



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TREBALL FI DE GRAU

**Grau en Enginyeria de l'Energia**

**ANÀLISI DE VIABILITAT DE LA SUBSTITUCIÓ D'UNA CENTRAL  
DE CICLE COMBINAT UTILITZANT ENERGIA SOLAR  
FOTOVOLTAICA.**



**Memòria i Annexos**

**Autor:** Víctor Martín Lluís  
**Director:** Josep Xercavins  
**Convocatòria:** Juny 2018



## **Resum**

En aquest treball es fan les anàlisis i els càlculs necessaris per estimar la viabilitat i conseqüències de la substitució d'una central de cycle combinat utilitzant energia solar fotovoltaica.

En primer lloc, es contextualitza la situació actual de la generació d'energia elèctrica a nivell mundial per a verificar que aquesta té encara un gran pes dels combustibles fòssils.

Un cop evidenciada la necessitat d'iniciar una transició energètica, es passa a determinar i conèixer la central a substituir i es fan els càlculs necessaris per a determinar els mòduls de la central a instal·lar. D'aquesta manera, es té una visió de les viabilitats tecnològiques i logístiques que deixa pas a diferents anàlisis comparatives com emissions, econòmica, vida útil, etc. Amb tot això, es pot valorar la dificultat de la substitució estudiada i la necessitat de seguir treballant en millorar les eficiències dels mòduls solars i de les energies renovables si es vol aconseguir un futur més sostenible en l'àmbit de la generació d'energia elèctrica.

Finalment, es fa una generalització dels càlculs per tal de poder tenir una estimació ràpida del que suposaria substituir una central tèrmica qualsevol, en termes de potència i d'emissions. Altre cop, utilitzant energia solar fotovoltaica i veient-ne les seves característiques tècniques i logístiques.

## Resumen

En este Trabajo se hacen los análisis y cálculos necesarios para estimar la viabilidad y las consecuencias de la sustitución de una central de ciclo combinado utilizando energía solar fotovoltaica.

En primer lugar, se contextualiza la situación actual de la generación de energía eléctrica a nivel mundial para verificar que esta tiene todavía un gran peso de los combustibles fósiles.

Evidenciada la necesidad de iniciar una transición energética, se pasa a determinar y conocer la central a sustituir y se hacen los cálculos necesarios para determinar los módulos de la central a instalar. Con eso, se tiene una visión de la viabilidad técnica y logística que da paso a diferentes análisis tales como el de emisiones, económico, de vida útil, etc. De esta forma, se puede valorar la dificultad de la sustitución estudiada y la necesidad de seguir trabajando en mejorar las eficiencias de los módulos solares i de las energías renovables si se quiere llegar a un futuro más renovable en el aspecto de la generación de energía eléctrica.

Finalmente, se hace una generalización de los cálculos para poder obtener una estimación rápida de lo que supondría la sustitución de una central cualquiera en términos de potencia y emisiones, utilizando energía solar fotovoltaica.

## **Abstract**

The main point of this project is to evaluate the viability and the consequences of replacing a combined cycled power plant using photovoltaic energy.

First of all, there is a contextualization of the world's electricity generation and its origin. To verify that nowadays, it still has an important weight of the fossil fuels.

Once it is clear that an energy transition is key in the world of today, the next step is to determine and study the combined cycle power plant that must be substituted. All the calculations are made in order to estimate the solar modules needed. With this values, it is possible to determine the technical and logistic viability. After this approximation, there are some other aspects such as emissions, investment or the useful lifetime. Considering this aspects, it is clear that there will be a lot of difficulties in the substitution and that it is vital to keep working in the modules efficiency and in the renewable energy to achieve a sustainable electricity generation.

Finally, there is an automatization of the calculations in order to get a fast estimation of the viability and the consequences of replacing a given thermal power plant, in terms of power and emissions. Again, using photovoltaic energy.



## **Agraïments**

Agrair al tutor del treball Josep Xercavins l'haver mantingut unes reunions periòdiques que han ajudat a portar un ritme continu en l'elaboració d'aquest treball. Mencionar també al professor Herminio Martínez i el suport que ha donat en les bases i comprovació dels càlculs referits al camp solar.



# Índex

<b>RESUM</b>	<b>I</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>III</b>
<b>AGRAÏMENTS</b>	<b>V</b>
<b>1. INTRODUCCIÓ</b>	<b>9</b>
1.1. Objectius del treball .....	9
1.2. Abast del treball .....	10
<b>2. METODOLOGIA</b>	<b>11</b>
<b>3. CONTEXTUALITZACIÓ</b>	<b>13</b>
3.1. Context mundial .....	14
3.1.1. Generació d'energia elèctrica.....	14
3.1.2. Polítiques energètiques .....	19
3.1.3. Emissions i escenaris de futur .....	21
3.2. Context europeu .....	25
3.2.1. Generació d'energia elèctrica.....	25
3.2.2. Polítiques energètiques .....	26
3.2.3. Emissions i escenaris de futur .....	27
3.3. Context Espanyol i Català.....	30
3.3.1. Generació d'energia elèctrica.....	30
3.3.2. Polítiques energètiques .....	32
3.3.3. Emissions i escenaris de futur .....	33
3.4. Necessitat d'una transició energètica .....	34
<b>4. CENTRAL A SUBSTITUIR</b>	<b>35</b>
4.1. Central de cycle combinat del Besós (Grups III i IV) .....	37
4.1.1. Funcionament .....	37
4.1.2. Generació .....	38
4.1.3. Terreny ocupat.....	39
4.1.4. Emissions .....	40
<b>5. Càlculs de la substitució</b>	<b>43</b>
5.1. Potència a Instal·lar .....	44
5.1.1. Elecció de la localització.....	44



5.1.2.	Irradiància i càlculs associats .....	46
5.2.	Determinació del camp solar .....	50
5.3.	Modificació de la inclinació escollida .....	53
<b>6.</b>	<b>ANÀLISIS COMPARATIU</b> .....	<b>59</b>
6.1.	Perfil de generació .....	60
6.2.	Valoració econòmica.....	62
6.3.	Vida mitjana.....	64
6.4.	Ambiental .....	65
6.5.	Logística .....	69
<b>7.</b>	<b>AUTOMATITZACIÓ DELS CÀLCULS</b> .....	<b>71</b>
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONS</b> .....	<b>75</b>
<b>9.</b>	<b>ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL</b> .....	<b>79</b>
<b>10.</b>	<b>PRESSUPOST I/O ANÀLISI ECONÒMICA</b> .....	<b>81</b>
<b>11.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>83</b>



## 1. Introducció

Aquest treball sorgeix en el context del Grup sobre el Governament del Canvi Climàtic de l'EEBE, amb l'objectiu d'analitzar amb una considerable exactitud el que suposaria la substitució d'una central de cycle combinat utilitzant energia solar fotovoltaica.

A nivell personal, es va elegir aquest projecte ja que el tema presenta una gran importància en l'actualitat i a nivell global. Cada dia es fa més evident la necessitat d'avançar cap a una generació d'energia elèctrica molt més renovable i neta, que permeti reduir fortament les emissions contaminants a l'atmosfera. El canvi climàtic es una realitat i una de les maneres de combatre'l és treballar en una generació energètica molt més sostenible.

En aquest sentit molts cops es sol pensar que el canvi dels combustibles fòssils a les renovables és quelcom senzill i que es pot fer d'avui per demà. Es per això que es pretén estudiar el que suposaria la substitució d'una central de cycle combinat utilitzant energia solar fotovoltaica.

### 1.1. Objectius del treball

Els objectius d'aquest treball es poden sintetitzar en els següents punts:

- Determinar una central a substituir, conèixer la seva generació d'energia elèctrica i les emissions que comporta.
- Definir el camp solar necessari per a generar l'energia elèctrica de la central a tancar i determinar les característiques principals d'aquest camp alternatiu.
- Establir una comparativa entre la central actual a tancar i la central substitutòria en els àmbits de generació, logística, economia, vida útil, etc.
- Aconseguir crear una automatització dels càlculs que permeti tenir una idea ràpida si es modifica algun dels paràmetres inicials.
- Concloure unes idees clares del que suposaria la substitució i de les seves viabilitats.

## 1.2. Abast del treball

Per afrontar els objectius anteriors, s'inicia el treball amb una contextualització a la generació d'energia elèctrica actual al món. Aquest primer apartat, justifica la importància de treballar en les renovables i dona peu a l'estudi que donarà resposta als objectius marcats.

## 2. Metodologia

Aquest projecte, s'ha dividit en diferents blocs per tal d'anar assolint els objectius proposats.

En primer lloc, es parteix d'una contextualització que determina el ritme actual del món en termes de generació d'energia elèctrica així com de polítiques energètiques. Per a tenir una visió tant global com específica, aquesta anàlisi s'ha dividit en context mundial, europeu i local (Espanya i Catalunya).

Aquest context pretén ser un punt de partida que verifiqui la importància de la generació d'energia elèctrica al món en termes d'emissions provinents de la utilització d'energies fòssils, per tal de passar a una anàlisi del que suposaria reduir-les seriosament utilitzant energia solar fotovoltaica.

En el context de l'estat actual, és vital determinar i conèixer la central que es voldria tancar i substituir. En aquest cas se'n ha determinat el ritme de treball, el funcionament i la generació anual. Aquestes variables són vitals a l'hora d'analitzar i dissenyar la central substitutòria.

Coneguda i estudiada la central a substituir, cal determinar la nova instal·lació. Per a fer-ho, s'ha utilitzat la variable de generació d'energia elèctrica anual com el pilar bàsic a igualar.

A partir dels resultats dels càlculs, s'ha fet un anàlisi del que suposaria el canvi. L'estudi des de diferents perspectives permet arribar a unes conclusions de viabilitat basades en diferents aspectes.

Amb aquests passos, s'han anat complint els objectius del treball i s'ha obtingut una visió clara del que suposaria un canvi d'aquest tipus en la generació d'energia elèctrica a nivell català.



### 3. Contextualització

Si es volen estudiar les conseqüències i viabilitat de la substitució d'una central de cicle combinat per energia solar fotovoltaica, es important conèixer el context mundial i regional en aspectes de generació, polítiques energètiques, reducció d'emissions, etc. Tot això, amb la finalitat de contextualitzar l'estudi i poder-ne extreure unes conclusions clares amb un marc teòric ben definit.

Aquesta contextualització es dividirà en tres apartats: context mundial, context europeu i context espanyol. En aquest darrer apartat, es farà també una aproximació a la situació a Catalunya. Cada un d'aquests, es dividirà en els aspectes que s'han considerat més importants:

- Generació elèctrica.
- Polítiques energètiques.
- Emissions i escenaris de futur.

D'aquesta manera, es podrà veure la situació actual del planeta i es justificarà, o no, la necessitat d'iniciar una transició energètica i de marcar unes pautes clares per a un desenvolupament sostenible.

### 3.1. Context mundial

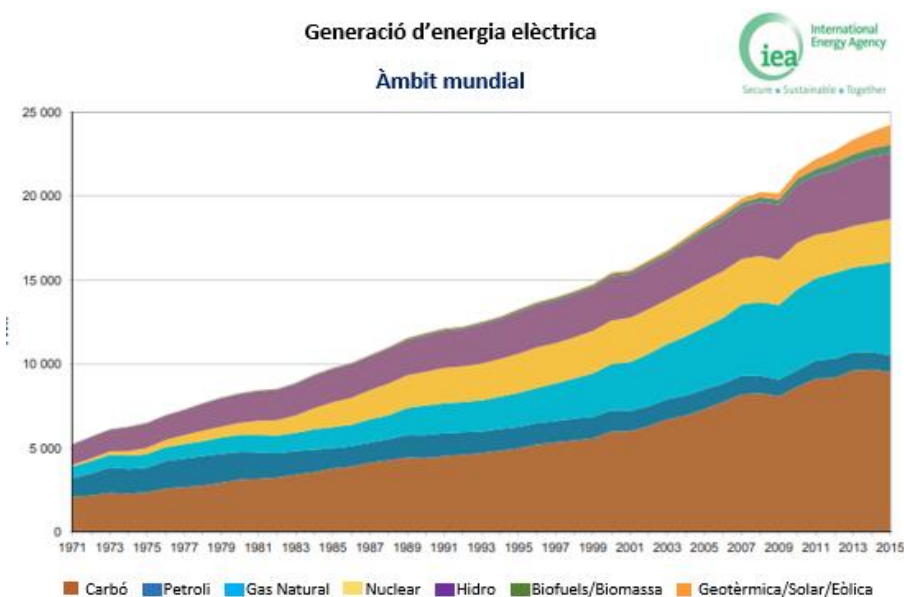
En un primer apartat, es tractarà de conèixer la situació global, començant per el marc més general i posteriorment centrant-nos cada cop en regions més específiques.

Per molt que s'implementin mesures a nivell espanyol o europeu, es vital que tot el món treballi amb un mateix objectiu, es per això que es fa evident la importància de conèixer la situació en l'aspecte més global possible.

#### 3.1.1. Generació d'energia elèctrica

A nivell mundial, el carbó ha tingut sempre un pes important en la generació d'energia elèctrica. Degut al seu paper clau en el canvi climàtic, aquest material serà el que s'analitzarà més a fons.

En el següent gràfic, extret de la IEA [5], es pot apreciar clarament el pes important del carbó en la generació elèctrica mundial.



**Figura 3.1.** Generació per fonts al món fins al 2015 (Font: [www.iea.org](http://www.iea.org))

Es veu com des de l'any 1971 fins al 2015, el carbó manté un pes similar en el percentatge global. Aquest percentatge però, cada cop es d'una quantitat d'energia major.

A mesura que ha anat creixent la població mundial i el ritme de vida, la demanda d'energia elèctrica ha augmentat i per tant, també s'ha incrementat la demanda i la crema de carbó.



Queda clar que a nivell mundial, el carbó té encara un pes significatiu. Un 39,2% de l'energia elèctrica generada al món (a l'any 2015), prové d'aquesta font. Si englobem els combustibles fòssils, aquests representen un valor que ronda el 78%.

Es fa evident que el pes de les renovables es molt reduït i que queda encara molta feina per fer per tal d'arribar a una generació d'energia elèctrica més sostenible.

Dins d'aquest anàlisi ampli a nivell mundial, es interessant dividir l'estudi per tal de veure més factors a nivell global.

- Anàlisi i comparació dels països de la OECD en conjunt i dels estats no membres.

Tal i com s'ha mencionat anteriorment, en moltes ocasions, el desenvolupament econòmic d'un país sol anar estretament relacionat amb la crema de combustibles fòssils. Es per això, que es pot fer interessant comparar els estats membres de la OECD amb el conjunt dels estats no membres.

Els països de la OECD, tendeixen a ser regions en les que la població no augmenta significativament i on el consum d'energia creix però ho fa a un nivell sostingut, permetent així, la incorporació progressiva d'energia renovable.

En canvi, els països no membres, tendeixen a estar en una fase de desenvolupament, amb creixement de la població i un conseqüent augment important de l'energia consumida. A continuació es presenten unes gràfiques de generació d'energia elèctrica per tal de deixar clares les idees mencionades.

En aquest primer gràfic, es pot apreciar la generació d'electricitat als països membres de la OECD a partir de la font d'energia.

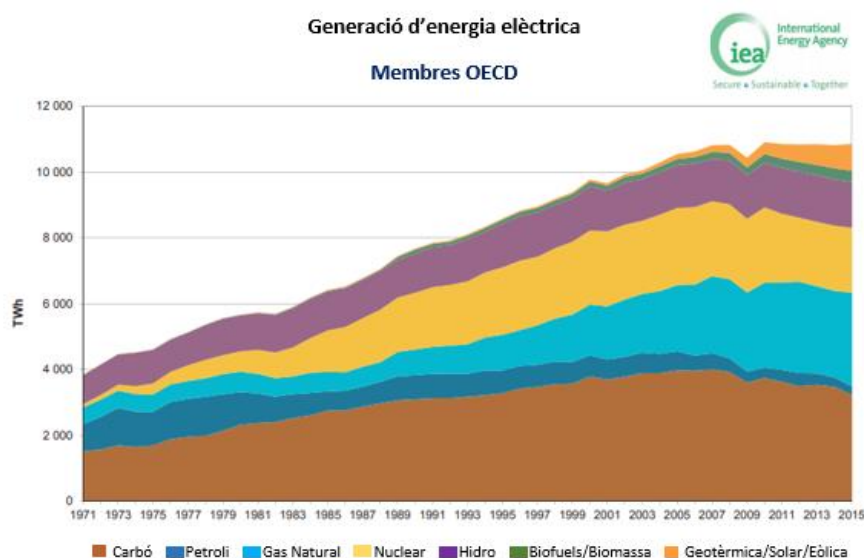


Figura 3.2. Generació per fonts als països de la OECD fins al 2015. (Font: [www.iea.org](http://www.iea.org))

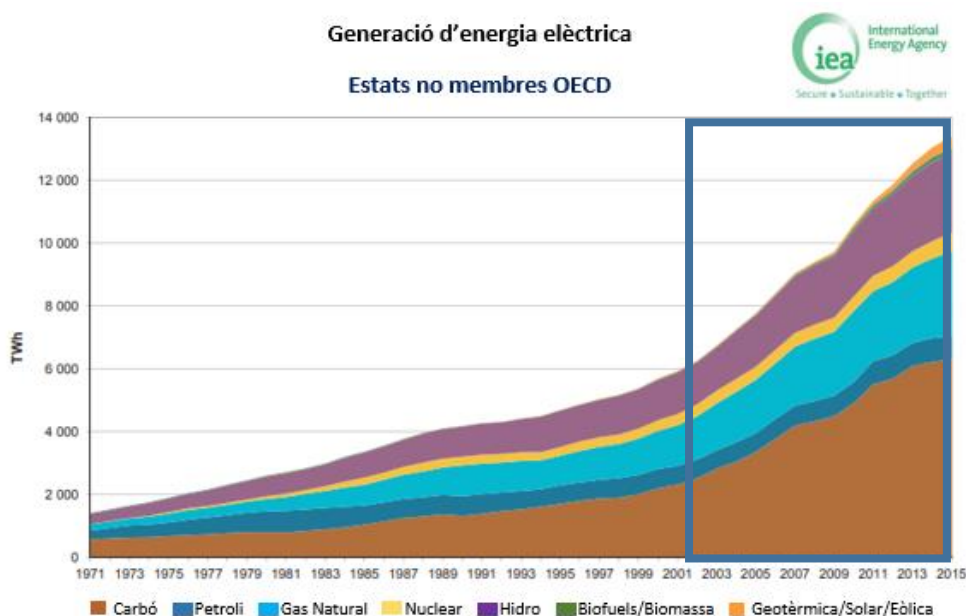
Es veu clarament com el consum d'energia elèctrica va creixent sostingudament fins als voltants de l'any 2005. A partir d'aquí, el consum es manté estable, possiblement degut a la crisi econòmica que ha afectat a la major part dels estats membres.

Es pot apreciar com es verifica el que s'ha plantejat, el pes del carbó es manté en percentatge al llarg dels anys però en l'última dècada, sembla que es comença a reduir deixant pas a un altre combustible fòssil com ho és el gas natural. El pes de les renovables és encara molt reduït i sens dubte, s'ha d'incrementar si es vol treballar en un futur més sostenible.

Per tant, queda clar que el pes del carbó està començant a ser substituït. Però, de poc serveix si aquesta energia es genera ara amb centrals de cicle combinat i que també depenen d'un combustible fòssil i tenen associades unes emissions directes de gasos d'efecte hivernacle.

Un cop vist el comportament de la generació d'energia elèctrica en els països membres de la OECD, es valorarà el mateix gràfic però ara dels països no membres. D'aquesta manera, es podrà fer una comparativa de l'evolució al llarg dels darrers anys i de la importància de les diferents fonts d'energia.

Podem veure ara la generació d'energia elèctrica als estats no membres de la OECD.



**Figura 3.3.** Generació per fonts als països no membres de la OECD fins al 2015. (Font: [www.iea.org](http://www.iea.org))

Aquest segon gràfic, té una forma totalment diferent al primer. Podem veure, dins del requadre blau com a partir de l'any 2000, es produeix un augment exponencial de la generació d'energia elèctrica.

Tal i com passa als estats membres de la OECD, en aquest cas, el pes percentual del carbó es manté estable però al produir-se aquest augment exponencial, la crema de carbó també es veu molt incrementada.

Queda clar, doncs, que s'ha creat una relació directa entre la crema de carbó i el desenvolupament d'una regió. Els membres de la OECD, tendeixen a ser països en els que no es produeixen canvis significatius i per tant, la generació i consum són bastant constants. Per altra banda, els estats no membres de la OECD, a partir del 2000, estan començant a demandar una quantitat molt més gran d'energia degut al seu desenvolupament econòmic. Això els porta a consumir molt més carbó per tal de satisfer aquesta demanda.

Per tant, queda clar que percentualment, els països en desenvolupament, utilitzen el carbó en major mesura.

Acabat aquest anàlisi, per tancar aquesta visió, es fa interessant relacionar la crema de carbó per habitant ja que els països de la OECD tenen un gruix de generació amb carbó menor però el consum es força més elevat.

En el següent gràfic sectorial, es pot veure la quantitat de població de les dues àrees d'estudi.

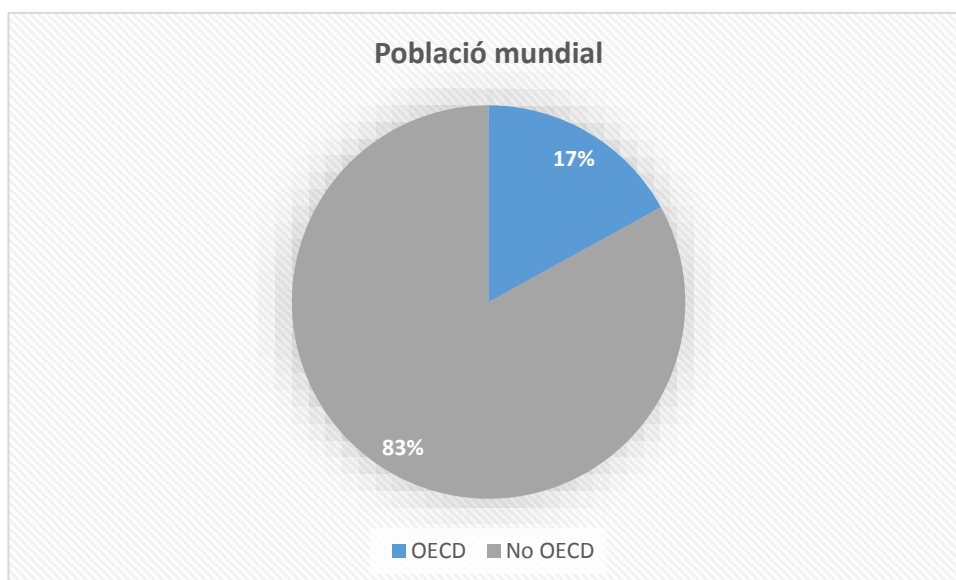
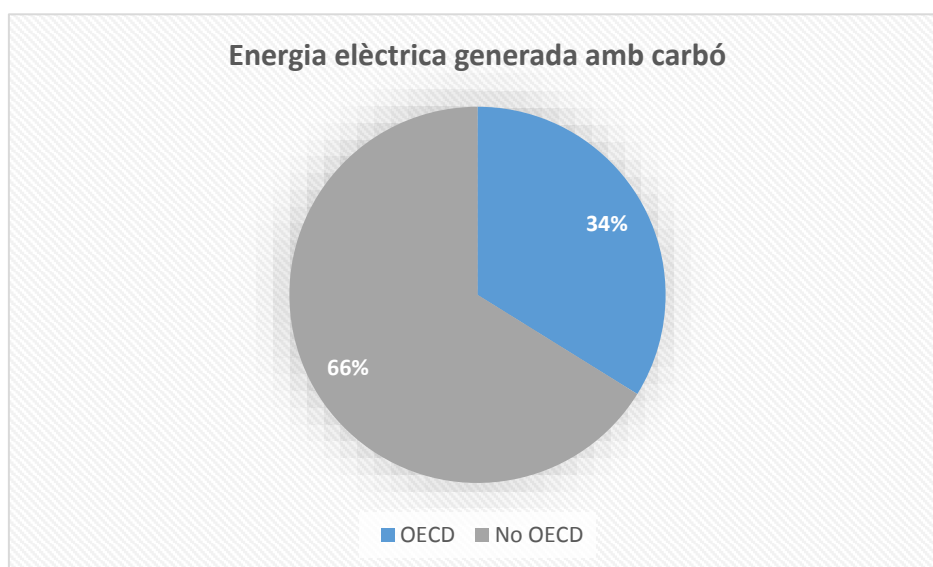


Figura 3.4. Població Mundial (2015). (Font: www.iea.org )

En aquest gràfic sectorial, es veu com la població dels països de la OECD suposa un 17% del total. Fent el mateix anàlisi en l'aspecte de la crema de carbó per a obtenir energia elèctrica, es podrà tenir una idea més precisa sobre la situació global del planeta i la influència dels països de la OECD així com dels estats No membres.

En el següent gràfic, es pot veure ara la energia generada amb carbó.



**Figura 3.5.** Energia elèctrica generada amb carbó (2015). (Font: [www.iea.org](http://www.iea.org) )

De cada 100 kWh generats amb carbó, 34 són als països membres de la OECD tot i que en població, la OECD només suposi un 17%. Això indica que tot i que el pes del carbó és molt més gran en percentatge als països que no en són membres, són els països més desenvolupats els que degut al seu gran consum, cremen més carbó per habitant.

Queda clar que arreu del món s'està encara aprofitant aquest recurs per a la producció d'electricitat. Potser a causa del seu preu, de la possibilitat d'extreure'l en mines dins del territori o de la generació d'energia elèctrica continuada que proporciona. Tot això fa que sigui senzill incorporar-lo i per tant, es converteix així en el recurs més utilitzat. Aquesta facilitat que proporciona, fa difícil que es redueixi el seu consum i per tant, és important que s'impulsin polítiques energètiques que en fomentin la seva substitució.

### 3.1.2. Polítiques energètiques

A nivell global, per a iniciar una transició cap a un futur sostenible i cap a una generació més renovable, és vital la importància d'una regulació que regeixi aquesta transició i que marqui unes pautes per a tots els territoris.

Al llarg dels últims anys, a nivell mundial, hi ha hagut nombroses aproximacions polítiques a la sostenibilitat. En moltes d'aquestes, es parla de la generació d'energia elèctrica i de la necessitat de treballar per aconseguir un major pes de les renovables. En la següent taula, es recullen les més significatives [6].

Data	Seu	Nom de la conferència	Característiques
1992	Río de Janeiro	Cimera de la Terra	Representants de 178 països. Es declara l'agenda 21 per a un desenvolupament sostenible.
1997	Kyoto	Protocol de Kyoto	Nombrosos països a nivell mundial parlen de l'objectiu i la necessitat de reduir emissions d'efecte hivernacle.
2000	Nova York	Cimera del Mil·lenni	Un dels 8 objectius definits tracta de garantir la sostenibilitat i el medi ambient.
2002	Johannesburg	Cimera de la terra de Johannesburg	Es parla del consum d'energia, recursos fòssils i energia renovable.
2010	ONU	Objectius de desenvolupament del mil·lenni	Altres cop es marca l'objectiu de continuar amb el desenvolupament en vista cap al 2015.
2012	Río de Janeiro	Río 2012	Es tracta d'avaluar la implementació dels acords anteriorment realitzats i d'abordar els nous reptes emergents.
2015	París	Acord de París	195 països participants consensuen un pacte global, Acord de París, per a reduir les emissions i el conseqüent canvi climàtic.
2017	Bonn	Cimera del clima de Bonn	Es comencen a concretar les regles de l'acord de París.

Taula 3.1. Cimeres i conferències més destacades dels últims anys. (Font: www.un.org)

En la taula anterior, s'han pogut veure resumides algunes de les nombroses cimeres de clima i desenvolupament sostenible dels darrers anys.

En totes elles, es tracten les emissions d'efecte hivernacle i la necessitat de reduir-les per a donar lloc a una societat més sostenible. En aquest aspecte, el d'emissions, la generació d'energia elèctrica es un pilar clau.

En molts casos, es parla de la necessitat de deixar enrere els combustibles fòssils com el carbó per a donar pas a una generació renovable. Tot i això, no es marquen pautes clares i coercitives. Si s'uneix aquest problema a que molts països centren el seu desenvolupament en la crema d'aquests combustibles, s'obté un vector energètic mundial en el que el pes percentual de les renovables no creix substancialment any rere any.

A continuació, s'analitza aquesta problemàtica de les emissions d'efecte hivernacle a nivell mundial per tal de poder clarificar encara més, la situació actual i la necessitat de començar a plantejar un futur més renovable.

### 3.1.3. Emissions i escenaris de futur

Un cop analitzada la generació d'energia elèctrica a nivell mundial així com els acords polítics que s'estan establint en els últims anys, es interessant valorar l'impacte en emissions d'aquesta generació.

També es veurà quins escenaris es poden plantejar en els propers anys en termes de generació i consum d'energia elèctrica.

Ja que aquest treball té com a un dels seus centres la combustió del carbó, es interessant veure quin pes té la seva crema en el global d'emissions de CO<sub>2</sub>.

D'acord amb la IAE [5], al 2015, a nivell mundial, la quantitat de TPES de carbó va ser de 3836087 ktoe. El terme TPES (Total primary energy supply) fa referència a l'energia primària utilitzada, en aquest cas, provinent del carbó i es mesura en Ktoe.

Aquest valor, es converteix a emissions de CO<sub>2</sub> fent servir un factor de conversió estàndard mitjà de 0,038 MtCO<sub>2</sub>/ktoe:

$$MtCO_2 = 3836087 \text{ ktoe} \cdot \frac{0,0038 \text{ MtCO}_2}{1 \text{ ktoe}} = 14458 \text{ MtCO}_2 \quad (\text{Eq. 3.1})$$

Ara, es relaciona amb el d'emissions totals de CO<sub>2</sub> del planeta (32294 Mt CO<sub>2</sub>) l'any 2015 per tal de poder veure el pes relatiu del carbó en aquest valor:

$$Pes (\%) = \frac{\text{Emissions degudes al carbó}}{\text{Emissions totals}} = \frac{14458 \text{ Mt}}{32294 \text{ Mt}} \cdot 100 = 44,8\% \quad (\text{Eq. 3.2})$$

Atenent al resultat, es pot dir que aproximadament el 45% de les emissions de CO<sub>2</sub> a nivell global són degudes a la crema de Carbó. Queda clar doncs que fomentar la substitució d'aquest recurs és vital per tal de reduir l'efecte hivernacle.

Un cop analitzat el pes del carbó en les emissions totals del planeta, es passa a fer un breu anàlisi de la generació d'energia elèctrica en els països que ja juguen i poden jugar un paper més important en els propers anys pel que fa a la problemàtica d'emissions. Ja sigui per la seva quantitat de població com per la seva evolució i creixement de consum i el seu model energètic.

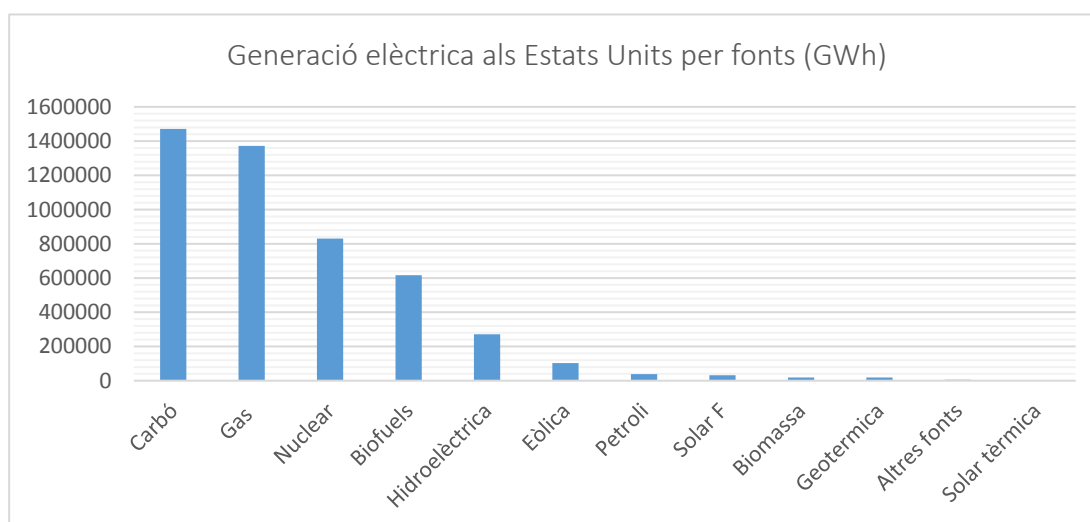
- Anàlisi de les nacions que poden tenir un paper més important en els proper anys.

- Estats units
- Índia
- Xina

Estats Units, es un dels països a nivell mundial que presenta un major consum per habitant i per tant, les seves polítiques i decisions, poden marcar el comportament global. Per altra banda, Índia i Xina, els dos països més poblats del món i en els que la demanda d'energia elèctrica està augmentant de manera exponencial.

#### Estats Units:

Amb una consciència mediambiental encara reduïda, els EUA no estan fomentant encara l'energia renovable. Fins i tot, amb l'arribada del president Trump, s'estan reobrint centrals i mines de carbó per tot el que ja s'ha comentat de la seva viabilitat econòmica i fins i tot, benestar social.



**Figura 3.6.** Generació per fonts als Estats Units (2015). (Font: [www.iea.org](http://www.iea.org))

El pes dels recursos fòssils és molt elevat. Tant el carbó com el gas natural, grans emissors de gasos d'efecte hivernacle, tenen un pes més que elevat per a la generació d'energia elèctrica americana.



### L'Índia

És un dels països més poblats del món i en els propers anys podria fins i tot superar a la Xina. Per tant, es fa interessant valorar el comportament de la seva generació d'energia elèctrica.

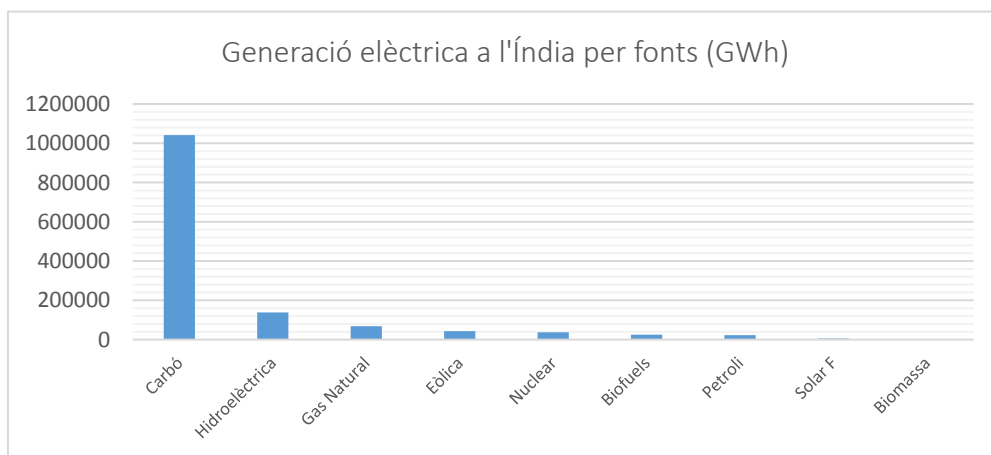


Figura 3.7. Generació per fonts a l'Índia (2015). (Font: www.iea.org )

Altre cop s'aprecia un fort pes dels combustibles fòssils, en aquest cas, el carbó és sens dubte el principal agent. En l'aspecte de polítiques energètiques, a nivell mundial es coneix la importància d'aquest país i s'hi estan fent inversions per a fomentar la implementació d'energies renovables com la fotovoltaica.

### La Xina

Una potència mundial que cada dia esta prenent més importància a nivell global. Una superpotència construïda també, actualment, a partir del carbó.

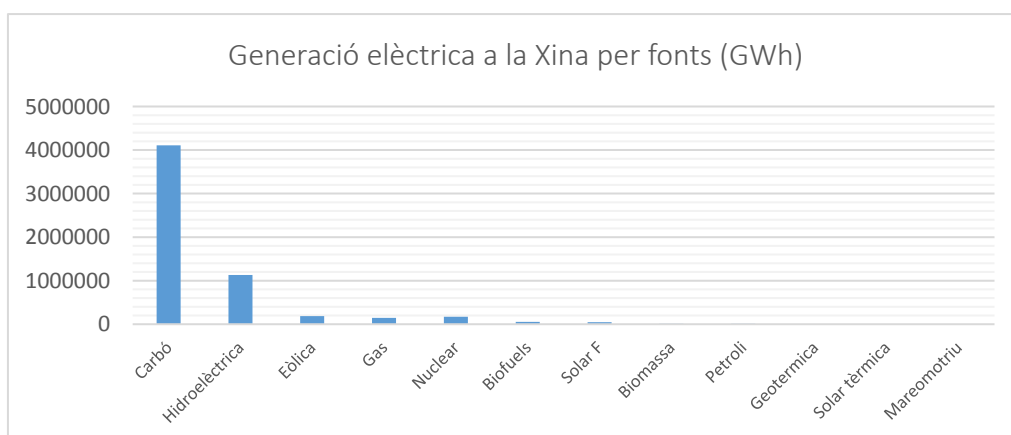
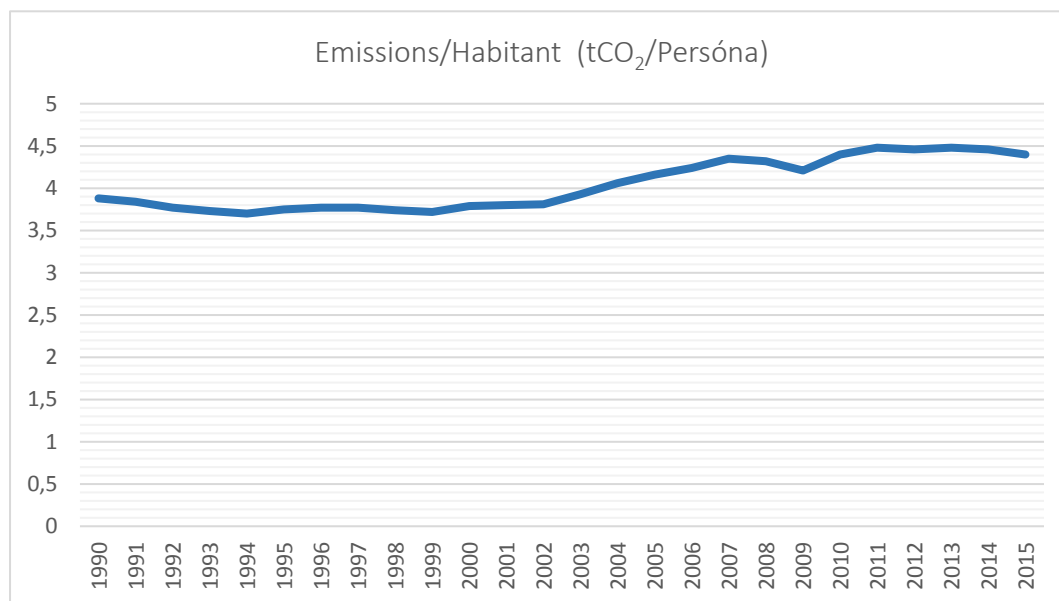


Figura 3.8. Generació per fonts la Xina (2015). (Font: www.iea.org )

S'aprecia doncs com en els tres casos, el pes del carbó és fonamental. Això fa veure que en els propers anys, caldrà sens dubte fer molts canvis en les dinàmiques d'uns països que no semblen preparats, per diverses circumstàncies, per modificar dràsticament la seva manera de funcionar.

Un cop estudiats els diferents casos així com la importància de la generació d'energia elèctrica en les emissions globals, es passa a considerar com es preveu l'evolució futura d'aquestes emissions. Per a fer-ho, s'observarà la variable que relaciona les emissions de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera per càpita. (tCO<sub>2</sub>/habitant).



**Figura 3.9.** Emissions de CO<sub>2</sub> anuals per habitant al món. (Font: [www.iea.org](http://www.iea.org))

La tendència en els darrers anys es d'augmentar; ningú sembla disposat a perdre el seu ritme de vida i per tant, s'ha de trobar la manera de ser més eficient tant a la hora de consumir com de generar. En els darrers 5 anys, sembla que aquest valor s'ha mantingut constant o fins i tot s'ha reduït, la crisi econòmica ha pogut afectar clarament a aquest valor i caldrà veure quin ha estat el resultat tant del 2016 com del 2017.

En aquest primer bloc s'ha fet referència al comportament a nivell global; es vital conèixer la situació del món ja que és el context comú per a tothom. Tot i això, també es important focalitzar més l'estudi per a veure com s'està gestionant aquesta problemàtica a diferents nivells. En el següent punt es parlarà de la Unió Europea, de com és la generació i de quines són les pautes de cara als propers anys.

### 3.2. Context europeu

En el primer apartat, s'ha pogut comprovar com el carbó te encara una importància vital en la generació d'energia elèctrica a nivell mundial. Es per això que és clau treballar en la seva substitució. Si bé és interessant conèixer la perspectiva global, també cal valorar més en detall. En aquest cas, es valorarà la situació actual a la unió Europea, fent un anàlisi similar al del nivell global.

#### 3.2.1. Generació d'energia elèctrica

La unió europea està treballant cada cop més en la implementació de recursos renovables i en la generació d'energia elèctrica. En el següent gràfic es podrà veure si realment, el gruix d'aquestes tecnologies es major al percentatge mundial.

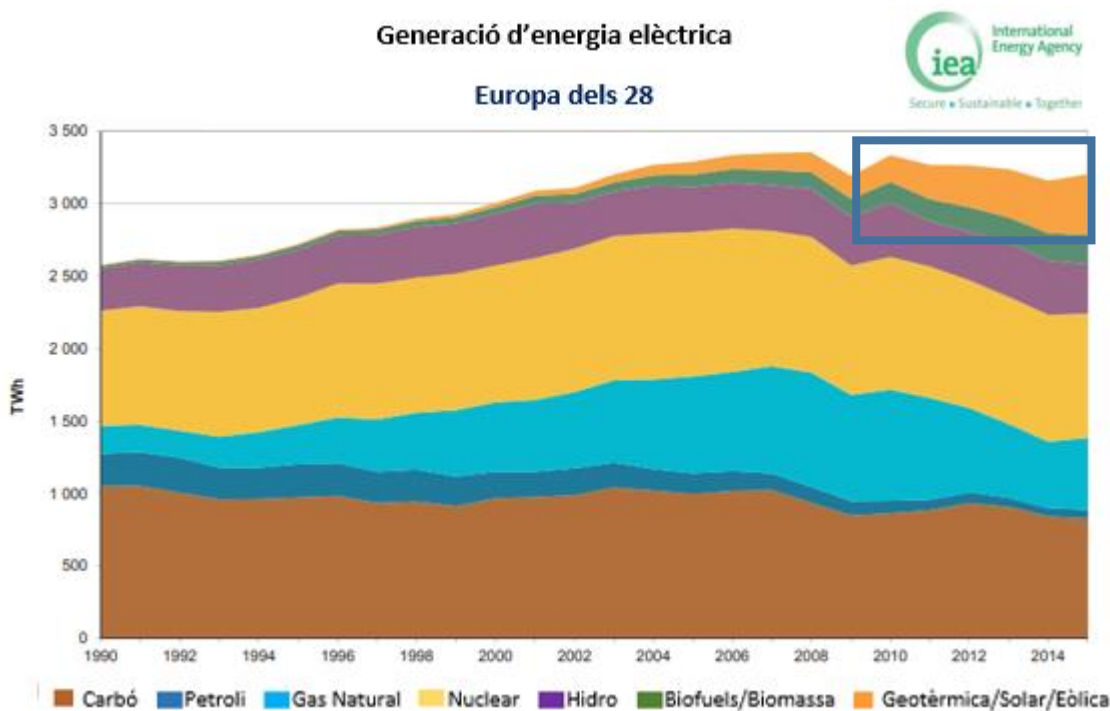


Figura 3.10. Generació per fonts a la UE fins al 2015. (Font: www.iea.org )

Es pot apreciar com en els últims anys, la unió europea ha fomentat l'ús de les energies alternatives. Això es veu reflectit en el quadre blau, l'aportació es cada cop major i s'està reduint el percentatge dels recursos fòssils. Malgrat aquest creixement, l'aportació de les renovables és encara molt escassa.

Un altre cop, és important tractar de treballar i incentivar aquestes tecnologies partint d'una legislació clara i que hi acompanyi.

### 3.2.2. Polítiques energètiques

De cara a reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle i de fomentar la generació d'energia elèctrica de manera renovable, la Unió Europea ha traçat unes vies d'acció amb uns objectius clars [7].

Objectius	Per al 2020	Per al 2030	Estat Actual
<b>Gasos d'efecte hivernacle</b>	Reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle en un 20% respecte al 1990.	Reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle en un 40% respecte al 1990.	Reducció de les emissions de gasos d'efecte hivernacle en un <b>18%</b> respecte al 1990.
<b>Pes de les renovables</b>	Generar un 20% de l'energia a partir de fonts renovables.	Generar un 27% de l'energia a partir de fonts renovables.	Es genera un <b>14,1%</b> de l'energia a partir de fonts renovables.
<b>Eficiència energètica</b>	Millorar l'eficiència energètica en un 20%.	Millorar l'eficiència energètica en un 27-30%.	Si els països membres apliquen la legislació necessària, es podrà arribar al 20% al 2020.
<b>Interconnexió elèctrica</b>	-	15% d'interconnexió elèctrica.	-

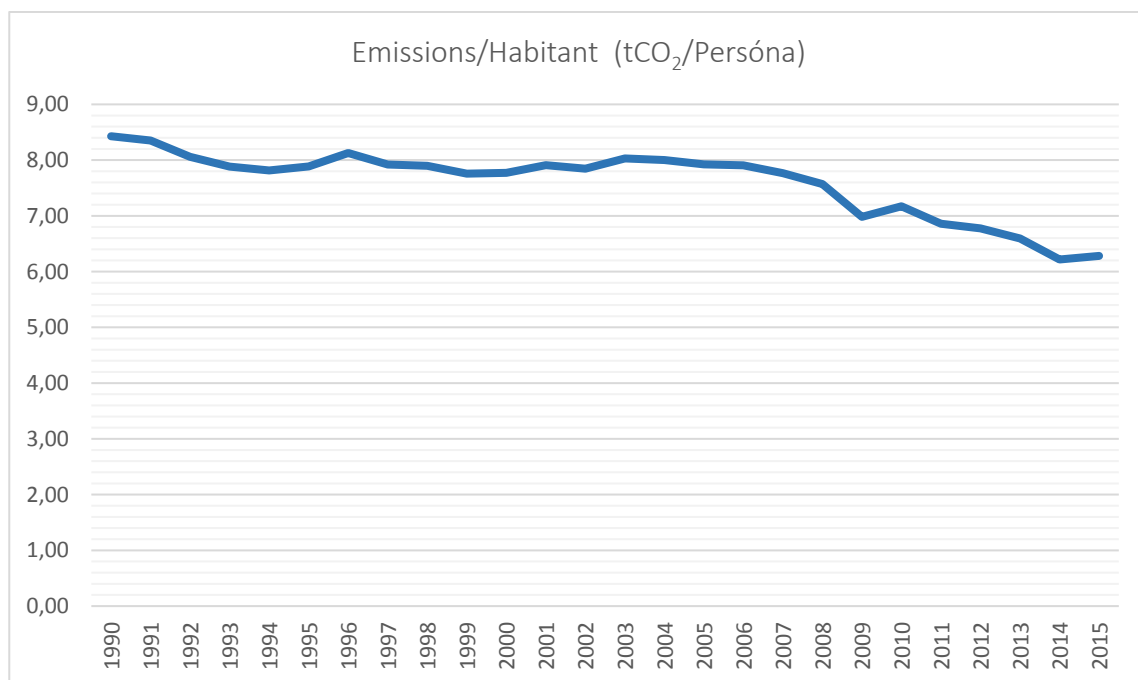
**Taula 3.2.** Objectius i actualitat de la unió Europea. (Font ec.europa.eu )

Els objectius estan clarament definits, fins i tot s'ha dissenyat un full de ruta per a una reducció del 85/90% de les emissions respecte al 1990 per al 2050.

Es pot apreciar com la normativa europea vol lluitar contra el canvi climàtic. Tot i això, cal que tots els estats membres acceptin i treballin per a complir tots els objectius. Tal i com es veurà a continuació, altre cop els beneficis immediats i la facilitat d'aconseguir carbó fan que alguns països encara tinguin dificultats per a deixar enrere la generació tradicional.

### 3.2.3. Emissions i escenaris de futur

En l'apartat anterior s'ha exposat la idea de la unió Europea de reduir considerablement les emissions de gasos d'efecte hivernacle. En el següent gràfic, podem veure les emissions de CO<sub>2</sub> al llarg dels últims anys.



**Figura 3.11.** Emissions de CO<sub>2</sub> anuals per habitant al món. (Font: www.iea.org )

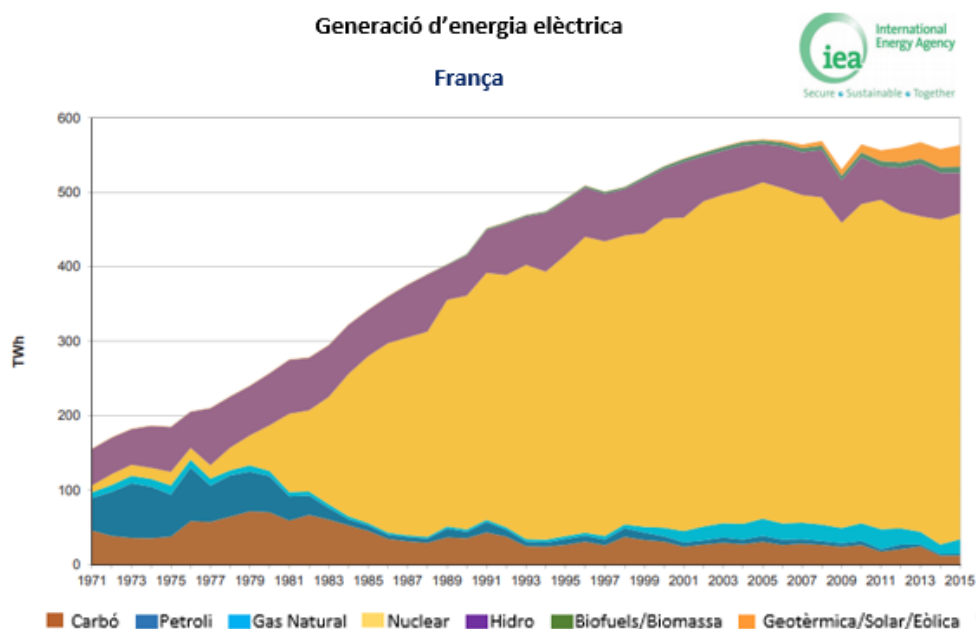
Existeix una tendència clara a reduir les emissions per habitant, aquesta reducció ha de continuar per tal de mantenir els objectius marcats per als pròxims anys.

Si es parla de generació, el pes de les renovables ha anat incrementant a la unió europea. S'ha pogut veure com en els darrer anys, l'energia elèctrica generada provinent de fonts renovables va creixent a un ritme considerable. El pes en percentatge respecte del total també va augmentant.

Tot i l'augment de les renovables mencionat, la unió europea és un conjunt de països bastant plural, cada un d'ells té més o menys facilitat per a incorporar diferents tecnologies a la hora de generar electricitat. Altre cop, la viabilitat econòmica i la seguretat dels combustibles fòssils fa que algunes regions en siguin molt dependents.

Dos exemples clars i dels que se n'analitzarà la generació són França i Polònia. El primer cas, un ús clar de la nuclear, el segon, un pes enorme del carbó. A continuació es pot veure evidenciada aquesta idea.

En primer lloc, la generació d'energia elèctrica a França:



**Figura 3.12.** Generació per fonts a França fins al 2015. (Font: [www.iea.org](http://www.iea.org) )

Es fa molt evident el que s'ha comentat prèviament. A partir de la dècada dels 80, França deixa enrere el carbó, reduint així el seu pes i dona pas a l'energia nuclear. Aquest canvi, suposa una reducció de les emissions de gasos d'efecte hivernacle. A l'any 2015, a Europa, el valor de tCO<sub>2</sub>/habitant era de 6,28 mentre que a França aquest valor era de 4,37. Això evidencia la relació clara entre la generació d'energia elèctrica amb la combustió de recursos fòssils i les emissions de CO<sub>2</sub> d'una regió. Tot i això, és evident que aquesta reducció d'emissions és admetent el potencial risc de les nuclears i la generació de residus altament radioactius.

Un cop vist el comportament i la generació per fonts a França, un altre exemple clau es el de Polònia.

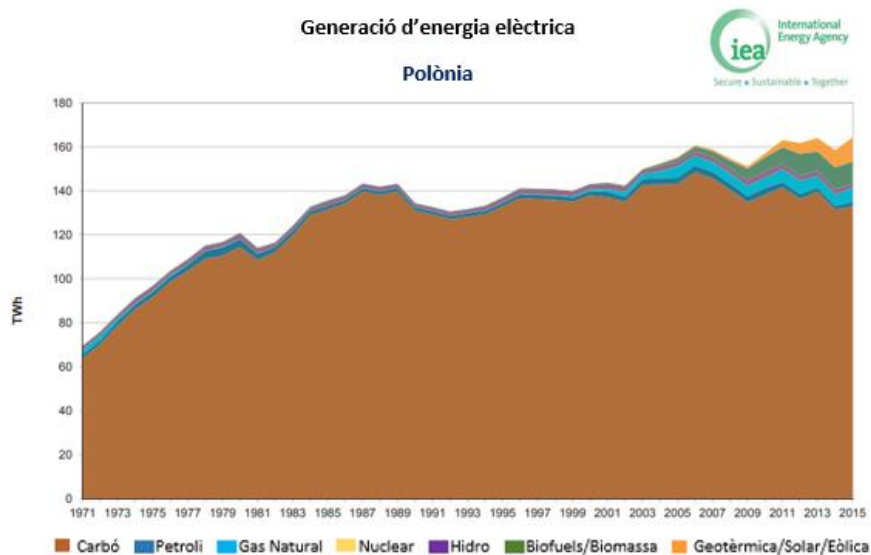


Figura 3.13. Generació per fonts a Polònia. (Font: www.iea.org )

En el cas de Polònia, un altre cop queda clar que en molts casos, la facilitat per a obtenir carbó fomenta de manera molt directa la seva utilització en centrals tèrmiques. No només perquè sigui més assequible econòmicament sinó per a generar llocs de treball tant en mines com en les mateixes centrals. Si en el cas d'Europa, el valor de tCO<sub>2</sub>/habitant era al 2015 de 6,28 i a França era de 4,37, a Polònia aquest valor es de 7,34. El pes de la generació d'energia elèctrica en les emissions totals de CO<sub>2</sub> és molt gran. Per tant, és clau treballar en aquest aspecte si es vol mirar cap a un futur sostenible.

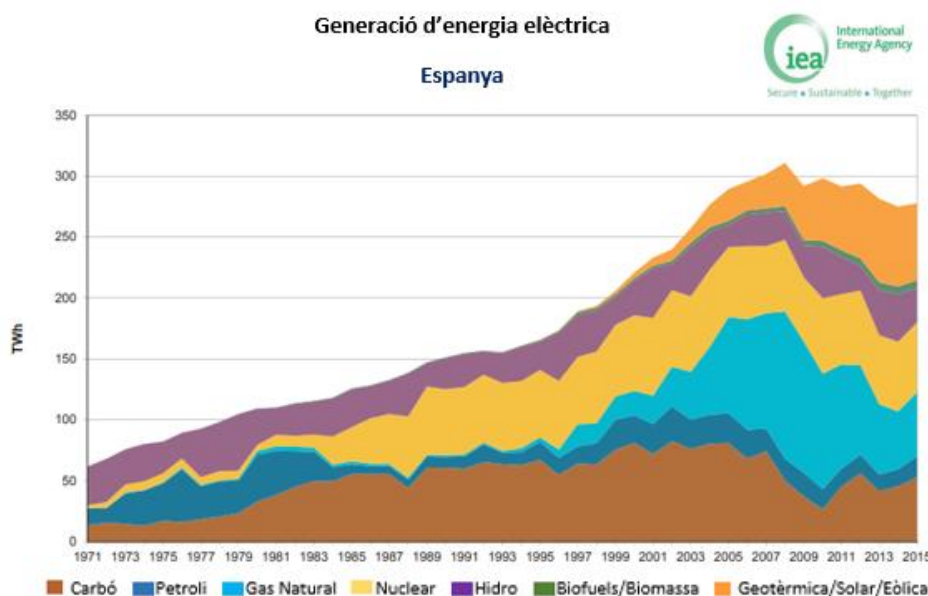
En un primer bloc s'ha pogut valorar el context global, centrant una mica més l'anàlisi s'ha pogut veure quin és el comportament de la Unió Europea. Finalment i per a tancar aquesta contextualització, és fa interessant valorar com van les coses en un context més precís, es passa així doncs a valorar l'actualitat d'Espanya i Catalunya.

### 3.3. Context Espanyol i Català

Un cop vista la importància dels combustibles fòssils en la generació d'energia elèctrica tant a nivell mundial com a nivell europeu, es passa doncs a tancar l'anàlisi en el marc espanyol i català. Tal i com s'ha fet en els altres casos, s'estudiarà primer la generació d'energia elèctrica per fonts per a després passar a un anàlisi de polítiques energètiques, emissions i escenaris de futur.

#### 3.3.1. Generació d'energia elèctrica

Pel que fa a l'estat espanyol, el comportament es similar a l'europeu, les renovables van guanyant terreny poc a poc però la importància dels combustibles fòssils encara és clau. A continuació es pot veure la generació d'energia elèctrica a Espanya a partir de les diferents fonts.



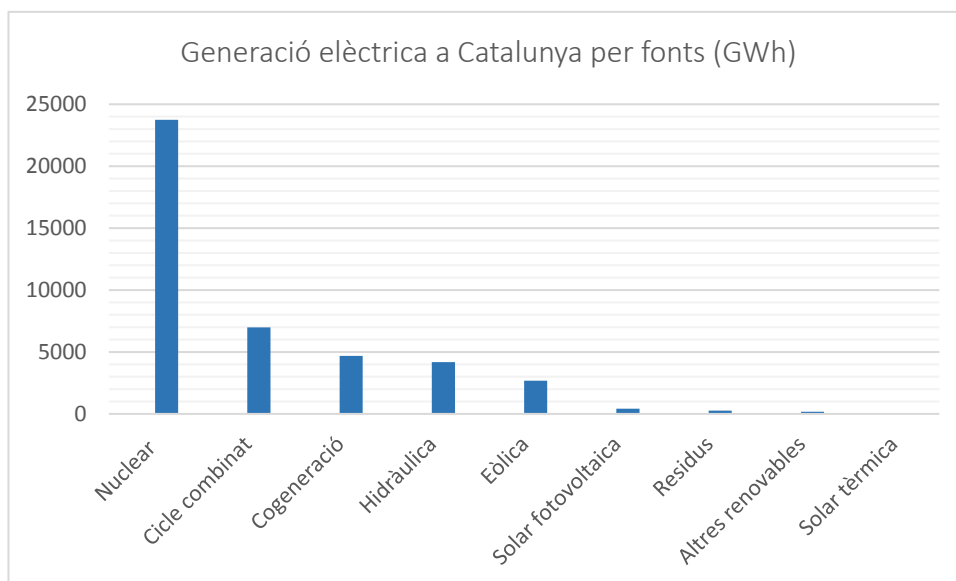
**Figura 3.14.** Generació per fonts a Espanya fins al 2015. (Font: [www.iea.org](http://www.iea.org))

S'aprecia com fins a l'any 2005, el creixement de la generació es molt evident, a partir d'aquí, es manté constant i fins i tot sembla reduir-se. El pes de les renovables pren importància a partir del 2007. En aquest període, resta pes al Gas natural.

Un cop vist el comportament de l'estat espanyol es interessant també veure com es genera l'energia elèctrica a Catalunya.



Amb el següent gràfic es podrà comparar la generació a Catalunya amb el global de l'estat espanyol.



**Figura 3.15.** Generació per fonts a Catalunya (2015). (Font: [www.iea.org](http://www.iea.org) )

Des del tancament de les centrals tèrmiques tradicionals, Catalunya ha potenciat les centrals de cycle combinat per a substituir les de carbó.

Es veu clarament com l'energia nuclear és la font principal. Les centrals d'Ascó i Vandellós generen bona part de l'energia elèctrica consumida a Catalunya.

Si es compara la gràfica d'Espanya amb la de Catalunya, el primer que sobta es el pes de la nuclear. El 42,3% de l'energia nuclear espanyola es genera a Catalunya. Un altre fet és el pes del carbó, aquest té un percentatge força fix en el context estatal però a Catalunya, s'ha eliminat completament donant pas a cicles combinats. Aquests, presenten una contaminació menor a les tèrmiques de carbó en part gràcies a una major eficiència.

Un cop es coneixen les fonts principals de la generació d'energia elèctrica d'Espanya i també de l'aportació de Catalunya, és interessant conèixer la política energètica per a complir els objectius de la unió Europea i per a fomentar la implementació de les renovables en el teixit espanyol.

Com ja s'ha mencionat en diferents ocasions, la normativa i legislació són un component clau a la hora de treballar en un canvi de tendència en generació, consum i emissions.

### 3.3.2. Polítiques energètiques

Al llarg dels darrers anys a Espanya, la situació ha anat d'un cantó al altre. Des d'uns incentius enormes a l'ús dels recursos renovables fins a una legislació que complica molt la seva implementació.

A partir del compromís d'Espanya amb els acords internacionals, es crea la necessitat de treballar en el compliment d'aquests. En un primer cas, el protocol de Kyoto i posteriorment, el 20-20-20 de la Unió Europea. Nombroses entitats espanyoles treballen en l'assoliment d'aquests objectius:

- Consell nacional del clima
- Comissió de Coordinació de Polítiques de Canvi Climàtic
- Oficina Espanyola del Canvi Climàtic

El compromís internacional fa una empenta per a tirar endavant amb els projectes de sostenibilitat i generació sostenible i eficient, és per això que és important treballar globalment en un front comú.

En el marc català, recentment es va redactar la llei de canvi climàtic. A grans trets, aquesta destacava els següents punts [9]

- *“Aconseguir que Catalunya redueixi tant les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH) i afavorir la transició cap a una economia baixa en carboni.*
- *Reforçar i ampliar les estratègies i els plans que s'han elaborat durant els darrers anys.*
- *Promoure i garantir la coordinació de totes les administracions públiques catalanes, i fomentar la participació de la ciutadania, dels agents socials i dels agents econòmics.*
- *Esdevenir un país capdavanter en la investigació i aplicació de noves tecnologies, i reduir la dependència energètica de Catalunya de recursos energètics externs.*
- *Fer visible el paper de Catalunya al món, tant en els projectes de cooperació com en la participació en els fòrums globals de debat sobre el canvi climàtic.”*

D'aquesta manera, es pot veure veure com és pretén evolucionar cap a una transició energètica i cap a un futur més sostenible en el cas d'Espanya i també en el marc Català.

### 3.3.3. Emissions i escenaris de futur

Tal i com s'ha fet en els altres casos, es passa a valorar el comportament de les emissions de CO<sub>2</sub> per habitant en els darrers anys.

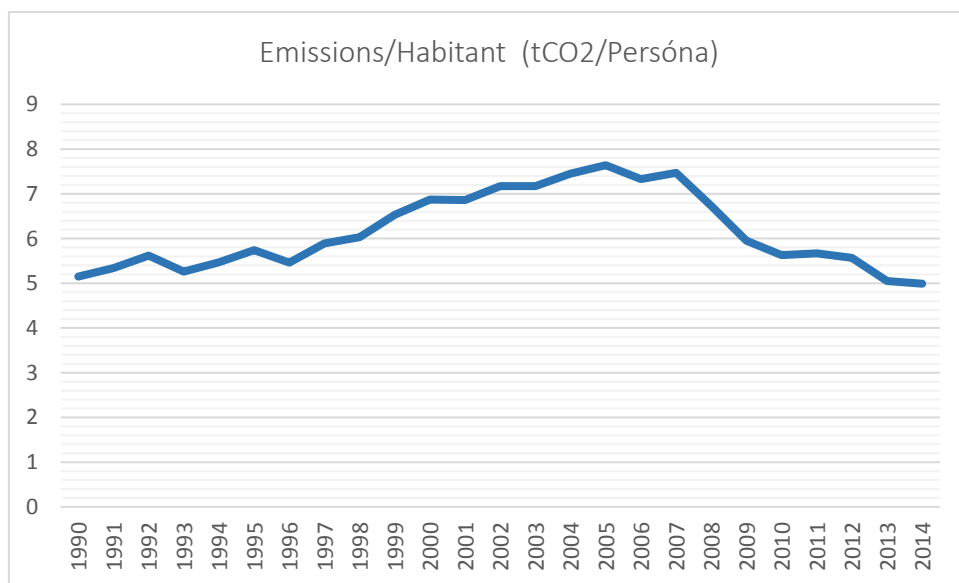


Figura 3.16. Emissions de CO<sub>2</sub> anuals per habitant a Espanya (2015). (Font: www.iea.org )

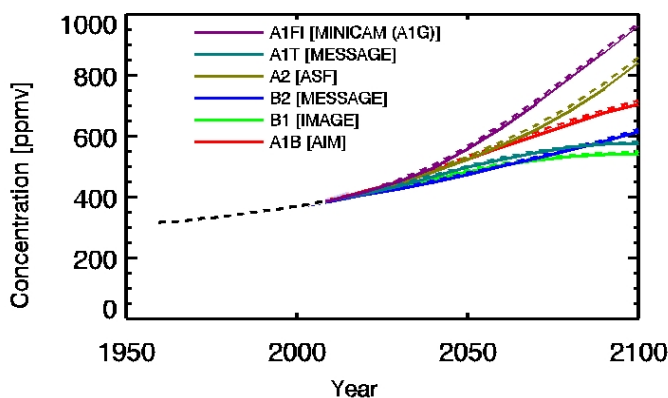
Fins als voltants de l'any 2006, es veu clarament com el valor de CO<sub>2</sub>/Persona és cada cop més elevat, a partir d'aquí, possiblement a causa de la crisi econòmica, els valors tornen a reduir-se fins a estar per sota dels de 1990.

A part de la problemàtica econòmica, la implementació de les renovables així com la pressió d'Europa per a anar complint els objectius, és el que ha donat lloc a aquest inici de reducció d'emissions.

Caldrà veure si en els propers anys aquesta tendència a la baixa es manté estable o si al repuntar la economia, el gràfic torna a augmentar els seus valors. En aquest apartat, s'han valorat altre cop les emissions de CO<sub>2</sub> ja que aquestes són un indicador clau que sol anar també molt lligat amb la generació d'energia elèctrica de manera convencional.

### 3.4. Necessitat d'una transició energètica

Tal i com s'ha pogut veure en la contextualització de la generació d'energia elèctrica a l'actualitat, la crema de combustibles fòssils té un paper molt important i resulta en unes emissions cada cop majors. Aquestes, es veuen clarament reflectides en un gràfic que presenta una forma molt semblant al perfil de consum d'energia elèctrica mundial al llarg dels últims anys:



**Figura 3.17.** Evolució de la concentració de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera en diferents escenaris. (Font: [www.ipcc.org](http://www.ipcc.org))

Es pot apreciar l'increment exponencial de la concentració de diòxid de carboni en els darrers anys, degut al creixement econòmic i la industrialització.

És ja àmpliament conegut que aquest increment comporta un efecte hivernacle que provoca un canvi climàtic a nivell global.

Ja que la relació entre el gràfic de concentració de diòxid de carboni i el de consum d'energia elèctrica és molt clara, és fa evident que mantenen una relació directa. Per tant, si es volen començar a reduir les emissions i la concentració de CO<sub>2</sub>, caldrà treballar en el consum, la generació i el transport d'energia elèctrica.

Arribats a aquest punt, és molt senzill pensar que d'avui per demà es deixaran de fer servir els combustibles fòssils per a la producció d'energia elèctrica donant pas a les renovables. Aquesta transició pot no ser tant senzilla i per això, en aquest projecte, es valorarà la viabilitat de produir l'electricitat que genera una central de cycle combinat utilitzant energia solar fotovoltaica.

## 4. Central a substituir

En el marc català, s'han iniciat ja alguns canvis per a treballar en un futur més sostenible. Al 2011, és va tancar la última central de carbó que quedava activa. Aquest pas endavant s'ha fet a partir de la instal·lació de centrals de cycle combinat que cobreixen la demanda que abans cobrien les tèrmiques convencionals.

Malgrat que ara s'utilitzi també un combustible fòssil, són nombrosos els avantatges de les centrals de cycle combinat respecte les centrals tèrmiques clàssiques.

CONCENTRACIÓN PRODUCIDA POR CENTRALES TÉRMICAS gr/kWh					
CONCEPTO		TIPOS DE CENTRALES			
		Carbón	Carbón con tto. de azufre	Gas	Ciclo combinado de gas
Óxido de Nitrógeno	NO <sub>2</sub>	1,29	1,29	0,23	0,10
Dióxido de azufre	SO <sub>2</sub>	17,2	0,86	0,00	0,00
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	884	884	740	345
Eficiencia energética	%	33 a 36	33 a 36	36 a 39	53 a 58

Figura 4.1. Emissions de les centrals. (Font: Universidad de Extremadura )

Són aquests els avantatges que fan interessant la substitució de centrals tèrmiques convencionals per donar lloc a cicles combinats. Aquests, tenen una generació molt similar en termes de seguretat i quantitat i amb unes emissions contaminants molt més reduïdes. Per tant, en el marc català s'ha fet un pas endavant en la transició energètica.

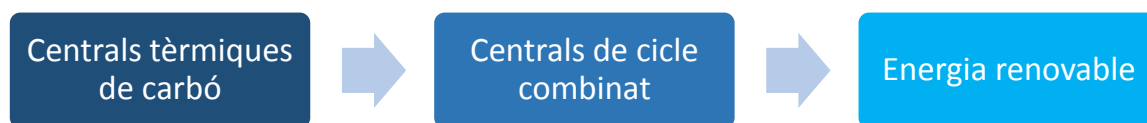


Figura 4.2. Emissions de les centrals. (Font: www.energiaysociedad.es )

Tot i la clara reducció d'emissions que s'aconsegueix amb el primer canvi, són encara nombrosos els gasos d'efecte hivernacle i els residus generats. El primer pas, es relativament més senzill que el segon, és encara molt incert el que suposaria tancar un cycle combinat per a donar lloc a energia renovable.

Per això, s'estudiarà el que suposaria fer aquesta segona evolució cap a una generació totalment neta.

Amb la finalitat de dur a terme els càlculs, es pren un cas real per tal d'avaluar-ne la viabilitat. Degut a la proximitat amb la EEBE i a la importància que té en termes de generació, es decideix considerar la central de cicle combinat del Besós (Grups III i IV).

Al llarg de l'estudi, es podran veure les emissions que és deixarien d'emetre si l'energia elèctrica es generés amb energia solar fotovoltaica enlloc d'en un cicle combinat o en una central tèrmica convencional.

Dit això, es passa a analitzar el cas precís de la central estudiada.

## 4.1. Central de cicle combinat del Besós (Grups III i IV)

Situades a tocar del Riu Besós i de la EEBE, els grups III i IV de la central de cicle combinat del Besós, tenen una potència de 419 MW i 400 MW respectivament. El grup III es propietat d'Endesa mentre que el grup IV es propietat de Gas Natural Fenosa. A continuació es tractaran els aspectes més importants sobre la central per tal de poder enfocar l'anàlisi de la substitució.

### 4.1.1. Funcionament

Es passa doncs a definir a grans trets el funcionament d'una central de cicle combinat [12]. La base del cicle combinat rau en el fet de treballar amb dos tipus de turbines, una de gas i una de vapor. D'aquí se'n deriva la seva major eficiència.

En primer lloc es genera aire a pressió en el compressor, aquest, es barreja amb el gas i es produeix la combustió. Els gasos resultants es condueixen cap a la turbina de gas on es genera electricitat mitjançant el cicle de Brayton.

Els gasos que surten de la turbina encara tenen una temperatura molt elevada (ronda els 600°C) que es pot aprofitar en la caldera de recuperació. En aquest procés, s'escalfa aigua a partir d'intercanviadors de calor i s'obté vapor per fer funcionar una segona turbina. Obtenint així un segon cicle de Rankine per aprofitar l'elevada temperatura del gas.

En la següent imatge es pot veure l'esquema d'una central típica de cicle combinat per tal de tenir una visió clara de la central a substituir.

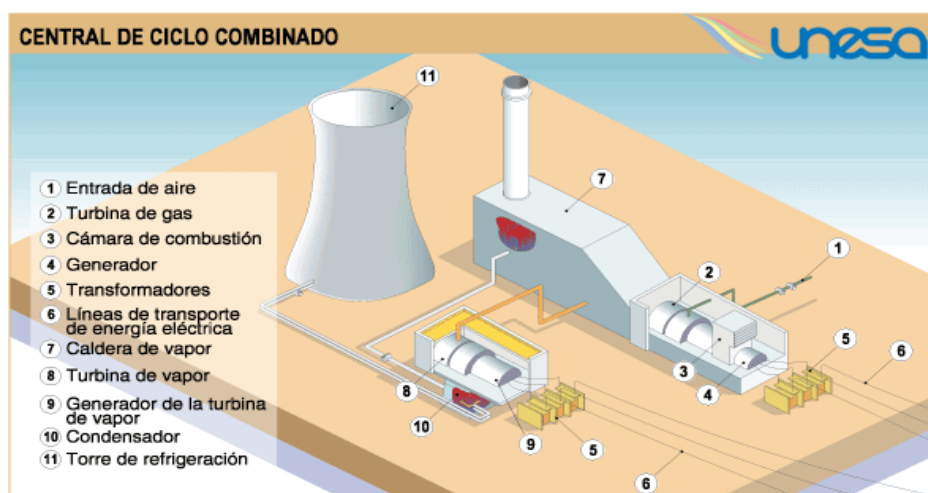


Figura 4.3. Esquema d'una central de cicle combinat. (Font: [www.unesa.es](http://www.unesa.es))

#### 4.1.2. Generació

Segons la informació d'Endesa (propietària del grup III), la generació de la central es veu afectada per nombroses variables. Aquestes, determinen la generació o no de la instal·lació.

- Demanda: Dependent de la demanda del sistema elèctric, a major demanda, major la possibilitat de generar amb una potència més elevada.
- Producció de les renovables: Si hi ha una gran producció d'energia eòlica o hidràulica la central no entra en funcionament.
- Competidors: Disponibilitat de funcionament d'altres centrals.
- Gas: Estat del mercat del gas, preu i disponibilitat d'obtenció.

Es pot veure com són molts factors els que determinen el funcionament de la central. Un d'ells es la disponibilitat de les renovables, si aquestes funcionen, es fa menys necessari recórrer a combustibles fòssils. Això fa interessant treballar en els recursos renovables que puguin garantir el major pes possible en l'abastiment de la demanda.

Conegut el règim de funcionament de la central, es fa evident que caldrà buscar dades d'un període llarg ja que la generació es variable. Per tant, es tractarà el global anual.

Dit això, per a definir el camp solar necessari per a substituir les centrals mencionades és clau obtenir les dades sobre generació elèctrica anual. Aquest serà l'objectiu principal, generar amb energia solar fotovoltaica la mateixa energia elèctrica que produeixen les centrals de cicle combinat del Besós (grups III i IV).

Per tant, es passa a buscar aquesta informació dels 2 anys més recents amb dades disponibles (2015 i 2016) [14].

Central	Producció 2015 (GWh)	Producció 2016 (GWh)
Besós III	836	1013
Besós IV	2161	2316

**Taula 4.1.** Generació de les centrals escollides. (Font: [www.ree.es](http://www.ree.es))

Al 2016, la producció entre les dues va significar el 12,9% del total de cicles combinats peninsular. Per tant, queda clar que tenen un pes important dins del global espanyol.

En conjunt, la generació entre les dues centrals es de 2997 GWh al 2015 i de 3329 GWh al 2016. Per tant, si es vol generar la mateixa energia elèctrica però a partir de solar fotovoltaica, caldrà dissenyar un camp solar capaç de generar al voltant de **3500 GWh** anuals.



### 4.1.3. Terreny ocupat

Una variable clau a la hora de valorar la substitució serà l'espai ocupat. Per a poder tenir una dada clara, es calcularà l'energia elèctrica anual generada per km<sup>2</sup>. Per tant, caldrà estimar la superfície ocupada per les dues centrals de cicle combinat i aplicar la següent fórmula:

$$\frac{\text{Generació}}{\text{Terreny}} = \frac{\text{Producció any 2016 (GWh)}}{\text{Terreny ocupat (km}^2\text{)}} \quad (\text{Eq. 4.1})$$

Per tant, es passa ara a mesurar la superfície total ocupada:



Figura 4.4. Dimensions de les centrals a substituir. (Font: www.google.es)

Amb aquesta mesura s'obtenen 952,61 metres de perímetre que resulten en una superfície de 46520,16 m<sup>2</sup>.

$$\frac{\text{Producció any 2016 (GWh)}}{\text{Terreny ocupat (km}^2\text{)}} = \frac{3329 \text{ GWh}}{0,0465 \text{ km}^2} = 71591,4 \text{ GWh anuals/km}^2 \quad (\text{Eq. 4.1}')$$

El que indica aquesta fórmula és que amb la central a substituir es podrien generar al voltant de 71591,4 GWh anuals amb una superfície d'un kilòmetre quadrat tenint en compte el règim de funcionament actual. Aquest paràmetre serà útil per tal de comparar amb el camp solar i permetrà entendre i valorar la diferència entre les centrals renovables i les de recursos fòssils en l'aspecte logístic.

Per últim, es passa a valorar una altra variable clau com es la d'emissions de les centrals a substituir.

#### 4.1.4. Emissions

Ja que l'objectiu es valorar la substitució de les centrals, un aspecte vital a tenir en compte són les emissions de la central actual.

Sens dubte, les emissions més reconegudes són les de CO<sub>2</sub>. D'acord amb les dades del registre espanyol d'emissions i fonts contaminants [15], es construeix la següent taula d'emissions anuals de CO<sub>2</sub> en Kg:

Any	Besós III	Besós IV
<b>2015</b>	347.779.615	818.712.000
<b>2016</b>	409.479.304	865.305.477

**Taula 4.2.** Emissions de les centrals escollides. (Font: www.prtr-es.es )

Aquestes emissions són directament responsables de l'efecte hivernacle i del conseqüent canvi climàtic. De les dades de 2016 se'n pot extreure un valor significatiu com es el de kg/kWh.

##### Besos III:

$$\frac{\text{Emissions}}{\text{Generació}} = \frac{865.305.477 \text{ kg CO}_2}{2316 \text{ GWh}} = 0,374 \text{ Kg/kWh} \quad (\text{Eq. 4.2})$$

##### Besos IV:

$$\frac{\text{Emissions}}{\text{Generació}} = \frac{409.479.304 \text{ kg CO}_2}{1013 \text{ GWh}} = 0,404 \text{ Kg/kWh} \quad (\text{Eq. 4.3})$$

Es pot veure com aquests valors obtinguts són molt propers (lleugerament majors) al que s'havia mencionat en les bases de les centrals de cicle combinat.

A part de les emissions de CO<sub>2</sub> es poden trobar altres dades d'emissions al aire:

##### Besos III:

Any	Òxids de nitrogen	Zinc i compostos	Residus sòlids
<b>2015</b>	153.232 (kg/any)	274,89 (kg/any)	22 (Tones/any)
<b>2016</b>	184.640 (kg/any)	305 (kg/any)	19 (Tones/any)

**Taula 4.3.** Emissions de les centrals escollides. (Font: www.prtr-es.es )

**Besos IV:**

Any	Òxids de nitrogen	Monòxid de Carboni	Residus sòlids
2015	364.623 (kg/any)	864.528 (kg/any)	74 (Tones/any)
2016	484.800 (kg/any)	1.563.837 (kg/any)	31 (Tones/any)

**Taula 4.4.** Emissions de les centrals escollides. (Font: [www.prtr-es.es](http://www.prtr-es.es))

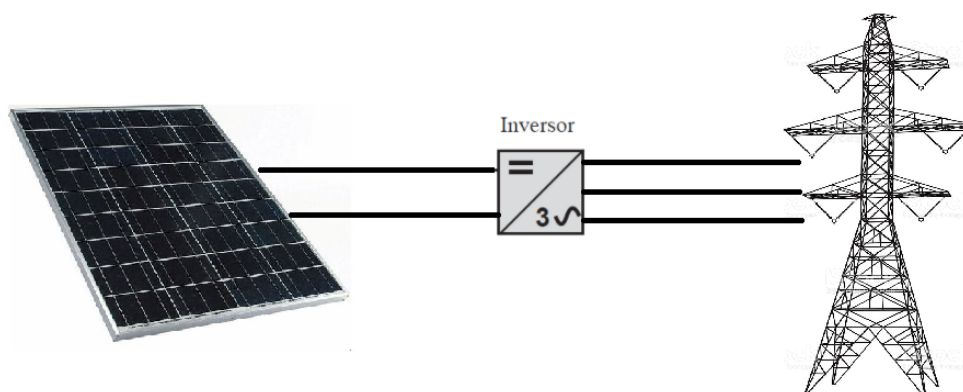
Coneguda ja la central a substituir, el seu funcionament, generació, espai ocupat i emissions, es passa a fer els càlculs sobre camp solar necessari, característiques i valoracions.



## 5. Càlculs de la substitució

La substitució es planteja a partir de dissenyar un camp solar que generi 3500 GWh anuals. Un criteri que també pot ser interessant és el de considerar un camp solar capaç de generar la mitjana mensual de 3500 GWh anuals cada mes. Es a dir, que el mínim mensual sigui de 292 GWh per tal de tenir una generació constant al llarg de l'any.

L'estructura que es contemplarà és la de generar directament a xarxa i sense bateries ja que es tracta d'una central de producció a molt gran escala.



**Figura 5.1.** Esquema a considerar. (Font: Pròpia (a partir d'imatges de tu tienda energética, istock i SolarWeb))

Per a calcular el camp solar necessari es seguiran diferents passos per tal d'obtenir una solució clara d'una manera ordenada:

- Potència a Instal·lar: En primer lloc, cal escollir la localització i a partir de la irradiància al lloc determinat es deduiran els MW necessaris.
- Determinació del camp solar: Donada una potència a instal·lar, es calcularà a partir d'un panell tipus el camp solar necessari per a generar l'energia mencionada.
- Emissions mitigades: Comparant amb la central substituïda es valoraran les emissions reduïdes i altres variables a considerar.

A partir d'aquests càlculs es podrà tenir una idea clara del que suposaria el tancament de la central estudiada per generar el mateix amb energia solar fotovoltaica. Per iniciar, d'aquesta manera, una transició energètica.

Posteriorment als càlculs mencionats es farà un anàlisi i una valoració des de diferents punts de vista de la substitució.

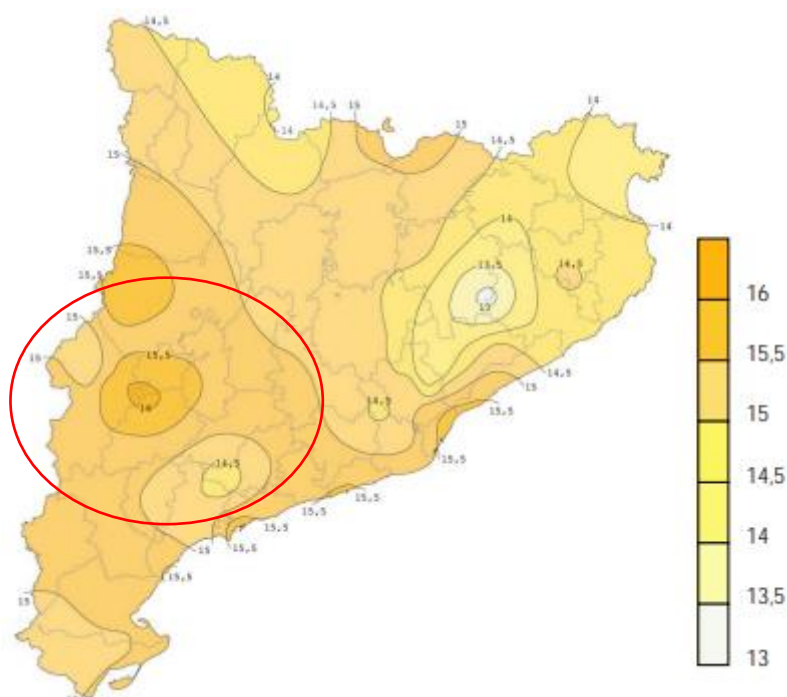
## 5.1. Potència a Instal·lar

Coneguda l'energia necessària per a la substitució, cal calcular ara la potència pic del camp solar. En primer lloc, és necessari escollir la ubicació de la central per veure'n la irradiància i fer els càlculs pertinents.

### 5.1.1. Elecció de la localització

Ja que la central a substituir forma part de la producció a Catalunya, el camp solar haurà d'estar situat també al territori català.

A partir d'aquesta primera aproximació, cal definir la província en la que es situarà. Per a aquesta determinació, es consulta la irradiància a Catalunya [16].



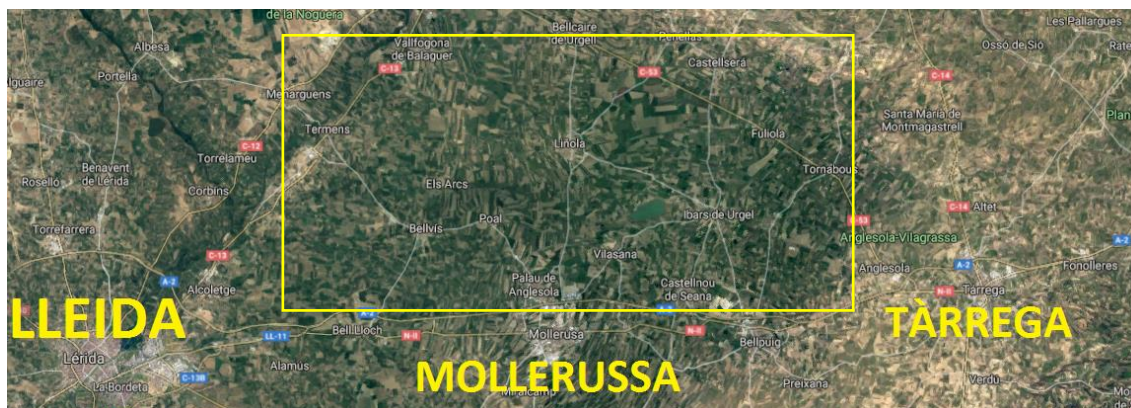
**Figura 5.2.** Mapa d'irradiació global diària, mitjana anual ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ). (Font: icaen.gencat.cat)

Es fa evident com a la zona de dins del requadre vermell la irradiació global diària és lleugerament més alta que a la resta dels indrets. També, una variable important es la disponibilitat d'espai.

Per tant, que la màxima irradiància es trobi lluny de les rodalies de Barcelona és interessant per la disponibilitat logística.

Es conclou que la central solar es situarà dins de la zona vermella, en algun indret que compleixi els següents paràmetres.

Un altre criteri important és situar la central en algun lloc pròxim al consum. A prop del cercle groc, les principals ciutats són Lleida, Mollerussa, Cervera, Tàrraga... Per tant, si es situa la central prop d'aquests punts de consum es podrà iniciar una xarxa de generació més distribuïda i que eviti les pèrdues de transport.



**Figura 5.3.** Elecció de la localització. (Font: Edició de [www.google.es](http://www.google.es))

S'aprecia com el requadre groc es troba a prop de tres punts importants de consum i està format per camps, alguns d'aquests, podrien ser substituïts per la central solar.

També, el requadre indicat està dins de la zona vermella anterior que indicava la màxima irradiància mitjana a Catalunya. Per tant, s'aplicaran els càlculs a partir d'aquesta ubicació.

En primer lloc, per a determinar la potència necessària es consultaran les dades d'irradiància al PVGIS [8] per tal de conèixer l'energia disponible i el possible aprofitament posterior.

En aquesta eina cal especificar l'orientació i inclinació dels panells. L'orientació serà cap al sud geogràfic, i la inclinació ha de ser determinada.

Segons el criteri de la demanda preferent al hivern, es determina que la inclinació ha de ser 10° major a la latitud de la zona escollida. En una primera hipòtesi, es determinarà aquesta inclinació per tal d'aconseguir una generació més continua al llarg del any. La latitud de la zona escollida es d'uns 41,6°, per tant, cal sumar-li 10° per obtenir la correcció de graus adequada.

Finalment, es determina una orientació sud i 52° d'inclinació.

### 5.1.2. Irradiància i càlculs associats

Introduint les dades en el programa [8], s'obtenen les següents dades per a la inclinació de 52°. Segons els càlculs del software, la inclinació que generaria més energia es la de 37°. Amb aquesta, s'obtidria una energia anual lleugerament major però a costa de reduir significativament la producció al hivern.

Mes	H(52) (Wh/m <sup>2</sup> /dia)	lopt (°)
Gen	3560	64
Feb	5180	58
Mar	6330	45
Abr	5760	29
Maig	5890	17
Jun	6040	8
Jul	6340	12
Ago	6450	24
Set	6310	40
Oct	5540	53
Nov	4170	63
Des	3200	66

**Taula 5.1.** Dades mensuals d'irradiància per a la localització i inclinació escollides. (Font: re.jrc.ec.europa.eu)

A partir de les dades, es pot obtenir la H(52) mitjana al llarg d'un any. Aquesta, fa referència a la irradiància mitjana per a una inclinació definida:

$$H(52)_{mitjana} = \frac{\Sigma H(52)_{mensual}}{12} = 5397,5 \frac{Wh}{m^2} / dia \quad (\text{Eq. 5.1})$$

Conegut aquest valor, ara es transforma a HSP (Hores solars pic). Aquesta denominació fa referència a les hores equivalents amb una irradiància de 1000 W/m<sup>2</sup>:

$$\frac{5397,5 \frac{Wh}{m^2} / dia}{1000 W/m^2} \approx 5,4 HSP / dia \quad (\text{Eq. 5.2})$$

Per tant, es seguiran els càlculs considerant al llarg de l'any una mitjana diària de 5,4 hores amb una irradiància de 1000 W/m<sup>2</sup>.



El següent pas serà escollir un panell tipus per a calcular la generació d'aquest amb les dades obtingudes. A partir d'aquí es definiran els panells necessaris, la potència pic a instal·lar i es procedirà als càlculs de les dimensions del camp solar.

Per a determinar el panell, se'n busca algun enfocat per a instal·lacions de grans potències i que pugui treballar bé en condicions de poca llum o d'inclemències del temps [19].

S'escull un mòdul monocristal·lí amb les següents especificacions tècniques:

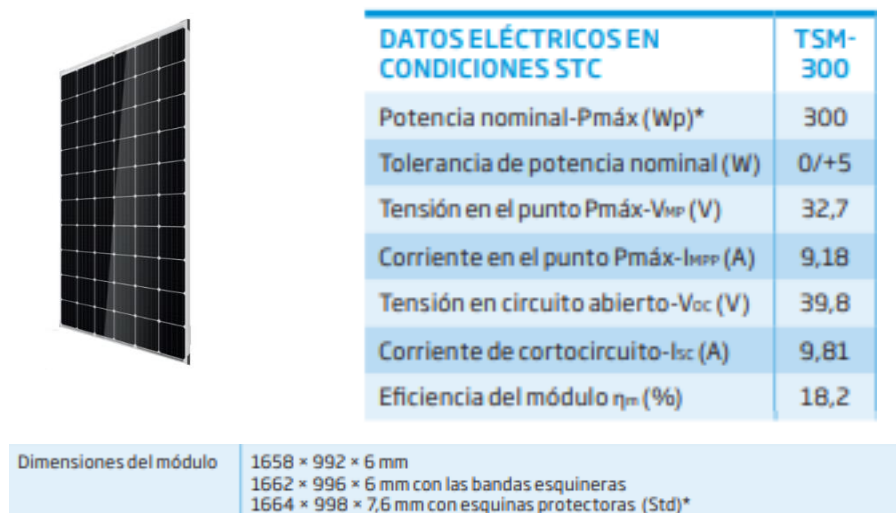


Figura 5.4. Característiques del panell escollit. (Font: www.trinasolar.com)

En el mòdul solar, es mostren diferents possibilitats de funcionament. Es determina la potència mitjana per als 1000 W/m<sup>2</sup> i s'obtenen les dades de la imatge. Per tant, segons el panell escollit, la generació per a 1000 W/m<sup>2</sup> es de 300 W.

A continuació es calcula l'energia mitjana generada per cada panell a nivell diari:

$$Energia\ generada\ Panell\ (kWh) = 300\ W \cdot 5,4\ HSP = 1,62\ kWh/diaris \quad (Eq. 5.3)$$

A aquest valor cal aplicar-hi una mitjana de pèrdues per a tenir un càlcul més proper a la realitat. Les pèrdues principals a considerar es deuen a cablejat, inversors, pèrdues del generador i de temperatura.

Les pèrdues de cablejat + inversor s'estimaran del 85%. En segon lloc, les del generador es consideraran del 90% degudes a canvis de temperatura i pèrdues per una menor generació de la mesurada en el laboratori a condicions normals:

$$Rendiment General = 0,85 \cdot 0,9 = 0,765 \quad (\text{Eq. 5.4})$$

S'aplica el rendiment general a l'energia obtinguda anteriorment:

$$Energia generada Panell (kWh) = 1,62 \frac{kWh}{dia} \cdot 0,765 = 1,24 kWh/dia \quad (\text{Eq. 5.5})$$

S'ha obtingut doncs un valor de 1,24 kWh/dia per cada panell. Per tant, s'aplica aquest valor per a un any sencer:

$$1,24 \frac{kWh}{dia} \cdot \frac{365,25 dies}{1 any} = 453 kWh/panell \quad (\text{Eq. 5.6})$$

Es divideix ara l'energia necessària anual per la generació per panell i es multiplica aquest valor per la potencia pic del panell per a determinar així la potència pic de la instal·lació:

$$Potència a Instalar = \frac{3.500.000.000 kWh}{453 kWh/panell} \cdot \frac{300 W}{panell} \cdot \frac{1 MW}{1000000 W} = 2318 MW \quad (\text{Eq. 5.7})$$

S'obté per tant un valor de potencia pic a instal·lar de 2318 MW. Si es relaciona potència instal·lada amb energia generada:

$$\frac{3500 GWh}{2318 MW} = 1,51 GWh/MW \quad (\text{Eq. 5.8})$$

Per a verificar que aquest càlcul té sentit, es compararà amb el mateix càlcul per als camps solars ja instal·lats a Catalunya. Segons dades de REE [15]:

Any	Potencia instal·lada	Energia generada
2016	264 MW	414 GWh

Taula 5.2. Dades sobre camps solars a Catalunya. (Font: www.ree.es)

$$\frac{414 GWh}{264 MW} = 1,57 GWh/MW \quad (\text{Eq. 5.9})$$

Es pot veure com els dos valors són molt semblants i per tant es pot deduir que el càlcul es correcte. Segons l'estimació, l'energia generada per unitat de potència es menor que l'actual tot i treballar amb un camp solar nou i mòduls monocristal·lins. Això pot ser degut a que s'ha fet una estimació en el pitjor escenari i considerant unes pèrdues elevades.

Un altre motiu pot ser que la inclinació escollida s'ha buscat per a donar també una lleugera importància als mesos de menor irradiància.

Finalitzats i verificats els càlculs, s'obté una potència pic a instal·lar de **2318 MW**. A partir d'aquesta dada es passa ara a estimar les dimensions del camp solar.

## 5.2. Determinació del camp solar

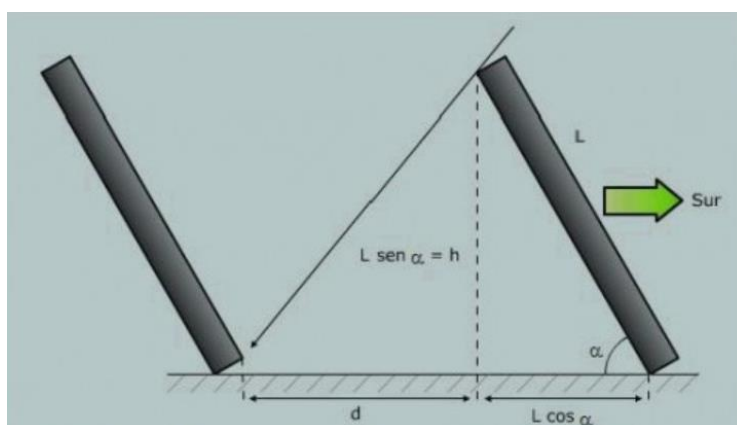
Un cop determinada la potencia a instal·lar i definida aquesta com a 2318 MW pic, es passa a calcular la superfície necessària per als panells tenint en compte les ombres i superfície de les plaques.

Per als càlculs, cal tenir present en primer lloc les dimensions del panell tipus escollit [Figura 5.4]:

Alçada	Amplada	Gruix
1658 mm	992 mm	6 mm

**Taula 5.3.** Característiques del panell escollit. (Font: www.trinasolar.com)

Amb aquestes mesures, es pot començar a aplicar el que es determina en la següent imatge:



**Figura 5.5.** Esquema dels càlculs de les ombres. (Font: eliseosebastian.com)

Amb aquests passos es pot calcular la longitud entre sèries i l'espai general ocupat per els mòduls solars.

En primer lloc, es defineix el nombre total de panells que conformaran el camp solar:

$$\text{Nombre total} = \frac{2318000000 \text{ W}}{300 \text{ W}} = 7,73 \text{ Milions} \quad (\text{Eq. 5.10})$$

Per a distribuir-los, caldrà determinar un nombre de panells per fila i d'aquí en sortirà el nombre de files necessàries. Aquest valor, en una aplicació pràctica es definiria a partir de la disponibilitat de terreny. Ja que això es tracta d'una aproximació més general, es definirà un nombre tipus per tal de calcular la superfície final.

Es determinarà el nombre de panells per fila per tal de buscar una superfície final gairebé quadrada:

$$\text{Panells per fila} = (\sqrt{N_{\text{panells}}}) \cdot 2 \quad (\text{Eq. 5.11})$$

Si els panells ocupessin el mateix espai al llarg que a l'ample, es faria l'arrel quadrada i s'obtindria una superfície de costats equivalents. Però, en aquest cas, l'amplada dels panells és més reduïda del que s'obté de llargada entre files. Per això s'hi inclou un factor 2.

Aquest càlcul s'efectua simplement per a poder determinar un nombre de files raonable enlloc de determinar un nombre al atzar. En el cas pràctic, la distribució es farà d'acord amb la disponibilitat d'espai.

Dit això, s'aplica la fórmula anterior:

$$\text{Panells per fila} = (\sqrt{7730000}) \cdot 2 = 5560,58 \approx 5561 \quad (\text{Eq. 5.11}')$$

Es determinarà doncs que en cada fila hi haurà 5561 panells i per tant hi haurà 1391 files. Es calcularà la superfície ocupada per una fila i es multiplicarà per el total:

Dit això, es passa a valorar la superfície per fila tenint en compte la figura 5.5:

$$L \cdot \text{Cos}(52^\circ) = 1020,77 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 5.12})$$

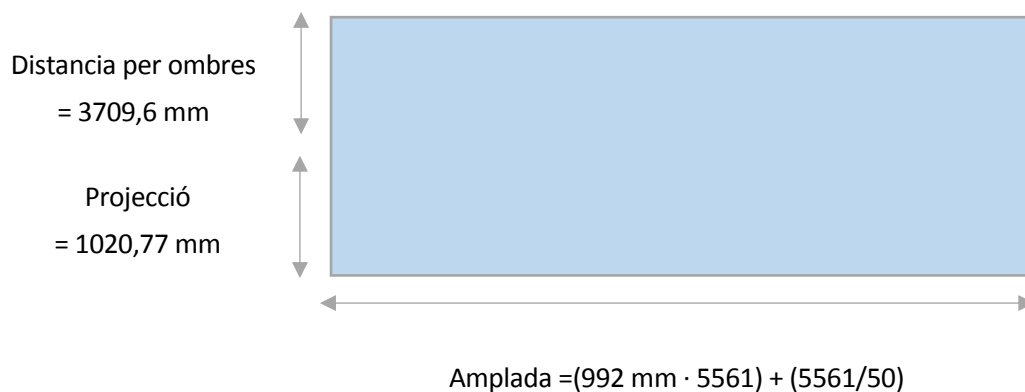
En segon lloc, la d es determina de la següent manera [18]:

$$d = \frac{h}{\tan(61 - \text{Latitud})} \quad (\text{Eq. 5.13})$$

Per tant, s'aplica la equació anterior amb les dades del panell i de la ubicació tractada:

$$d = \frac{1658 \cdot \sin(52^\circ)}{\tan(61 - \text{Latitud})} = \frac{1306,5}{\tan(19,4)} = 3709,6 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 5.13}')$$

La superfície ocupada per fila es defineix com:



**Figura 5.6.** Esquema per fila. (Font: Elaboració Pròpia)

A l'amplada, s'hi introduirà un metre de separació cada 50 panells per tal de tenir marge dins de les files:

Conegudes les dimensions d'una fila, es passa ara a calcular l'àrea total del camp solar:

$$\text{Àrea fila} = \left( (0,992 \text{ m} \cdot 5561) + \left( \frac{5561}{50} \right) \right) \cdot (1,021 \text{ m} + 3,710 \text{ m}) = 26624,8 \text{ m}^2 \quad (\text{Eq. 5.14})$$

$$\text{Àrea total} = \text{Àrea fila} \cdot 1391 \text{ files} = 37035096,93 \text{ m}^2 = 37,04 \text{ km}^2 \quad (\text{Eq. 5.15})$$

S'obté doncs una superfície total de **37,04 km<sup>2</sup>** de camp solar considerant els panells.

### 5.3. Modificació de la inclinació escollida

Es fa evident que el camp solar resultant és molt extens i es decideix fer una segona aproximació per tal de comparar-la amb la primera i valorar dos escenaris diferents. A l'hora d'escollir la inclinació dels panells s'ha definit 52º ja que aquest valor permetia una major producció en els mesos d'hivern. Per altra banda, la inclinació de 37º es presentava com la inclinació amb una mitjana anual més elevada i al tractar-se d'una inclinació menor, es podria reduir l'espai entre files.

Per tant, es passa a fer el mateix anàlisi per a 37º per veure els resultats, comparar-los amb els 52º i valorar les dues opcions.

Es recullen les dades tal i com s'ha fet en el primer cas i s'aplica el mateix procediment.

Mes	H(52) (Wh/m2/dia)	lopt (º)
Gen	3280	64
Feb	4900	58
Mar	6310	45
Abr	6100	29
Maig	6560	17
Jun	6920	8
Jul	7200	12
Ago	6990	24
Set	6430	40
Oct	5350	53
Nov	3870	63
Des	2930	66

**Taula 5.4.** Dades mensuals d'irradiància per a la localització i inclinació escollides. (Font: re.jrc.ec.europa.eu)

Es calcula en primer lloc la mitjana per als 37º:

$$H(37)mitjana = \frac{\Sigma H(37)mensual}{12} = 5570 \frac{Wh}{m^2}/dia \quad (\text{Eq. 5.1'})$$

Obtinguda la mitjana anual i seguint el mateix procediment, es calculen les HSP diàries i la generació anual:

$$\frac{5570 \frac{Wh}{m^2}/dia}{1000 W/m^2} \approx 5,57 HSP/dia \quad (\text{Eq. 5.2'})$$

$$\text{Energia generada Panell (kWh)} = 300 W \cdot 5,57 HSP = 1,671 kWh/diaris \quad (\text{Eq. 5.3'})$$

S'aplica el mateix rendiment associat a pèrdues del panell, cablejat i inversors:

$$\text{Energia generada Panell (kWh)} = 1,671 \frac{kWh}{diaris} \cdot 0,765 = 1,278 kWh/dia \quad (\text{Eq. 5.5'})$$

A partir de les dades amb rendiment, s'obté la generació anual mitjana i es determina la potència pic a instal·lar per a generar l'equivalent a la central de cycle combinat:

$$1,278 \frac{kWh}{dia} \cdot \frac{365,25 dies}{1 any} = 466,79 kWh/penell \quad (\text{Eq. 5.6'})$$

$$\text{Potència a Instalar} = \frac{3.500.000.000 kWh}{466,79 kWh/penell} \cdot \frac{300 W}{penell} \cdot \frac{1 MW}{1000000 W} = 2249,4 MW \quad (\text{Eq. 5.7'})$$

Altres cop es determina la generació per MW instal·lat per tal de comparar-la amb l'actual català i amb l'aproximació de 52º:

$$\frac{3500 GWh}{2249,4 MW} = 1,56 GWh/MW \quad (\text{Eq. 5.8'})$$

Coneguda la Potència es defineix el nombre de panells a instal·lar i que es distribuiran com en el cas anterior:

$$\text{Nombre total} = \frac{2249400000 W}{300 W} = 7,498 Milions \quad (\text{Eq. 5.10'})$$

Es calcula la distància necessària per evitar les ombres tal i com s'ha fet en el primer cas:

$$L \cdot \cos(37^\circ) = 1324,14 mm \quad (\text{Eq. 5.12'})$$

$$d = \frac{1658 * \sin(37^\circ)}{\tan(61 - \text{Latitud})} = \frac{997,81}{\tan(19,4)} = 2833,43 mm \quad (\text{Eq. 5.13'})$$

Obtingudes ja les distàncies necessàries, només queda definir les dimensions totals del camp solar:

$$\text{Panells per fila} = (\sqrt{7498000}) \cdot 2 = 5476,50 \approx 5477 \quad (\text{Eq. 5.11'})$$



$$\text{\textit{Àrea fila}} = \left( 0,992 \text{ m} \cdot 5477 + \left( \frac{5477}{50} \right) \right) \cdot (1,324 \text{ m} + 2,833 \text{ m}) = 23041,1 \text{ m}^2 \quad (\text{Eq. 5.14'})$$

$$\text{\textit{Àrea total}} = \text{\textit{Àrea fila}} \cdot 1369 \text{ files} = 31543270,92 \text{ m}^2 = 31,54 \text{ km}^2 \quad (\text{Eq. 5.15'})$$

D'aquesta manera s'obtenen dues aproximacions al camp solar que cobreixi la generació desitjada. Per tal de definir quina es la millor opció per al plantejament definit, es passa a valorar una sèrie de característiques:

- Generació per MW instal·lat (GWh/MW) i dimensions (Km<sup>2</sup>).

Inclinació	52°	37°
<b>Generació (GWh anuals) Per MW</b>	1,51	1,56
<b>Dimensions (km<sup>2</sup>)</b>	37,04	31,54

**Taula 5.5.** Comparació entre les dues inclinacions. (Font: Elaboració Pròpia)

Amb les consideracions d'espai que s'han tingut en compte, es podrien encabir en el camp solar els elements necessaris.

Pel que fa al cablejat, aquest es situaria a la part del darrera dels panells. En el cas dels inversors, les separacions entre files i entre panells de la mateixa fila podrien servir per a ubicar-los. Amb tot això, la taula 5.5 serveix per establir una comparació entre les dues inclinacions. La mencionada comparació, es veu més detallada a la següent plana.

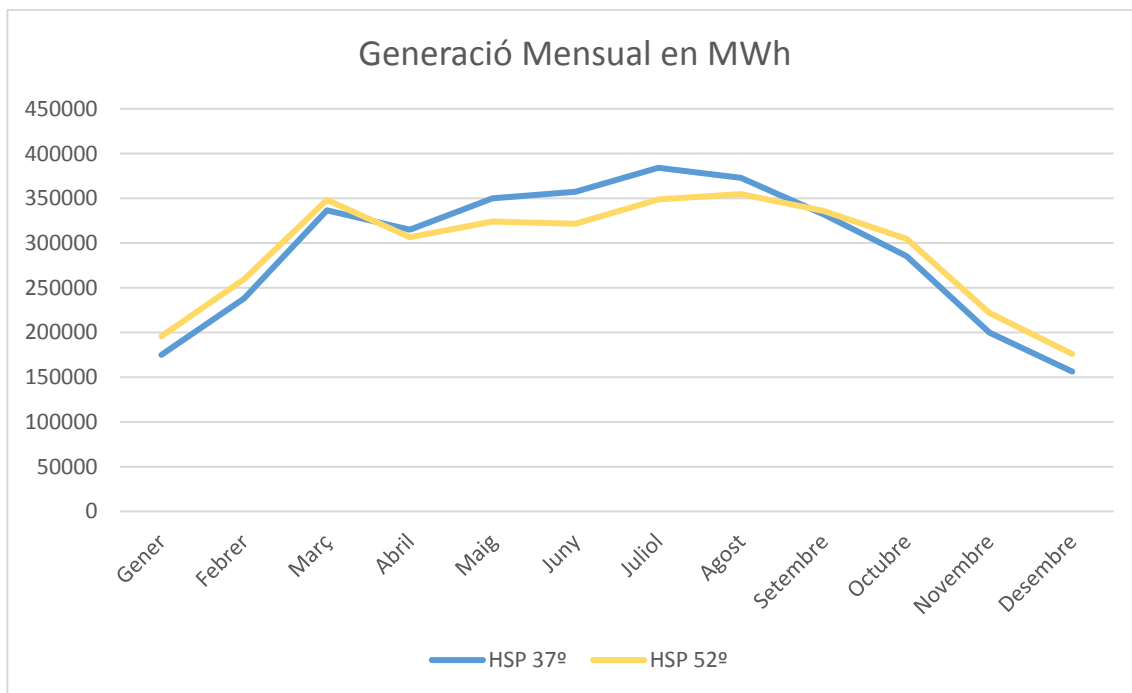
- Generació mensual del camp (MWh)

Mes	HSP 37°	HSP 52°	Generació MWh 37°	Generació MWh 52°
<b>Gener</b>	3,28	3,56	174970	195783
<b>Febrer</b>	4,9	5,18	238200	259603
<b>Març</b>	6,31	6,33	336604	348119
<b>Abril</b>	6,1	5,76	314905	306553
<b>Maig</b>	6,56	5,89	349940	323921
<b>Juny</b>	6,92	6,04	357236	321455
<b>Juliol</b>	7,2	6,34	384081	348669
<b>Agost</b>	6,99	6,45	372878	354718
<b>Setembre</b>	6,43	6,31	331941	335825
<b>Octubre</b>	5,35	5,54	285393	304673
<b>Novembre</b>	3,87	4,17	199784	221932
<b>Desembre</b>	2,93	3,2	156299	175984
		<b>TOTAL</b>	<b>3502231,3</b>	<b>3497235,0</b>

**Taula 5.6.** Comparació entre les dues inclinacions. (Font: Elaboració Pròpia)

En l'apartat de Generació per MW instal·lat i dimensions, el camp solar amb inclinació de 37° presenta un millor rendiment tal i com es podia preveure atenent a les dades d'Irradiància.

L'aspecte que feia decantar-se en un primer moment per a la inclinació de 52° era el fet de mantenir una generació elevada en els mesos d'hivern. Es compara el resultat mensual de les dues inclinacions:



**Figura 5.7.** Comparació entre les dues inclinacions. (Font: Elaboració Pròpia)

Si bé és cert que la generació a l'hivern és major en la inclinació de 52°, aquesta diferència ronda el 10%. El disseny totalment enfocat a una generació constant al llarg de l'any és més comú per a aplicacions d'autoconsum. En aquest projecte es tracta al cap i a la fi, de generar el màxim per tal d'evitar produir aquesta energia elèctrica amb fons contaminants.

Per tot això, en els propers anàlisis i comparacions, es tindran en compte les dades obtingudes amb els càlculs de 37°.



## 6. Anàlisi comparatiu

Un cop coneguda la tipologia i la generació de la central de cicle combinat i calculades també les principals característiques del camp solar alternatiu, és clau fer una anàlisi comparativa.

Per tal d'analitzar en profunditat el que suposaria la substitució, es faran anàlisis des de diferents punts de vista. D'aquesta manera, es podrà argumentar i concloure amb informació des de diferents perspectives. Aquestes perspectives seran les següents:

- Perfil de Generació
- Valoració econòmica
- Vida mitjana
- Ambiental
- Logística

En cada cas es definirà el motiu d'estudiar-lo i com s'enfocarà la comparació.

Amb tot això, es pretén tenir una visió clara de les diferències de les dues centrals i de que suposaria fer-ne la substitució.

## 6.1. Perfil de generació

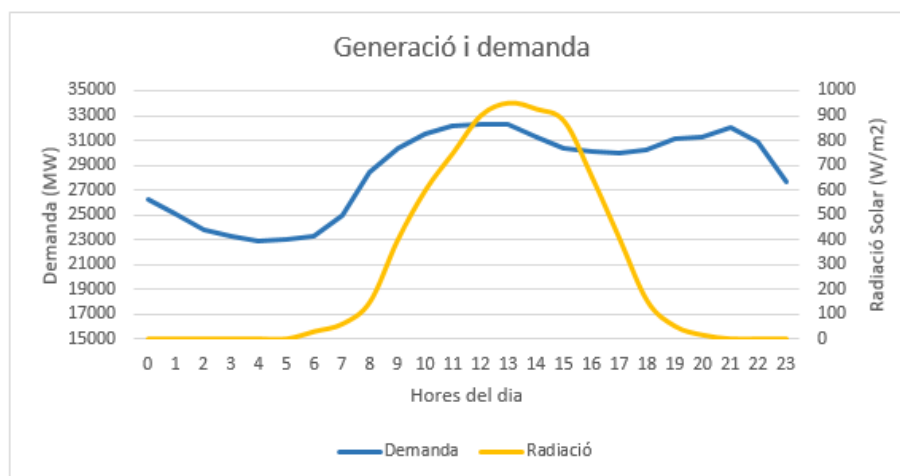
En primer lloc, es valorarà el perfil de generació que poden subministrar les dues centrals i com aquest es pot ajustar a la demanda.

Pel que fa a la central de cicle combinat, aquesta pot ajustar amb considerable facilitat la seva generació independentment de la hora del dia. A més, aquestes centrals són molt fiables sempre i quan hi hagi disponibilitat de combustible. El problema doncs rau en la dependència del subministrament del gas natural. Aquest, prové en gran part de països amb poca inestabilitat política, cosa que en alguns casos pot fer perillar la continuïtat del subministrament i de la generació de la central.

Per a contrarestar aquest fet, Espanya es un dels països amb més diversificació dels orígens del gas natural amb un fort desenvolupament de les regasificadores. Per tant, si es evident que la dependència de països externs per a obtenir el combustible és un inconvenient que fa menys fiable la generació de la central de cicle combinat, en el context local, aquest risc es considerablement reduït.

En el cas del camp solar; la generació d'aquest és limitada, no pot ajustar-se als pics de consum i té també una fiabilitat reduïda. Atent al següent gràfic, es pot veure el comportament de la radiació solar comparada amb la demanda de potència mitjana del sistema elèctric Espanyol.

Les dades de radiació són un indicador evident del que generarà el camp solar i al comparar-les amb la demanda, es pot veure com s'ajusten:



**Figura 6.1.** Adaptació de la generació a la demanda. (Font: Elaboració Pròpia amb dades de [www.ree.es](http://www.ree.es))

Per a la construcció del gràfic s'han tingut en compte dades mitjanes de REE per a la demanda i per a la radiació solar s'han pres unes dades tipus [22].

Es pot veure com en una gran part del dia, la demanda es considerable però l'aportació solar es nul·la. El que això significaria es que en la substitució estudiada, hauria de canviar el paper de les dues centrals, es a dir:

Central actual: Generació regular, fiable, amb possibilitat d'adaptació a sobre pics de demanda.

Generació central substitutòria: Generació segons la irradiància i les possibilitats de la central, entrega sempre a xarxa i impossibilitat d'adaptació a demanda ja que no es viable introduir sistema de bateries.

Queda clar que ambdues centrals tenen alguns problemes en l'aspecte de la generació fiable i continuada, però molt superiors en la fotovoltaica.

Pel que fa al camp solar, la implementació d'un sistema de bateries suposaria un cost elevadíssim i que faria totalment inviable la seva implementació. Per tant, seguirà existint la problemàtica de l'adaptació al consum de la central substitutòria i la dependència d'aquesta amb la meteorologia. Com s'ha dit, el paper de la nova central en el subministrament elèctric a Catalunya hauria de jugar un paper diferent.

Un cop vist el comportament de la generació de les dues centrals, es passa a valorar l'aspecte econòmic.

## 6.2. Valoració econòmica

L'aspecte econòmic té també una importància a considerar ja que gairebé sempre aquest aspecte es el més important en la viabilitat dels projectes. En aquest cas, en que es tracta més aviat de reduir emissions i d'anar cap a una generació més sostenible, caldria posar en valor els objectius assolits en aquests aspectes. Tot i això, es interessant saber de què s'està parlant econòmicament.

Pel que fa a la substitució, queda clar que la inversió inicial per implementar el camp solar seria molt elevada. Per tenir-ne una idea a grans trets es fa interessant aquest article del Periódico de la energia:

HOME » EN PORTADA RENOVABLES

### Un grupo de inversores extranjeros invertirá 1.000 millones para tener una cartera de 1 GW de fotovoltaica en España

Ramón Roca 19/02/18

0

**Figura 6.2.** Dades d'actualitat del sector solar a Espanya. (Font: elperiodicodelaenergia.com)

Sabent aquesta dada i coneixent que la Potència aproximada a instal·lar seria d'uns 2 GW, es té una idea del que podria suposar la inversió. En l'article es parla de que el grup inversor vol desenvolupar nous projectes de fotovoltaica així com de comprar-ne d'altres ja en funcionament. Aquests projectes no tindran cap prima o subsidi per part del govern estatal.

Una altra dada de la mateixa font i que pot ajudar a comprendre les dimensions del camp definit és el rànking de les majors plantes solars fotovoltaiques a nivell mundial.

Planta Solar	País	Potència instal·lada
<b>Kurnool Ultra Mega Solar Park</b>	Índia	1000 MW
<b>Longyangxia Hydro- Solar PV Station</b>	Xina	850 MW
<b>Planta fotovoltaica de Kamuthi</b>	Índia	648 MW
<b>Solar Star Solar Farm I y II.</b>	EEUU	597 MW
<b>Copper Mountain</b>	EEUU	552 MW

**Taula 6.1.** Top 5 de centrals solars fotovoltaiques a nivell mundial. (Font: elperiodicodelaenergia.com)

Per tant, es fa evident que la planta fotovoltaica a instal·lar seria d'unes dimensions estratosfèriques.



El preu de la instal·lació d'una quantitat tant elevada de potència vindria determinada en gran part pel preu dels materials necessaris tals com els dels panells solars. En aquest aspecte, els preus d'aquest recurs van disminuint constantment al llarg dels anys.

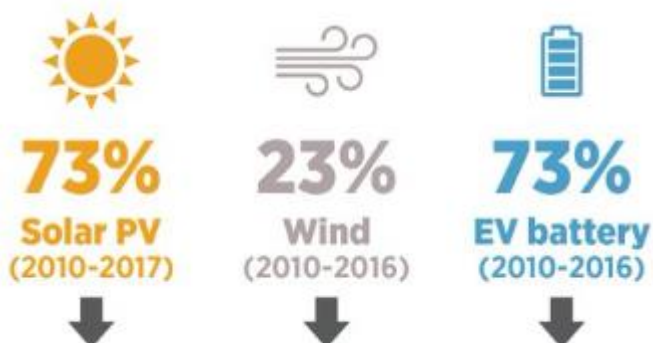


Figura 6.3. Evolució dels preus de les tecnologies renovables. (Font: [www.irena.org](http://www.irena.org))

Si bé queda clar que actualment la inversió a fer és molt gran i la implementació de bateries es utòpica, aquesta reducció de preus podria arribar a fer possible algun sistema de bateries per tal d'ajustar-se més a la demanda.

Per altra banda, aquesta reducció dels costos de les renovables també ajudarà a que aquestes se segueixin implementant i, per tant, millorant en tots els sentits.

Coneguda la gran inversió inicial i la possibilitat de la reducció d'aquesta en els propers anys, un altre aspecte a considerar és el dels costos variables de generació [27]:

El preu per kWh generat és molt més baix utilitzant ESF que amb cicles combinats. Segons dades del 2013, el preu del MWh generat amb centrals de cycle combinat era d'aproximadament 155 €/MWh. Pel que fa a un MWh generat amb energia solar fotovoltaica, el preu era de 119 €/MWh. Això implica una reducció del 23%. És a dir, el preu variable d'energia elèctrica generada seria considerablement menor en la central substitutòria.

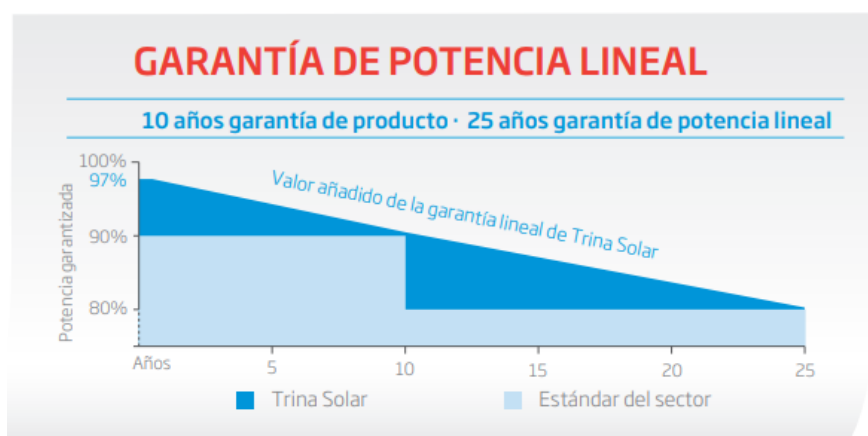
Amb aquesta dada i amb la de la reducció continuada dels preus de les tecnologies renovables, es fa evident que la tendència es favorable.

### 6.3. Vida mitjana

Un altre aspecte a tenir en compte es el de la vida útil. Quant de temps poden treballar les dues centrals considerades sense haver de fer una renovació profunda dels seus elements.

Pel que fa a les centrals de cycle combinat, recentment, les empreses propietàries d'aquestes instal·lacions, n'han allargat la vida útil. En el cas d'Iberdrola, al 2016, va passar a considerar 40 anys de vida útil a les centrals de cycle combinat quan anteriorment se'n consideraven 35. Les centrals que es tracten en aquest projecte són propietat d'Endesa i Gas natural. Aquestes companyies també han allargat la vida útil de les centrals de cycle combinat per passar dels 25 als 35 anys.

Pel que fa a les plantes fotovoltaïques, Endesa i gas natural consideren una vida útil de 30 anys. Si ens centrem en el cas estudiat, el fabricant presenta les dades de rendiment al llarg dels anys.



**Figura 6.4.** Pèrdua de rendiment del panell fotovoltaic. (Font: [www.trinasolar.com](http://www.trinasolar.com))

Tot i ser informació del fabricant i que per tant, es fa evident que es presentaran les dades del millor escenari possible, es pot estimar el comportament del rendiment. Cada any, aquest s'anirà reduint i la generació del camp solar serà menor. Per als càlculs de dimensionament, s'han tingut en compte valors més baixos de rendiment que l'inicial del 97%. Per tant, la mitjana de generació per als primers 25 anys de la central substitutòria serà de l'ordre del que s'ha estimat als càlculs.

## 6.4. Ambiental

Coneguts altres aspectes importants, el d'emissions és un apartat clau ja que en aquest es basa el projecte de substituir una central per l'altra.

A continuació es detallen les dades reals sobre emissions de les dues centrals. Es tracten els últims 2 anys ja que aquests són els que s'han considerat per a estimar la mitjana de generació de la central.

### Sant Adrià de Besós, Grup 3:

#### Emissions a l'atmosfera:

Contaminant	2015 (kg)	2016 (kg)
Diòxid de Carboni	<b>347.779.615</b>	<b>409.479.304</b>
Òxids de Nitrogen	<b>153.232</b>	<b>184.640</b>
Zinc i compostos	<b>274,89</b>	<b>305</b>

Taula 6.2. Dades sobre contaminants mitigats. (Font: www.prtr-es.es)

#### Residus:

Tipus de residu	2015 (t)	2016 (t)
Residus perillosos	22	19

Taula 6.3. Dades sobre contaminants mitigats. (Font: www.prtr-es.es)

**Sant Adrià de Besós, Grup 4:****Emissions a l'atmosfera:**

Contaminant	2015 (kg)	2016 (kg)
<b>Diòxid de Carboni</b>	<b>818.712.000</b>	<b>865.305.478</b>
<b>Òxid Nitrós</b>	<b>18.685</b>	<b>20.031</b>
<b>Òxids de Nitrogen</b>	<b>364.623</b>	<b>484.800</b>
<b>Monòxid de Carboni</b>	<b>864.528</b>	<b>1.563.837</b>

Taula 6.4. Dades sobre contaminants mitigats. (Font: www.prtr-es.es)

**Residus:**

Tipus de residu	2015 (t)	2016 (t)
<b>Residus perillosos</b>	<b>74</b>	<b>31</b>

Taula 6.5. Dades sobre contaminants mitigats. (Font: www.prtr-es.es)

Amb aquestes dades es pot tenir una idea del que suposa la central en termes d'emissions, en aquest aspecte, també es mostren al web citat dades sobre la contaminació a l'aigua del Grup 3. Per al 2016 aquests valors eren els següents:

Contaminant	2016 (kg)
<b>Crom i compostos</b>	61
<b>Níquel i compostos</b>	2577
<b>Plom i compostos</b>	32
<b>Zinc i compostos</b>	540
<b>Fenols</b>	109
<b>Fluorurs</b>	23.264

Taula 6.6. Dades sobre contaminants mitigats. (Font: www.prtr-es.es)

Per tant doncs, es fa evident que les dues centrals del Besòs emeten grans quantitats de productes nocius tant a l'atmosfera, en forma de gasos com en la generació d'altres residus.

En l'aspecte d'emissions, la més destacada, i la que s'ha volgut analitzar dins de l'objecte del treball, és la de CO<sub>2</sub>. Pel que fa a les dues centrals, es passarà a analitzar el seu total i el pes dins del total estatal en MtCO<sub>2</sub>/any (es prendran valors del 2015 ja que aquests són els mes recents dels que es té informació del global de l'estat):

$$\frac{\text{Grup 3} + \text{Grup 4}}{1000000000} = \frac{347779615 \text{ kgCO}_2 + 818712000 \text{ kgCO}_2}{1000000000} = 1,166 \text{ Mt/any} \quad (\text{Eq. 6.1})$$

Aquest valor es passa a comparar amb el de la IAE sobre emissions de CO<sub>2</sub> a Espanya el 2015 en termes de combustions [5]:

$$\text{Total estatal} = 247,01 \text{ Mt al 2015}$$

$$\text{Pes de les centrals} = \frac{1,166}{247,01} = 0,472 \% \quad (\text{Eq. 6.2})$$

Per tant, les emissions de les centrals corresponen aproximadament al 0,5 % del global estatal referit a emissions de CO<sub>2</sub> per combustió.

Aquest resultat significa que amb aquest canvi, es reduirien un 0,5% les emissions de CO<sub>2</sub> degudes a combustió. Aquesta reducció pot semblar reduïda però significa un canvi important ja que es tracta solament de la substitució de dos grups de generació i parla del total estatal d'emissions de CO<sub>2</sub> per combustions.

Tot i analitzar més en específic el diòxid de carboni, també es produeixen emissions d'altres contaminants. Totes aquestes emissions variables serien inexistents en el cas de la central fotovoltaica. Si bé és cert que la implantació d'aquesta central comportaria contaminació; en aquest apartat s'han avaluat les emissions variables i depenents de la generació, no de la instal·lació en cap dels dos casos.

## 6.5. Logística

Un altre dels aspectes claus a considerar és la superfície necessària per a generar l'energia establerta. En aquest cas, és evident que la central a substituir presentarà uns valors molt més reduïts de superfície per kWh.

En apartats anteriors s'ha fet aquest càlcul per a la central de cicle combinat obtenint un valor de 71591,4 GWh anuals/km<sup>2</sup>.

Si s'aplica el mateix càlcul per a la instal·lació de solar fotovoltaica:

$$\frac{\text{Generació}}{\text{Terreny}} = \frac{\text{Producció primer any (GWh)}}{\text{Terreny ocupat (km}^2\text{)}} \quad (\text{Eq. 6.3})$$

$$\frac{\text{Producció primer any (GWh)}}{\text{Terreny ocupat (km}^2\text{)}} = \frac{3500 \text{ GWh}}{31,54 \text{ km}^2} = 110,97 \text{ GWh anuals/km}^2 \quad (\text{Eq. 6.4})$$

Es té en compte la superfície obtinguda en el càlcul ja que aquesta serà la útil. En l'aplicació real, s'hauria de considerar també un perímetre de seguretat i a partir d'aquí es podria redefinir aquest paràmetre.

El valor obtingut es de 110,97 GWh anuals/km<sup>2</sup>

Si es relacionen els dos valors, es pot veure quantes vegades és més gran la generació per superfície en la central actual:

$$\frac{\text{Central actual}}{\text{Central substitutòria}} = \frac{71591,4 \text{ GWh/km}^2}{110,97 \text{ GWh/km}^2} = 645,14 \quad (\text{Eq. 6.5})$$

Per tant, amb aquests càlculs es determina que la generació per unitat de superfície es aproximadament 645 vegades superior en la central actual que en la central substitutòria. Amb aquesta i la resta de comparacions, es té ja una visió del que suposaria la substitució.

Es passa doncs al darrer apartat i a la generació d'uns càlculs automatitzats.





## 7. Automatització dels càlculs

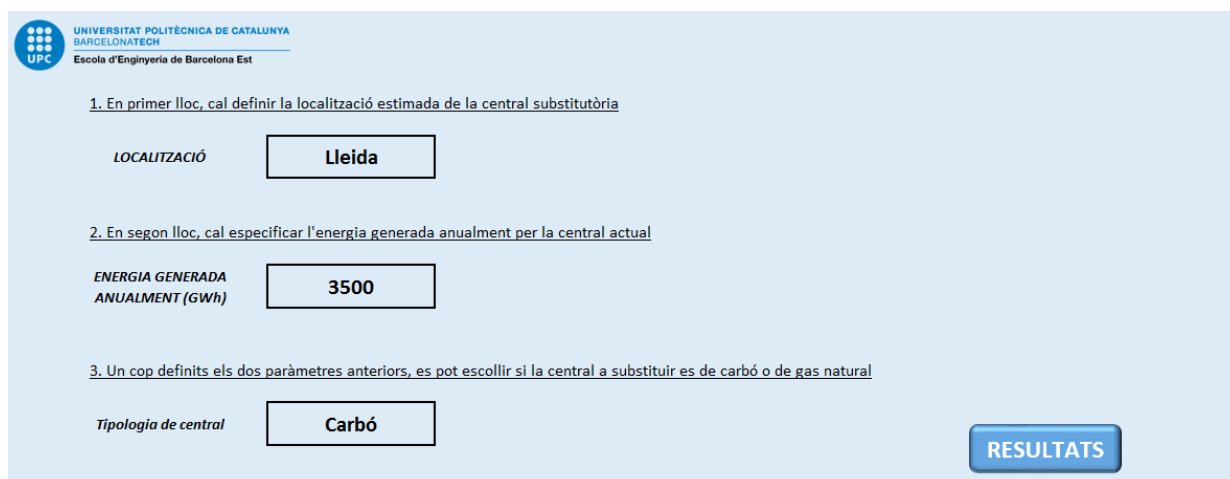
Un cop analitzat el cas de la substitució dels grups de cycle combinat III i IV del Besós, un dels objectius del treball era el de crear una automatització dels càlculs. Aquesta, ha de permetre tenir una idea ràpida del que suposaria la substitució en termes de superfície ocupada, perfil de generació i emissions mitigades.

Per a complir aquest darrer objectiu del treball, es construeix un programa utilitzant Excel que permetrà fer una estimació ràpida, flexible i de manera còmoda. A continuació s'expliquen quines són les diferents parts que el componen i com s'han generat.



Figura 7.1. Portada del programa generat. (Font: Elaboració pròpia)

A l'entrar al programa es pot escollir si llegir unes breus instruccions que expliquen el funcionament o bé es pot prémer inici per a passar ja a la definició dels paràmetres. Si es fa clic al botó d'inici, apareix la següent pantalla de selecció:



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

1. En primer lloc, cal definir la localització estimada de la central substitutòria

LOCALITZACIÓ

2. En segon lloc, cal especificar l'energia generada anualment per la central actual

ENERGIA GENERADA ANUALMENT (GWh)

3. Un cop definits els dos paràmetres anteriors, es pot escollir si la central a substituir es de carbó o de gas natural

Tipologia de central

Figura 7.2. Inici i introducció de dades al programa generat. (Font: Elaboració pròpia)

En aquest apartat cal seleccionar la localització, l'energia generada per la central actual i si aquesta és de cicle combinat o de carbó. Pel que fa a la localització, s'obre un desplegable que permet escollir entre totes les capitals de província Espanyoles de la península. D'aquesta manera, es pot tenir una idea aproximada de tota la superfície. En el cas de l'energia generada, cal definir els GWh que genera la central que es vol substituir anualment.

Un cop escollits aquests paràmetres, es passa ja a veure els resultats. En aquest cas d'exemple, s'han escollit unes dades gairebé iguals que en els càlculs del treball per tal de verificar l'automatització.

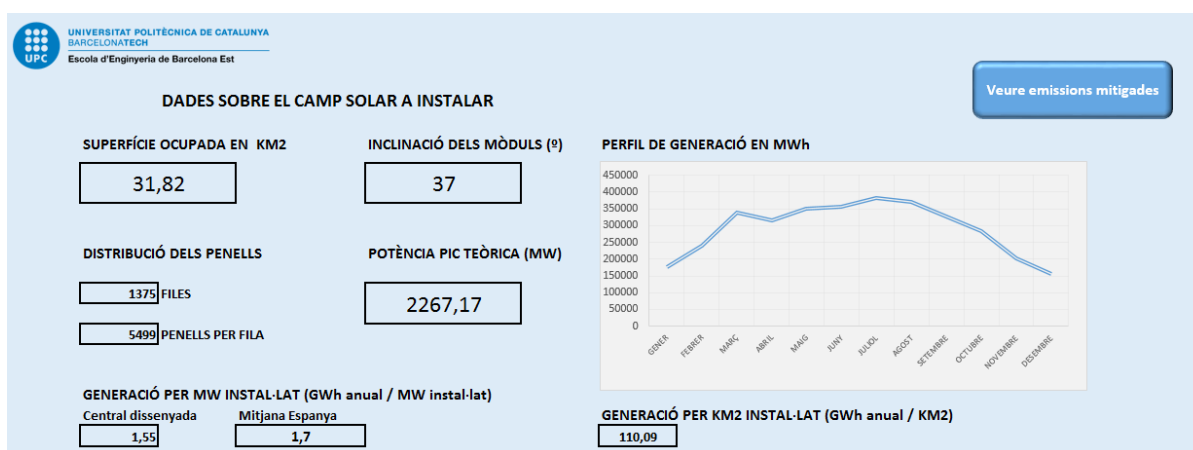


Figura 7.3. Resultats del programa generat. (Font: Elaboració pròpia)

En aquest apartat es mostren les principals dades que s'han definit en el primer càlcul del treball. Superfície ocupada, potencia pic teòrica (sense les pèrdues de cablejat i convertidors), nombre de files i penells per fila, perfil de generació anual, inclinació i dades que serveixen per a verificar els càlculs.

Un cop vistes aquestes primeres dades, es pot passar a veure les emissions mitigades.

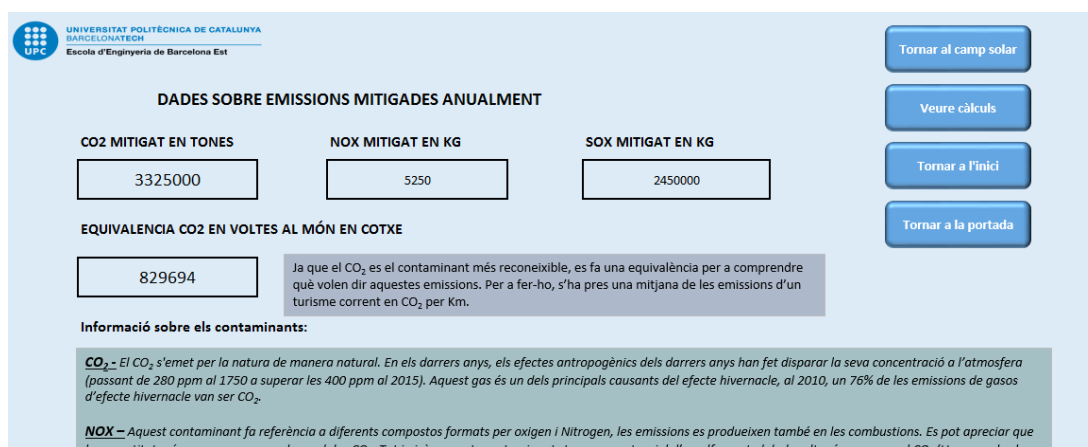


Figura 7.4. Resultats del programa generat. (Font: Elaboració pròpia)

Pel que fa a les emissions mitigades, es presenten tres dels contaminants més importants. Aquests, s'expliquen breument en el document posteriorment a les dades de mitigació. Un dels aspectes que s'aplica en aquesta automatització es la introducció d'una dada que serveix per a fer-se una idea del que suposen les emissions mitigades de CO<sub>2</sub>.

Un cop aquí, es poden redefinir els paràmetres inicials o també es pot veure el full de càlculs, es a dir, on i com es generen les dades resultants.

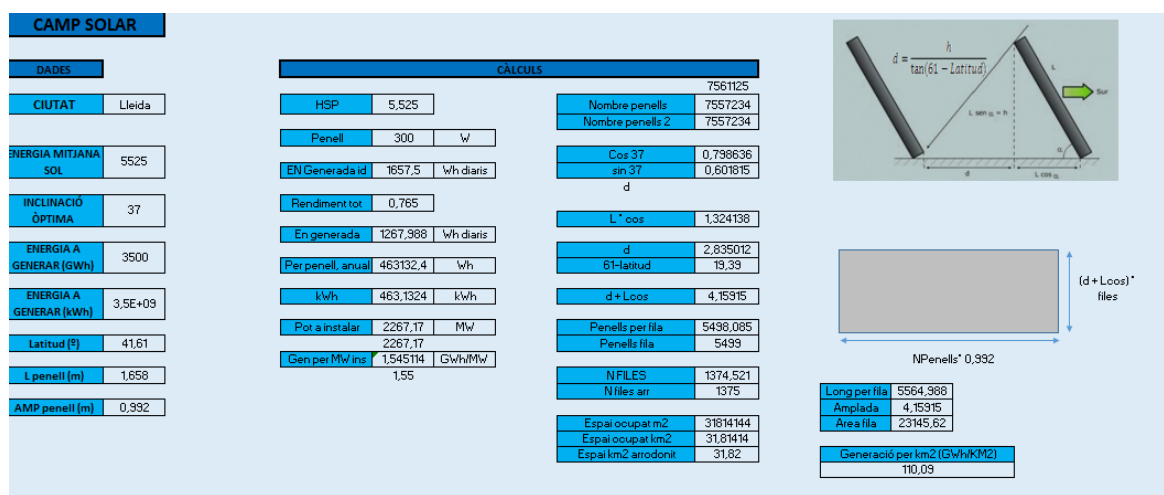


Figura 7.5. Càlculs del programa generat. (Font: Elaboració pròpia)

En aquest apartat, del qual una part es mostra a la imatge, es veu d'on surten els resultats obtinguts. Els passos que es segueixen són els mateixos que s'han seguit en l'apartat de la substitució estudiada.

En el cas de les emissions, s'han tingut en compte dades mitjanes referides a centrals de carbó i de cicle combinat.

Un cop observats els càlculs, es pot retornar a la pantalla d'emissions i escollir allà si es vol redefinir les dades o anar a alguna altra pestanya.

Totes les dades necessàries es recullen en un full al que no s'hi accedeix ja que simplement conté tota la informació.

CIUTAT	GENER	FEBRER	MARÇ	ABRIL	MAIG	JUNY	JULIOL	AGOST	SETEMBRE	OCTUBRE	NOVEMBRE	DESEMBRE	MITJANA	lopt	Latitud
Albacete	3730	4750	5740	5920	6230	6800	7320	6970	6090	5230	4030	3540	5530	35	38,97
Alicante	4290	5050	6200	6290	6680	7050	7200	7000	6250	5560	4350	3800	5820	34	38,345
Almeria	4590	5520	6600	6740	6880	7180	7270	7210	6520	5810	4810	4400	6130	34	36,77
Avila	2950	3890	5020	5260	5710	6580	7180	6890	5980	4700	3170	2920	5030	34	40,656
Badajoz	3690	5060	6020	6190	6670	7170	7600	7400	6600	5550	4330	3490	5820	34	38,88
Barcelona	3690	4740	5920	5930	6450	6740	6880	6560	5840	5010	3820	3420	5420	37	41,39
Bilbao	2340	3120	4510	4780	5050	5270	5440	5150	4950	3780	2360	2310	4090	35	43,26
Burgos	2360	3490	4900	5210	6050	6660	7230	6930	6010	4370	2720	2420	4870	33	42,34
Càceres	3630	4960	6000	6190	6630	7180	7640	7360	6540	5350	4090	3400	5750	34	39,48
Cadiz	4350	5430	6370	6620	6930	7150	7330	7240	6490	5860	4720	4080	6050	33	36,53
Castellón	4030	5040	6140	6270	6580	6900	7020	6720	6110	5410	4330	3690	5690	36	39,99
Ceuta	4190	4880	5910	6290	6690	7170	7240	6990	6130	5380	4360	3810	5760	32	35,89
Ciudad real	3490	4930	5920	6080	6450	7040	7500	7330	6350	5480	4160	3430	5680	34	38,98
Córdoba	3950	5050	6030	6040	6530	7100	7500	7360	6410	5580	4510	3870	5830	34	37,89
Coruña	2530	3830	5230	5520	5710	5990	6210	6250	5910	4370	2930	2650	4760	36	43,36

Figura 7.6. Base de dades del programa generat. (Font: Elaboració pròpia)

Amb tot això, s'obté una generalització per a un ampli territori que permet crear infinits escenaris per tal d'analitzar-ne la viabilitat. També, s'obtenen els resultats de passar directament d'una central tèrmica clàssica a energia solar fotovoltaica.

## 8. Conclusions

Un cop acabats els càlculs i anàlisis necessaris per a donar resposta als objectius del treball, es passa a explicar les idees i conclusions que s'extreuen del que s'ha fet.

En primer lloc, s'ha inicat el projecte amb una contextualització, que es clau, per veure l'estat actual al món i el pes dels combustibles fòssils en la generació d'energia elèctrica i les emissions de gasos d'efecte hivernacle.

A nivell mundial s'ha pogut verificar que el pes del carbó es manté constant en percentatge però cada cop representa una quantitat d'energia major, és a dir, més utilització.

En aquesta anàlisi, s'han diferenciat els països de la OECD amb els que no en formen part. En el cas dels països membres sembla que comencen a reduir la importància del carbó en la generació d'energia elèctrica però a un ritme lent. Pel que fa als països no membres, l'escenari es completament diferent. Pel que fa als països emergents, el consum d'energia s'està disparant i també ho esta fent la crema de combustibles fòssils.

Arrel d'això es conclou que en aquest aspecte, cal recórrer encara un llarg camí per a poder deixar de dependre d'una manera tant forta dels combustibles fòssils i en especial del Carbó.

En l'aspecte de polítiques energètiques a nivell mundial, s'ha pogut comprovar que són nombroses les cimeres i protocols que s'han dut a terme en els últims anys. El problema ve donat per la falta de pautes clares i coercitives. Tot això evidencia que en un futur pròxim no sembla possible que hi hagi un canvi clar de la tendència que porti a frenar el canvi climàtic.

En segon lloc, ja que aquest projecte es basa en la reducció d'emissions treballant en les formes de generació d'energia elèctrica, era important veure quin pes juga la crema de combustibles fòssils en el global de les emissions. Segons els càlculs realitzats, gairebé un 45% de les emissions globals de CO<sub>2</sub> venen donades pel carbó. Aquest argument i d'altres que es detallaran a continuació, fan evident que la generació d'energia elèctrica és un element clau en les emissions de gasos d'efecte hivernacle.

Pel que fa a la contextualització, aquesta s'ha continuat analitzant el marc europeu. En aquest cas, s'ha pogut veure que les renovables van prenent poc a poc un pes major però que no és encara important en el total. Altre cop, els combustibles fòssils tenen una aportació vital. En l'aspecte de polítiques energètiques, el 20/20/20, si que marca unes pautes més clares i que cal treballar per aconseguir però que a hores d'ara es fa difícil estimar que es produeixin.

Per últim, en aquest apartat s'ha comparat el context de França i el de Polònia per verificar altre cop la importància de la generació d'energia elèctrica en les emissions de CO<sub>2</sub>. Un país com França, amb un PIB considerablement major que Polònia, té unes emissions de CO<sub>2</sub> per habitant un 40% menors. Això es deu a que el país francès centra la seva generació d'energia elèctrica en les centrals nuclears (que no generen CO<sub>2</sub>) mentre que a Polònia la producció ve donada gairebé al complet per centrals de carbó. Altre cop es fa evident la importància de treballar en els modes de generació d'energia elèctrica per a reduir les emissions. Aquest cop, però, la comparació s'ha fet amb un estat que té menys emissions de gasos d'efecte hivernacle però a costa d'un altre combustible fòssil com és l'urani.

Per acabar la contextualització, s'ha tractat l'actualitat a nivell local, parlant d'Espanya i, més en concret, de Catalunya. Pel que fa a la generació, queda també patent la importància dels recursos d'origen fòssil en el total. Altre cop les renovables van prenent cada cop més pes però aquest no arriba a representar ni una quarta part del total.

En l'aspecte de polítiques energètiques, Espanya està lligada al 20/20/20 i per tant, el context és el mateix que l'Europeu, tant en les coses positives com en les negatives.

El marc català és el que dona pas a l'anàlisi de la substitució. Un canvi important que s'ha dut a terme és el de deixar enrere les centrals tèrmiques de carbó per a donar pas als cicles combinats. En el global català, les nuclears són sens dubte les centrals que presenten una major importància. Tot i això, les centrals de cicle combinat tenen també un pes a considerar. En aquest aspecte, la transició del carbó cap al gas natural, suposa ja una reducció important de les emissions, però si aquestes es volen mitigar completament, caldrà treballar amb les renovables. Es per això que s'escullen dues centrals de cicle combinat del marc català, que es voldrien tancar i substituir per energia fotovoltaica. Aquest representa un segon pas en la transició catalana, tèrmiques convencionals, cicles combinats, energia renovable.

En l'anàlisi de les centrals de cicle combinat del Besós (Grups III i IV), es fa evident que les emissions del cicle combinat són considerablement menors que les de les tèrmiques convencionals. Degut a la major eficiència i a la utilització del gas natural com a combustible, s'ha vist com hi ha una millora evident. Malgrat tot, les emissions continuen existint. Aquestes centrals presenten una generació fiable, que es pot ajustar a la demanda i tot això en un espai considerablement reduït.

Determinades les centrals a substituir, s'han iniciat els càlculs del camp solar alternatiu. En primer lloc es determina que l'estructura ha de ser un camp solar connectat a xarxa mitjançant inversors. Es a dir, degut a les característiques a instal·lar, la utilització de bateries no és una opció a tenir en compte ja que els costos serien altíssims i aquestes es solen reservar per a instal·lacions petites.

En l'elecció de la localització, s'escull una zona de Catalunya on la irradiància és major i no existeixen els problemes d'espai de Barcelona i rodalies.

Conegut l'espai i la irradiància, un aspecte important ha estat el de l'elecció de la inclinació. Finalment s'ha elegit 37º ja que aquesta inclinació presentava la màxima generació anual. En un projecte d'aquestes dimensions i característiques, és més indicat buscar la màxima generació enlloc d'intentar obtenir una producció més o menys constant al llarg de l'any.

Fetes totes les consideracions, s'obté un camp solar que ronda els 31 Km<sup>2</sup>. A priori, semblen unes dimensions estratosfèriques però si es compara amb casos reals, aquesta superfície es troba dins dels rangs habituals de camps amb potència similar.

Per acabar el projecte, s'ha fet un anàlisi comparatiu que acaba de deixar clar el que suposaria la substitució i les seves viabilitats. Les conclusions es divideixen també segons els criteris utilitzats:

Perfil de generació: En aquest aspecte, es fa evident que la central actual pot aconseguir una generació molt més adaptada a la demanda que la central substitutòria. El camp solar, generarà i es connectarà sempre a xarxa i per tant podrà aportar mentre generi. Caldrà treballar en l'adaptació a la demanda que no poden garantir les renovables i, per tant, en el seu paper en el model energètic del país.

Econòmic: En aquest cas, la inversió inicial seria elevadíssima per tal de construir el camp solar. L'energia generada tindria un cost variable més reduït que en el cas de la de cicle combinat.

Vida mitjana: Pel que fa a la vida mitjana, les dues centrals tindrien un període definit similar però en el cas del camp solar, el rendiment dels panells es va reduint considerablement any rere any.

Ambiental: En aquest cas, no hi ha cap mena de dubte de que la central substitutòria presentaria uns valors molt més atractius davant dels problemes actuals; es reduirien completament les emissions de gasos d'efecte hivernacle per kWh generat.

Logistic: Per últim, aquest aspecte posa de manifest la necessitat d'espai per a fer la substitució. L'espai necessari es al voltant de 645 cops major en la central substitutòria que en la de cicle combinat.

Amb tot això, es fa evident que tot i ser possible generar la mateixa quantitat d'energia elèctrica anual amb el camp solar que amb la central de cicle combinat, són nombrosos els problemes associats. Si només es fes aquest canvi, és a dir, un canvi, es podria aconseguir un pes més important de les renovables sense posar en risc el subministrament, ja que les centrals a substituir tenen un pes a considerar però no vital. El problema seria més gran si es volguessin substituir tots els cicles combinats i totes les centrals de carbó utilitzant energia solar fotovoltaica.

En aquest escenari, seria molt complicat abastir la demanda i tenir un subministrament fiable sobretot en el període d'hivern i en les hores nocturnes.

Per tant, cal seguir treballant en desenvolupar les tecnologies de generació renovable i neta d'energia elèctrica. Els aspectes vitals en els propers anys vindran marcats per la generació per m<sup>2</sup> i l'adaptació a la demanda. Alhora, serà clau treballar en la reducció del consum i l'eficiència energètica per a seguir endavant en els objectius de reducció del canvi climàtic.

En resum conclusiu del projecte estudiat, es pot dir que seguint el criteri de la mateixa generació anual, aquesta és possible amb el camp determinat. Malgrat això, hi ha nombrosos inconvenients que fan vital seguir treballant en el desenvolupament de l'energia solar fotovoltaica i de les renovables i netes en general.



## **9. Anàlisi de l'impacte ambiental**

Per a l'elaboració d'aquest treball no s'ha construït cap prototip que pugui comportar una contaminació . L'impacte doncs, es redueix a la utilització d'energia elèctrica d'un ordinador, el transport públic i la impressió. Aquesta s'ha dut a terme a doble cara per tal de reduir considerablement l'impacte.



## 10. Pressupost i/o Anàlisi Econòmica

En aquest apartat, es definiran els costos associats a aquest treball. Aquests, venen donats per el temps invertit com a enginyer per a realitzar-lo així com el material i transport associats. En la següent taula es recullen aquests costos en hores i Euros.

Temps dedicat:

Etapa	Hores	Preu (€) / Hora	Cost
<b>Recerca d'informació</b>	90	10	900 €
<b>Anàlisi de la informació obtinguda</b>	120	12,5	1500 €
<b>Redacció de la memòria</b>	135	12,5	1687,5 €
<b>Càlculs associats</b>	60	15	900 €
<b>TOTAL</b>	405		4987,5 €

Als costos del temps dedicat a la elaboració la memòria en general, cal afegir-hi els costos d'energia i transports (reunions, xerrades sobre la temàtica, etc.). Els costos de transport ascendeixen a 105 euros i els d'energia es consideren negligibles.

A tot això, cal afegir impostos per a determinar el cost final:

Despesa	Cost final
<b>Memòria</b>	4987,5 €
<b>Transport</b>	105 €
<b>Impostos (21% dels dos primers apartats)</b>	1069,43 €
<b>TOTAL</b>	<b>6161,93 €</b>

Finalment es determina que el cost final del projecte ascendeix a **6162** Euros.



## 11. Bibliografia

A continuació es detallen els documents consultats durant la preparació del TFG. Aquesta bibliografia es divideix entre Llibres, conferències i col·loquis i un segon apartat de recursos Web.

### Llibres, conferències i col·loquis

[1] JOSEP XERCAVINS, DIANA CAYUELA, GEMMA CERVANTES, ASSUMPTA SABATER. *Desarrollo sostenible*. Edicions UPC, 2005. ISBN 84-8301-805-5.

[2] RAMON SANA ROVIRA. *La darrera oportunitat, la transició energètica del segle XXI*. Editorial Octaedro, 2016. ISBN 978-84-9921-796-3.

[3] TERESA RIBERA. Moment actual del canvi climàtic (Col·loqui). Cosmocaixa (Barcelona), 6 de Març de 2018.

### Recursos Web

[4] Dades sobre el context mundial en generació d'energia elèctrica i emissions. International Energy Agency, [consulta: Febrer i Març del 2018]. Disponible a: <http://www.iea.org>

[5] Estadístiques sobre emissions i generació a escollir entre la regió a estudiar. International Energy Agency, [consulta: Març del 2018]. Disponible a: <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/>

[6] Conferències mundials dels darrers anys. Nacions Unides, [consulta: Març del 2018]. Disponible a: <https://www.un.org/development/desa/es/about/conferences.html>

[7] Polítiques europees de canvi climàtic. Comissió Europea, [consulta: Març del 2018]. Disponible a: [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020\\_es](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_es)

[8] Dades de radiació a Europa. Photovoltaic Geographical Information System, [consulta: De Març a Maig del 2018]. Disponible a: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>

[9] Polítiques Energètiques Catalunya. Generalitat de Catalunya, [consulta: Març del 2018]. Disponible a: [http://canviclimatic.gencat.cat/ca/politiques/politiques\\_catalanes/Llei-del-canvi-climatic/](http://canviclimatic.gencat.cat/ca/politiques/politiques_catalanes/Llei-del-canvi-climatic/)

[10] Evolució de la Concentració de Carbó a l'atmosfera. Intergovernmental Panel on Climate Change, [consulta: Març del 2018]. Disponible a: [http://www.ipcc-data.org/observ/ddc\\_co2.html](http://www.ipcc-data.org/observ/ddc_co2.html)

[11] Estadístiques sobre generació i demanda d'energia elèctrica a Espanya. Red Eléctrica de España, [consulta: Març del 2018]. Disponible a: <http://www.ree.es/>

- [12] Funcionament bàsic d'una central de cycle combinat. Asociación Española de la industria eléctrica, [consulta: Març del 2018]. Disponible a: <http://www.unesa.es/sector-electrico/funcionamiento-de-las-centrales-electricas/1343-central-ciclo-combinado>
- [13] Generació dels cycles combinats. Energía y sociedad, [consulta: Març del 2018]. Disponible a: <http://www.energiaysociedad.es/manenergia/1-3-el-valor-de-la-flexibilidad-de-los-ciclos-combinados-de-gas-natural/>
- [14] Estadístiques concretes sobre generació i demanda a Catalunya i Espanya. Red Eléctrica de España, [consulta: Març del 2018]. Disponible a: <http://www.ree.es/es/estadisticas-del-sistema-electrico-espanol/informe-anual>
- [15] Emissions de les centrals a substituir. Registro estatal de emisiones y Fuentes contaminantes, [consulta: Febrer a Maig del 2018]. Disponible a: [http://www.prtr.es/Informes/fichacomplejo.aspx?Id\\_Complejo=4853](http://www.prtr.es/Informes/fichacomplejo.aspx?Id_Complejo=4853)
- [16] Atlas radiació solar a Catalunya. Institut català de l'Energia, [consulta: Març del 2018]. Disponible a: [http://icaen.gencat.cat/web/.content/10\\_ICAEN/17\\_publicacions\\_informes/09\\_fons\\_documental/02\\_estudis\\_monografics/arxius/monografic12.pdf](http://icaen.gencat.cat/web/.content/10_ICAEN/17_publicacions_informes/09_fons_documental/02_estudis_monografics/arxius/monografic12.pdf)
- [17] Dades sobre latituds i dimensions. Google Maps, [consulta: Abril del 2018]. Disponible a: <https://www.google.es/maps>
- [18] Informació sobre la instal·lació de panells solars. Tecno Sol, [consulta: Abril del 2018]. Disponible a: <https://tecnosolab.com/soporte-para-paneles-solares/>
- [19] Datasheet del panell escollit. Trinasolar, [consulta: Abril del 2018]. Disponible a: [http://www.trinasolar.com/sites/default/files/ES\\_TSM\\_DEG5\\_plus\\_B\\_2017\\_web.pdf](http://www.trinasolar.com/sites/default/files/ES_TSM_DEG5_plus_B_2017_web.pdf)
- [20] Informació sobre la instal·lació de panells solars. Tecno Sol, [consulta: Abril del 2018]. Disponible a: <https://tecnosolab.com/distancia-entre-filas-de-paneles-solares/>
- [21] Costos de generació. Energía y sociedad, [consulta: Abril del 2018]. Disponible a: <http://www.energiaysociedad.es/manenergia/3-1-tecnologias-y-costes-de-la-generacion-electrica/>
- [22] Dades sobre demanda del sistema elèctric Espanyol. Red Eléctrica de España, [consulta: Abril del 2018]. Disponible a: <https://demanda.ree.es/visiona/peninsula/demanda/total>
- [23] Dades d'actualitat del sector solar a Espanya . El Periódico de la Energía, [consulta: Maig del 2018]. Disponible a: <https://elperiodicodelaenergia.com/>

[24] Reducció de costos de les renovables als últims anys. International Renewable Energy Agency, [consulta: Maig del 2018]. Disponible a: <http://www.irena.org/>

[25] Dades a temps real del mercat elèctric Espanyol. Operador del Mercado Ibérico de Energía, [consulta: Maig del 2018]. Disponible a: <http://www.omie.es/inicio>

[26] Vida útil de les centrals elèctriques. Europapress, [consulta: Maig del 2018]. Disponible a: <http://www.europapress.es/economia/noticia-iberdrola-eleva-vida-util-ciclos-combinados-activos-hidroelectricos-20170721131029.html>

[27] Costos de producció per MWh. Escuela de Organización Industrial , [consulta: Maig del 2018]. Disponible a: <http://www.eoi.es/blogs/merme/coste-y-precio-de-las-diferentes-fuentes-de-energia-2/>





