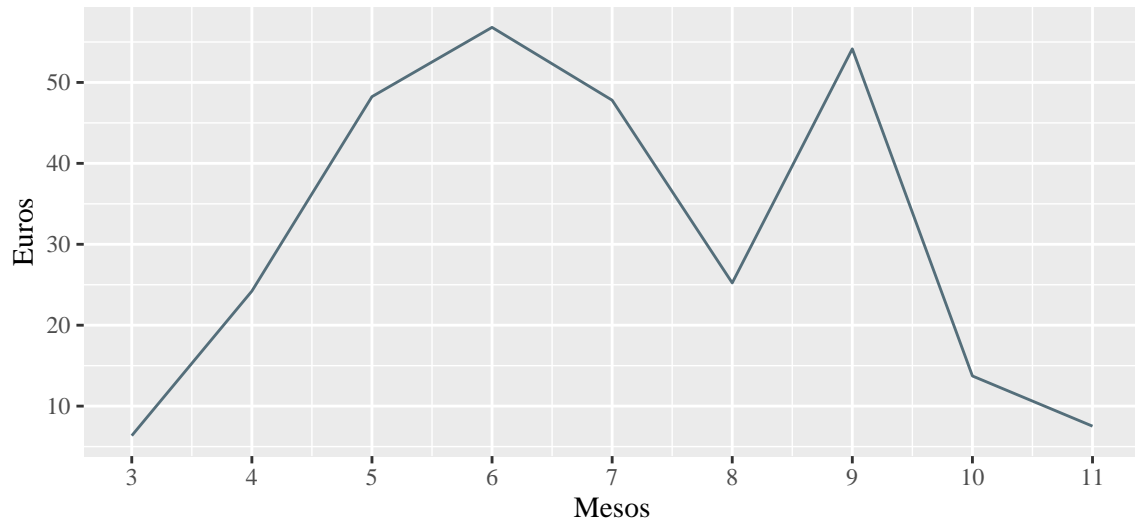
### (Ind 2.) Reducció del cost operacional de la xarxa diari

L'objectiu principal d'aquest indicador és observar el nivell d'estalvi aconseguit amb l'ús de les plaques fotovoltaïques. Es recorda que la fórmula seguida per calcular-lo ha estat

$$(Ind 2.) \Delta C_{(d)} = C'_{(d)} - C_{(d)},$$

on  $C'_{(d)}$  és el cost fictici i  $C_{(d)}$  el cost real, en ambdós casos diari i expressat en euros (€). La hipòtesi inicial era que amb el funcionament de les **PV** l'estalvi augmentaria.

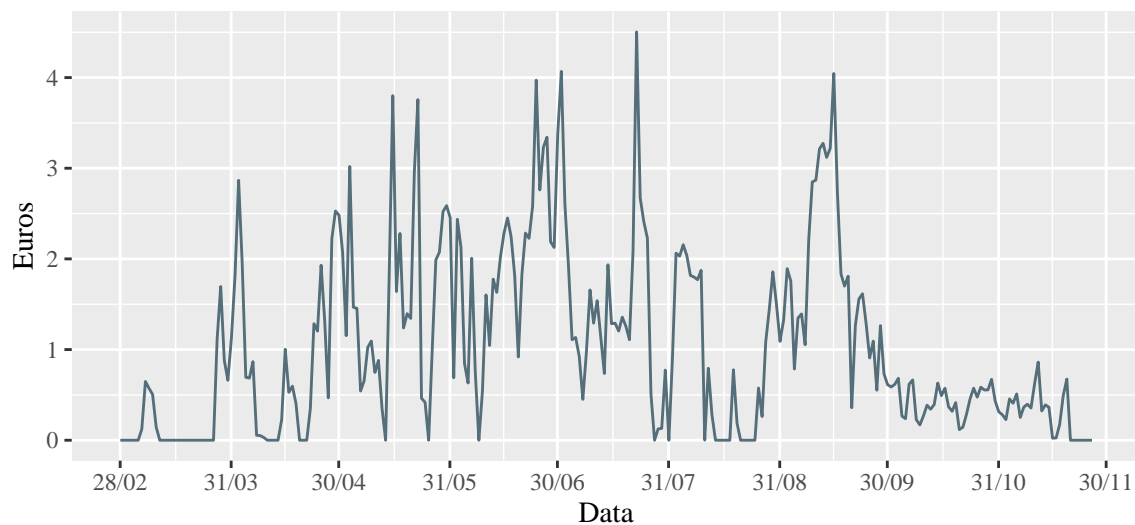
## Estalvi Mensual Generat



En el gràfic anterior es mostra l'estalvi obtingut entre els mesos de març i novembre. En aquest podem observar que els mesos on s'ha aconseguit un nivell d'estalvi superant els 50 € han estat juny i setembre. En canvi, els mesos on ha estat inferior són març, abril, octubre i novembre. Es pot suposar que els mesos d'estiu són els que es tendeix a estalviar més, ja que les plaques poden generar molta més energia. L'agost, en canvi, es va generar molta menys energia en comparació amb els dos mesos anteriors, on es va generar 1.077,31 kWh al juny i 707,27 kWh; i tot i no haver-hi tanta demanda de consum, les plaques només van generar 489,29 kWh. Per altra banda, als mesos d'octubre i novembre són més propensos a haver-hi més precipitacions i, per tant, no hi ha la possibilitat de generar tanta energia.

S'observa de manera més desglossada l'estalvi per dia, es troben molts casos on l'estalvi era equivalent a zero, aquest fet equival a què aquells dies on no es van utilitzar les plaques i, per tant, tota l'energia consumida provenia de la xarxa. El pic diari més alt d'estalvi és el dia 23 de juliol on es va aconseguir estalviar 4,50 €, dia on es va generar a través de les PV i l'ús de les reserves de les bateries un total de 81 kWh.

## Estalvi Diari Generat



## 8.2 Indicador mediambiental

### (Ind 3.) Emissió CO<sub>2</sub>

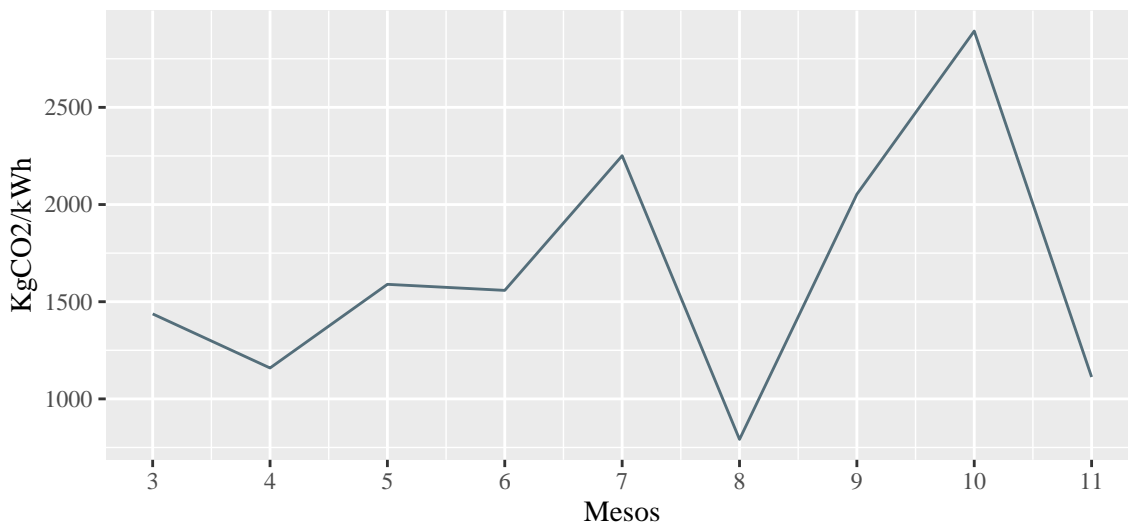
Per calcular les emissions de diòxid de carboni que genera l'energia consumida només s'ha tingut en compte tota l'electricitat provinent de la xarxa elèctrica, ja que l'energia generada per les plaques fotovoltaïques no produeix emis-



sions de  $CO_2$ . Els resultats obtinguts poden variar en funció de la quantitat d'energia consumida, el mix elèctric diari i el coeficient d'emissió d'aquest.

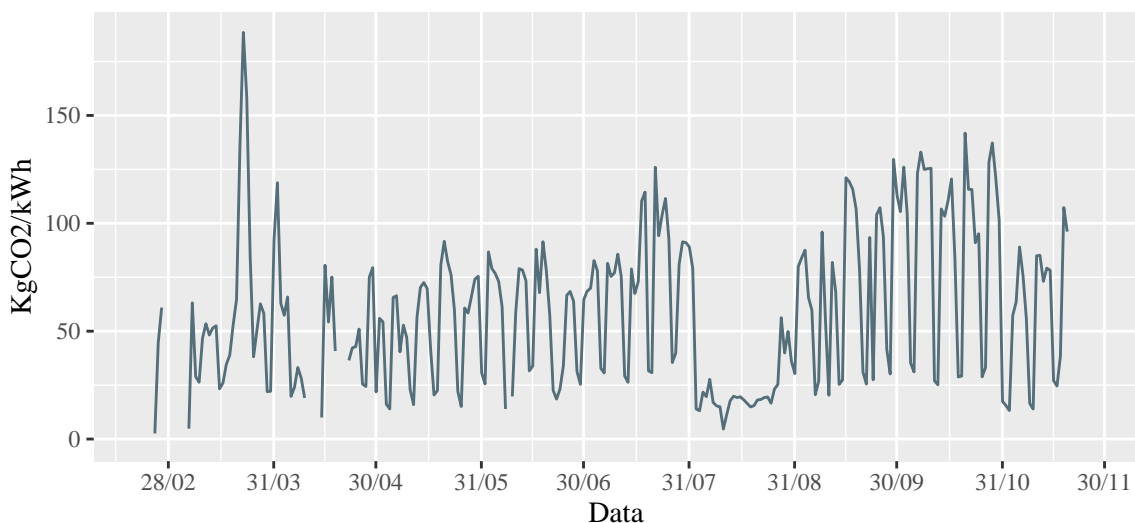
S'observa primer el valor mensual calculat, en aquest s'aprecia una tendència en augment on es parteix els primers mesos d'uns valors propers als  $1.500 \frac{KgCO_2}{kWh}$ . S'afirma el mes d'agost, que d'igual manera que en els altres indicadors es comporta diferent donat a la menor demanda de consum, mentre que, octubre és el mes on més  $CO_2$  s'ha emès amb un valor de  $2892,63 \frac{KgCO_2}{kWh}$ .

### Emissions CO2 Mensual



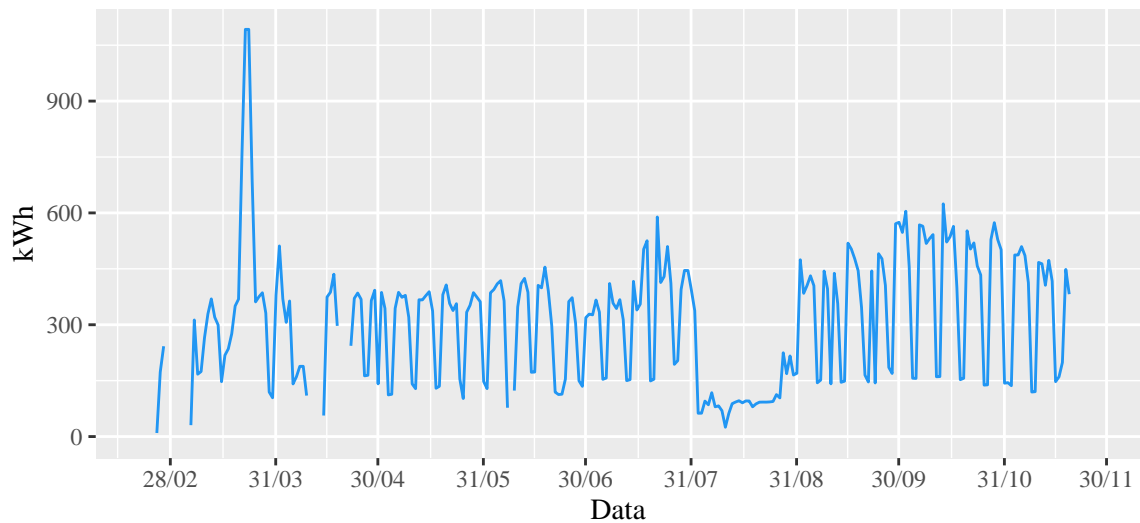
En general s'observa que els valors són inferiors a  $100 \frac{KgCO_2}{kWh}$  durant els primers cinc mesos, a excepció del pic màxim que correspon al valor màxim de consum d'energia. Després del mes d'agost, on els valors són inferiors, ja que, el consum d'energia també disminueix, es torna a estabilitzar els nivells d'emissió amb valors de  $120 \frac{KgCO_2}{kWh}$  els dies laborables i inferiors a  $30 \frac{KgCO_2}{kWh}$  els caps de setmana.

### Emissions CO2 Diari



Comparant el gràfic de l'indicador 3 amb la representació del consum d'energia de la xarxa es pot afirmar que es comporten de la mateixa manera amb un patró molt similar i, per tant, que el valor que més afecta el nivell d'emissions de  $CO_2$  és la quantitat d'energia consumida quasi independentment del mix elèctric.

## Interconnection

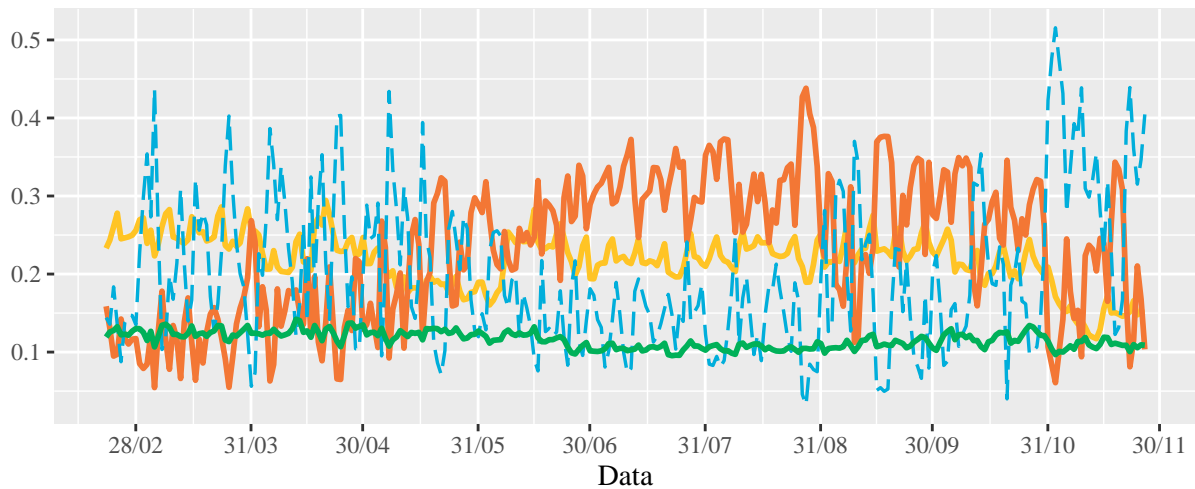


Per analitzar en més profunditat i corroborar l'afirmació anterior s'ha calculat la proporció mitjana de cada tecnologia que representa en el mix elèctric durant tot el període d'estudi. Al costat s'ha col·locat el coeficient de nivell d'emissió calculat anteriorment per elaborar l'indicador. La tecnologia que més genera energia en el mix elèctric és el cicle combinat, amb un 23,3% aquesta té un coeficient d'emissió del  $0,38 \frac{KgCO_2}{kWh}$ , seguida per la nuclear (21,9%), l'eòlica (19,9%), les quals no emeten diòxid de carboni i, per tant, el seu nivell d'emissió és zero.

Tecnologia	Mitjana	K
Ciclo combinado	0.232	0.38
Nuclear	0.219	0.00
Eólica	0.199	0.00
Cogeneración	0.116	0.38
Hidráulica	0.080	0.00
Solar fotovoltaica	0.040	0.00
Carbón	0.037	0.98
Solar térmica	0.024	0.00
Otras renovables	0.014	0.00
Motores diésel	0.011	0.70
Residuos no renovables	0.009	0.24
Turbina de vapor	0.008	0.90
Turbinación bombeo	0.005	0.00
Residuos renovables	0.004	0.00
Turbina de gas	0.003	1.01
Fuel + Gas	0.000	0.00
Hidroeólica	0.000	0.00

S'analitza la proporció de les quatre tecnologies amb la proporció mitjana més alta: cicle combinat (taronja), nuclear (groc), eòlica (blau) i cogeneració (verd), es pot observar que les tecnologies que menys varien són la nuclear i la cogeneració, mentre que l'eòlica i el cicle combinat són molt més variables. Durant els tres primers mesos l'energia eòlica té tendència a tenir una proporció superior al cicle combinat, mentre que als mesos d'estiu és a l'inrevés. L'eòlica té la proporció més alta amb un valor superior al 50%.

## Proporció en el mix elèctric TOP 4 tecnologies



El dia que correspon a la proporció més alta d'energia eòlica és el 3 de novembre, aquest dia es va consumir 136 kWh de la xarxa i es va emetre un total de  $13,24 \frac{KgCO_2}{kWh}$ . Mentre que el dia que la proporció de cycle combinat és superior amb un 43,8%, el 28 d'agost, on es va consumir 225 kWh i va suposar una emissió de  $56,25 \frac{KgCO_2}{kWh}$ . Per poder comparar ambdós dies es calcula l'emissió que suposaria amb la mateixa energia consumida, que es fixarà en 200 kWh. Amb les proporcions del mix elèctric del 28 d'agost on el cycle combinat és superior l'emissió seria corresponent a  $16,74 \frac{KgCO_2}{kWh}$ , en canvi, amb el mix elèctric corresponent al 3 de novembre l'emissió seria  $14,78 \frac{KgCO_2}{kWh}$ . En ambdós casos la següent energia més utilitzada és la nuclear i tot seguit la cogeneració. Així doncs, es pot concloure que reduir l'ús del cycle combinat i augmentar les energies renovables, disminueix dues unitats de  $\frac{KgCO_2}{kWh}$ .

### 8.3 Indicadors energètics

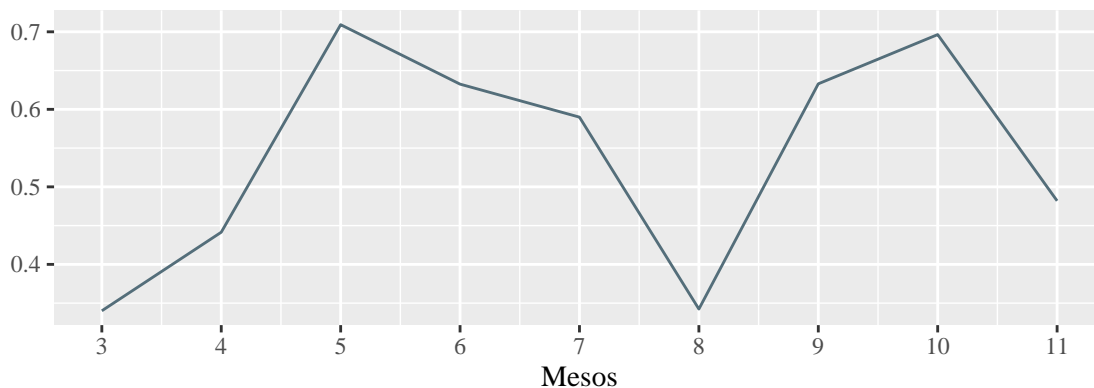
#### (Ind 4.) Load Factor

L'indicador 4 és la variabilitat de l'energia consumida diària, per adaptar els resultats a mensuals la fórmula seguida ha estat

$$(Ind 4.) \quad LF_{(m)} = \frac{LT_{avg(m)}}{\hat{LT}_{(m)}}$$

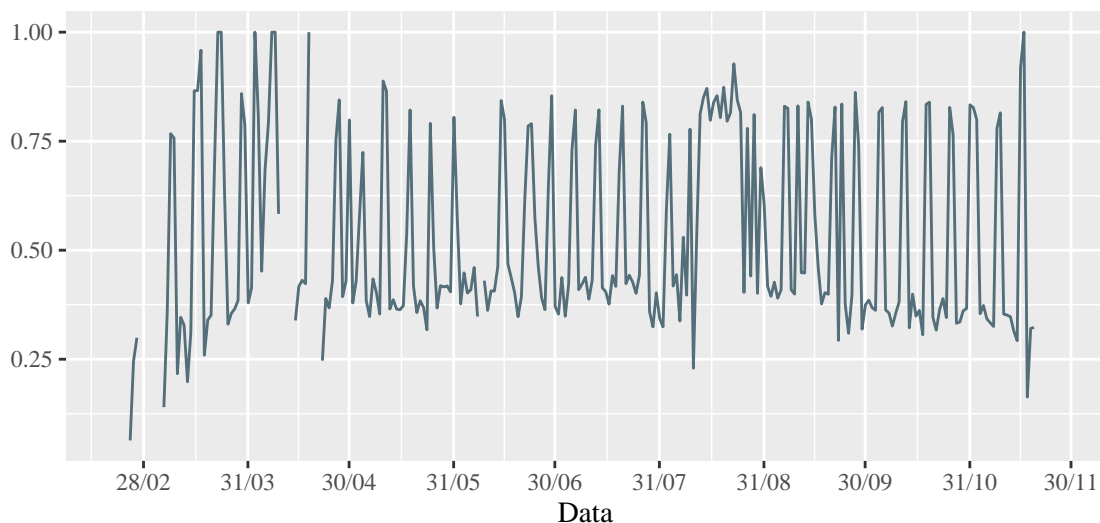
on  $LT_{avg(m)}$  és la mitjana d'energia consumida el mes  $m$  i  $\hat{LT}_{(m)}$  el pic màxim d'energia consumida del mes  $m$ . D'aquesta manera s'han obtingut els resultats del següent gràfic, amb valors que oscil·len entre 0,3 i 0,7. L'objectiu es aconseguir un valor proper a 1, equivalent a tenir menys variabilitat. S'observa doncs, el mes de març hi ha el pic màxim de consum d'energia, el seu rati de variabilitat és el més inferior del tot el període amb un valor de 0,34 el que equival al mes amb major variabilitat. En canvi els mesos de maig i octubre son els que tenen un rati major amb 0,70 i 0,69 i per tant menor variabilitat.

#### Load Factor Mensual



Analitzant els valors diaris, el primer mes d'estudi pren valors entre 0,15 i 1, amb una tendència creixent. En canvi, a inicis del tercer mes els valors s'estabilitzen entre 0,4 i 0,8 amb valors inferiors els dies laborables i superiors els caps de setmana. Es pot deduir, per tant, que els caps de setmana com hi ha menys demanda d'energia el consum pren valors menys variables, aquesta teoria es pot confirmar a l'agost on hi ha quasi dues setmanes seguides amb valors superiors a 0,8, tot i aquest resultat en haver-hi molta variabilitat a la resta de dies fa que el global del mes prengui valors molt més inferiors. Per altra banda, el mes d'octubre s'observa resultats molt estables amb quasi els mateixos valors de manera consecutiva cada setmana.

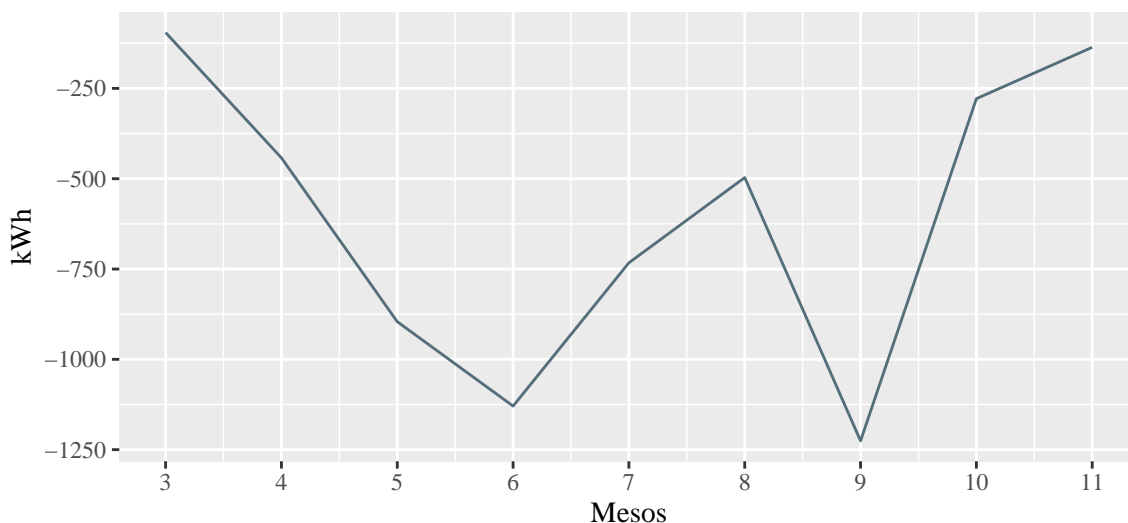
Load Factor Diari



**(Ind 5.) Energia diària generada i reserva diària de les bateries**

L'indicador representa el total d'energia generada pels panells i l'energia descarregada de les bateries disponibles, dels conjunts **HBI** i **V2G**. Els primers mesos s'observa com la generació d'energia va augmentant iniciant amb valors no superiors a 200 kWh fins a superar els 1100 kWh al juny. Durant els següents dos mesos l'energia disminueix i al setembre s'obté el valor màxim de 1225,64 kWh generats. Finalment, els últims mesos del període disminueix notablement amb valors molt semblants a l'inici del període. Els mesos de març i novembre estan incomplets i, per tant, s'espera que els valors reals siguin superiors lleugerament.

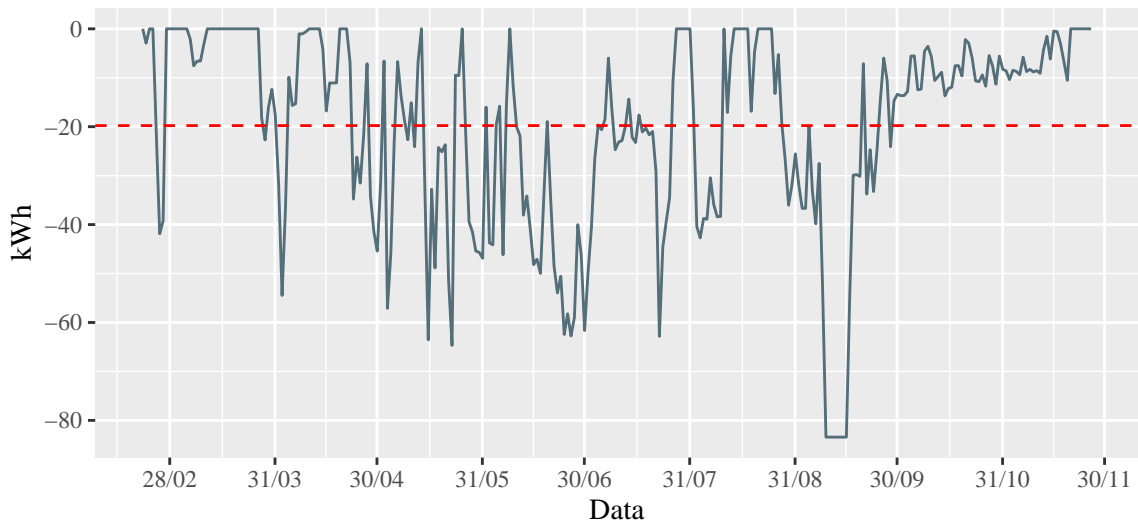
Energia Mensual Generada i Reserva de Bateria



La mitjana diària de generació d'energia i reserva de bateries és de 19,77 kWh. La major part de la generació és causada per l'ús de les plaques, per aquest motiu hi ha una gran similitud amb la representació diària del flux d'energia de les

**PV.** L'ús de les bateries augmenta la mitjana en 0,74 kWh, recordant que la mitjana de generació exclusiva de **PV** és 19,03 kWh.

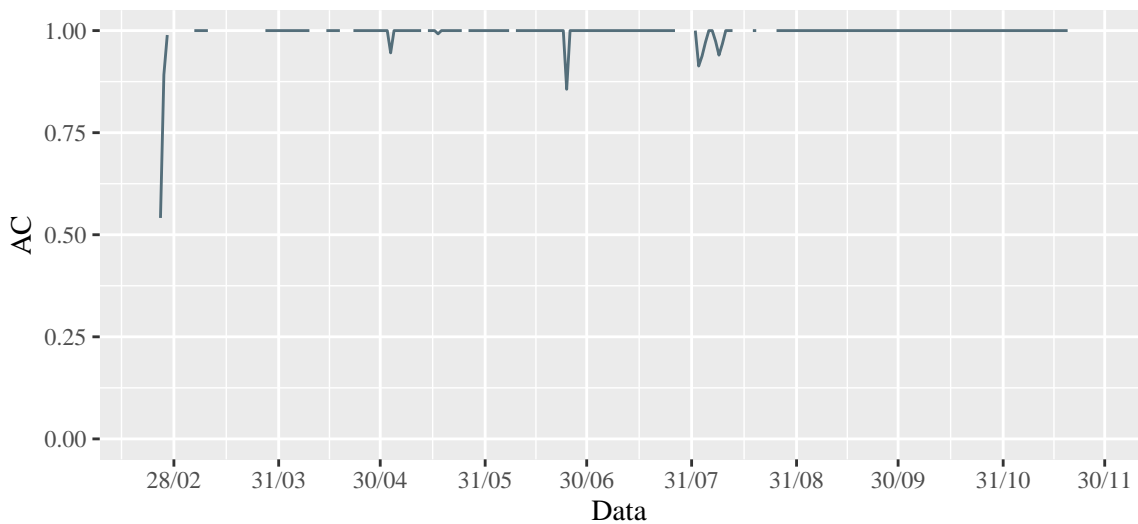
Energia Diaria Generada i Reserva de Bateries



**(Ind 6.) Autoconsum diari o self-consumption rate**

La ràtio d'autoconsum mostra la proporció de l'energia generada que ha estat consumida per la mateixa entitat generadora. En aquest cas s'observa clarament com l'energia generada és consumida per l'organització en gran part dels dies d'estudi, per tant, no hi ha una sobre generació de l'energia i, com a resultat, s'usa tota en la majoria de dies. Tots els casos on hi ha valors faltant són equivalents als dies que no es va generar cap unitat d'energia i en conseqüència no es té en compte pel càlcul d'autoconsum diari. L'energia restant és venuda a la xarxa pública, durant tot el període es va vendre 41,96 kWh. Aquest valor equival a 2,09 €, amb el preu de 0,05 €/kWh fixa't per realitzar l'estudi. Donat els resultats diaris obtinguts no es considera irrellevant calcular els valors mensualment, ja que, aquests valors no aporten informació addicional.

Autconsum Diari



## 9 Conclusions

L'objectiu principal d'aquest treball ha estat crear un mòdul de validació per un sistema de gestió d'energia. El qual s'ha creat mitjançant la formulació d'un conjunt d'indicadors classificats en tres categories: econòmica, mediambiental i energètica. Per implementar el conjunt d'indicadors s'han usat les dades proporcionades per un cas pràctic real, on l'EMS va recollir informació durant el període entre el 22 de febrer de 2019 i 20 de novembre de 2019, i s'ha elaborat una anàlisi dels resultats.

Amb l'anàlisi presentada anteriorment, per aquest conjunt de dades, no és possible concloure si l'ús de l'EMS millora la gestió d'energia de l'organització, ja que les dades disponibles no permeten avaluar correctament les tendències en ser un període curt. Per aquest mateix motiu, no s'ha pogut assolir un dels objectius marcats amb el qual es volia elaborar una anàlisi de sèries temporals, mitjançant diferents tipus d'allisats per poder obtenir la tendència i finalment calcular prediccions de futur per cada indicador i flux de potència per cada component.

Tot i els inconvenients per elaborar una anàlisi de sèries temporals, s'ha fet una anàlisi del comportament dels indicadors durant tot el període d'estudi. Així doncs, s'ha pogut concloure que durant el mes d'agost, en haver-hi menys consum d'energia suposa un menor cost, però no hi ha un major estalvi, ja que d'igual manera que no hi ha demanda tampoc es genera molta energia. El mes d'octubre destaca per tenir en la majoria d'indicadors valors màxims, amb el cost mensual més elevat, però amb un estalvi major al mateix moment, també és el mes amb major emissions de  $CO_2$ . Pel que fa als indicadors energètics, el *load factor* destaquen els mesos de maig i octubre amb la menor variabilitat d'energia consumida, per altra banda, els mesos de juny i setembre són els que més energia s'ha generat. Finalment, la ràtio d'autoconsum ha mostrat que l'organització usa tota l'energia que genera majoritàriament.

Un dels objectius secundaris ha estat automatitzar les connexions entre la base de dades disponible a influx amb l'aplicació usada per programar tots els càlculs, *RStudio*. En aquest cas per motius externs no s'ha pogut assolir, ja que, el paquet desenvolupat per realitzar-ho disposa d'un error i no permet realitzar la connexió amb la versió actual del *RStudio* i la versió d'influx. Tot i no poder automatitzar aquesta connexió si s'ha aconseguit extreure informació d'*E-SIOS* amb l'ús d'una API (*application programming interface*).

Finalment, comentar que per tal de poder assolir un dels principals objectius, que seria analitzar una anàlisi completa de sèries temporals, seria necessari disposar de les dades durant un període més llarg, com a mínim dos anys per tal de poder analitzar correctament l'evolució. D'aquesta manera es podria tenir uns resultats sòlids i obtenir més informació per validar correctament l'ús del sistema de gestió d'energia.

## 10 Bibliografia

- Horinov S. i Horinova S. *Energy management systems*. ResearchGate: Gener 2017, [consulta: 15 d'abril de 2022]. [https://www.researchgate.net/publication/311642376\\_Energy\\_management\\_systems](https://www.researchgate.net/publication/311642376_Energy_management_systems)
- Cosenza E. et al. *Sistema de gestión de la energía para las autoridades locales*. Compete4SECAP: Junio 2018 [Maig 2019 , [consulta: 15 d'abril de 2022]. [https://www.eurovertice.eu/wp-content/uploads/2019/07/Gu%C3%ADa-SGen-para-las-AL\\_2018.pdf](https://www.eurovertice.eu/wp-content/uploads/2019/07/Gu%C3%ADa-SGen-para-las-AL_2018.pdf)
- Singer A. *3 Components of an Effective Energy Management Strategy for Health Care Facilities*. Constellation: Septiembre 2018 [consulta: 15 d'abril de 2022]. <https://blogs.constellation.com/energy-management/three-components-of-an-effective-energy-management-strategy-for-health-care-facilities/>
- *Learn about environmental Management systems*. US EPA: Septiembre 2021, [consulta: 15 d'abril de 2022]. <https://www.epa.gov/ems/learn-about-environmental-management-systems#what-is-an-EMS>
- *ISO 50001 Gestión de la energía*. Normas ISO: (s/f) , [consulta 20 de juny de 2022]. <https://www.normas-iso.com/iso-50001/>
- Faria P. *A methodology for energy key performance indicators analysis*. SpringerOpen: Abril 2021 [consulta: 18 d'abril de 2022]. <https://energyinformatics.springeropen.com/articles/10.1186/s42162-021-00140-0>
- Efkarpidis N. *A generic framework for the definition of key performace indicators for smart energy systems at different scale*. MDPI: Gener 2022, [consulta: 18 d'abril de 2022] <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/4/1289/htm>
- *¿Qué es un Sistema de Gestión Energética (SGEn)?*. Meinsa: Març 2020 [consulta: 24 d'abril de 2022] <https://meinsa.com/2020/03/que-es-un-sistema-de-gestion-energetica-sgen/>
- *Main sources of carbon dioxide emissions*. What's Your Impact: Juliol 2017, [consulta: 10 de maig de 2022]. <https://whatsyourimpact.org/greenhouse-gases/carbon-dioxide-emissions>
- Palacio Í. *Por qué el precio del gas está encareciendo la factura de la luz*. Business Insider España: Octubre 2021, [consulta: 10 de maig de 2022]. <https://www.businessinsider.es/precio-gas-encareciendo-factura-luz-948021>
- Molina C. *Por qué sube el precio de gas: cómo te afectará este invierno*. Gana energía: Noviembre 2021, [consulta: 18 de maig de 2022]. <https://ganaenergia.com/blog/por-que-sube-precio-gas/>
- S. *Significado de potencia*. Significados.com: Març 2017 , [consulta: 24 de maig de 2022]. <https://www.significados.com/potencia/>
- S. *Significado de energía eléctrica*. Significados.com: Abril 2019 , [consulta: 24 de maig de 2022]. <https://www.significados.com/potencia/>
- Planas O. *Qué es l'energia elèctrica*. Energía Nuclear: Juny 2020, [consulta: 24 de maig de 2022]. <https://ca.energia-nuclear.net/energia/energia-electrica>
- Planas O. *¿Qué es la potencia eléctrica? Definición y concepto*. Energía solar: Setembre 2021, [consulta: 24 de maig de 2022]. <https://solar-energia.net/electricidad/corriente-electrica/potencia-electrica>
- I. *Sistema trifásico y monofásico* Iguen: Març 2021, [consulta: 24 de maig de 2022]. <https://iguen.es/blog/sistema-trifasic-y-monofasico/>
- Pareja, R. *¿Cómo son y cómo funcionan los cargafors de vehículos eléctricos?* Car and Driver: Noviembre 2020, [consulta: 3 de juny de 2022]. <https://www.caranddriver.com/es/coches/planeta-motor/a34630201/cargadores-vehiculos-electricos-claves/>
- Plaza, D. *Coches eléctricos V2G, V2V y V2H: qué son y para qué sirven* Motor.es : Diciembre 2021, [consulta: 3 de juny de 2022]. <https://www.motor.es/que-es/coches-v2v-v2h-v2g>
- *Paneles Solares Funcionamiento Tipos Usos Celdas* Area tecnología: [consulta: 3 de juny de 2022]. <https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>

- Tarifasgasluz. *Paneles soales: ¿Qué tipos existen y cómo funcionan?* tarifasluz.com, Febrer 2022: [consulta: 3 de juny de 2022]. <https://tarifasgasluz.com/autoconsumo/componentes/placas-solares>
- Munguía, S.F. *Cómo funciona el mercado eléctrico Xataka*, Gener 2021: [consulta: 20 de juny de 2022]. <https://www.xataka.com/energia/como-funciona-mercado-electrico-que-a-pesar-que-precio-a-veces-llegue-a-cero- apenas-va-a-repercutir-nuestra-factura-1>
- Heredia, J. *Optimization of Power Systems Operations* UPC : [consulta: 20 de juny de 2022]. Disponible al campus virtual UB: Optimització en enginyeria
- *¿Cómo funciona un coche eléctrico?* RACE: juny 2022, [consulta: 20 de juny de 2022]. <https://www.race.es/como-funciona-coche-electrico>
- Hilcu, M. *Baterías soales: Ahorra más en tu recibo de luz* Otovo Blog: Juliol 2022, [consulta: 16 de juliol de 2022]. <https://www.otovo.es/blog/placas-solares/baterias-para-placas-solares/>
- Carrasco, A. *Inversores solares: Guía completa* Otovo Blog, juliol 2022 [consulta: 16 de juliol de 2022]. <https://www.otovo.es/blog/placas-solares/inversores-solares/>





```

emiCO2[,3] <- emiCO2$tCo2*1000
colnames(emiCO2) <- c("Tecnologia", "tCO2", "kgCO2")
gen[,3] <- gen$GWh*1000000
colnames(gen) <- c("Tecnologia", "GWh", "kWh")

k <- sqldf('SELECT gen.Tecnologia, CASE WHEN kgCO2 is null then 0 else kgCO2 end kgCO2 , kWh,
           CASE WHEN kgCO2 is null then 0 else kgCO2/kWh END k
           FROM gen LEFT JOIN emiCO2 ON emiCO2.Tecnologia = gen.Tecnologia')
k$k <- round(k$k,2)

k[5,4] <- 0

### TECNOLOGÍA MÉS UTILITZADA X DIA ###
# https://www.ree.es/es/datos/generacion/estructura-generacion
# Filters: Sistema eléctrico; Nacional; Todas las tecnologías; Diari: periode (21/02/2019 ; 27/11/2019)

test <- read_excel("tecno.xlsx") # Taula per dia quantitat de generació per tecnologia
# Files: Tipus de tecnologies
# Columnes: Dies

row.names(test) <- c("Hidráulica", "Turbinación bombeo", "Nuclear", "Carbón", "Fuel + Gas", "Motores diésel",
                    "Solar fotovoltaica", "Solar térmica", "Otras renovables", "Cogeneración","Residuos")

test.t <- as.data.frame(t(test))
test.t <- test.t[c(2:281),]
for(i in 1:18){
  test.t[,i] <- as.numeric(test.t[,i])
}

test.t[is.na(test.t)] <- 0

## Proporcio diaria utilitzada de cada energia
for(i in 1:18){
  test.t[,i] <- test.t[,i] / test.t[,18]
}

## Mutiplicació per el factor d'emissió
ind3 <- test.t[,1:18]
for (i in 1:nrow(k)) {
  ind3[,i]<- k[i,4] * test.t[,i]
}
# Falta mutliplicar per el total d'energia diaria i sumar

rm(emiCO2);rm(extraccion);rm(gen);rm(httpheader);rm(i);rm(indicador);rm(uri)

```

### Transformació dades EMS

```

library(readr)
library(sqldf)
library(xts)

```

```

##### Recolocació dades #####
setwd("/Users/esoleral/desktop/TFG/Scripts/Dades")
import <- read_csv("ems_power_measures.csv")
colnames(import) <- c("Data", "Id", "P")

power_measures <- sqldf("SELECT data, CASE WHEN Id LIKE ('Hybrid_Battery_Inverter%') THEN 'HBI'
                        WHEN Id LIKE ('Hybrid_Panel_PV%') THEN 'PV'
                        WHEN Id LIKE ('V2G%') THEN 'V2G'
                        ELSE Id END ShortID,
                        sum(P) P
                        FROM import
                        GROUP BY data, ShortID
                        ")

dd1 <- sqldf("SELECT data, P as HBI
            FROM power_measures
            WHERE ShortID in ('HBI')
            ")

dd2 <- sqldf("SELECT dd1.data, HBI, PV
            FROM dd1 left join (SELECT data, P as PV
                                FROM power_measures
                                WHERE ShortID in ('PV')) T1 on dd1.data = T1.data
            ")

dd3 <- sqldf("SELECT dd2.data, HBI, PV, V2G
            FROM dd2 left join (SELECT data, P as V2G
                                FROM power_measures
                                WHERE ShortID in ('V2G')) T1 on dd2.data = T1.data
            ")

dd4 <- sqldf("SELECT dd3.data, HBI, PV, V2G, Load
            FROM dd3 left join (SELECT data, P as Load
                                FROM power_measures
                                WHERE ShortID in ('Load')) T1 on dd3.data = T1.data
            ")

dades <- sqldf("SELECT data, HBI, PV, V2G, Load, HBI + PV + V2G + LOAD AS Interconnection
            FROM dd4
            ")

## Total diari
dades1 <- dades
dades1$Data <- as.Date(dades1$Data)
dades_diari <- sqldf("SELECT Data, sum(HBI) HBI, sum(PV) PV, sum(V2G) V2G, sum(Load) Load, sum(Interconne
                    FROM dades1
                    GROUP BY Data")
dades_diari <- dades_diari[2:281,]

## Total mensual

```

```

dades$mes <- month(dades$Data)
dades_month <- sqldf("SELECT mes, sum(HBI) HBI, sum(PV) PV, sum(V2G) V2G, sum(Load) Load, sum(Interconec
                        FROM dades
                        GROUP BY mes
")

write_csv(dades, path= "/Users/esoleral/desktop/TFG/Scripts/Dades/dades.csv")
write_csv(dades_month, path= "/Users/esoleral/desktop/TFG/Scripts/Dades/dades_month.csv")
write_csv(dades_diari, path= "/Users/esoleral/desktop/TFG/Scripts/Dades/dades_diari.csv")

### Importació dades ###
dades <- read_csv("/Users/esoleral/desktop/TFG/Scripts/Dades/dades.csv")
dades_month <- read_csv("/Users/esoleral/desktop/TFG/Scripts/Dades/dades_month.csv")
dades_diari <- read_csv("/Users/esoleral/desktop/TFG/Scripts/Dades/dades_diari.csv")

```

## Creació dels gràfics anàlisis de dades simple

### Càlcul indicadors

```

#####
### INDICADOR 1 ###
#####
##### Cost #####
#####
# library(readr)
# library(ggplot2)
# library(sqldf)
# library(xts)
# cost = sum(warxa electrica(h) * cost(h))
setwd("/Users/esoleral/desktop/TFG/Scripts")

# Necessari:
# - cost (API_data.R): Data.frame amb el cost x hora de l'energia
# - dades (CalculsPrevis.R): Data.frame variable Interconnection

source("API_data.R")
dades <- read_csv("/Users/esoleral/desktop/TFG/Scripts/Dades/dades.csv")

ind1 <- sqldf("SELECT data, interconnection, value
              FROM dades left join cost on dades.data = cost.datetime")
ind1['cost'] <- rep(0,6721)

ind1[is.na(ind1)] <- 0
for(i in 1:length(ind1$Data)){
  if(ind1[i,2] > 0) {
    ind1[i,4] <- ind1[i,2] * ind1[i,3] }
  else{ ind1[i,4] <- ind1[i,2] * 0.05} # Preu venda de l'energia sobran 0.05 €/kWh
}
# https://selectra.es/autoconsumo/info/tarifas INFO preu venda energia

ind1$Data <- as.Date(ind1$Data)
cost_diari <- sqldf("SELECT Data, sum(cost) cost_d
                  FROM ind1
                  GROUP BY data")

```

```

ind1$mes <- month(ind1$Data)
cost_month <- sqldf("SELECT mes, sum(cost) cost_d, data
                    FROM ind1
                    where mes > 2
                    GROUP BY mes")

## Agregat diari
cost_diari$Data <- as.POSIXct(cost_diari$Data)
plot_diari <- ggplot(data = cost_diari, aes(x = Data, y = cost_d)) +
  geom_line(color = "#546E7A") +
  scale_x_datetime(date_breaks = "1 month", date_labels = "%d/%m")+
  ggtitle("Cost Diari") + ylab("Euros") +
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5),
        plot.margin = margin(2,.8,2,.8, "cm")
        ,text = element_text(family = "serif")
  )

## Agregat per mes
cost_month$Data <- as.POSIXct(cost_month$Data)
plot_month <- ggplot(data = cost_month, aes(x = mes, y = cost_d)) +
  geom_line(color = "#546E7A") +
  scale_x_continuous("Mesos", labels = as.character(cost_month$mes), breaks = cost_month$mes) +
  ggtitle("Cost Diari") + ylab("Euros") +
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5),
        plot.margin = margin(2,.8,2,.8, "cm")
        ,text = element_text(family = "serif")
  )

## Cost Març
cost_marc <- cost_diari[month(cost_diari$Data) == 3,]
cost_marc$Data <- as.POSIXct(cost_marc$Data)
plot_marc <- ggplot(data = cost_marc, aes(x = Data, y = cost_d)) +
  geom_line(color = "#546E7A") +
  scale_x_datetime(date_breaks = "5 days", date_labels = "%d/%m")+
  ggtitle("Cost Diari Març") + ylab("Euros") +
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5),
        plot.margin = margin(2,.8,2,.8, "cm")
        ,text = element_text(family = "serif")
  )

## TOP 3 dies amb el cost mes alt
##cost_diari[31:33,]

## No s'aprecia cap tendència

rm(ind1); rm(i)

#####
### INDICADOR 2 ###
#####

```

```

### Cost Fictici ###
#####
# cost_fictic - cost_real
library(readr)
library(ggplot2)
library(sqldf)
library(xts)
setwd("/Users/esoleral/desktop/TFG/Scripts")

# Necessari:
# - cost (API_data.R): Data.frame amb el cost x hora de l'energia
# - dades (CalculsPrevis.R): Data.frame totes les variables
# - cost diari real (indicador1.R)

source("indicador1.R")

ind2 <- sqldf("SELECT data,HBI, PV, V2G, interconexion, value
              FROM dades left join cost on dades.data = cost.datetime")
ind2['LT'] <- rep(0,6721)
ind2['cost'] <- rep(0,6721)
ind2[is.na(ind2)] <- 0

for(i in 1:length(ind2$Data)){
  if(ind2[i,2] > 0) { ind2[i,2] <- 0}
  if(ind2[i,3] > 0) { ind2[i,3] <- 0}
  if(ind2[i,4] > 0) { ind2[i,4] <- 0}
}

ind2$LT <- ind2$Interconexion - ind2$HBI - ind2$PV - ind2$V2G
ind2$cost <- ind2$LT * ind2$value

ind2$Data <- as.Date(ind2$Data)
cost_fict <- sqldf("SELECT Data, sum(cost) cost_f
                  FROM ind2
                  GROUP BY data")

cost_fict$Data <- as.POSIXct(cost_fict$Data)
cost_diari$mes <- month(cost_diari$Data)
costos <- sqldf("SELECT cost_diari.data,mes, cost_d, cost_f, cost_f - cost_d diff
                FROM cost_diari left join cost_fict on cost_diari.Data = cost_fict.data
                WHERE mes >= 3
                ")

costos_month <- sqldf("SELECT mes, sum(cost_d) cost_d, sum(cost_f) cost_f, sum(diff) diff
                      FROM costos
                      GROUP BY mes")

plot_diff_costos <- ggplot(data = costos, aes(x = Data, y = diff)) +
  geom_line(color = "#546E7A") +
  scale_x_datetime(date_breaks = "1 month", date_labels = "%d/%m")+
  ggtitle("Estalvi Diari Generat") + ylab("Euros") +
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5),
        plot.margin = margin(2,.8,2,.8, "cm")
        ,text = element_text(family = "serif")

```

```

)

plot_diff_costos_month <- ggplot(data = costos_month, aes(x = mes, y = diff)) +
  geom_line(color = "#546E7A") +
  scale_x_continuous("Mesos", labels = as.character(costos_month$mes), breaks = costos_month$mes) +
  ggtitle("Estalvi Mensual Generat") + ylab("Euros") +
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5),
        plot.margin = margin(2,.8,2,.8, "cm")
        ,text = element_text(family = "serif")
  )

# Major estalvi generat
# costos[costos$diff > 4, ]

#x<- ind2[ind2$Data == "2019-07-23" ,]
# TOTAL ENERGIA GENERADA EL DIA 23/07
#sum(x$LT)-sum(x$Interconnection)

# rm(i); rm(cost); rm(cost_fict);rm(cost_diari);rm(cost_month);rm(costos)
#rm(costos_month); rm(ind3); rm(k); rm(test)

#####
### INDICADOR 3 ###
#####
## Emissions CO2 ##
#####
# library(readr)
# library(ggplot2)
# library(sqldf)
# library(xts)
setwd("/Users/esoleral/desktop/TFG/Scripts")

# Necessari:
# - ind3 (API_data.R): Data.frame obs x dia amb tecnologia de generació més utilitzada amb el quofici
# - dades (CalculsPrevis.R): Data.frame variable Interconnection

source("API_data.R")
dades_diari <- read_csv("/Users/esoleral/desktop/TFG/Scripts/Dades/dades_diari.csv")

ind3 <- cbind(dades_diari$Data,ind3)
tt <- c(colnames(ind3[,2:19]))
colnames(ind3) <- c("Data",tt)

# Sumar x dia el total d'energia generada per la xarxa electrica

Li_day <- sqldf("SELECT interconnection, ind3.*
                FROM dades_diari left join ind3 on dades_diari.Data = ind3.data
                ")

# Càlcul del nivell d'emissió

```

```

cc <- Li_day
for (i in 1:18) {
  cc[,2+i] <-Li_day[,1] * Li_day[,2+i]
}

Li <- data.frame(Total = rep(0,280))
for (i in 3:19) {
  Li <- Li + cc[,i]
}

Li <- cbind(Li_day$Data,Li_day$interconnection, Li)
colnames(Li) <- c("Data", "Interconnection", "E_CO2")

Li$Data <- as.POSIXct(Li$Data)

# Representació gràfica
plot_co2 <- ggplot(data = Li, aes(x = Data, y = E_CO2)) +
  geom_line(color = "#546E7A") +
  scale_x_datetime(date_breaks = "1 month", date_labels = "%d/%m")+
  ggtitle("Emissions CO2 Diari") + ylab("KgCO2/kWh") +
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5),
        plot.margin = margin(2,.8,2,.8, "cm")
        ,text = element_text(family = "serif")
  )

dades_diari$Data <- as.POSIXct(dades_diari$Data)
plot_inter <- ggplot(data = dades_diari, aes(x = Data, y = interconnection)) +
  geom_line(color = "#2196F3") +
  scale_x_datetime(date_breaks = "1 month", date_labels = "%d/%m")+
  ggtitle("Interconnection") + ylab("kW") +
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5),
        plot.margin = margin(2,.8,2,.8, "cm")
        ,text = element_text(family = "serif")
  )

## MENSUAL
Li_month <- Li
Li_month$mes <- month(Li_month$Data)
Li_month <- sqldf("SELECT mes, sum(E_CO2) E_CO2
                  FROM Li_month
                  WHERE mes > 2
                  GROUP BY mes")

plot_co2_month <- ggplot(data = Li_month, aes(x = mes, y = E_CO2)) +
  geom_line(color = "#546E7A") +
  scale_x_continuous("Mesos", labels = as.character(Li_month$mes), breaks = Li_month$mes) +
  ggtitle("Emissions CO2 Mensual") + ylab("KgCO2/kWh") +
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5),
        plot.margin = margin(2,.8,2,.8, "cm")
        ,text = element_text(family = "serif")
  )

```



```

## Propocions dels mix electricis
mean_mix <- data.frame( Tecnologia = c("Hidráulica", "Turbinación bombeo", "Nuclear", "Carbón", "Fuel +
                                "Solar fotovoltaica", "Solar térmica", "Otras renovables", "Cogeneración",
                                Mitjana = c(rep(0,17))

)

for (i in 1:17) {
  mean_mix[i,2] <- round(mean(test.t[,i]),3)
}

mean_mix <- cbind(mean_mix, K = k$k)

mean_mix<- mean_mix[order(mean_mix$Mitjana, decreasing = TRUE),]

test.t <- cbind(Data = dades_diari$Data, test.t)

plot_TOP4 <- ggplot(data = test.t, aes(x = Data)) +
  geom_line(aes(y = Nuclear), colour = "#ffc425", size = 1) +
  geom_line(aes(y = `Ciclo combinado`), colour = "#f37735", size = 1) +
  geom_line(aes(y = Eólica), colour = "#00aedb", size = 0.6, linetype = "longdash") +
  geom_line(aes(y = Cogeneración), colour = "#00b159", size = 1) +
  scale_colour_manual("Llegenda ", breaks = c("Nuclear", "Ciclo combinado", "Eólica", "Cogeneración"),
                      values = c("#ffc425", "#f37735",
                                "#00aedb", "#00b159" )) +
  scale_x_datetime(date_breaks = "1 month", date_labels = "%d/%m") +
  ggtitle("Proporció en el mix elèctric TOP 4 technologies") + ylab(" ") +
  theme( legend.position = "bottom",
        plot.title = element_text(hjust = 0.5)
        ,text = element_text(family = "serif")
  )

## Calcul emissió CO2 dies 28/8 i 3/11 amb una consumició hipotetica de 200 kw
Li_day[Li_day$Data == "2019-08-28",]
ccagost <- 200*0.02324468 + 200*0.008497615 + 200*0.003468463 + 200*0.006659242 + 200*0.03981773 + 200*
eonov <- 200*0.02172447 + 200*0.006529541 + 200*0.001355188 + 200* 0.006127691 + 200*0.03675746 + 200*0.

rm(cc);rm(cost);rm(dades_diari);rm(ind3);rm(Li);rm(Li_day);rm(test);rm(i);rm(tt)

#####
### INDICADOR 4 ###
#####
### Load Factor ###
#####
# mitjana diaria_LT /
# library(readr)
# library(ggplot2)

```

```

# library(sqldf)
# library(xts)
setwd("/Users/esoleral/desktop/TFG/Scripts")

# Necessari:
# - dades (CalculsPrevis.R): Data.frame variable Interconnection
# - LT (indicador2.R): Calculat al dataframe ind2

source("indicador2.R")

# Calcul mitjana diraria i pic maxim diari
ind4 <- sqldf("SELECT Data,sum(LT) LT_sum ,AVG(LT) LT_avg, max(LT) LT_peak
              FROM ind2
              GROUP BY Data")

## Divisió
ind4$LF <- ind4$LT_avg / ind4$LT_peak

## DIARI
ind4$Data <- as.POSIXct(ind4$Data)
plot_LF <- ggplot(data = ind4, aes(x = Data, y = LF)) +
  geom_line(color = "#546E7A") +
  scale_x_datetime(date_breaks = "1 month", date_labels = "%d/%m")+
  ggtitle("Load Factor Diari") + ylab(" ") +
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5),
        plot.margin = margin(2,.8,2,.8, "cm")
        ,text = element_text(family = "serif")
  )

## MENSUAL
ind4$mes <- month(ind4$Data)

ind4 <- ind4[ind4$Data >= "2019-03-07",]

LF_month <- sqldf("SELECT mes, avg(LT_sum) AVG, max(LT_sum) MAX
                  FROM ind4
                  WHERE mes > 2
                  GROUP BY mes")

LF_month$LF <- LF_month$AVG / LF_month$MAX
plot_LF_month <- ggplot(data = LF_month, aes(x = mes, y = LF)) +
  geom_line(color = "#546E7A") +
  scale_x_continuous("Mesos", labels = as.character(LF_month$mes), breaks = LF_month$mes) +
  ggtitle("Load Factor Mensual") + ylab(" ") +
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5),
        plot.margin = margin(2,.8,2,.8, "cm")
        ,text = element_text(family = "serif")
  )

```

```

rm(ind4); rm(ind2)

#####
##### INDICADOR 5 #####
#####
### Potencia Generada ###
### y reserva bateries ###
#####
# Suma potencies < 0 de PV, bat, C
library(readr)
library(ggplot2)
library(sqldf)
library(xts)
setwd("/Users/esoleral/desktop/TFG/Scripts")

# Necessari:
# - dades (CalculsPrevis.R):

dades_diari <- read_csv("/Users/esoleral/desktop/TFG/Scripts/Dades/dades_diari.csv")

ind5 <- dades_diari
ind5[is.na(ind5)] <- 0

## Nomes mirem quan la potencia es inferior a 0
## per tant quan sigui superior serà 0 pq no afecti
for(i in 1:length(ind5$Data)){
  if(ind5[i,2] > 0) { ind5[i,2] <- 0}
  if(ind5[i,3] > 0) { ind5[i,3] <- 0}
  if(ind5[i,4] > 0) { ind5[i,4] <- 0}
}

ind5$PG <- ind5$HBI + ind5$PV + ind5$V2G
ind5$Data <- as.POSIXct(ind5$Data)

## DIARI
plot_PG <- ggplot(data = ind5, aes(x = Data, y = PG)) +
  geom_line(color = "#546E7A") +
  geom_hline(yintercept = mean(ind5$PG), colour = "red", linetype = "dashed") +
  scale_x_datetime(date_breaks = "1 month", date_labels = "%d/%m")+
  ggtitle("Potència Diària Generada i Reserva de Bateries") + ylab("kW") +
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5),
        plot.margin = margin(2,.8,2,.8, "cm")
        ,text = element_text(family = "serif")
  )

## MENSUAL
ind5$mes <-month(ind5$Data)
ind5_month <- sqldf(" SELECT mes, sum(PG) PG
                    FROM ind5

```

```

WHERE mes > 2
GROUP BY mes
")

plot_PG_month <- ggplot(data = ind5_month, aes(x = mes, y = PG)) +
  geom_line(color = "#546E7A") +
  scale_x_continuous("Mesos", labels = as.character(ind5_month$mes), breaks = ind5_month$mes) +
  ggtitle("Potència Mensual Generada i Reserva de Bateries") + ylab("kW") +
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5),
        plot.margin = margin(2,.8,2,.8, "cm")
        ,text = element_text(family = "serif")
  )

rm(dades_diari);rm(ind5_month); rm(i)

```

```

#####
##### INDICADOR 6 #####
#####
##### Autconsum #####
#####
# Suma potencies < 0 de PV,bat, C
library(readr)
library(ggplot2)
library(sqldf)
library(xts)
setwd("/Users/esoleral/desktop/TFG/Scripts")

# Necessari:
# - dades (CalculsPrevis.R): Pi potencia venuda a la xarxa
# - PG (indicador5.R): calcul previ de la potencia generada + reserva d'energies

dades <- read_csv("/Users/esoleral/desktop/TFG/Scripts/Dades/dades.csv")
source("/Users/esoleral/desktop/TFG/Scripts/indicador5.R")

ind6<- data.frame(Data = dades$Data, Interconnection = dades$Interconnection)
ind6[is.na(ind6)] <- 0

for (i in 1:nrow(dades)) {
  if(ind6[i,2]> 0) {ind6[i,2] <- 0}
}

ind6$Data <- as.Date(ind6$Data)
ind6_diari <- sqldf("SELECT Data, sum(interconnection) Pi
                   FROM ind6
                   GROUP BY Data
                   ")

ind6_diari <- ind6_diari[2:281,]
ind6_diari <- cbind(ind6_diari, PG = ind5$PG)

ind6_diari$AC <- 1 - (ind6_diari$Pi / ind6_diari$PG)
ind6_diari$Data <- as.POSIXct(ind6_diari$Data)

```

```
sum(ind6_diari$Pi)

plot_AC <- ggplot(data = ind6_diari, aes(x = Data, y = AC)) +
  geom_line(color = "#546E7A") +
  scale_x_datetime(date_breaks = "1 month", date_labels = "%d/%m")+
  ggtitle("Autconsum Diari") +
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5),
        plot.margin = margin(2,.8,2,.8, "cm")
        ,text = element_text(family = "serif")
  )

rm(ind6_diari); rm(ind5);rm(ind6);rm(i)
```