



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

TREBALL FI DE GRAU

**Grau en Enginyeria Elèctrica**

**ESTUDI DE L'EVOLUCIÓ DE LA INTENSITAT DE CARBONI A  
PAÏSOS DE LA CONCA MEDITERRÀNIA, CREACIÓ  
D'ESCENARIS DE FUTUR, I REPERCUSSIÓ EN LES EMISSIONS  
A TRAVÉS DE LA IDENTITAT DE KAYA**



**Memòria i Annexos**

**Autor:** Javier Serrano Vázquez  
**Directora:** Olga Alcaraz i Sendra  
**Departament:** FIS  
**Co-Director:** Josep Xercavins Valls  
**Convocatòria:** Gener 2019



## Resum

El present Treball Fi de Grau ofereix un estudi detallat de la intensitat de carboni en base al càlcul i anàlisi de les emissions de diòxid de carboni (CO<sub>2</sub>) i del vector energètic als països que formen part de la conca mediterrània, tant del sud d'Europa com del nord d'Àfrica i l'extrem occidental d'Àsia.

En primer lloc, s'estudia l'evolució històrica del vector energètic (considerant carbó, petroli, gas natural, energia nuclear, energia hidroelèctrica, altres renovables i biocombustibles) entre els anys 1990 i 2015. A partir d'aquest vector, es troben les emissions emprant factors d'emissió i, finalment, es calcula la intensitat de carboni com el quocient entre emissions de CO<sub>2</sub> i energia primària subministrada (TPES). De forma genèrica, els països que es troben en vies de desenvolupament han augmentat tant el TPES com les emissions, amb un vector energètic compost majoritàriament per carbó, petroli i gas. Per altra banda, els estats desenvolupats han estabilitzat o moderat el creixement de les emissions en els darrers anys i han deixat pas, dins del predomini també de carbó, petroli i gas, a l'entrada de les energies renovables.

En segon terme, es confeccionen escenaris de futur *Business As Usual* (BAU), els quals segueixen la tendència de l'històric, per al vector energètic, les emissions i, en conseqüència, per a la intensitat de carboni fins el 2050. En general, s'aprecia un augment important d'emissions per als països en desenvolupament i un estancament d'aquestes per als desenvolupats.

En tercer lloc, es construeixen escenaris de futur alternatius fins al 2050 variant el vector energètic i analitzant la repercussió en les emissions i en la intensitat de carboni.

Aquests darrers escenaris alternatius es comparen amb els escenaris que van ser elaborats al Treball Fi de Grau [1] publicat pel mateix autor el 2018 per tal d'assolir, en aquell cas, el Grau en Enginyeria de l'Energia i titulat *Emissions de CO<sub>2</sub> als països de la conca mediterrània. Escenaris de futur "Business As Usual" i escenaris alternatius*. En el conjunt d'escenaris del TFG anterior, només es variaven la intensitat energètica i el PIB per càpita (que juntament amb la població i la pròpia intensitat de carboni, constitueixen els quatre factors conductors de la Identitat de Kaya).

Finalment, es comparen tots els escenaris de futur d'ambdós TFG amb la translació de l'escenari RCP2.6 per als països de la conca mediterrània. La conclusió general és que, aplicant aquests escenaris per separat, les emissions a l'any 2050 encara estan molt per sobre del nivell d'emissions necessari per tal d'aconseguir que la temperatura no pugi més de 2 °C, però quan es combinen els escenaris d'un i altre TFG (i per tant, actuant conjuntament sobre tots els factors conductors de la Identitat de Kaya excepte la població), l'escenari resultant ja comença a apropar-se al RCP2.6.

## Resumen

El presente Trabajo Final de Grado ofrece un estudio detallado de la intensidad de carbono en base al cálculo y análisis de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y del vector energético en los países que forman parte de la cuenca mediterránea (sur de Europa, norte de África y oeste de Asia).

En primer lugar, se estudia la evolución histórica del vector energético (considerando carbón, petróleo, gas natural, energía nuclear, energía hidroeléctrica, otras renovables y biocombustibles) entre los años 1990 y 2015. A partir de este vector, se encuentran las emisiones usando factores de emisión y, finalmente, se calcula la intensidad de carbono como el cociente entre emisiones de CO<sub>2</sub> y energía primaria suministrada (TPES). De forma genérica, los países que se encuentran en vías de desarrollo han aumentado tanto el TPES como las emisiones, con un vector energético compuesto mayoritariamente por carbón, petróleo y gas. Por otro lado, los estados desarrollados han estabilizado o moderado el crecimiento de las emisiones en los últimos años y han dejado paso, dentro del predominio también de carbón, petróleo y gas, a la entrada de las energías renovables.

En segundo término, se confeccionan escenarios de futuro *Business As Usual* (BAU), los cuales siguen la tendencia del histórico, para el vector energético, las emisiones y, en consecuencia, para la intensidad de carbono hasta el 2050. En general, se aprecia un aumento importante de emisiones para los países en desarrollo y un estancamiento de estas para los desarrollados.

En tercer lugar, se construyen escenarios de futuro alternativos hasta el 2050 variando el vector energético y analizando la repercusión en las emisiones y en la intensidad de carbono.

Estos últimos escenarios alternativos se comparan con los escenarios elaborados en el Trabajo Final de Grado [1] publicado por el mismo autor en 2018 para obtener, en aquel caso, el Grado en Ingeniería de la Energía y titulado *Emisiones de CO<sub>2</sub> en los países de la cuenca mediterránea. Escenarios de futuro "Business As Usual" y escenarios alternativos*. En los escenarios de dicho TFG solo se variaban la intensidad energética y el PIB per cápita (que junto con la población y la propia intensidad de carbono, constituyen los cuatro factores conductores de la Identidad de Kaya).

Finalmente, se comparan los escenarios de futuro de ambos TFG con la translación del escenario RCP2.6 para los países de la cuenca mediterránea. La conclusión general es que, aplicando estos escenarios por separado, las emisiones en el año 2050 están aún muy por encima del nivel de emisiones necesario para conseguir que la temperatura no suba más de 2 °C, pero cuando se combinan los escenarios de uno y otro TFG (y por lo tanto, actuando sobre todos los factores conductores de la Identidad de Kaya excepto la población), el escenario resultante ya empieza a acercarse al RCP2.6.

## Abstract

The current Degree Final Project offers a detailed study of the carbon intensity based on the calculation and the analysis of the carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions and of the energy vector in the Mediterranean countries (south Europe, north Africa and west Asia).

First of all, the energy vector historical evolution is analysed (considering coal, oil, natural gas, nuclear energy, hydroelectric energy, other renewables and biofuels) between 1990 and 2015. From this vector, emissions are found using emission factors and, finally, carbon intensity is calculated as the quotient between CO<sub>2</sub> emissions and primary energy supplied (TPES). Those countries which are developing have increased TPES and emissions, with an energy vector mostly composed by coal, oil and gas. On the other hand, developed countries have stabilized or moderated the increase of emissions in recent years and, in spite of the predominance of coal, oil and gas, they have let renewable energies enter the energy vector.

Secondly, future *Business As Usual* (BAU) scenarios are built (scenarios which follow historical trends) for the energy vector, emissions and, consequently, for the carbon intensity until 2050. In general, there is an important emissions increase in developing countries, while in the developed ones, they stay constant.

In third place, future alternative scenarios are built until 2050 varying the energy vector and analysing the impact on emissions and on the carbon intensity.

These last alternative scenarios are compared to the scenarios which were created in the Degree Final Project [1] published by the same author in 2018 in order to achieve, in that case, the Degree in Energy Engineering and called *CO<sub>2</sub> emissions in the Mediterranean countries. Future "Business As Usual" and alternative scenarios*. In the previous DFP scenarios, only energy intensity and GDP per capita were varied (which all together with population and carbon intensity are the four driving forces which form the Kaya Identity).

Finally, all future scenarios from both projects are compared to the RCP2.6 scenario translation for the Mediterranean countries. The general conclusion is that, if these scenarios are implemented separately, emissions in 2050 are way above the emissions level needed in order to achieve the temperature does not go up more than 2 °C, but when they are combined (which means that all the driving forces of the Kaya Identity are varied except the population), the final scenario starts to approach the RCP2.6.



## **Agraïments**

L'autor agraeix l'ajuda proporcionada (seguiment, orientació, correcció i facilitació de documents) durant tot el procés d'elaboració d'aquest TFG (i del TFG anterior emmarcat en la titulació del Grau en Enginyeria de l'Energia, que ha servit de base i de complement per a aquest) a la directora del mateix, Olga Alcaraz i Sendra, del Departament de Física de l'EEBE (UPC) i membre del grup STH (Sostenibilitat, Tecnologia i Humanisme).

L'autor agraeix també l'orientació, especialment en l'inici del TFG del Grau en Enginyeria de l'Energia desenvolupat al 2017, que ha servit de base i complement per a aquest, al co-director d'aquest TFG, Josep Xercavins Valls, del Departament de Mecànica de Fluids de l'EEBE (UPC) i responsable del grup STH (Sostenibilitat, Tecnologia i Humanisme).







## Glossari

CO<sub>2</sub>: diòxid de carboni.

GEH: Gasos d'Efecte Hivernacle. També GHG (*Greenhouse Gases*).

GWP: *Global Warming Potential*. Potencial d'escalfament global.

ONU: Organització de les Nacions Unides. També UN (*United Nations*).

UNFCCC: *United Nations Framework Convention on Climate Change*. Convenció Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic.

COP: *Conference of the Parties*. Conferència de les Parts.

IPCC: *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Grup intergovernamental d'experts sobre el canvi climàtic.

NDCs: *Nationally Determined Contributions*. Contribucions determinades a nivell nacional.

INDCs: *Intended Nationally Determined Contributions*. Contribucions previstes determinades a nivell nacional.

PIB: Producte Interior Brut. També GDP (*Gross Domestic Product*).

TPES: *Totally Primary Energy Supply*. Subministrament total d'energia primària.

RCP: *Representative Concentration Pathways*. Trajectòries de concentració de gasos d'efecte hivernacle publicades per l'IPCC.

OCDE: Organització per a la Cooperació i el Desenvolupament Econòmics. També OECD (*Organisation for Economic Cooperation and Development*).

WB: *World Bank*. Banc Mundial.

IEA: *International Energy Agency*. Agència Internacional de l'Energia.

PPP: Paritat de Poder Adquisitiu.

DESA: *Department of Economic and Social Affairs*. Departament d'Afers Econòmics i Socials.

BAU: *Business As Usual*. Escenaris de futur que segueixen la tendència d'unes dades històriques.

OCCC: Oficina Catalana del Canvi Climàtic.

ITEC: Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya.

# 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>GLOSSARI</b>	<b>VII</b>
<b>1. PREFACI</b>	<b>1</b>
1.1. Origen del treball .....	1
1.2. Motivació .....	1
1.3. Requeriments previs .....	1
<b>2. INTRODUCCIÓ</b>	<b>3</b>
2.1. Objectius del treball .....	3
2.2. Abast del treball .....	3
2.3. Canvi climàtic: ciència .....	4
2.4. Canvi climàtic: política .....	10
2.5. Identitat de Kaya .....	13
2.6. Escenaris de futur .....	14
<b>3. SELECCIÓ DE DADES</b>	<b>19</b>
3.1. Països a estudiar .....	19
3.1.1. Països de la conca mediterrània .....	19
3.1.2. Països descartats .....	21
3.1.3. Agregats de països .....	22
3.2. Recopilació de dades .....	23
3.2.1. Vector energètic / TPES .....	23
3.2.2. Emissions de CO <sub>2</sub> .....	25
3.2.3. Població i Producte Interior Brut (PIB) .....	26
<b>4. ANÀLISI DE L'EVOLUCIÓ HISTÒRICA</b>	<b>27</b>
4.1. Metodologia de càlcul .....	27
4.2. Evolució històrica del vector energètic .....	27
4.3. Evolució històrica de les emissions .....	34

4.4.	Evolució històrica de la intensitat de carboni .....	37
<b>5.</b>	<b>ESCENARIS DE FUTUR “BUSINESS AS USUAL”</b> .....	<b>41</b>
5.1.	Metodologia de càlcul .....	41
5.2.	Exemples d’aplicació.....	42
5.3.	Integració en la Identitat de Kaya.....	52
<b>6.</b>	<b>ESCENARIS DE FUTUR ALTERNATIUS</b> .....	<b>54</b>
6.1.	Escenaris alternatius de països.....	54
6.1.1.	Escenari alternatiu d’Algèria .....	54
6.1.2.	Escenari alternatiu de França .....	57
6.1.3.	Escenari alternatiu del Marroc .....	58
6.1.4.	Escenari alternatiu d’Espanya.....	61
6.2.	Escenaris alternatius d’agregats.....	65
6.2.1.	Escenari alternatiu de l’agregat desenvolupat.....	65
6.2.2.	Escenari alternatiu de l’agregat en desenvolupament .....	67
<b>7.</b>	<b>COMPARACIÓ AMB EL RCP2.6</b> .....	<b>70</b>
<b>8.</b>	<b>ANÀLISI DE L’IMPACTE AMBIENTAL</b> .....	<b>75</b>
	<b>CONCLUSIONS</b> .....	<b>77</b>
	<b>PRESSUPOST</b> .....	<b>81</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>83</b>
	<b>ANNEXOS</b> .....	<b>87</b>
	ANNEX I.....	87
	ANNEX II.....	87
	ANNEX III.....	88
	ANNEX IV.....	88
	ANNEX V.....	88
	ANNEX VI.....	88

# 1. Prefaci

## 1.1. Origen del treball

L'origen d'aquest Treball Fi de Grau es troba en un altre Treball Fi de Grau [1] realitzat pel mateix autor en el marc del Grau en Enginyeria de l'Energia, cursat entre els anys 2013 i 2018 a l'Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). L'esmentat treball tenia com a tema d'estudi les emissions als països de la conca mediterrània analitzades en base a la Identitat de Kaya, motiu pel qual el present projecte s'entén com una extensió i alhora complement del primer.

Al seu temps, l'origen del primer projecte es troba en l'assignatura optativa Canvi Climàtic: Ciència, Economia, Energia, Política i Futur (CCCEEPF), cursada al setè quadrimestre del grau universitari anterior. Durant el seguiment d'aquesta matèria, es presenta l'oportunitat de contactar amb els dos professors encarregats de l'assignatura, experts en el tema objecte d'estudi, que ofereixen a l'autor la possibilitat de realitzar un projecte de l'àmbit del canvi climàtic. Com en el cas de l'anterior treball, aquests acaben esdevenint directora i co-director del projecte, respectivament.

## 1.2. Motivació

La motivació que porta a l'execució del present projecte sorgeix del previ interès de l'autor per la sostenibilitat i el medi ambient. El seguiment dels cursos de Tecnologies Mediambientals i Sostenibilitat (TMS) durant el tercer quadrimestre i de l'optativa de Canvi Climàtic (CCCEEPF) durant el setè intensifica encara més aquesta curiositat. Addicionalment, el vincle directe que existeix entre el medi ambient i l'enginyeria (enginyeria de l'energia i enginyeria elèctrica en aquests casos) emfatitza la inquietud per un treball d'aquestes característiques.

Pel que fa al tema específic tractat en aquest treball, el fet que en l'anàlisi d'emissions hi intervinguin factors econòmics i socials (a part dels factors tècnics), com poden ser el PIB per càpita o la població, fa que les conclusions que se n'extreguin, puguin ser extrapolades a àmbits més enllà de l'enginyeril.

## 1.3. Requeriments previs

La comprensió d'aquest projecte no requereix d'un alt nivell de coneixement sobre cap tema específic.

Tot i així, és necessari el domini d'operacions matemàtiques bàsiques i l'enteniment i interpretació de gràfiques amb eixos cartesianes. També es recomana una mínima conscienciació i interès pel medi ambient, especialment pels possibles escenaris de futur d'emissions de diòxid de carboni a Espanya i als països veïns, parant atenció a les diferències socioeconòmiques existents entre els diferents territoris.

Per a la realització del projecte, l'autor ha comptat amb la referència d'un TFG anterior [1], així com d'altra documentació confeccionada pel grup de recerca al qual pertanyen la directora i el co-director d'aquest treball, referenciada correctament en els capítols on se'n fa ús.

## **2. Introducció**

Aquest apartat pretén posar en context el tema objecte d'estudi d'aquest projecte amb la intenció d'ajudar en la posterior comprensió dels càlculs que es presenten i de les conclusions que se n'extreuen. Inclou els objectius del treball, l'abast d'aquest i breus explicacions teòriques dels diferents conceptes utilitzats en els posteriors capítols.

### **2.1. Objectius del treball**

El treball desenvolupat en aquestes pàgines té per objectiu principal estudiar l'evolució de les emissions de diòxid de carboni als països de la conca mediterrània i als agregats d'aquests centrant-se en l'anàlisi del vector energètic i de la intensitat de carboni. Amb l'assoliment d'aquest objectiu, es pretén fer una petita contribució a la conscienciació dels canvis que s'haurien d'emprendre per tal d'aconseguir que l'augment de la temperatura mitjana del planeta no pugi més de 2 °C respecte la temperatura de l'època preindustrial.

Aquest objectiu principal es divideix en altres objectius més específics: analitzar l'evolució històrica de les emissions i del vector energètic des del 1990; elaborar escenaris de futur tendencials fins el 2050; elaborar escenaris de futur alternatius variant el vector energètic (i per tant, la intensitat de carboni) també fins el 2050.

L'última part d'aquest projecte, té com a objectiu específic comparar tots els escenaris de futur amb els obtinguts al TFG anterior [1], on es variaven la intensitat energètica i el PIB per càpita, amb l'objectiu de combinar-los i realitzar una comparació final amb l'escenari de reducció d'emissions compatible amb el propòsit que la temperatura mitjana del planeta no augmenti més de 2 °C respecte la temperatura anterior a l'era industrial.

### **2.2. Abast del treball**

Segons l'objectiu principal del present projecte, es pretén estudiar l'evolució de les emissions de diòxid de carboni fent èmfasi en l'anàlisi del vector energètic i, conseqüentment, de la intensitat de carboni.

En primer lloc, val a dir que es consideren exclusivament emissions provinents de la crema de combustibles fòssils, quedant fora de l'abast qualsevol altra possible font d'origen del diòxid de carboni. I en segon terme, no es contemplen altres gasos d'efecte hivernacle més enllà del CO<sub>2</sub>.

Donada la focalització en el vector energètic, per a la creació d'escenaris de futur alternatius només es considera, d'entre els factors conductors de la Identitat de Kaya, l'actuació sobre la intensitat de carboni. No s'efectuen variacions sobre la població i es fa ús dels resultats del TFG de referència [1] per a actuacions sobre la intensitat energètica i el PIB per càpita.

Respecte aquests factors conductors, únicament es té en compte el vincle entre ells a través de la Identitat de Kaya, quedant excloses altres possibles expressions matemàtiques mitjançant les quals puguin estar relacionats.

Finalment, aquest projecte se centra en estudiar els països de la conca mediterrània, fet que permet analitzar territoris amb característiques socioeconòmiques molt desiguals, donada la confluència de tres continents diferents. Precisament això és el que fa que es presentin alguns problemes a l'hora de trobar certes dades per a alguns països i que s'hagi de limitar l'abast geogràfic del treball. A més, tot i no tenir costa al Mediterrani, l'estudi inclou Portugal. Al tercer capítol d'aquest mateix document es pot trobar una explicació detallada de la selecció de països.

### 2.3. Canvi climàtic: ciència

*Aquest apartat es troba referenciat al TFG que serveix de base per a aquest [1].*

El "canvi climàtic" es defineix com l'alteració de variables que es tenen identificades amb un determinat clima, com pot ser el del planeta Terra. En l'actualitat, aquesta alteració de variables a la Terra ve donada per un desequilibri en el forçament radiatiu, originat per un augment de la concentració de gasos d'efecte hivernacle (GEH) degut a l'activitat humana.

L'efecte hivernacle, ocasionat pels GEH presents a l'atmosfera terrestre, és un fenomen natural i necessari per a l'habitabilitat del planeta Terra. Gràcies a l'efecte hivernacle, la temperatura mitjana del planeta es troba al voltant del 15 °C, mentre que sense l'existència d'aquest, seria d'uns -15 °C, fet que impossibilitaria l'existència d'aigua líquida, un dels factors imprescindibles per a la vida.

L'esmentat efecte hivernacle pot ésser explicat segons el balanç mostrat a la *Figura 1*. De forma poc detallada, del total de radiació solar que incideix sobre l'atmosfera terrestre, una part és reflectida, mentre que l'altra part arriba fins a la superfície terrestre, provocant el seu escalfament. Una fracció de l'energia tèrmica absorbida per la Terra és retornada en forma de radiació tèrmica infraroja, la majoria de la qual és reabsorbida per l'atmosfera. Per últim, es torna a produir una reemissió de radiació tèrmica cap al planeta que també contribueix a escalfar-ne la superfície.



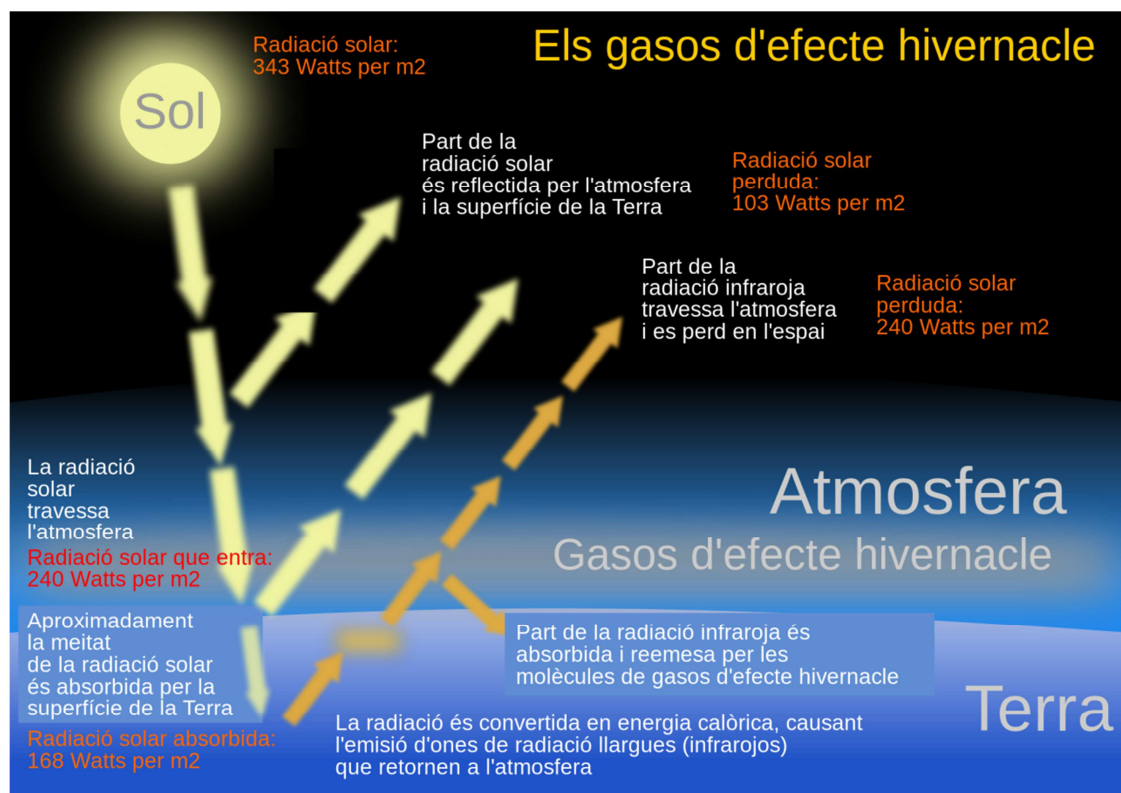


Figura 1. Esquema de la radiació solar en l'efecte hivernacle natural. Font: [1] i [2].

El canvi climàtic descrit a l'inici d'aquest apartat sorgeix a causa de la intensificació de l'efecte hivernacle provocada al seu temps per les emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH) originades per l'activitat humana que han conduït a un increment de la concentració d'aquests gasos a l'atmosfera terrestre i a una alteració del cicle del carboni natural.

L'emissió de GEH s'ha vist augmentada des de la Revolució Industrial, fet que ha provocat l'aparició d'un efecte hivernacle no natural o "artificial" en el qual es trenca el balanç dinàmic radiatiu equilibrat entre energia rebuda i energia emesa a nivell planetari.

En la següent figura (Figura 2) es pot verificar que el flux d'energia que entra és superior al flux d'energia que en surt, fet que corrobora l'existència d'un forçament radiatiu (taxa de variació de l'energia per unitat de superfície del planeta) positiu, causa del desequilibri esmentat en el paràgraf previ i que té com a principal conseqüència l'escalfament global.

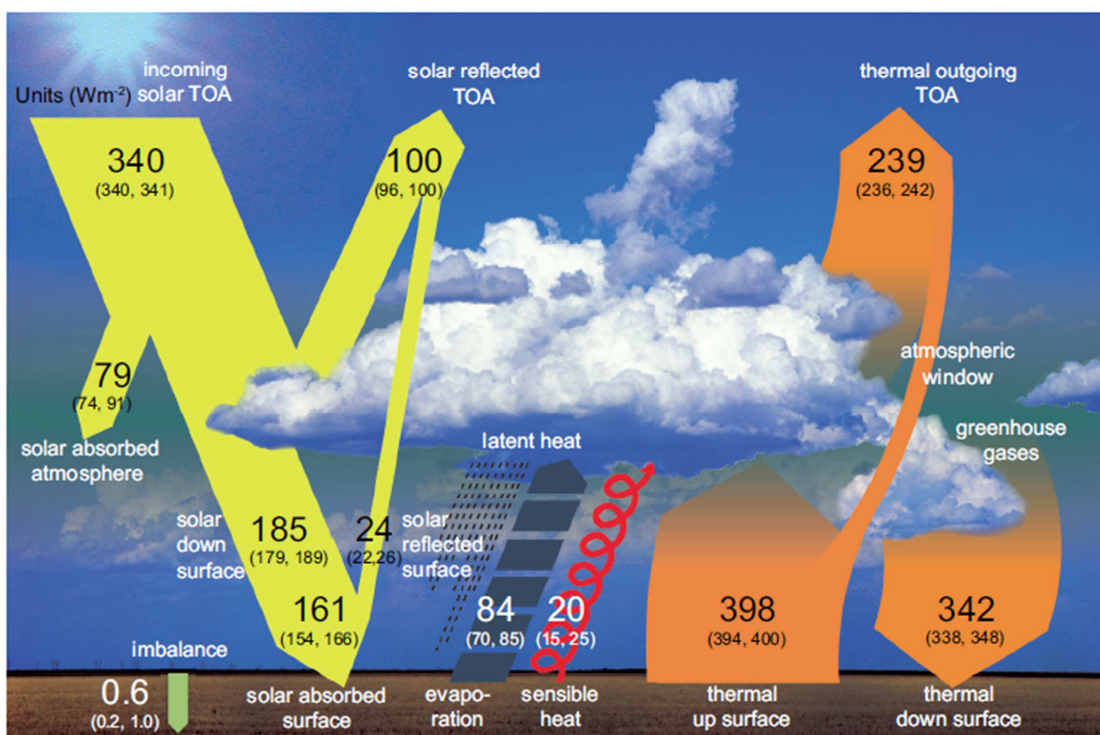


Figura 2. Esquema de la radiació solar en l'efecte hivernacle antropogènic. Font: [1] i [3].

Cal destacar que l'augment de temperatura provocat per aquest fenomen s'ha accelerat més durant les darreres tres dècades que durant tota la resta del període històric des de la Revolució Industrial. Aquest fet es pot relacionar directament amb l'evolució de la concentració de diòxid de carboni a l'atmosfera terrestre:

Any	1750	1990	2010	2015	2018
ppm CO <sub>2</sub>	280	350	390	400	407
Gt CO <sub>2</sub>	2212	2765	3081	3160	3215

Taula 1. Evolució històrica de la concentració de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera terrestre expressada en parts per milió i en gigatonnes. Font: [1], [2], [4] i elaboració pròpia.

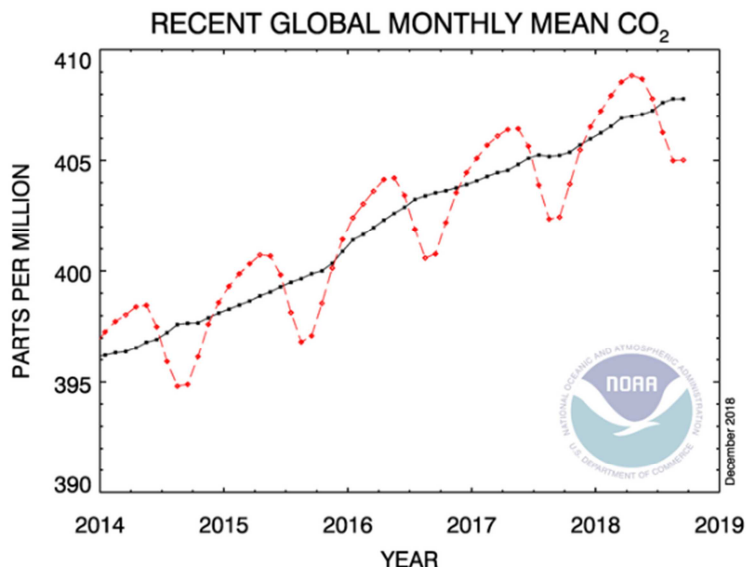


Figura 3. Evolució de la concentració de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera terrestre en ppm entre el 2014 i el 2018. Font: [4].

El diòxid de carboni és el gas d'efecte hivernacle que es pren com a referència donat que es considera el principal causant de l'escalfament global. A més, el seu temps de permanència a l'atmosfera s'estima entre centenars i milers d'anys.

L'evolució d'emissions d'aquest gas als principals països emissors durant els darrers anys no ha parat de créixer:

Annual CO2 emissions from fossil fuels by country, 1959-2018

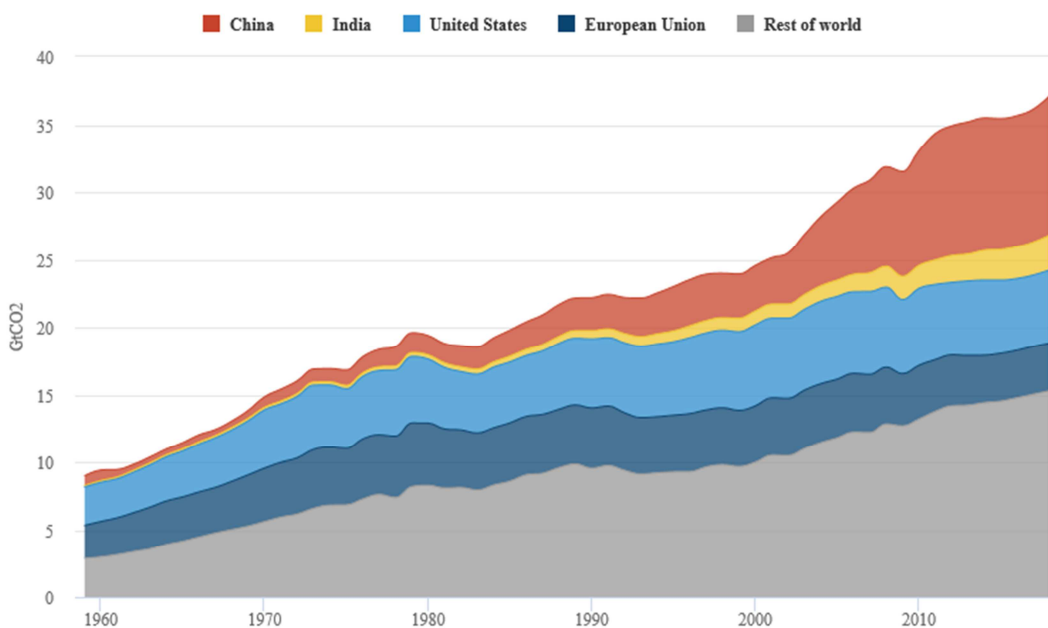


Figura 4. Evolució de les emissions de CO<sub>2</sub> als principals països emissors. Font: [5].

No obstant, existeixen altres gasos d'efecte hivernacle, tot i que la seva repercussió és molt menor:

Gas d'efecte hivernacle	Font antropogènica (exemples)	Percentatge d'emissions de GEH al 2015 (%)	Potencial d'escalfament global (GWP) en 100 anys
Diòxid de carboni (CO <sub>2</sub> )	Crema de combustibles fòssils, producció de ciment	81	1
Metà (CH <sub>4</sub> )	Extracció i distribució de combustibles fòssils, bestiar, abocadors	11	25
Òxid nitrós (N <sub>2</sub> O)	Fertilitzants	5,5	298
Hidrofluorocarburs (HFCs)	Refrigerants líquids	2,5	124 – 14800
Perfluorocarburs (PFCs)	Refrigerants, electrònica, indústria de l'alumini	< 2	7390 – 12200
Hexafluorur de sofre (SF <sub>6</sub> )	Aïllants a l'electrònica, indústria del magnesi	< 2	22800
Trifluorur de nitrogen (NF <sub>3</sub> )	Indústria electrònica, indústria fotovoltaica	< 2	17200

**Taula 2.** Resum de gasos d'efecte hivernacle d'origen antropogènic. Fonts: [1], [3], [6], [7] i elaboració pròpia.

A la taula prèvia s'hi poden observar les fonts d'emissió de cadascun dels gasos, així com els diferents percentatges d'emissions. A més, es mostra el potencial d'escalfament global (GWP per *Global Warming Potential*). Aquest paràmetre indica la contribució al forçament radiatiu que produeix una unitat de cada gas en relació al CO<sub>2</sub>, al qual se li assigna un valor unitari. Es pot apreciar que aquells gasos amb major potencial són també els que tenen menors emissions.

Més enllà de la contribució a l'efecte hivernacle antropogènic amb el seu corresponent escalfament global, les emissions dels GEH afecten també el cicle del carboni modificant els seus nivells als embornals i escalfen els mars i els oceans generant més núvols d'aigua.

Com a resum d'aquests efectes, es pot veure l'evolució de la temperatura a la superfície de continents i oceans entre els anys 2006 i 2015:

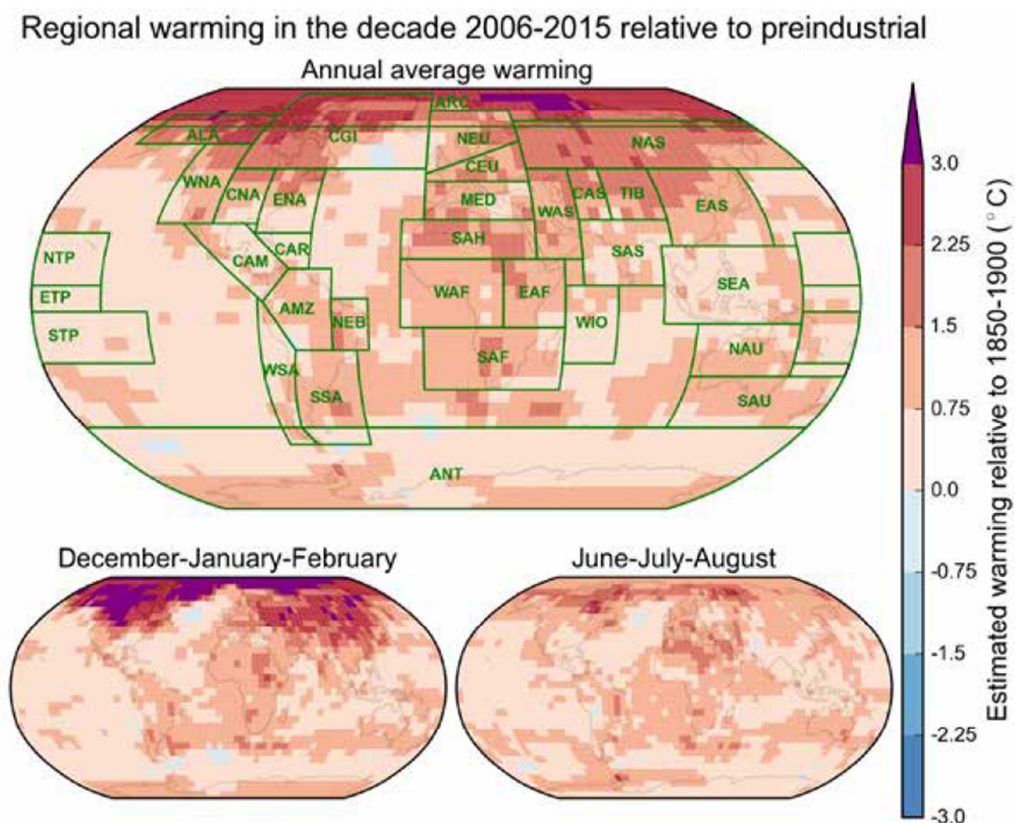


Figura 5. Variació de la temperatura a la superfície terrestre entre els anys 2006 i 2015. Font: [8].

A mode d'exemple, es mostra un gràfic amb dades recollides per l'observatori de Mauna Loa a Hawaii. En ell es pot observar l'evolució de la concentració de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera des de l'any 1960 superposada sobre l'anomalia de temperatura per al mateix període. Els resultats confirmen la correlació d'ambdues magnituds:

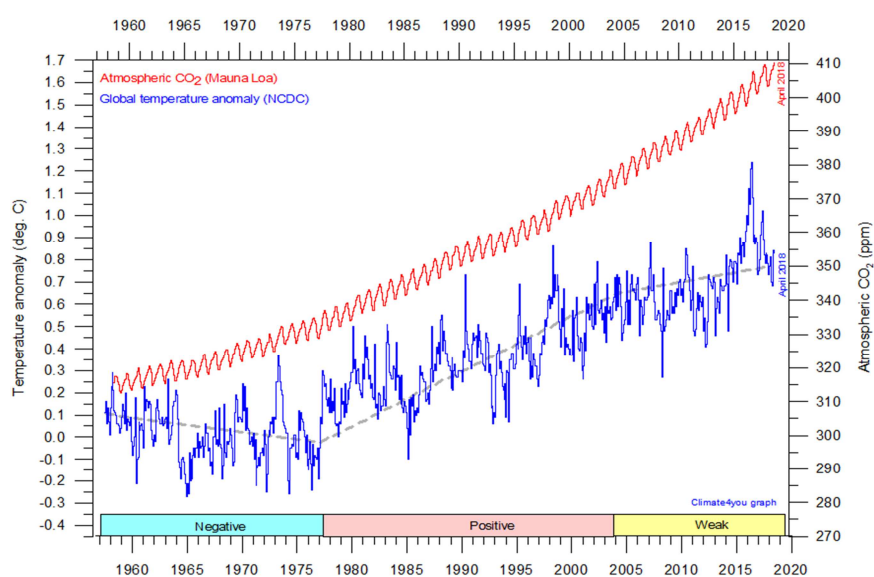


Figura 6. Correlació entre concentració de CO<sub>2</sub> i anomalia de temperatura des del 1960. Font: [9].



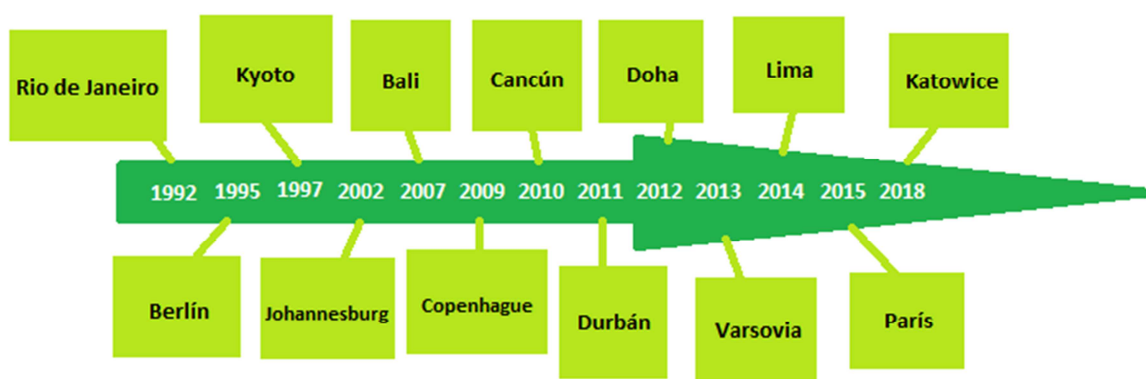
## 2.4. Canvi climàtic: política

Aquest apartat es troba referenciat al TFG que serveix de base per a aquest [1].

La UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) és l'organisme internacional encarregat de prendre decisions en l'àmbit de la lluita contra el canvi climàtic. Aquest organisme depèn directament de les Nacions Unides i està format per 197 països que en aquest context són anomenats com a "parts".

La UNFCCC va ser creada l'any 1992 a Rio de Janeiro (Brasil) i des de llavors s'han celebrat convencions anuals a diferents ciutats del món, essent la primera a Berlín (Alemanya) l'any 1995 i la darrera a Katowice (Polònia) durant el mes de desembre de 2018. Aquestes convencions han estat anomenades COP (*Conference of the Parties*).

Aquest organisme pren com a referència altres institucions independents com, per exemple, l'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), que confecciona informes que recullen l'estat de l'art sobre el canvi climàtic. Algun d'aquests informes ha estat emprat a la part final d'aquest projecte per a l'extracció de conclusions.



**Figura 7.** Eix cronològic d'algunes COP. Font: [1], [10] i elaboració pròpia.

Si alguna COP ha de ser destacada, aquesta és la COP3, celebrada a Kyoto (Japó) l'any 1997. És en aquesta convenció on neix el Protocol de Kyoto, el qual no va entrar en vigor fins el 2005, 90 dies després de que Rússia el ratifiqués. Va ser el primer document en el que es van fixar objectius quantitatius de reducció d'emissions jurídicament vinculants per als països industrialitzats.

També és especialment rellevant la COP21, celebrada a París (França) l'any 2015. És d'aquesta convenció d'on surt l'Acord de París, que presenta el següent objectiu en el seu Article 2 [11]:

*“1. El present Acord, en millorar l'aplicació de la Convenció, inclòs l'assoliment del seu objectiu, té per objecte reforçar la resposta mundial a l'amenaça del canvi climàtic, en el context del desenvolupament sostenible i dels esforços per eradicar la pobresa, per a això:*

- a) Mantenir l'augment de la temperatura mitjana mundial molt per sota de 2 °C respecte als nivells preindustrials, i prosseguir els esforços per a limitar aquest augment de la temperatura a 1,5 °C respecte als nivells preindustrials, reconeixent que això reduiria considerablement els riscos i els efectes del canvi climàtic;*
- b) Augmentar la capacitat d'adaptació als efectes adversos del canvi climàtic i promoure la resiliència al clima i un desenvolupament amb baixes emissions de gasos d'efecte hivernacle, d'una manera que no comprometi la producció d'aliments; i*
- c) Situar els fluxos financers en un nivell compatible amb una trajectòria que condueixi a un desenvolupament de resiliència al clima i amb baixes emissions de gasos d'efecte hivernacle.*

*2. El present Acord s'aplicarà de manera que reflecteixi equitat i el principi de les responsabilitats comuns però diferenciades i les capacitats respectives, a la llum de les diferents circumstàncies nacionals.”*

Per tal d'assolir aquest objectiu, es defineix al mateix Acord de París en el seu article 4 [11] que “[...] les emissions mundials de gasos d'efecte hivernacle assoleixin el seu punt màxim el més aviat possible, tenint present que les Parts que són països en desenvolupament trigaran més en aconseguir-ho, i a partir d'aquest moment reduir ràpidament les emissions de gasos d'efecte hivernacle [...] per a assolir un equilibri entre les emissions antropogèniques per les fonts i l'absorció antropogènica pels embornals en la segona meitat del segle [...]”.

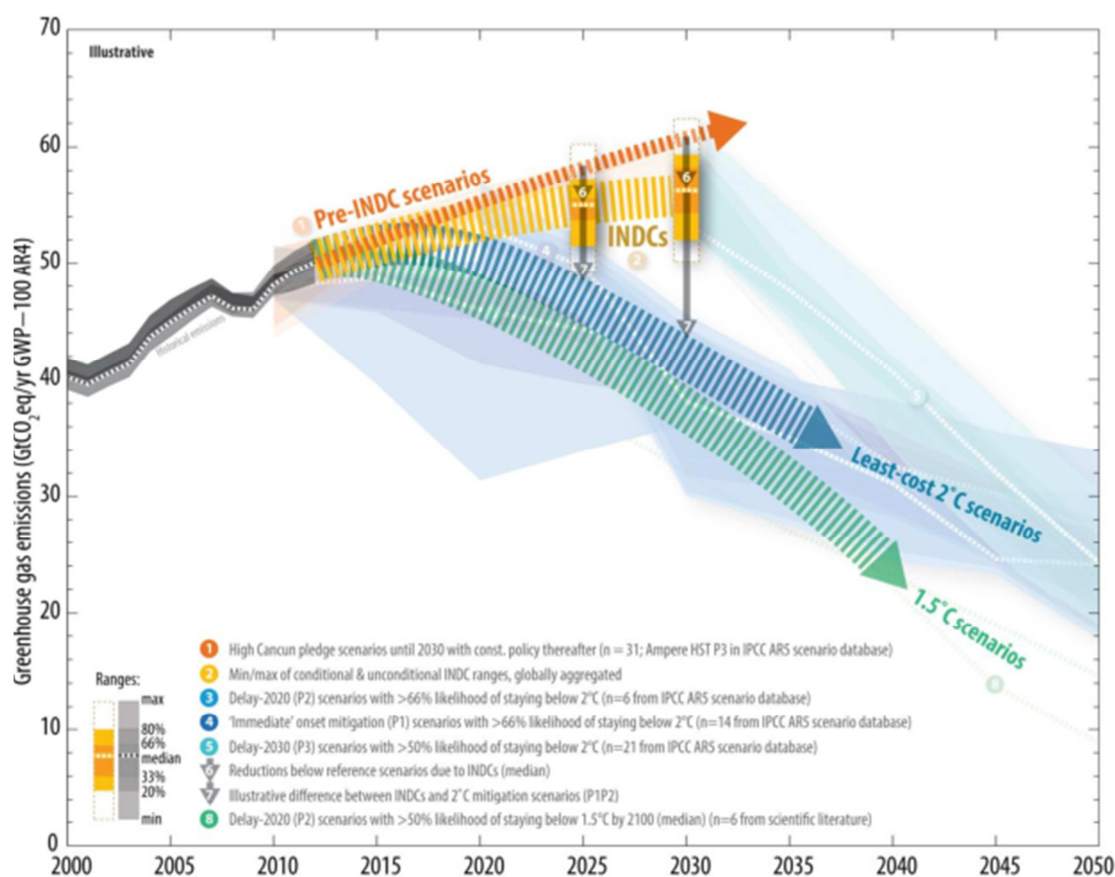
Per a l'assoliment de l'objectiu de reducció d'emissions, el propi Acord de París es basa en les anomenades NDCs (*Nationally Determined Contributions*). Aquests compromisos de reducció d'emissions són adoptats per cadascuna de les Parts i han de ser avaluats de forma contínua cada 5 anys per tal de decidir si l'objectiu marcat de limitar l'increment de la temperatura en 2 °C és assolible o si, contràriament, s'han de redefinir els compromisos per tal de fer-los més ambiciosos.



**Figura 8.** Logotip de la COP21 a París l'any 2015. Font: [1] i [12].

L'Acord de París va entrar en vigor el 4 de novembre de 2016, quan un nombre de Parts equivalent al 55 % de les emissions totals de gasos d'efecte hivernacle el van ratificar, tal i com estableix el propi Acord.

A la mateixa COP21 es va tractar la insuficiència de les mesures de mitigació d'emissions presentades a les INDCs (*Intended Nationally Determined Contributions*), prèvies a les NDCs. Aquestes recullen les intencions de contribució a la mitigació de cada país per al període entre 2020 i 2030. L'efecte d'agregar aquestes INDCs porta a un nivell d'emissions molt superior al requerit per l'escenari futur que fixa el límit d'augment de temperatura en 2 °C [13].



**Figura 9.** Comparativa d'emissions de futur entre escenaris de les INDCs i escenaris de 1,5 °C i 2 °C. Font: [1] i [13].

A l'última COP, la COP24, celebrada el desembre de 2018 a Katowice (Polònia), es va aprovar el "Paris Rulebook", és a dir, els reglaments que permetran posar en marxa l'acord de París a partir de l'any 2020.



## 2.5. Identitat de Kaya

*Aquest apartat es troba referenciat al TFG que serveix de base per a aquest [1].*

La Identitat de Kaya és una identitat matemàtica que expressa les emissions de CO<sub>2</sub> com el producte de quatre factors conductors que les originen. Tal i com s'ha exposat amb anterioritat, el CO<sub>2</sub> és el gas d'efecte hivernacle d'origen antropogènic més important. És per això que el present estudi es basa en les emissions d'aquest gas i utilitza la Identitat de Kaya com a principal eina de càlcul sobre la que actuar, obtenir resultats i extreure conclusions.

Aquesta expressió matemàtica va ser desenvolupada per l'economista expert en energia Yoichi Kaya, originari del Japó. Ho va fer al seu llibre *Environment, Energy, and Economy: strategies for sustainability* [14].

La Identitat de Kaya estableix que els quatre factors conductors que determinen les emissions de CO<sub>2</sub> són la intensitat de carboni, la intensitat energètica, el PIB (producte interior brut) per càpita i la població.

Aquesta presenta la següent forma:

$$Emissions\ CO_2 = \frac{Emissions\ CO_2}{Energia} \cdot \frac{Energia}{PIB} \cdot \frac{PIB}{Població} \cdot Població \quad (Eq. 1)$$

On l'energia és habitualment expressada com TPES (*Total Primary Energy Supply*).

Habitualment, els termes de l'expressió se substitueixen pels següents:

$$E = ic \cdot ie \cdot g \cdot P \quad (Eq. 2)$$

El paràmetre  $E$  es refereix a les emissions de CO<sub>2</sub>, normalment expressades en megatonnes de diòxid de carboni (Mt CO<sub>2</sub>).

El paràmetre  $ic$  fa referència a la intensitat de carboni. Aquesta es defineix com el quocient entre emissions de CO<sub>2</sub> i energia primària emprada per a la satisfacció energètica d'un territori. En funció de la font d'energia utilitzada, aquesta varia, essent el carbó una de les fonts amb major intensitat de carboni, seguit pel petroli i el gas natural, i tenint a l'extrem contrari les energies renovables o l'energia nuclear. S'expressa en Mt CO<sub>2</sub>/EJ.

$$ic = \frac{Emissions\ CO_2}{TPES} \quad (Eq. 3)$$

Aquest factor conductor és especialment important en aquest estudi, ja que és el que es modifica a l'hora de crear escenaris de futur d'emissions alternatius al tendencial. A més, aquí hi intervé el vector energètic, que és la distribució de les diferents fonts d'energia dins del valor de TPES, el qual és estudiat i modificat en la creació d'escenaris de futur. La seva explicació es pot trobar més detallada al proper capítol.

El paràmetre  $ie$  representa la intensitat energètica. Aquesta indica la relació entre l'energia primària necessària per a la producció d'una unitat de guany econòmic. En altres paraules, és un factor dependent de l'eficiència de les centrals generadores. Si una central presenta una eficiència elevada, la seva intensitat energètica associada és menor. S'expressa en EJ/milers de milions de \$.

$$ie = \frac{TPES}{PIB} \quad (\text{Eq. 4})$$

Aquest paràmetre és l'utilitzat a l'hora de crear els escenaris de futur alternatius de l'anterior TFG [1], emprats a la part final d'aquest treball per combinar-los amb els obtinguts en el present estudi.

El paràmetre  $g$  fa referència al PIB per càpita. Aquest és l'indicador de la riquesa d'un territori, expressant el poder adquisitiu a nivell econòmic per cada habitant d'aquest territori. S'expressa en milers de milions de \$/milions d'habitants.

$$g = \frac{PIB}{Població} \quad (\text{Eq. 5})$$

Igual que en el cas de la intensitat energètica, aquest paràmetre és l'utilitzat a l'hora de crear els escenaris de futur alternatius de l'anterior TFG [1], emprats a la part final d'aquest treball per combinar-los amb els obtinguts en el present estudi.

Finalment, el paràmetre  $P$  es refereix a la població total d'un territori. S'expressa en milions d'habitants.

## 2.6. Escenaris de futur

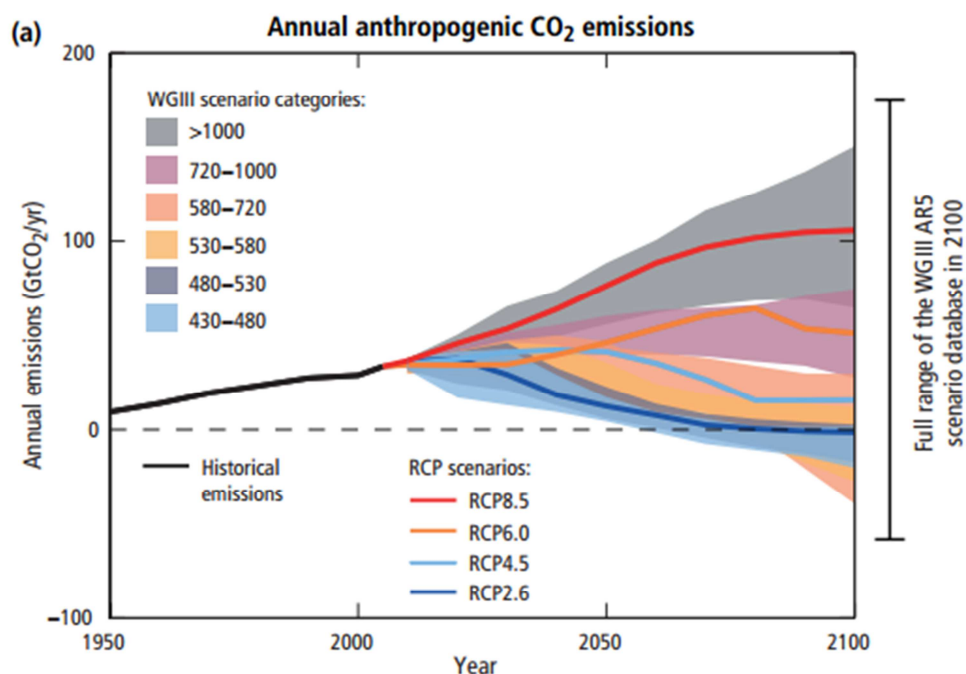
*Aquest apartat es troba referenciat al TFG que serveix de base per a aquest [1].*

L'IPCC (organisme presentat anteriorment) ha confeccionat fins a cinc informes d'avaluació. Aquests ex coneixen com AR (*Assessment Report*). En ells, s'hi han exposat diferents conclusions de la comunitat científica sobre el canvi climàtic que ocasionalment han servit com a punt de partida a les convencions de la UNFCCC. A mode d'exemple, a l'AR4 es va relacionar directament la concentració de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera amb l'increment de la temperatura mitjana del planeta.

Entre d'altres aportacions, destaca una introduïda a l'AR5, elaborat entre els anys 2014 i 2015., just abans de la celebració de la COP21 a París. En aquest informe es van definir escenaris de futur d'emissions de CO<sub>2</sub> anomenats RCPs (*Representative Concentration Pathways*) que mostren quantitativament quins nivells d'emissions d'origen antropogènic porten fins els diferents increments de la temperatura mitjana del planeta.

Es van publicar quatre escenaris: RCP2.6, RCP4.5, RCP6 i RCP8.5. El número que apareix al títol de cada escenari indica el forçament radiatiu de l'any 2100 respecte a nivells anteriors a l'era industrial (any 1750).

A la següent figura es poden observar els nivells d'emissions dels diferents escenaris creats, així com la concentració de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera en ppm associada a cadascun d'aquests.



**Figura 10.** Representació gràfica de les emissions de CO<sub>2</sub> anuals associades a cada escenari RCP, així com de les concentracions de CO<sub>2</sub> equivalent en ppm. Font: [1] i [15].

Prenent com a referència l'objectiu marcat per l'Acord de París de no superar l'augment de temperatura de 2 °C, únicament és compatible l'escenari de futur RCP2.6. Aquest presenta els menors nivells d'emissions en comparació amb tots els altres.

L'escenari RCP2.6 estableix l'increment de temperatura en els 2 °C comentats i limita la concentració de CO<sub>2</sub> equivalent a 475 ppm i la de CO<sub>2</sub> en 421 ppm, ambdues per al 2100. A més, implica un forçament radiatiu de 2,6 W/m<sup>2</sup> i marca amb una probabilitat superior al 66 % que es podrà complir l'objectiu de no augmentar la temperatura en més de 2 °C si s'aconsegueixen limitar les emissions

acumulades des de l'inici de la Revolució Industrial fins a finals del segle XXI a 2900 Gt CO<sub>2</sub>. Donat que en l'actualitat ja s'han superat les 2000 Gt CO<sub>2</sub>, queden per emetre com a màxim, 1000 Gt CO<sub>2</sub> més.

A continuació es mostren una taula i un gràfic que recullen els increments de temperatura associats a aquests escenaris RCP:

CO <sub>2</sub> -eq Concentrations in 2100 (ppm CO <sub>2</sub> -eq) <sup>f</sup> Category label (conc. range)	Relative position of the RCPs <sup>d</sup>	Likelihood of staying below a specific temperature level over the 21st century (relative to 1850–1900) <sup>4*</sup>			
		1.5°C	2°C	3°C	4°C
450 (430 to 480)	RCP2.6	More unlikely than likely	Likely	Likely	Likely
500 (480 to 530)		Unlikely	More likely than not		
550 (530 to 580)			About as likely as not		
(580 to 650)			More unlikely than likely <sup>f</sup>		
(650 to 720)	RCP4.5		Unlikely	More likely than not	
(720 to 1000) <sup>b</sup>	RCP6.0	Unlikely <sup>a</sup>		More unlikely than likely	
>1000 <sup>b</sup>	RCP8.5		Unlikely <sup>a</sup>	Unlikely	More unlikely than likely

Figura 11. Correlació dels escenaris RCP amb la seva concentració de CO<sub>2</sub>, el seu increment de temperatura associat i la seva probabilitat. Font: [1] i [15].

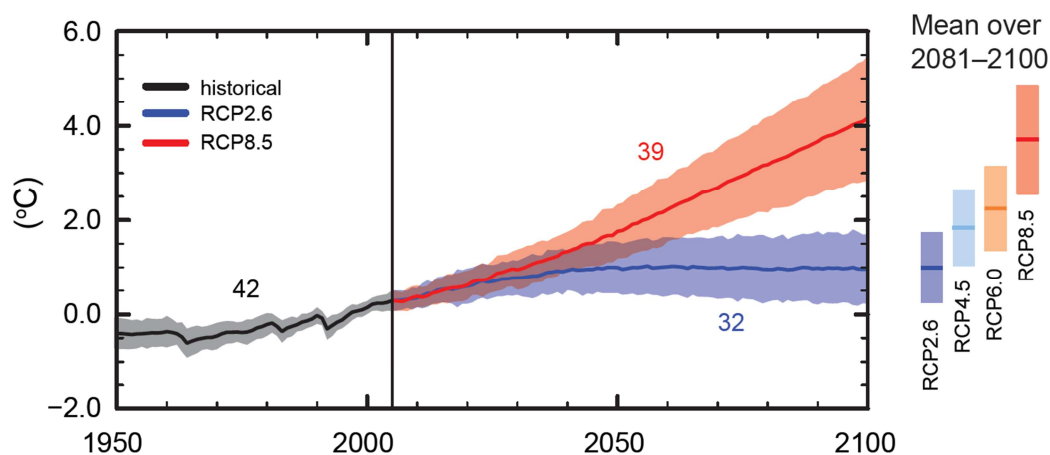
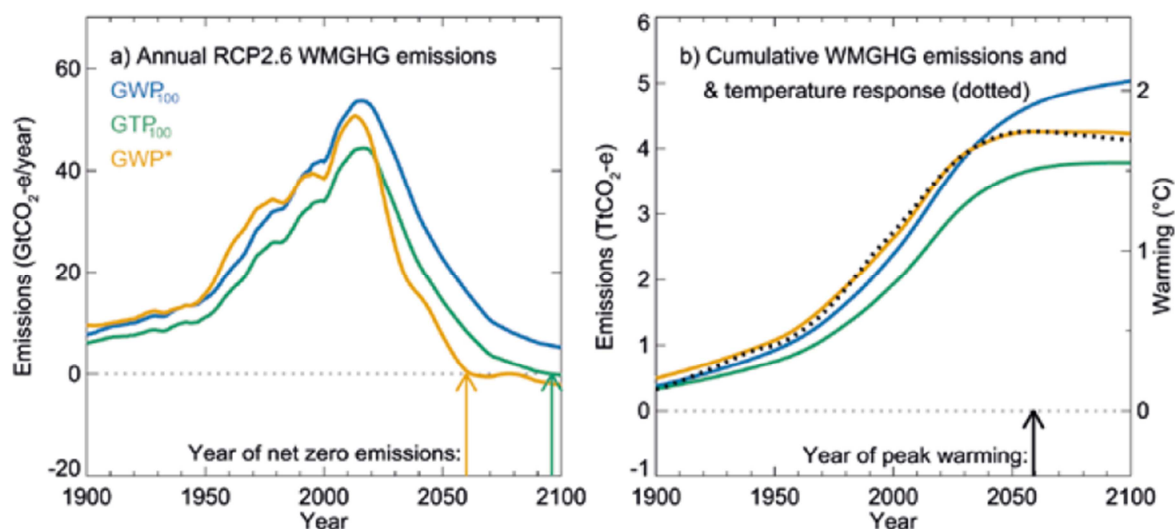


Figura 12. Associació dels escenaris RCP2.6 i RCP8.5 a un increment de temperatura des del 2005 fins el 2100. Font: [1] i [15].

L'escenari RCP2.6 és de vital importància per a les conclusions d'aquest treball, donat que en l'últim capítol es comparen els escenaris de futur d'emissions tendencials i alternatius elaborats en el present estudi amb aquest.

A la *Figura 11* es pot apreciar un nivell addicional que fa referència a un increment de temperatura de 1,5 °C, un objectiu que ja s'ha donat per inassolible. En els darrers mesos, el mateix IPCC ha publicat un informe especial (*Special Report*) sobre escenaris de futur per a aquest increment de temperatura [16].

En aquest informe es publica gran quantitat d'informació, gran part de la qual es pot resumir en aquesta gràfica:



**Figura 13.** Evolució de l'increment de temperatura i de les emissions de CO<sub>2</sub> compatibles amb els increments de temperatura dels 1,5 °C i dels 2 °C. Font: [8].

Per tal de no provocar un increment de la temperatura mitjana al planeta superior a 1,5 °C (corba verda en les dues representacions gràfiques anteriors), cal que el punt d'inflexió de les emissions (instant temporal en el que aquestes passen d'augmentar a reduir-se) es produeixi ja. A més, la reducció fins el 2100 hauria de ser dràstica, de manera que s'arribés, a aquest any, a un nivell nul d'emissions.



### 3. Selecció de dades

Aquest capítol té com a propòsit justificar l'elecció dels països de la conca mediterrània sobre els que s'ha aplicat l'estudi, així com la font de les dades de partida de cadascun d'ells.

#### 3.1. Països a estudiar

Aquest apartat es troba referenciat al TFG que serveix de base per a aquest [1].

##### 3.1.1. Països de la conca mediterrània

El mar Mediterrani és una massa d'aigua situada entre el sud d'Europa, el nord d'Àfrica i l'extrem occidental d'Àsia. Donades les diferències entre els països que el limiten pel fet de tractar-se de tres continents diferents, és d'esperar que hi hagi gran diversitat de característiques socioeconòmiques.

Els països de la conca mediterrània no es troben, majoritàriament, entre els majors emissors de CO<sub>2</sub> d'origen antropogènic del planeta, però el seu estudi ofereix la possibilitat de contrastar les diferents realitats socials i econòmiques esmentades, en funció de si es tracta d'un país desenvolupat o en vies de desenvolupament. A més, és especialment interessant l'estudi d'aquesta zona geogràfica, ja que el mar Mediterrani és una unitat climàtica en si mateixa i, degut a la confluència de tres continents diferents, no se la sol considerar a l'hora d'estudiar-la.

Els països inclosos a la conca mediterrània són els següents:

País	Capital	Continent	Superfície (km <sup>2</sup> )	Població al 2015 (milions d'hab.)
Albània	Tirana	Europa	28.748	2,90
Algèria	Alger	Àfrica	2.381.741	39,67
Bòsnia i Hercegovina	Sarajevo	Europa	51.197	3,81
Croàcia	Zagreb	Europa	56.594	4,24
Xipre	Nicòsia	Europa	9.251	1,17
Egipte	El Caire	Àfrica	1.001.450	91,51
França	París	Europa	643.801	64,40
Grècia	Atenes	Europa	131.957	10,96
Israel	Jerusalem	Àsia	20.770	8,06

Itàlia	Roma	Europa	301.338	59,80
Jordània	Amman	Àsia	89.342	7,60
Líban	Beirut	Àsia	10.400	5,85
Líbia	Trípoli	Àfrica	1.759.540	6,28
Malta	La Valletta	Europa	316	0,42
Mònaco	Mònaco	Europa	2	0,38
Montenegro	Podgorica	Europa	13.812	0,63
Marroc	Rabat	Àfrica	446.550	34,38
Portugal	Lisboa	Europa	92.090	10,35
Palestina	Ramala	Àsia	6.220	4,67
Eslovènia	Ljubljana	Europa	20.273	2,07
Espanya	Madrid	Europa	505.370	46,12
Síria	Damasc	Àsia	185.180	18,50
Tunísia	Tunis	Àfrica	163.610	11,25
Turquia	Ankara	Àsia	783.562	78,67

**Taula 3.** Llista de països de la conca mediterrània objecte d'estudi. Font: [1], [17], [18] i elaboració pròpia.

Per a una millor ubicació dels països de la llista, s'ha elaborat el següent mapa polític:



**Figura 14.** Mapa polític dels països de la conca mediterrània objecte d'estudi. Font: [1], [19] i elaboració pròpia.



Cal destacar que en la llista i el mapa anteriors s'hi inclou Portugal, tot i que no presenta un límit físic amb el mar Mediterrani. Això és degut a que se situa a la península Ibèrica i, per tant, molt proper a aquest mar, motiu pel qual se'l sol incloure en els estudis que es dediquen a analitzar aquesta zona geogràfica.

### **3.1.2. Països descartats**

El fet d'escollir com a zona d'estudi la conca mediterrània fa que s'inclouin països habitualment poc analitzats en projectes d'aquest àmbit. Això provoca que apareguin certes dificultats a l'hora de comptar amb totes les dades necessàries per a l'aplicació de l'anàlisi complet. Aquesta situació es dona en alguns dels països inicialment seleccionats, fet que condueix a descartar-los.

El període històric que serveix com a base de l'estudi és el comprès entre els anys 1990 i 2015. Això fa que s'hagi de descartar automàticament Montenegro, doncs aquest país neix el 2006 arrel de la seva separació de Sèrbia (abans Sèrbia i Montenegro) [20]. Aquest fet provoca que les dades entre 1990 i 2005 estiguin integrades dins de les dades de Sèrbia, el que impedeix realitzar un anàlisi comparatiu amb la resta de territoris.

Existeixen una sèrie de països que fins el 1991 van pertànyer a l'antic estat de Iugoslàvia, any en el que aquest país es va desintegrar [21]. Aquests són Bòsnia i Hercegovina, Croàcia i Eslovènia. Això no té afectacions, però, en el recull de dades.

També queda descartat el petit estat de Mònaco, ja que les dades d'aquest país solen estar integrades a les dades de França.

Per altra banda, hi ha diversos països que han presentat, en alguns dels anys del període, conflictes polítics que en algun cas han acabat en guerres. El cas més crític és el de Palestina [22], especialment pel fet que encara no és reconegut totalment en l'àmbit internacional. Hi ha dades necessàries per a l'estudi que són inexistent i, d'entre les publicades, no totes presenten la fiabilitat suficient com per ser emprades en un estudi d'aquestes característiques. També hi ha manca de dades en els darrers anys per a Líbia i Síria, donats els conflictes viscuts en el marc de la "primavera àrab" [23]. També han passat per aquest procés Egipte i Tunísia, tot i que en aquests casos sí que es disposa de dades, fet que no assegura la fiabilitat total d'aquestes.

En definitiva, els països que queden fora de l'abast de l'estudi degut a les raons anteriorment exposades són:

- Montenegro
- Mònaco
- Palestina



- Líbia
- Síria

Això modifica el mapa polític anteriorment mostrat, quedant com segueix:



**Figura 15.** Mapa polític dels països de la conca mediterrània objecte d'estudi definitius. Font: [1], [19] i elaboració pròpia.

### 3.1.3. Agregats de països

L'OCDE (Organització per la Cooperació i el Desenvolupament Econòmic) fixa una distinció entre països desenvolupats i països en vies de desenvolupament en base a diferents paràmetres [24].

Donada la zona geogràfica objecte d'estudi, en aquest projecte es treballa sobre països d'ambdós grups. Aquesta combinació proporciona l'oportunitat d'extreure conclusions a través de la comparació dels factors conductors de la Identitat de Kaya.

Així doncs, el posterior anàlisi històric i la conseqüent creació d'escenaris futurs d'emissions, s'aplicaran sobre els 19 països definitius que han quedat després de l'exclusió d'alguns d'ells. Aquest anàlisi complet també s'efectuarà sobre els agregats de països mostrats a continuació, que són: països desenvolupats, països en desenvolupament i total de països de la conca mediterrània.

TOTAL	
Països desenvolupats	Països en desenvolupament
França, Grècia, Israel, Itàlia, Portugal, Eslovènia, Espanya i Turquia	Albània, Algèria, Bòsnia i Hercegovina, Croàcia, Xipre, Egipte, Jordània, Líban, Malta, Marroc i Tunísia

**Taula 4.** Classificació dels països de la conca mediterrània definitius en funció del seu grau de desenvolupament segons l'OCDE. Font: [1], [24] i elaboració pròpia.

## 3.2. Recopilació de dades

L'aplicació de la ja anteriorment presentada Identitat de Kaya en la metodologia de càlcul d'aquest projecte requereix de la recopilació i classificació de gran quantitat de dades, donat que hi intervenen diferents magnituds, i tenint en compte que es necessiten dades entre els anys 1990 i 2015 per a 19 països diferents i els seus agregats.

Donada la tipologia de dades que es requereixen, existeixen diferents organismes i institucions que les publiquen. En molts casos, hi ha lleugeres diferències entre ells, degudes a la consideració o no de diversos factors que poden influir en els valors numèrics.

En aquest punt es pretén justificar l'elecció de diferents fonts bibliogràfiques en detriment d'unes altres. Un anàlisi més exhaustiu d'aquestes fonts es pot trobar al segon capítol de la referència bibliogràfica [25].

Per últim, val a dir que per a l'anàlisi de l'històric, així com per als escenaris de futur, en aquest treball es necessiten únicament les dades de vector energètic, que mostren la proporció del valor total de TPES, però es justifica la font de les altres magnituds de la Identitat de Kaya, donat que a la part final, es combinen aquests escenaris amb els obtinguts al TFG anterior [1], on sí que s'utilitzaven totes elles.

### 3.2.1. Vector energètic / TPES

S'entén per vector energètic la repartició entre les diferents fonts d'energia del valor total d'energia primària subministrada (TPES) per un territori.

El valor total de TPES surt de la següent equació:

$$TPES = P + I - E - V_{TI} - A_{TI} \pm C_S \quad (\text{Eq. 6})$$

On:

$P$  : producció d'energia primària

$I$  : importacions

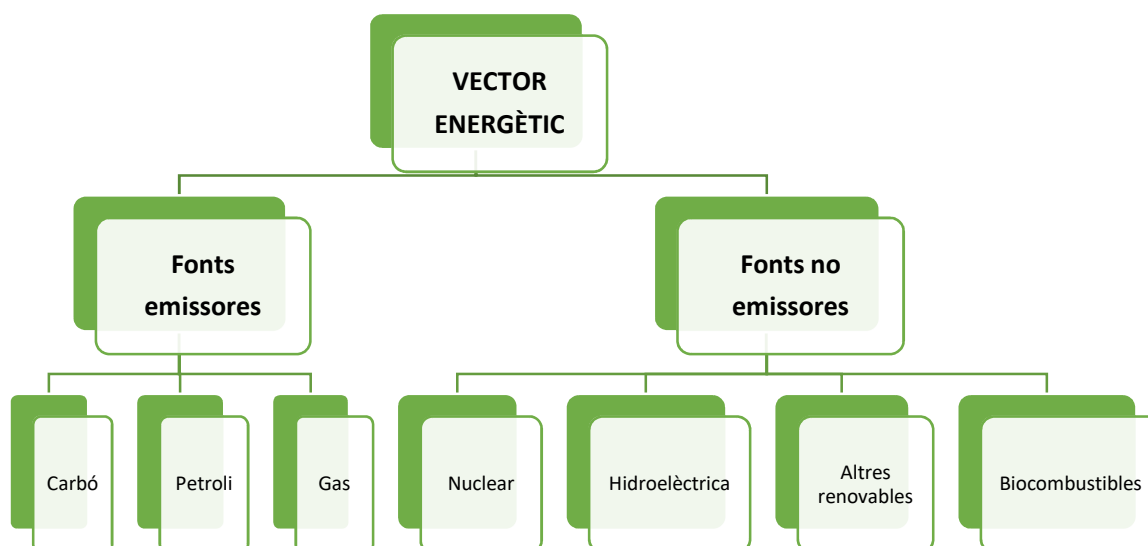
$E$  : exportacions

$V_{\eta}$  : combustible subministrat a la navegació de vaixells

$A_{\eta}$  : combustible subministrat a la navegació aèria

$C_S$  : canvis d'estoc

I les fonts d'energia entre les que es reparteix el valor de TPES són:



**Figura 16.** Fonts d'energia del vector energètic. Font: elaboració pròpia.

Cal tenir especial cura amb les dades del petroli, doncs en aquest cas s'han de sumar, a part del propi TPES del petroli, el TPES dels productes refinats i el TPES de les transferències (productes que sorgeixen de la mescla d'altres, petrolis importats de processos de refinament i productes reutilitzats).

La IEA (*International Energy Agency*) publica dades d'energia [26] en ktoe (quilotones equivalents de petroli), tot i que aquestes es converteixen a EJ (exajoules), que és la unitat que s'acaba utilitzant, mitjançant un factor de conversió.

A continuació es mostra l'exemple d'Albània al 2015 de la forma de publicar aquestes dades de la IEA:

	Coal*	Crude oil*	Oil products	Natural gas	Nuclear	Hydro	Geothermal, solar, etc.	Biofuels and waste	Electricity	Heat	Total**
Production	34	1279	0	27	0	507	12	214	0	0	2073
Imports	61	0	1220	0	0	0	0	31	203	0	1515
Exports	0	-987	-164	0	0	0	0	-11	-82	0	-1245
International marine bunkers***	0	0	-20	0	0	0	0	0	0	0	-20
International aviation bunkers***	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	-2
Stock changes	0	-16	-116	0	0	0	0	0	0	0	-132
<b>TPES</b>	<b>95</b>	<b>276</b>	<b>917</b>	<b>27</b>	<b>0</b>	<b>507</b>	<b>12</b>	<b>234</b>	<b>120</b>	<b>0</b>	<b>2190</b>
Transfers	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Statistical differences	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1
Electricity plants	0	0	0	0	0	-507	0	0	507	0	0
CHP plants	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heat plants	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gas works	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oil refineries	0	-276	264	0	0	0	0	0	0	0	-12
Coal transformation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Liquefaction plants	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Other transformation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energy industry own use	0	0	-14	-16	0	0	0	0	-13	0	-43
Losses	0	0	0	0	0	0	0	0	-107	0	-107

Figura 17. Dades de TPES en ktoe de la IEA per a Albània a l'any 2015. Font: [26].

Aquestes dades es poden trobar ordenades per als països objecte d'estudi al ANNEX I/EXCEL REFERENCIA TFG-2/BALANÇ (ktoe).

### 3.2.2. Emissions de CO<sub>2</sub>

Com s'ha comentat en l'abast del treball, l'estudi se centra exclusivament en les emissions de diòxid de carboni que provenen de la crema de combustibles fòssils (més del 90 % de les emissions totals d'origen antropogènic d'aquest gas). Els combustibles fòssils majoritaris són el carbó, el gas i el petroli (incloent els seus derivats).

De forma genèrica, la crema de combustibles fòssils es dona en els següents àmbits:

- Indústria de l'energia
- Indústries manufactureres i de la construcció
- Transport
- Altres sectors i activitats no especificades

En aquest projecte no es necessiten dades d'emissions en si, sinó valors de factors d'emissió, que permeten transformar dades d'energia (TPES en aquest cas) en emissions. Aquests factors s'utilitzen només per a aquelles fonts del vector energètic associades a emissions, que en aquest cas són carbó, petroli i gas:

Factors d'emissió	kg CO <sub>2</sub> /MJ	Mt CO <sub>2</sub> /ktoe
Carbó	0,09	0,0038
Petroli	0,07	0,0029
Gas Natural	0,05	0,0021

Taula 5. Factors d'emissió per a carbó, petroli i gas. Font: [27].

La IEA (*International Energy Agency*) publica dades d'emissions provinents exclusivament de la crema de combustibles fòssils [28], motiu pel qual va ser utilitzada com a font bibliogràfica al TFG anterior [1]. En aquest cas, només s'utilitzen aquestes dades com a comparativa amb les dades d'emissions obtingudes a través dels factors d'emissió.

Altres fonts per a aquesta magnitud són el Banc Mundial o la UNFCCC.

Les emissions s'expressen en Mt CO<sub>2</sub> i es poden trobar ordenades per als països objecte d'estudi al ANNEX I/EXCEL REFERENCIA TFG-2/EMISSIONS CO2.

### 3.2.3. Població i Producte Interior Brut (PIB)

Tant la població com el PIB són dades que no s'utilitzen explícitament en aquest projecte, però en el darrer capítol es fan comparacions amb dades obtingudes de càlculs on sí intervien aquests valors.

Per a la població s'utilitzen com a font les Nacions Unides, concretament el Departament d'Afers Econòmics i Socials (UN-DESA) [18], ja que aquest organisme elabora previsions de futur per a la població a cada país. La població s'expressa en milions d'habitants.

Respecte el PIB, és un indicador econòmic de la riquesa generada per un territori durant un interval de temps. En aquest cas, s'utilitza el PIB-PPA (PIB amb Paritat de Poder Adquisitiu), per tal de poder comparar de forma realista aquesta magnitud a diferents països que presenten un nivell econòmic molt diferent entre ells. Una explicació més completa d'aquesta magnitud es pot trobar al TFG anterior [1]. S'utilitza com a referència el Banc Mundial (WB) [29] i el dòlar internacional (\$) com a unitat.

## 4. Anàlisi de l'evolució històrica

L'objectiu d'aquest capítol és analitzar l'evolució històrica del vector energètic dels 19 països objecte d'estudi i dels seus agregats des del 1990 fins el 2015 (darrer any amb disponibilitat de dades), així com de les emissions de CO<sub>2</sub> i de la intensitat de carboni, calculades a partir d'aquest vector.

### 4.1. Metodologia de càlcul

Donat que les dades de vector energètic són directament les proporcionades per la IEA [26], l'únic que s'ha de fer és convertir-les de ktoe (unitat de la IEA) a EJ sabent que 1 ktoe equival a  $4,186 \cdot 10^5$  EJ.

Respecte les emissions, s'han d'utilitzar els factors de la *Taula 5*, multiplicant aquests pel valor de TPES en ktoe donat per la IEA (tant pel carbó com pel petroli i el gas). Ja que es vol tenir el resultat en Mt CO<sub>2</sub>, l'operació completa seria:

$$TPES_{X,Y} [\text{ktoe}] \cdot \text{factor emissió}_X [\text{Mt CO}_2/\text{ktoe}] = \text{Emissions}_{X,Y} [\text{Mt CO}_2] \quad (\text{Eq. 7})$$

On *X* és la font d'energia (carbó, petroli o gas) i *Y* l'any per al qual es calculen les emissions.

Per tal d'obtenir el total d'emissions de cada any, caldrà sumar les emissions de carbó, petroli i gas resultants de l'equació anterior.

Per últim, es pot calcular la intensitat de carboni per a cada any i cada país fent ús de l'*Equació 3*.

Per tal de calcular les mateixes magnituds per als agregats, s'han de sumar valors de TPES de cada país de l'agregat per una banda i valors d'emissions de cada país del mateix agregat per una altra i, seguidament aplicar de nou l'*Equació 3* per a cada any i cada agregat.

### 4.2. Evolució històrica del vector energètic

Es poden trobar el càlcul i la representació gràfica de totes les evolucions històriques del vector energètic al ANNEX I/EXCEL REFERENCIA TFG-2/*nom país* (o *nom agregat*) TPES.

A continuació es mostren alguns exemples de països amb vectors energètics a comentar:

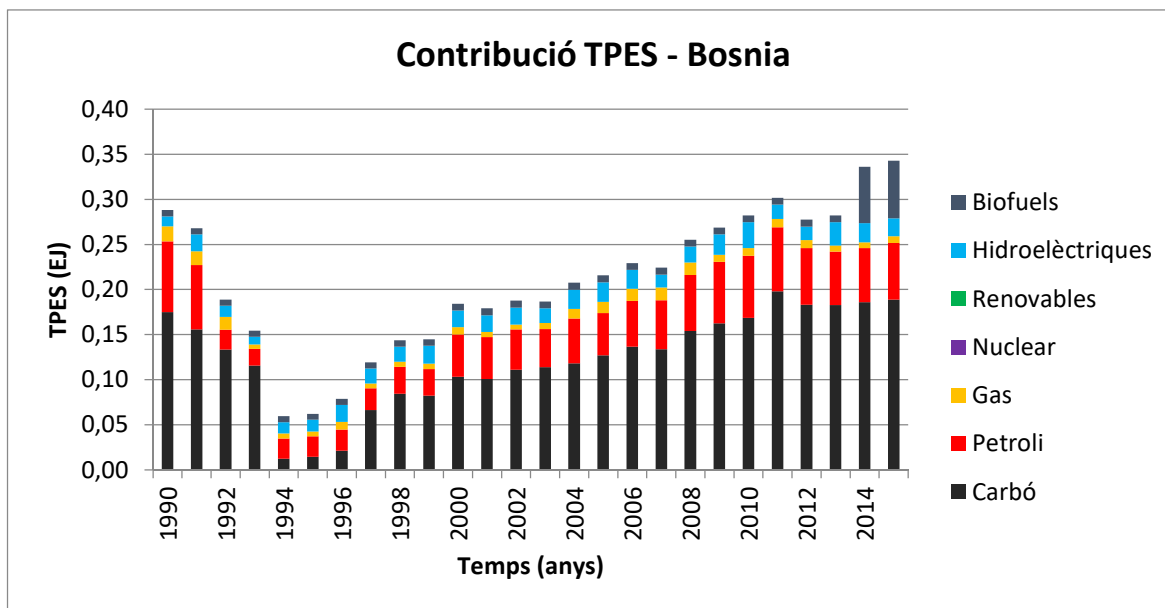


Figura 18. Vector energètic històric de Bòsnia.

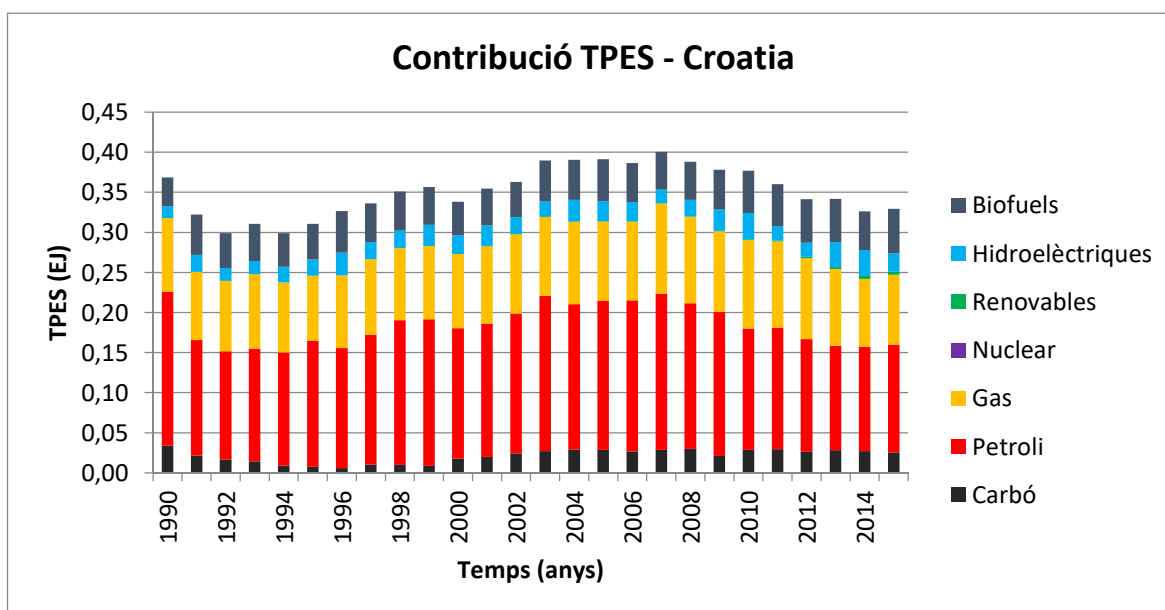


Figura 19. Vector energètic històric de Croàcia.

Aquests dos països tenen dues grans característiques en comú:

- No existeix contribució d'energia nuclear ni d'altres renovables més enllà de la hidroelèctrica (en el cas de Croàcia, els tres últims anys comencen a aparèixer). Aquest fet es repeteix en gran quantitat de països, especialment en vies de desenvolupament.



- Hi ha un descens important de TPES en l'inici de la dècada del 90 (en el cas de Bòsnia és molt més exagerat). Això és degut a la influència en aquests dos països de l'antiga Unió Soviètica, que justament va desaparèixer el 1991 [30] i a que aquests dos països pertanyien a la desmembrada Iugoslàvia [21].

A part d'aquestes semblances, s'aprecia com tots dos depenen majoritàriament de fonts emissores, però, tot i ser limítrofs, Croàcia depèn de petroli i gas, i Bòsnia de petroli i, sobretot, de carbó.

Un altre esdeveniment històric que marca l'evolució històrica dels vectors energètics és la crisi econòmica iniciada l'any 2008 [31]. En aquest estudi s'analitzen precisament dos dels països europeus que més van patir els seus efectes. Són Grècia i Portugal:

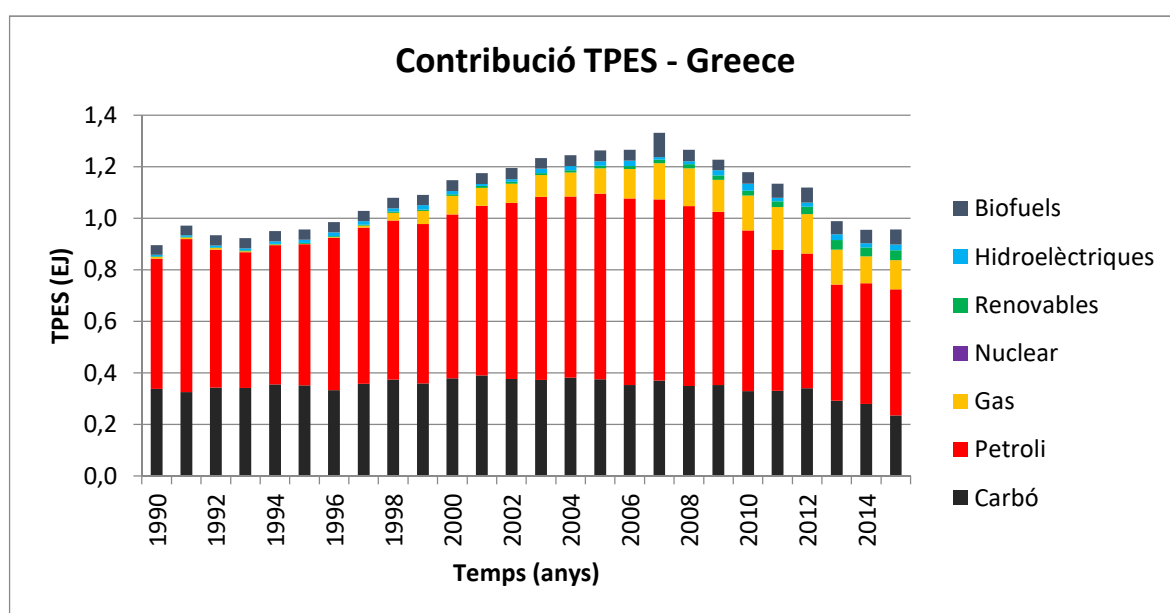


Figura 20. Vector energètic històric de Grècia.

L'any 2008, es produeix un punt d'inflexió en la tendència del TPES, que passa d'augmentar moderadament a reduir-se, tot i l'estabilitat en la proporció de les diferents fonts d'energia.

A part de l'exagerada dependència de petroli i carbó (amb l'entrada testimonial de les renovables en els darrers anys), cal destacar la diferència d'ordres de magnitud respecte els casos de Bòsnia i Croàcia, donada la major demanda energètica de Grècia.

Aquestes mateixes conclusions es poden extreure de la gràfica de Portugal:

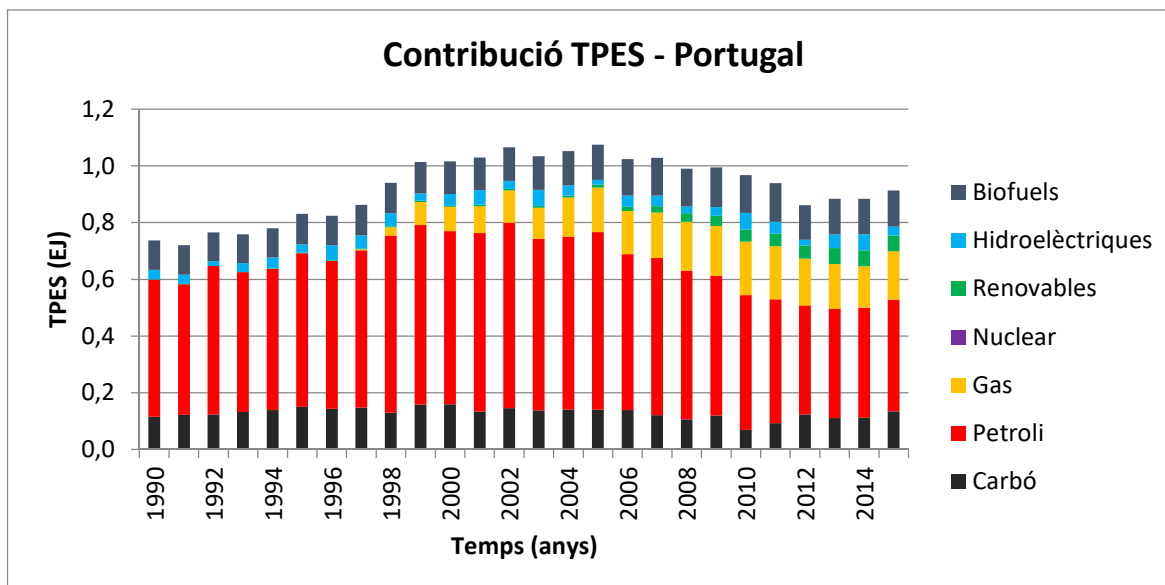


Figura 21. Vector energètic històric de Portugal.

També és especialment interessant l'anàlisi de França, donada la seva gran dependència de l'energia nuclear, apreciable en la següent gràfica, on es veu de forma menys marcada l'efecte de la crisi econòmica [31]:

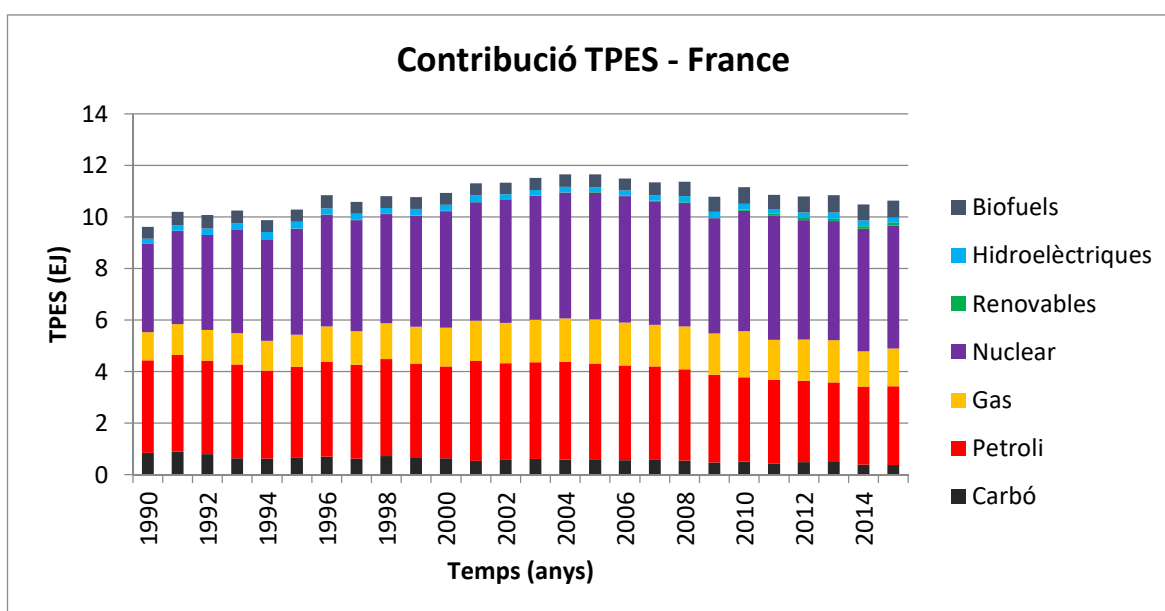


Figura 22. Vector energètic històric de França.

Per últim, per tal de tenir un exemple de vector energètic d'un país no europeu, el cas d'Algèria és el més destacable:

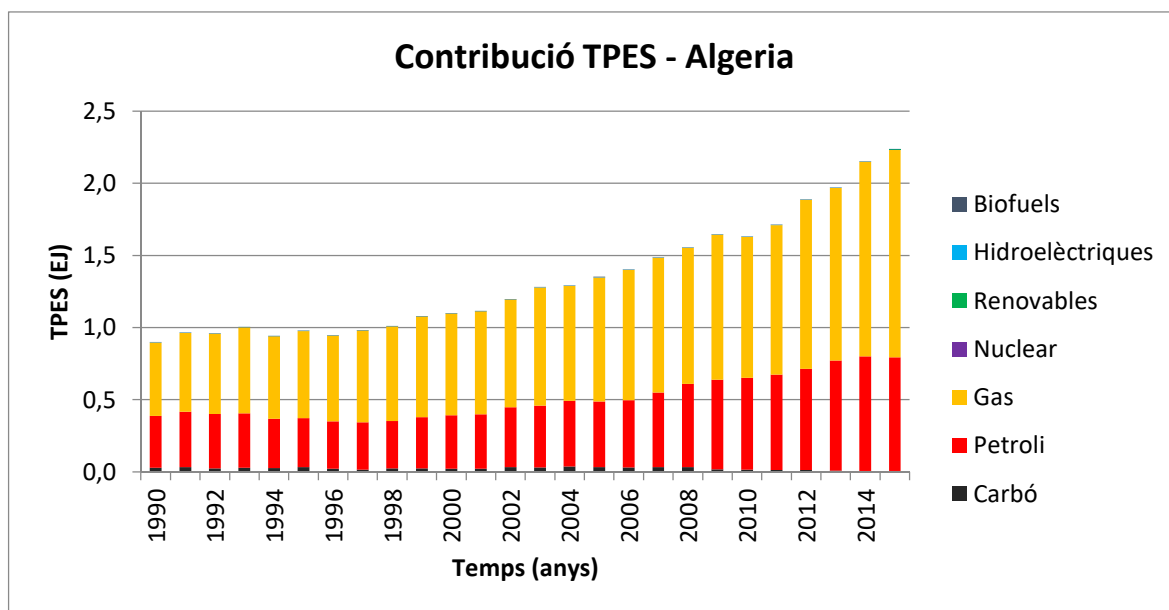


Figura 23. Vector energètic històric d'Algèria.

És un país en vies de desenvolupament que depèn exclusivament de gas i petroli. De fet, la seva disponibilitat d'aquestes fonts d'energia és tal, que a part de satisfer la seva pròpia demanda energètica, és un gran exportador d'aquests recursos.

La seva tendència de TPES és a l'alça i no hi ha previsió d'incorporar altres fonts d'energia a curt termini.

Els vectors d'aquests països es poden extrapolar als seus agregats (països desenvolupats, països en desenvolupament i total de països) i és que aquells països d'un mateix agregat segueixen, generalment, una tendència similar entre ells.

Per al cas dels desenvolupats, tres quartes parts del vector energètic segueixen depenent de fonts emissores (sobretot petroli i gas). I, tot i la progressió en matèria d'energies renovables en els últims anys, aquestes encara són una part insignificant del total.

El valor total de TPES es veu afectat per la crisi econòmica de 2008 [31], tot i que en els darrers dos anys s'ha tornat a estabilitzar.

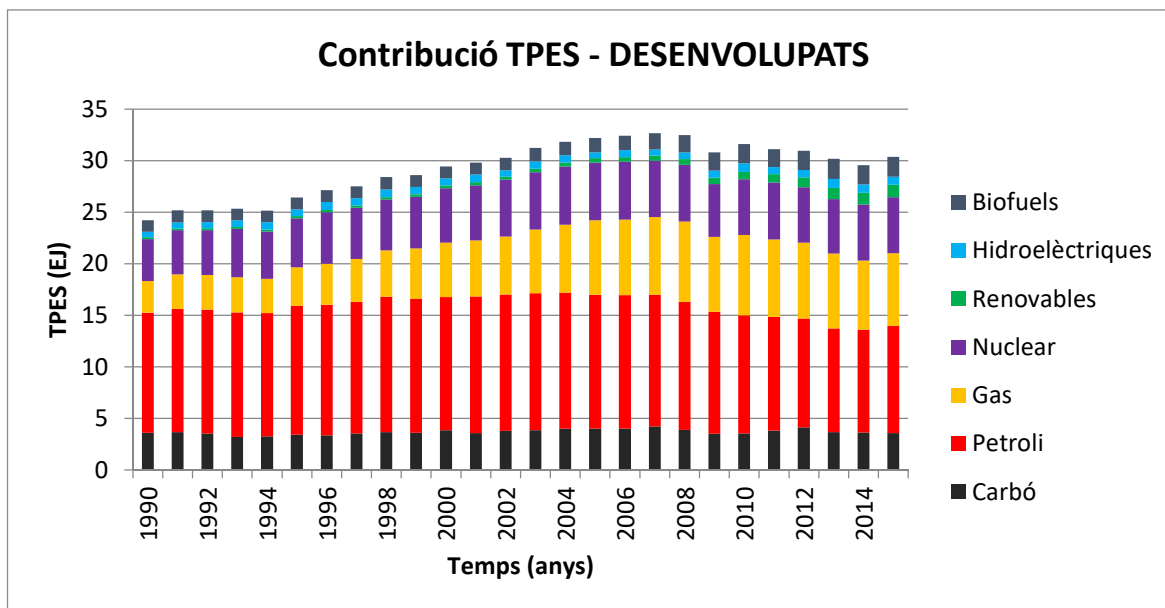


Figura 24. Vector energètic històric dels països desenvolupats.

Respecte els països en vies de desenvolupament, presenten una clara tendència ascendent, ni tan sols afectada per la crisi econòmica i el seu vector està format quasi exclusivament per petroli i gas a parts iguals:

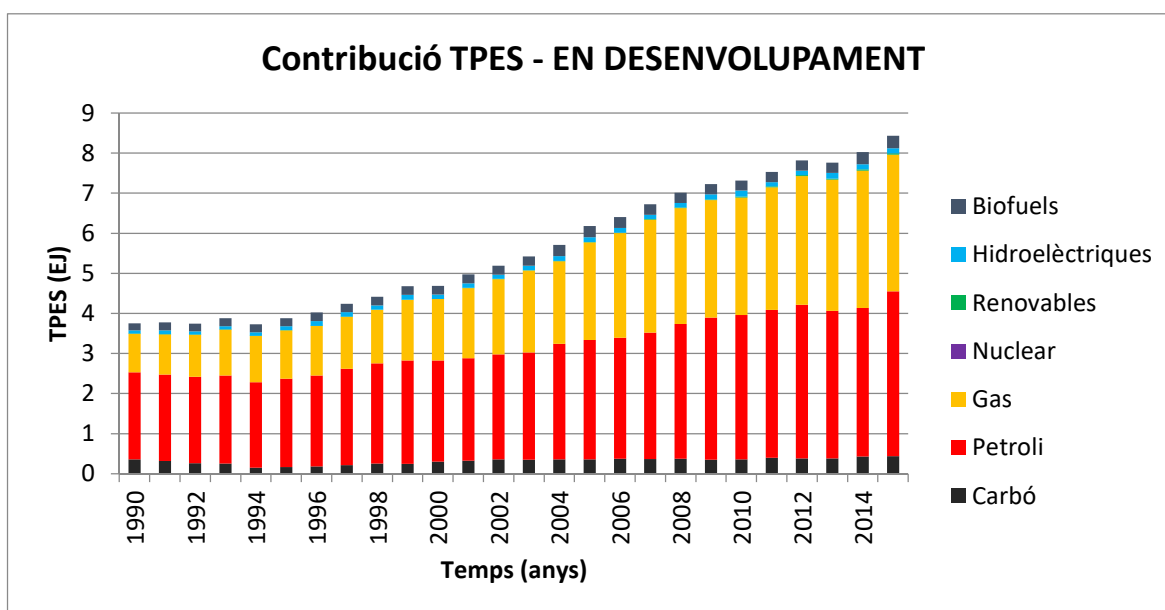


Figura 25. Vector energètic històric dels països en desenvolupament.

Per últim, el total de països de la conca mediterrània presenta un vector energètic històric molt semblant al dels desenvolupats i és que, d'entre tots els països estudiats, els inclosos al grup de desenvolupats representen la major part de les emissions del total, així com del TPES i del PIB i la

poplació, fet que provoca que la tendència dels desenvolupats sigui sempre la que marqui la del total. Aquest fet es repeteix constantment durant tots els estudis dels agregats en aquest projecte.

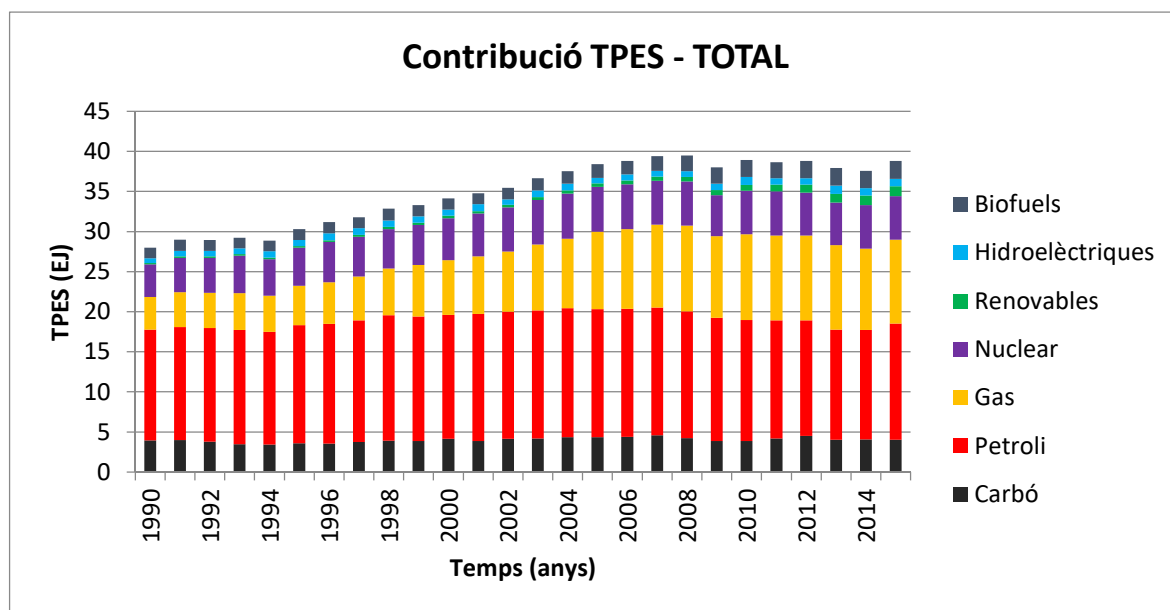


Figura 26. Vector energètic històric del total de països de la conca mediterrània.

Cal destacar, però, un cas particular, com és Turquia, un país amb tendències d'un estat en desenvolupament, però considerat com a desenvolupat (ja que pertany a l'OCDE i és un país Annex-I de la UNFCCC). Això provoca que l'agregat de desenvolupats es vegi lleugerament alterat i presenti els últims anys una estabilització del vector energètic que, si no fos per la influència de Turquia, seria una moderada reducció.

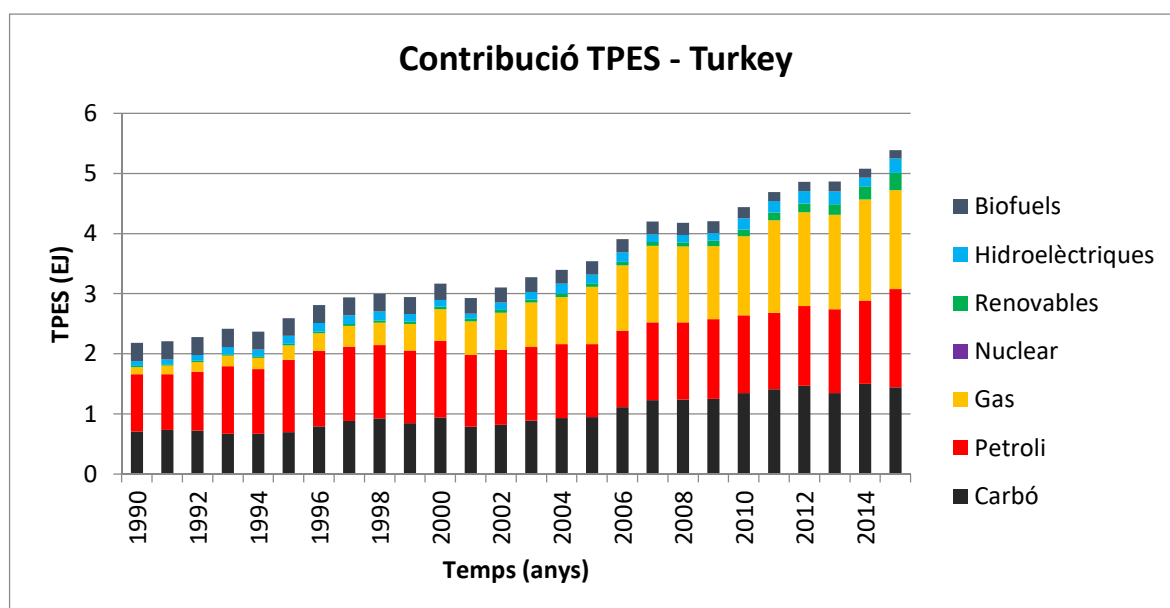


Figura 27. Vector energètic històric de Turquia.

### 4.3. Evolució històrica de les emissions

El càlcul i la representació gràfica de les emissions per a cada país i agregat d'aquests es pot trobar al ANNEX I/EXCEL REFERENCIA TFG-2/nom país (o nom agregat) EMISSIONS.

Donat que les emissions són directament proporcionals al TPES de les fonts d'energia emissores i aquestes suposen quasi la totalitat del vector energètic de tots els països durant el període històric estudiat, les evolucions obtingudes són com les del TPES. A continuació es mostren alguns exemples:

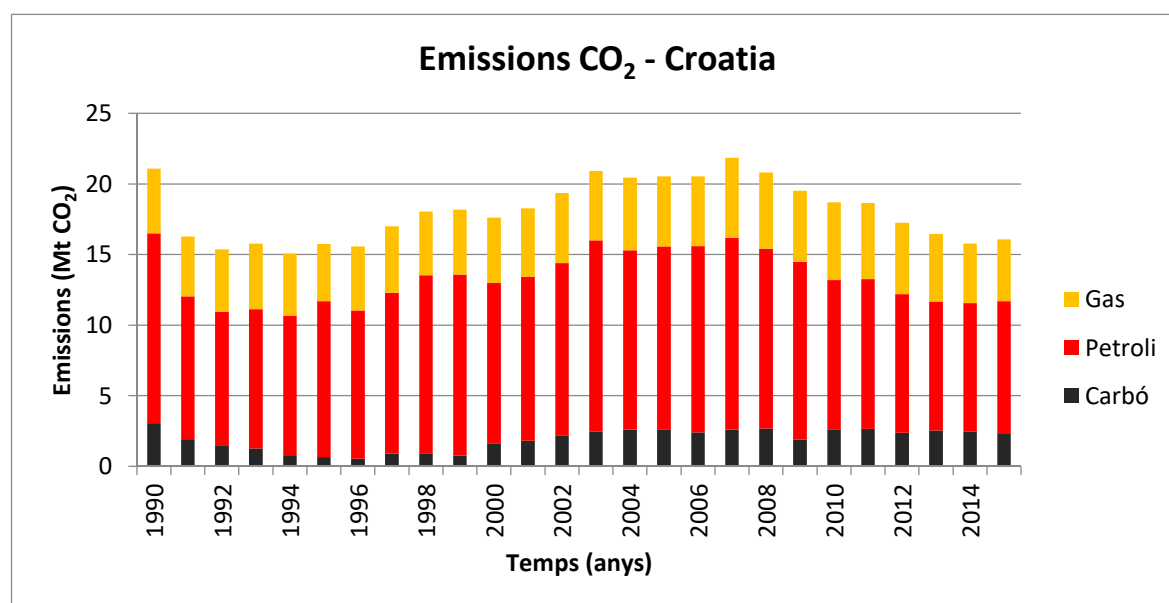


Figura 28. Emissions històriques de Croàcia.

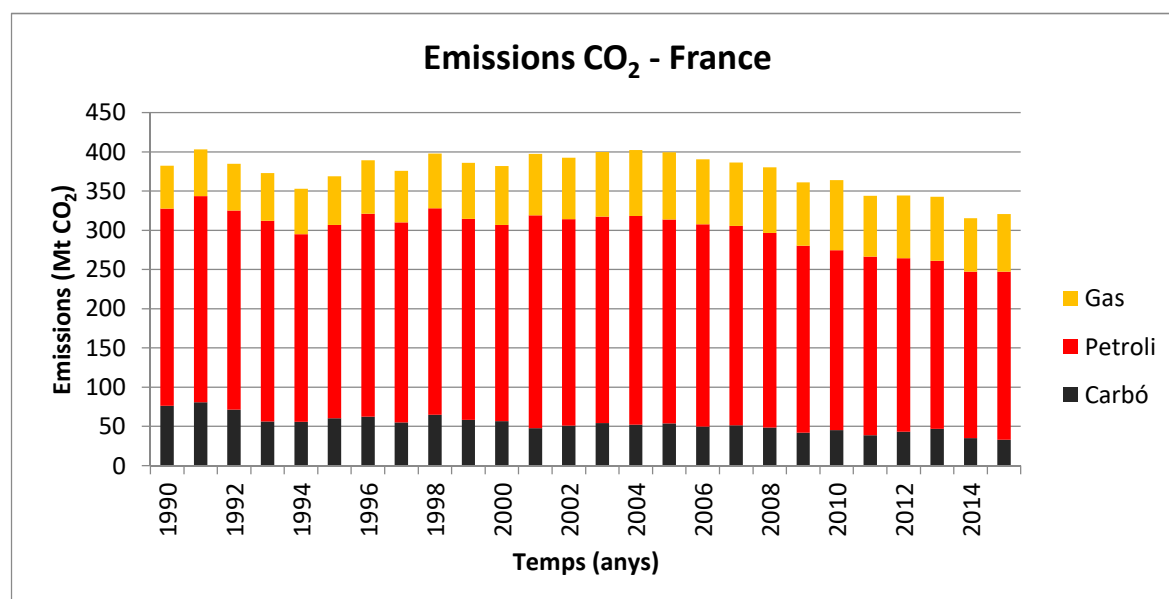


Figura 29. Emissions històriques de França.

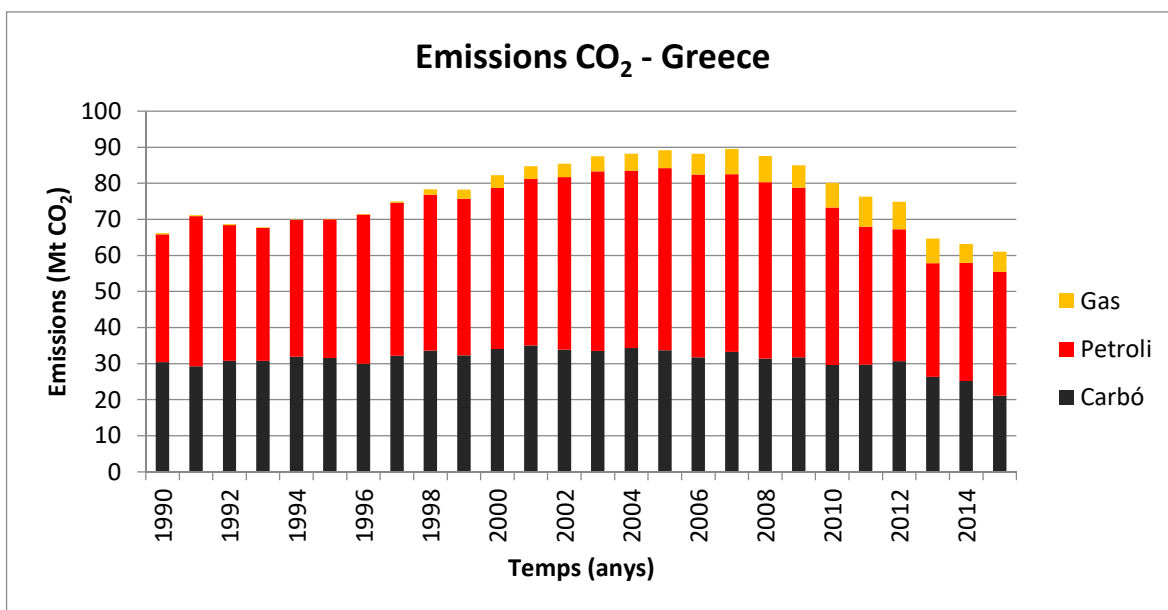


Figura 30. Emissions històriques de Grècia.

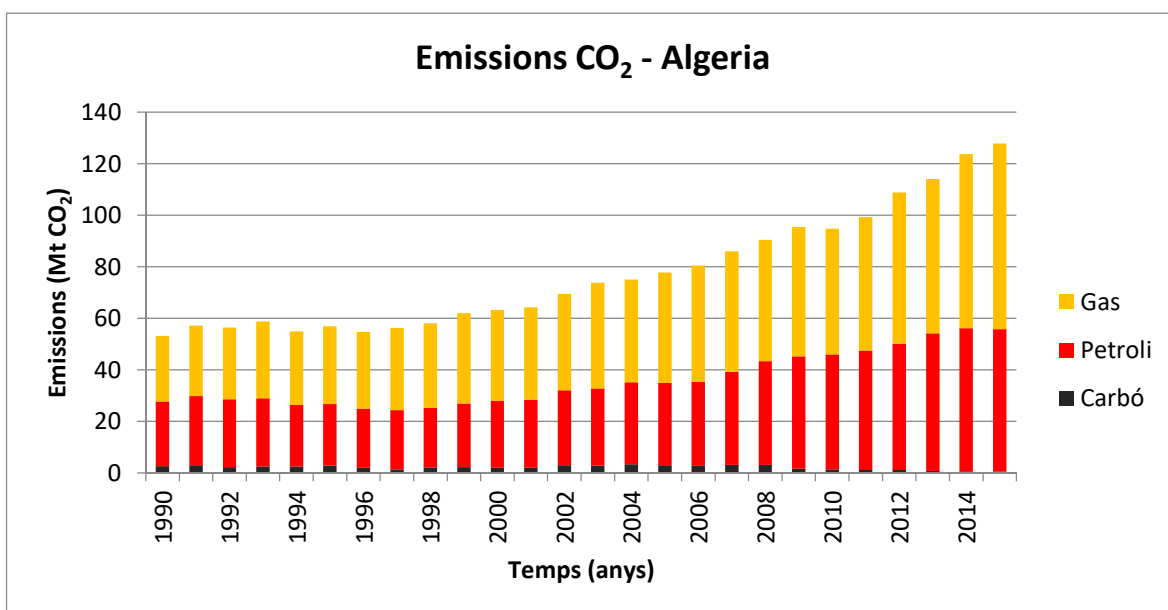


Figura 31. Emissions històriques d'Algèria.

En general, el carbó és la font emissora menys emprada (afortunadament, donat que té el factor d'emissió més elevat), essent petroli i gas els principals causants de les emissions. Amb l'extracte de països mostrats, la tendència d'emissions en els últims anys és a la baixa en tots els països europeus (el que no significa que tots siguin desenvolupats, doncs Croàcia, per exemple, es considera en desenvolupament), mentre que Algèria presenta un augment d'emissions cada cop més accelerat (el mateix que succeiria amb països com Egipte o Turquia).

Això es pot apreciar més clarament observant els gràfics dels agregats:

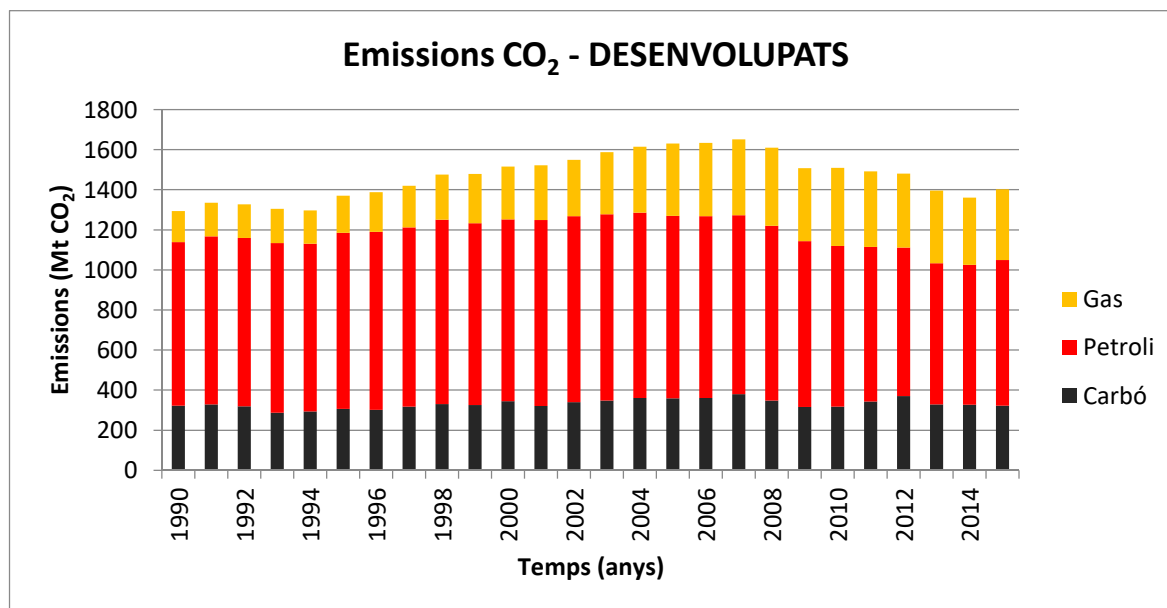


Figura 32. Emissions històriques dels països desenvolupats.

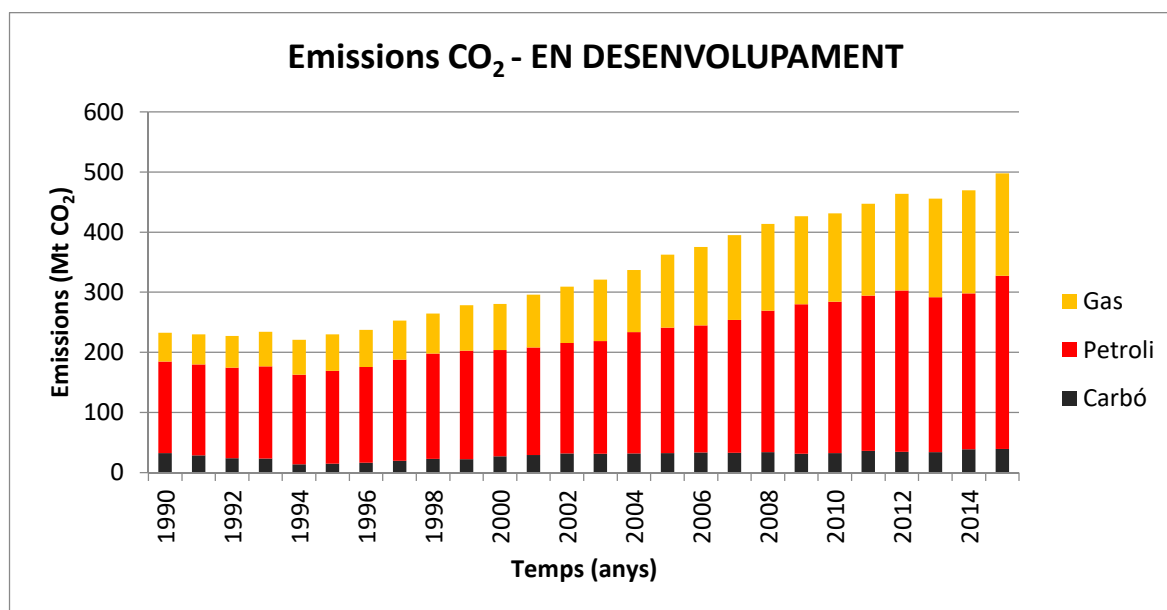


Figura 33. Emissions històriques dels països en desenvolupament.

Tal i com es preveia de l'observació dels països anteriors, els desenvolupats tenen tendència a disminuir les emissions, degut a la incursió de fonts renovables (tot i que encara sigui poc significativa), mentre que els països en vies de desenvolupament no han parat de fer créixer les emissions. Es confirma també el domini de petroli i gas per sobre del carbó.

Finalment, de nou són els desenvolupats els que marquen l'evolució del conjunt de tots els països:



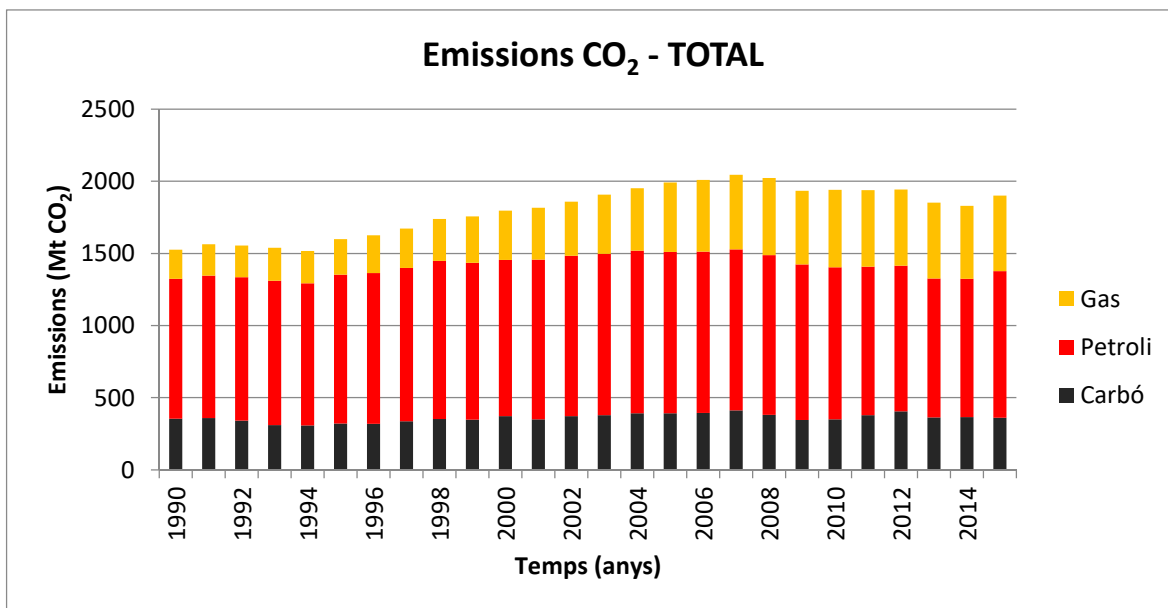


Figura 34. Emissions històriques del total de països de la conca mediterrània.

Val a dir que en el TFG anterior [1] es pot trobar un anàlisi d'emissions dels mateixos països i agregats, donat que en aquell cas, aquest era el principal objectiu.

#### 4.4. Evolució històrica de la intensitat de carboni

Al ANNEX I/EXCEL REFERENCIA TFG-2/nom país (o nom agregat) IC es poden trobar els càlculs i les representacions gràfiques de la intensitat de carboni per a tots els països i agregats d'aquests durant tot el període històric.

Seguint l'Equació 3, la intensitat de carboni és el quocient entre el valor total de les emissions i el TPES per a cada país i per a cada any. Efectuant aquest càlcul, s'obtenen els resultats següents per a alguns territoris.

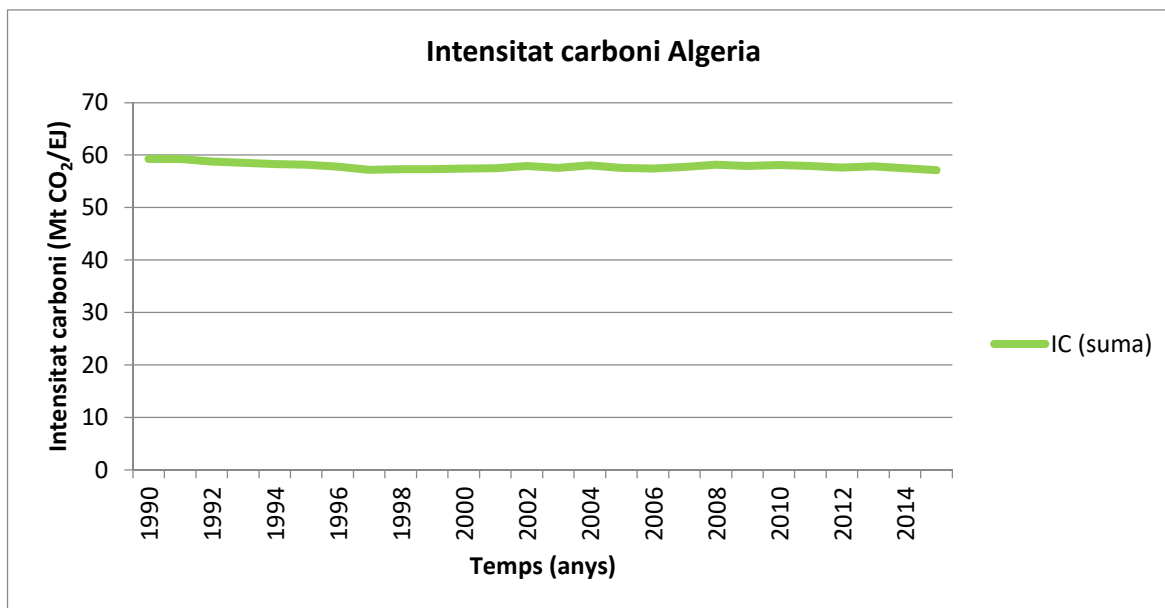


Figura 35. Intensitat de carboni històrica d'Algèria.

En el cas d'Algèria, donat que TPES i emissions evolucionen exactament de la mateixa manera (el vector energètic està format exclusivament per fonts emissores), la intensitat de carboni és gairebé constant durant tot el període històric. Això succeirà amb tots els països amb un vector energètic dependent de petroli, carbó i/o gas.

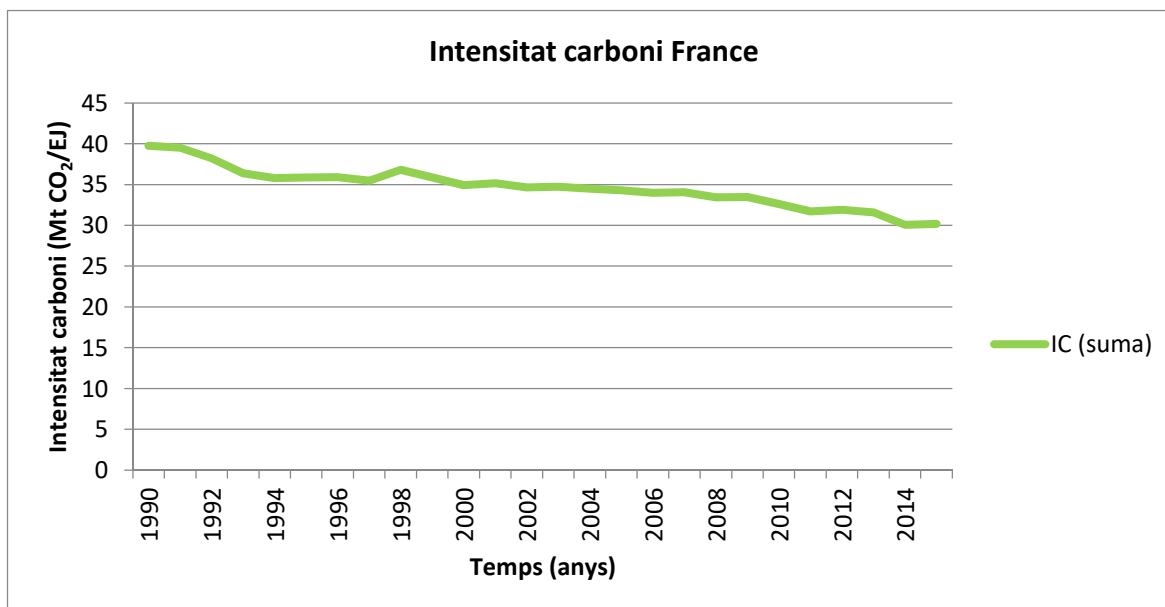


Figura 36. Intensitat de carboni històrica de França.

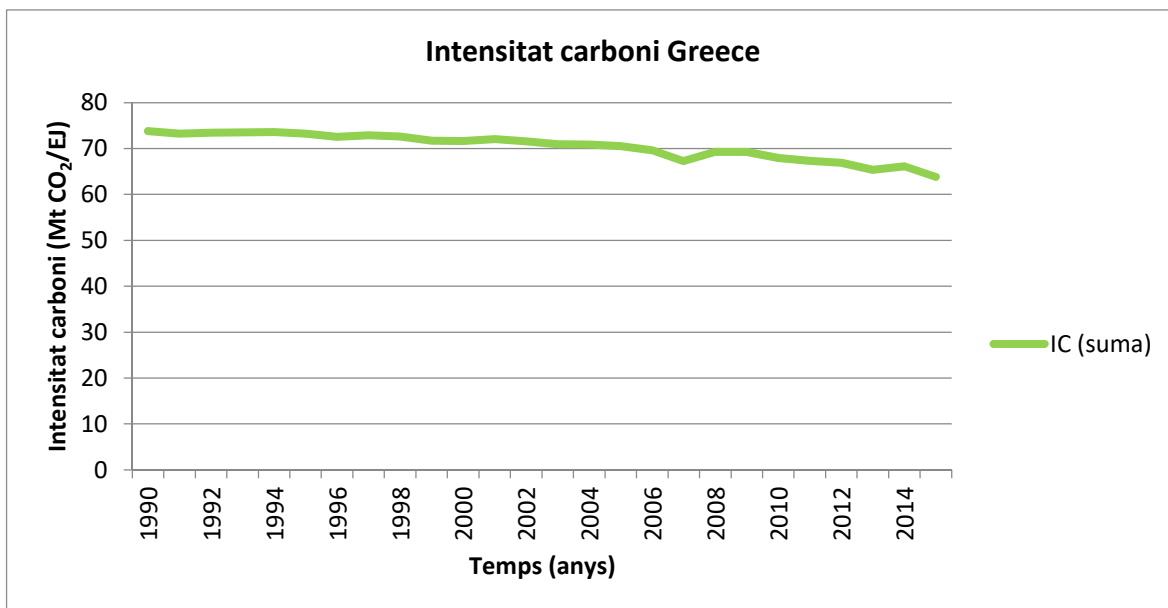


Figura 37. Intensitat de carboni històrica de Grècia.

En els casos de França i Grècia, la intensitat de carboni és lleugerament descendent. Aquest és el resultat de dividir unes emissions descendents (especialment en els darrers anys) entre un valor total de TPES que també es redueix, però de forma més moderada (ja que entren a formar part del vector energètic, cada cop amb més força, fonts no emissores).

Respecte els agregats:

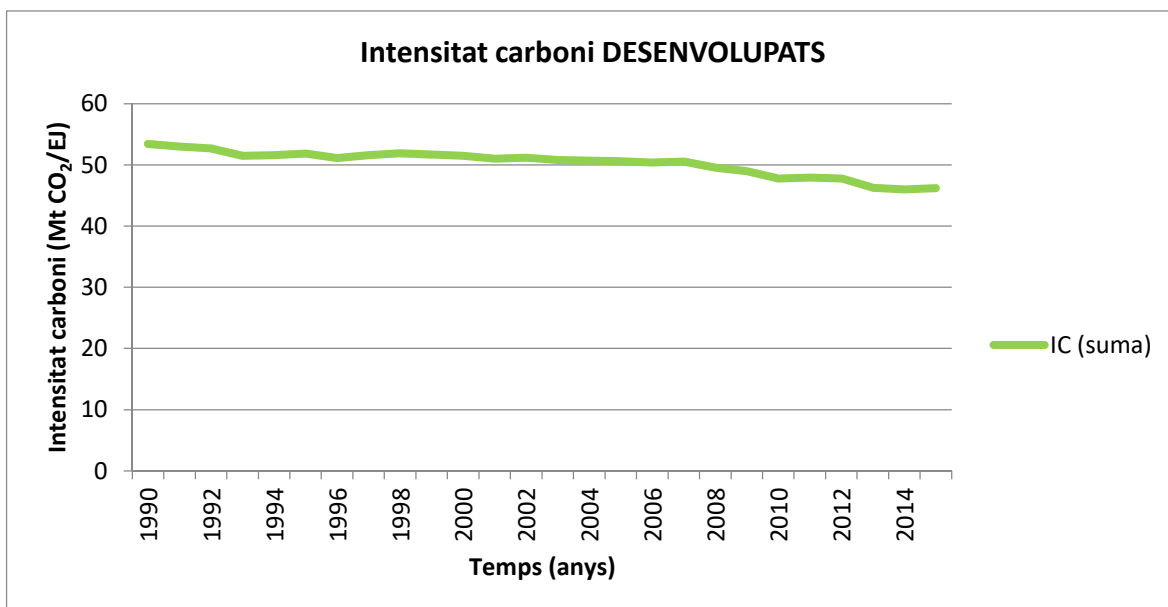


Figura 38. Intensitat de carboni històrica dels països desenvolupats.

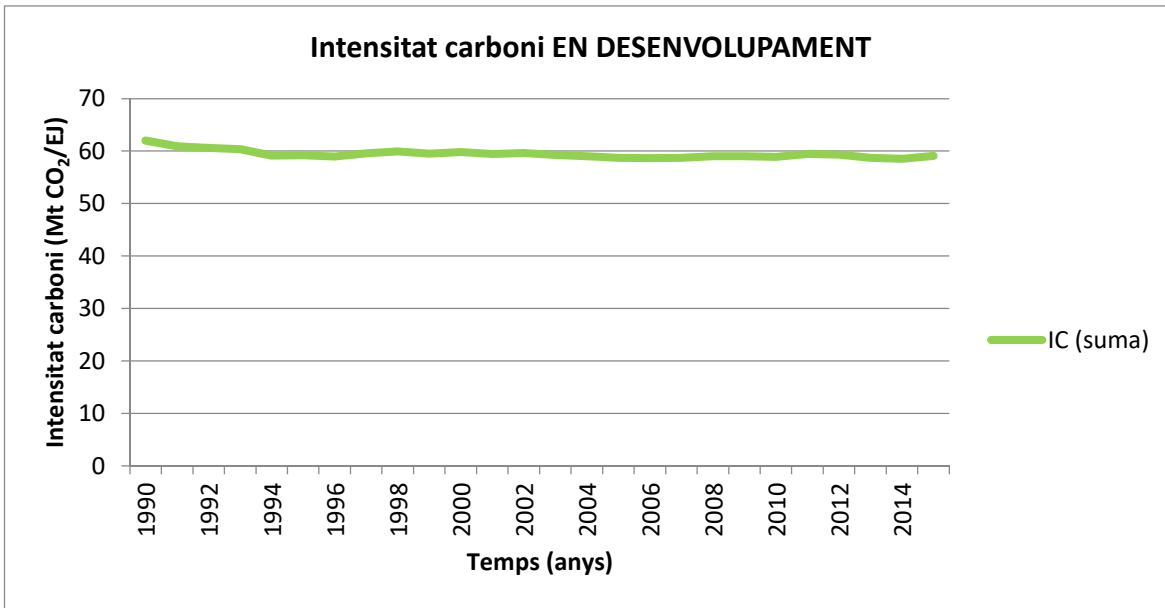


Figura 39. Intensitat de carboni històrica dels països en desenvolupament.

Es manté exactament la tendència mostrada per la selecció de països explicats (Algèria, França i Grècia). Els desenvolupats redueixen lleugerament la intensitat de carboni, mentre que els que es troben en desenvolupament la mantenen constant.

Per últim, el total de nou segueix la tendència marcada pels desenvolupats:

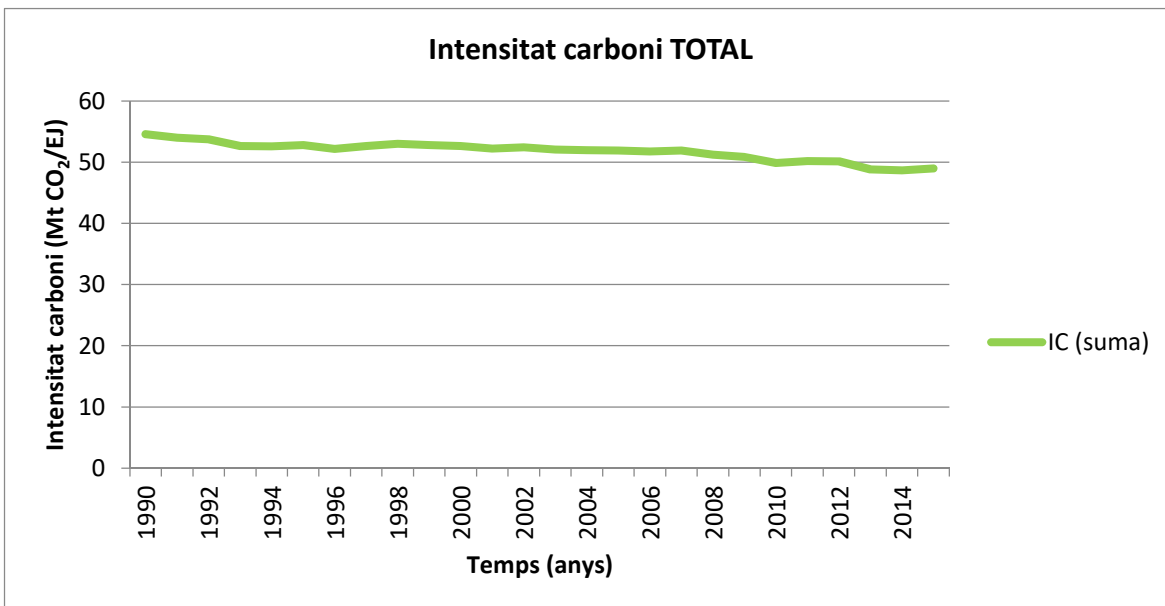


Figura 40. Intensitat de carboni històrica en el total de països de la conca mediterrània.

## 5. Escenaris de futur “Business As Usual”

Un escenari de futur és una prospecció en base a diferents criteris de l'evolució d'una magnitud concreta. Un d'aquests criteris pot ser fer seguir la tendència d'un determinat període històric durant un interval de temps futur suposant que no s'aplicarà cap canvi important. És el que es coneix com a escenari tendencial o escenari “Business As Usual” (BAU en endavant). Els escenaris BAU s'acostumen a utilitzar com a escenaris de referència a l'hora de comparar-los amb escenaris alternatius com els que es presenten en el capítol 6 d'aquesta memòria.

Aquest capítol pretén elaborar escenaris de futur BAU del vector energètic i, en conseqüència, de les emissions de CO<sub>2</sub> i de la intensitat de carboni per a tots els països de la conca mediterrània i per als seus agregats.

L'interval de temps futur serà des del 2016 al 2050 (per tant, 34 anys) i s'utilitzarà com a període de referència el que va de 1990 a 2015.

### 5.1. Metodologia de càlcul

Per tal de calcular l'escenari BAU del vector energètic, es calcula en primer lloc la taxa de variació interanual del valor total de TPES per a cada any del període històric:

$$\Delta TPES_{any Y} (\%) = \frac{TPES_{any Y} - TPES_{any Y-1}}{TPES_{any Y-1}} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 8})$$

I quan s'obté el valor d'aquesta taxa anualment, es fa la mitjana, de manera que s'obté la taxa de variació mitjana interanual:

$$\overline{\Delta TPES} (\%) = \frac{\sum \Delta TPES_{any Y}}{n} \quad (\text{Eq. 9})$$

On  $n$  és el nombre d'anys pels quals s'ha calculat la taxa de variació interanual.

Finalment, s'aplica la variació calculada per a tots els anys futurs i es troba el TPES fins el 2050:

$$TPES_{any Y} = TPES_{any Y-1} \cdot \left(1 + \frac{\overline{\Delta TPES} (\%)}{100}\right) \quad (\text{Eq. 10})$$

Això permet trobar el valor total de TPES. A continuació s'explica com s'obté la repartició d'aquest valor entre les diferents fonts d'energia, és a dir, la composició del vector energètic.

Cada una de les components del vector energètic es projecta linealment fins el 2050, en base a la tendència històrica. Un cop obtinguda cada una de les projeccions, se sumen totes i es calcula el seu “valor agregat”. Finalment, es calcula any a any el percentatge de cada una de les components del vector energètic respecte el “valor agregat”, i s’aplica aquest percentatge sobre el valor de TPES obtingut amb l’*Equació 10*. Com a resultat, s’obté el valor de cada component del vector energètic en l’escenari BAU del TPES.

Un cop obtingudes totes les dades del vector energètic fins el 2050, tant les emissions com la intensitat de carboni s’obtenen de la mateixa manera que en l’anàlisi històric (veure apartat 4.1 d’aquest mateix document).

Respecte els agregats, s’ha aplicat el mateix procediment explicat en aquest apartat.

## 5.2. Exemples d’aplicació

A continuació es mostren els casos d’alguns països. Tots els escenaris BAU de cada país es poden trobar al seu arxiu corresponent del ANNEX II/*nom país* – BAU.

En el cas dels agregats, es poden trobar al ANNEX IV/*nom agregat* – BAU.

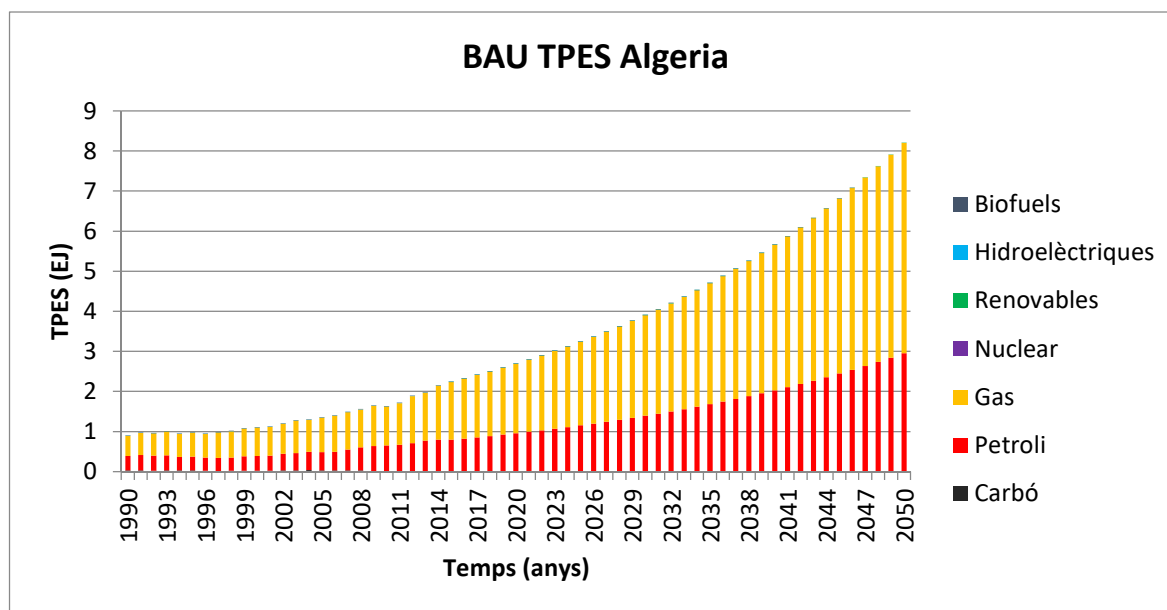


Figura 41. Escenari BAU de TPES d’Algèria.

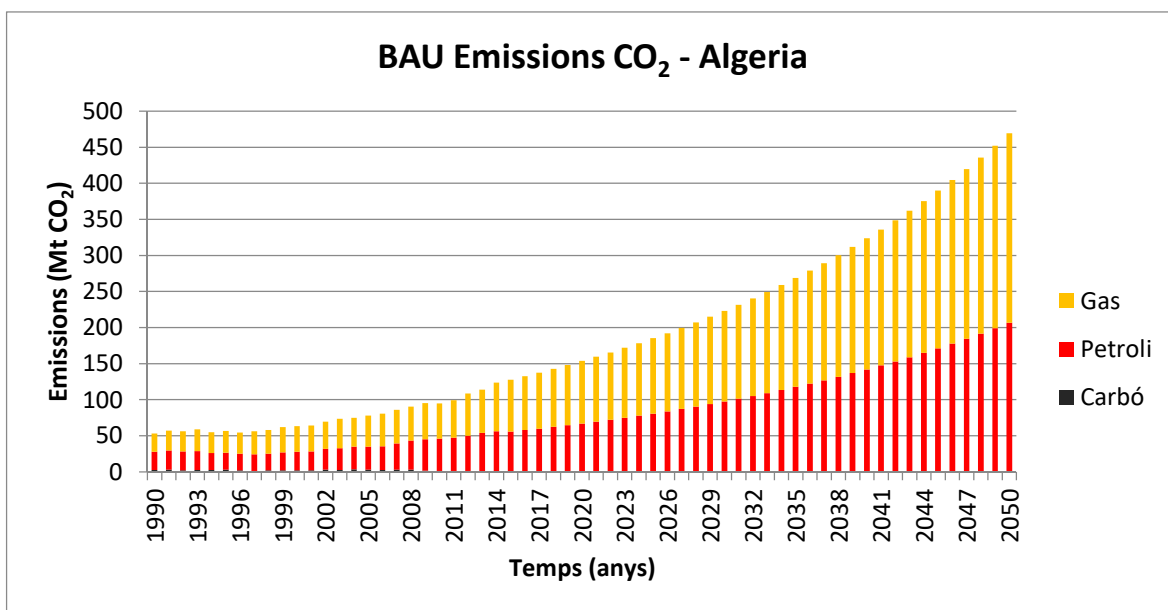


Figura 42. Escenari BAU d'emissions d'Algèria.

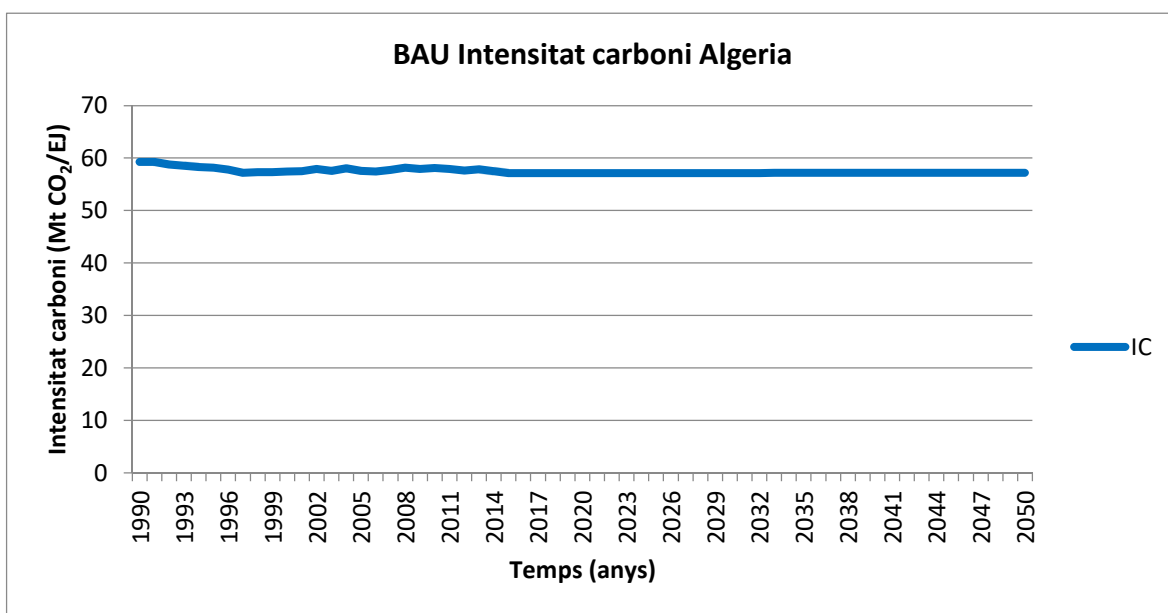


Figura 43. Escenari BAU de la intensitat de carboni d'Algèria.

Com era d'esperar amb l'anàlisi històric que s'havia fet, TPES i emissions augmenten exponencialment i petroli i gas segueixen sustentant el vector energètic i essent els responsables de les emissions. Aquestes emissions gairebé es quadrupliquen des del darrer any de l'històric fins el 2050.

També s'observa que el gas supera el petroli al vector energètic, tot i que de les emissions acaben responsabilitzant-se totes dues fonts d'energia gairebé a parts iguals donat el factor d'emissió més baix que té el gas.

Donat que el valor total de TPES i les emissions evolucionen igual, la intensitat de carboni es manté constant, com ja ho feia durant l'històric.

Aquestes corbes són el prototip clar d'un país en vies de desenvolupament, com es pot veure també, per exemple, en el BAU del vector energètic d'Egipte:

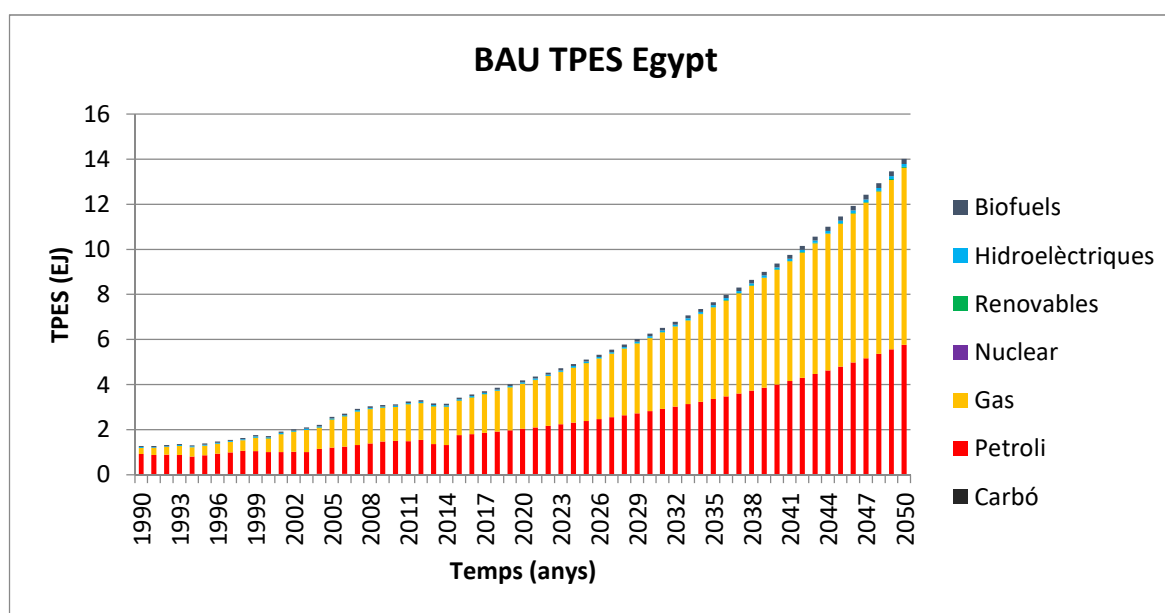


Figura 44. Escenari BAU de TPES d'Egipte.

Per altra banda, es mostra el cas d'un país típic desenvolupat, com és el cas d'Itàlia.

El TPES total es manté constant, però, si s'observa la composició del vector energètic, es veu com les fonts emissores disminueixen la seva aportació en favor de l'augment de les renovables i dels biocombustibles. Aquesta és la tendència general per als països desenvolupats.

En el cas concret d'Itàlia, a més, es veu com arriba un punt en què el petroli desapareix i és el gas el principal responsable de les emissions.

D'acord amb l'evolució del vector energètic, és d'esperar que les emissions disminueixin. Concretament, ho fan en gairebé 100 Mt CO<sub>2</sub> entre el 2016 i el 2050.

Finalment, aquests resultats de TPES i emissions porten a una intensitat de carboni que es redueix considerablement.



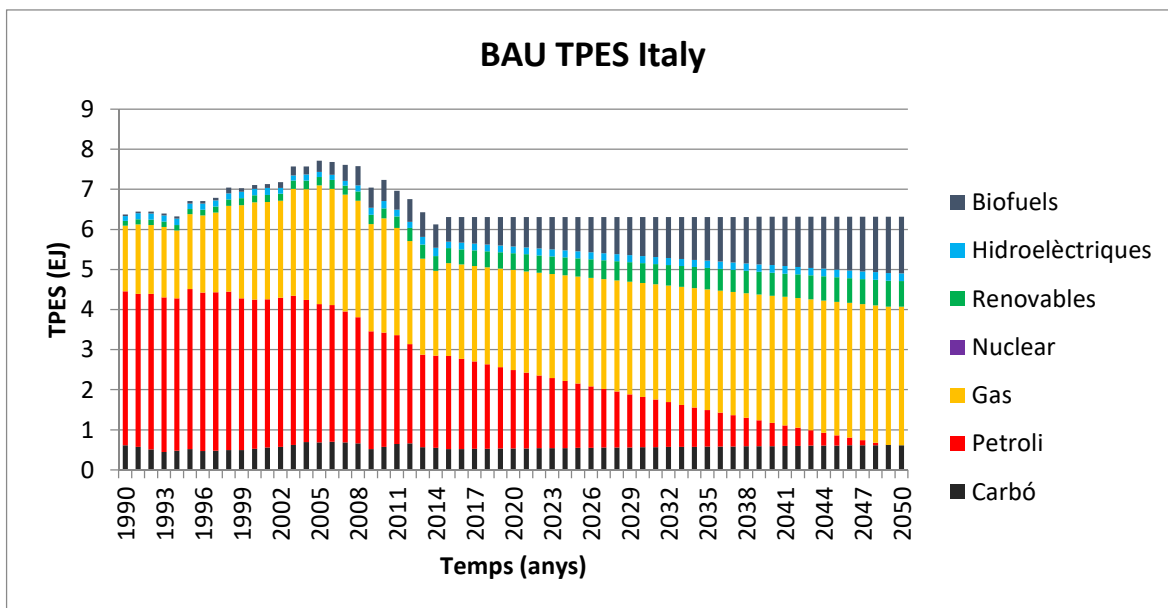


Figura 45. Escenari BAU de TPES d'Itàlia.

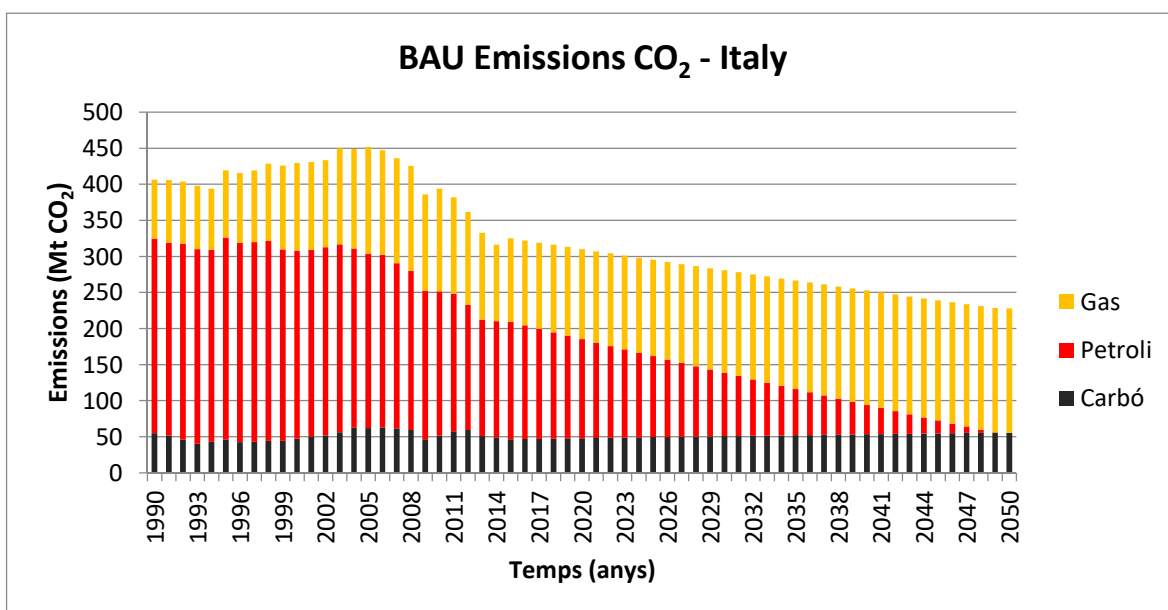


Figura 46. Escenari BAU d'emissions d'Itàlia.

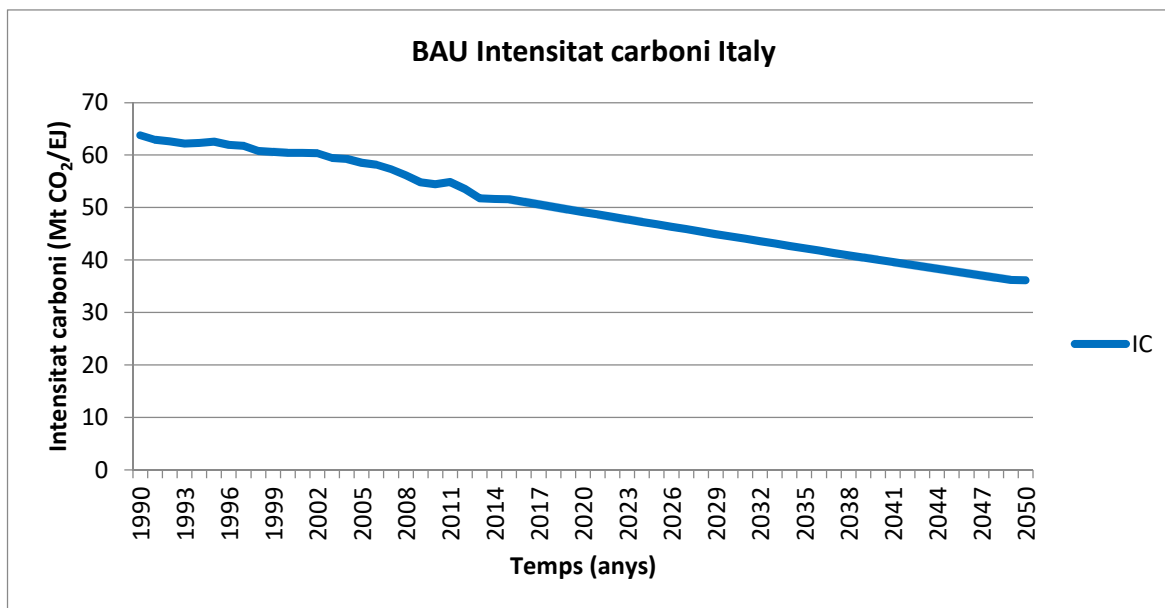


Figura 47. Escenari BAU de la intensitat de carboni d'Itàlia.

També es pot veure com en un altre país desenvolupat (França) el valor total de TPES augmenta en comptes de mantenir-se estable, però el resultat en emissions i intensitat de carboni acaba essent el mateix que en el cas d'Itàlia. L'única particularitat d'aquest país respecte altres del mateix agregat és la gran dependència de l'energia nuclear que té (i que segons el BAU, va en augment).

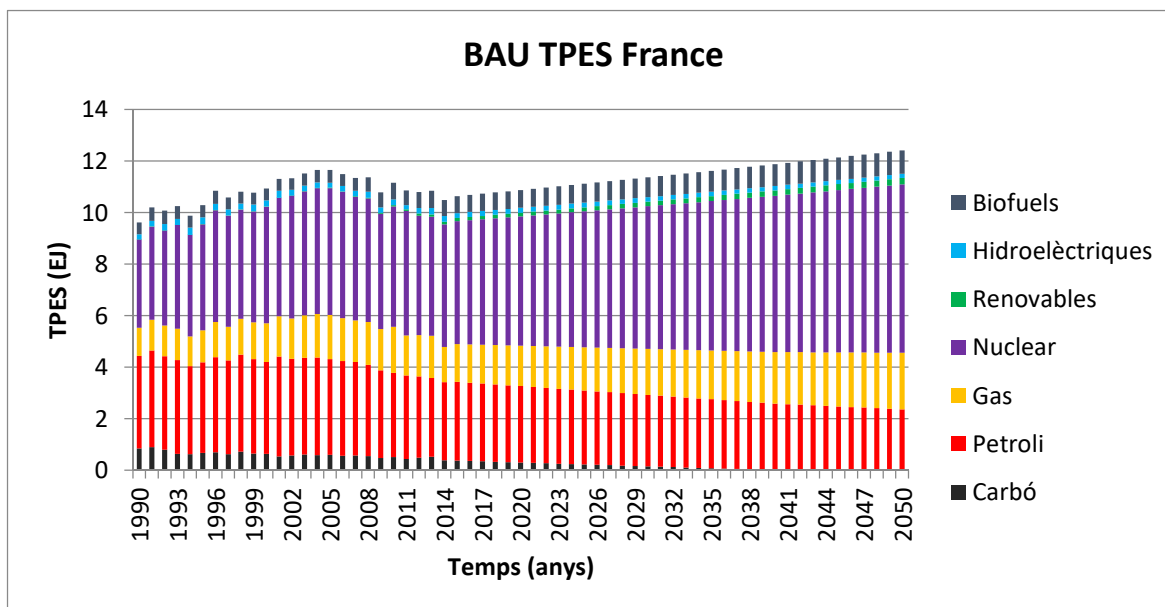


Figura 48. Escenari BAU de TPES de França.

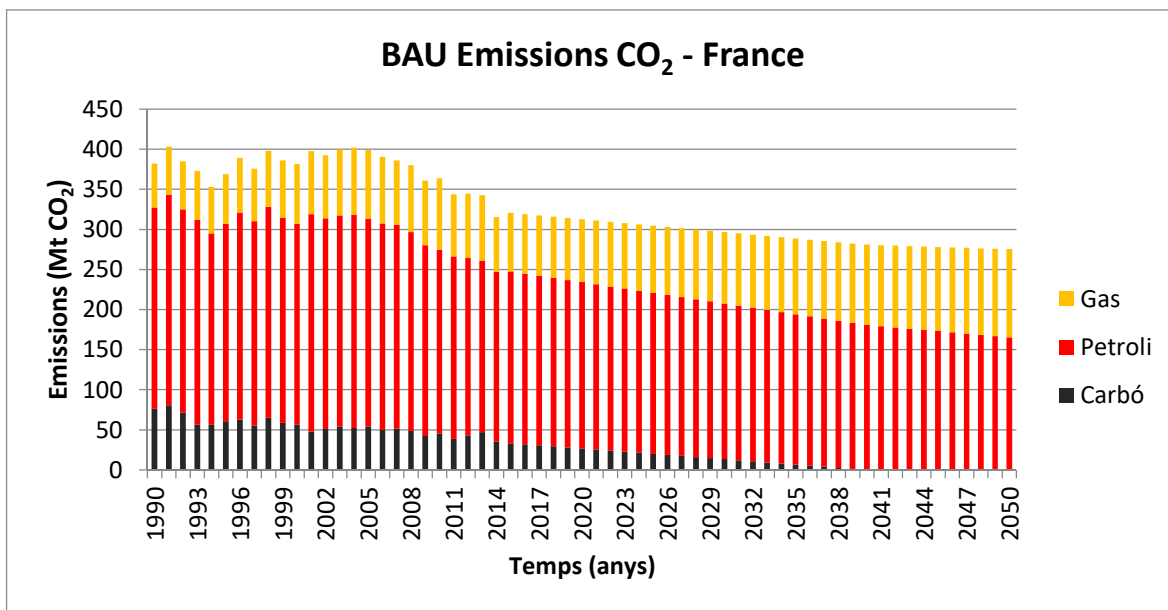


Figura 49. Escenari BAU d'emissions de França.

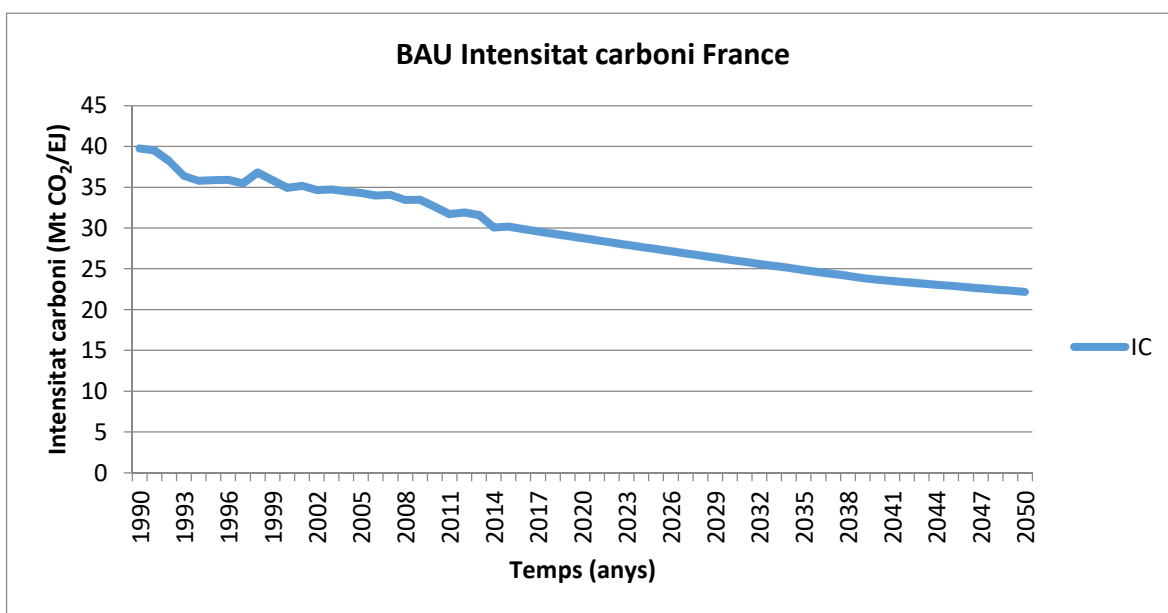


Figura 50. Escenari BAU de la intensitat de carboni de França.

Pel que fa als agregats, segueixen la tendència general marcada pels exemples de països tot just analitzats.

En primer lloc, es mostren els desenvolupats:

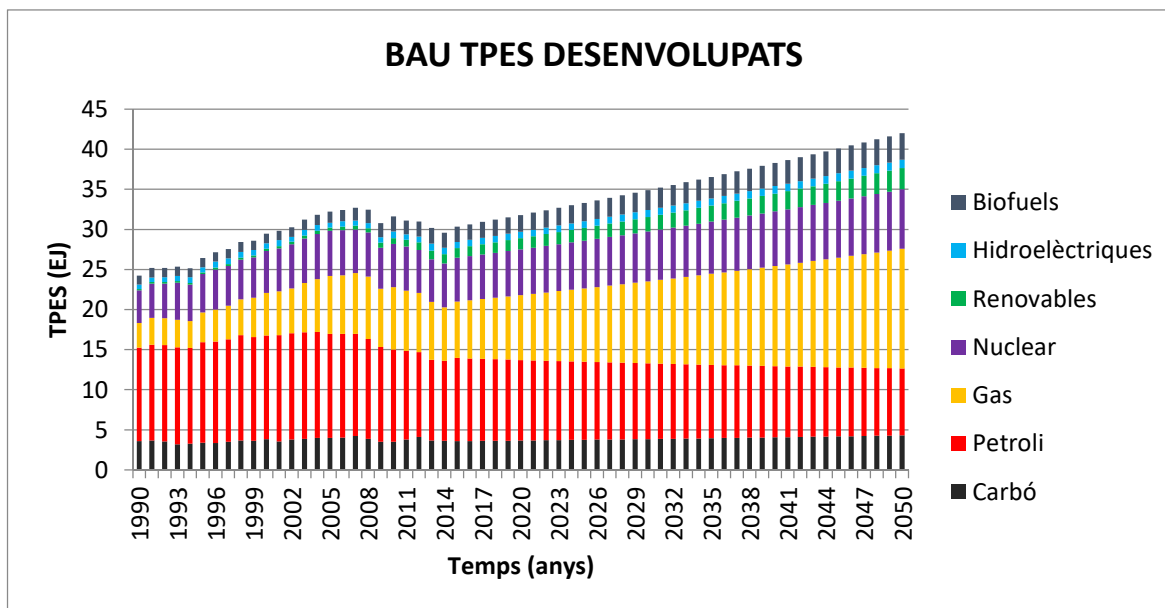


Figura 51. Escenari BAU de TPES dels països desenvolupats.

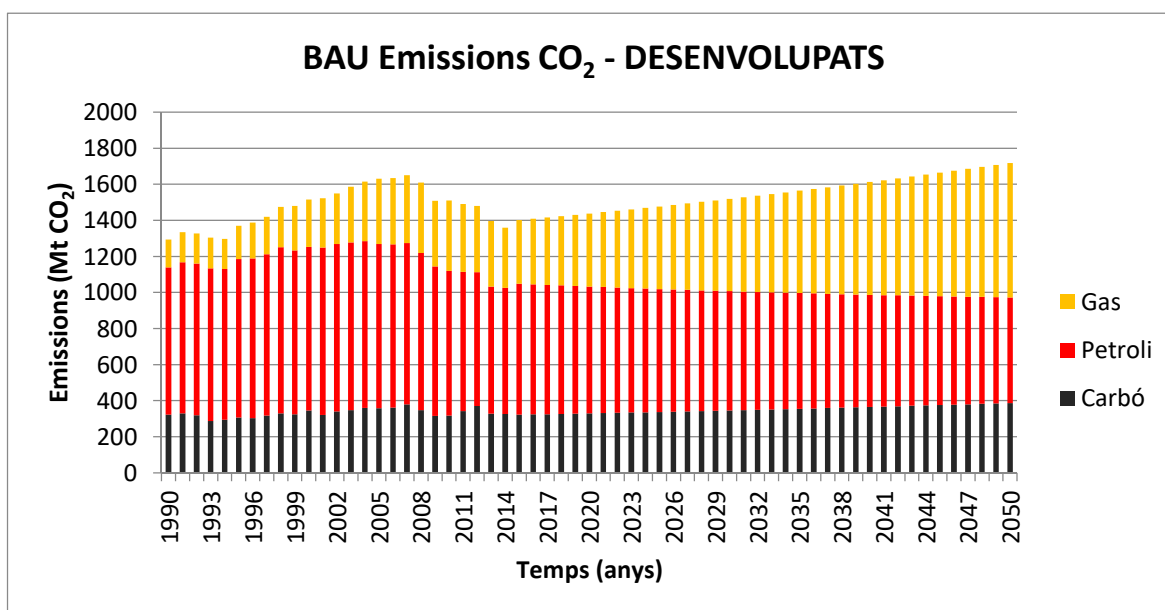


Figura 52. Escenari BAU d'emissions dels països desenvolupats.

Es pot apreciar un augment més significatiu de TPES del que preveien els casos d'Itàlia i França i, al contrari que en aquells països, hi ha un augment dels valors de TPES de les fonts emissores. Al mateix temps, com és d'esperar arrel del vector energètic, hi ha un augment d'emissions.

Tot això és degut a que Turquia, tot i estar inclosa a l'agregat de països desenvolupats, presenta tendències típiques d'un país en desenvolupament, tal i com es mostra a continuació:

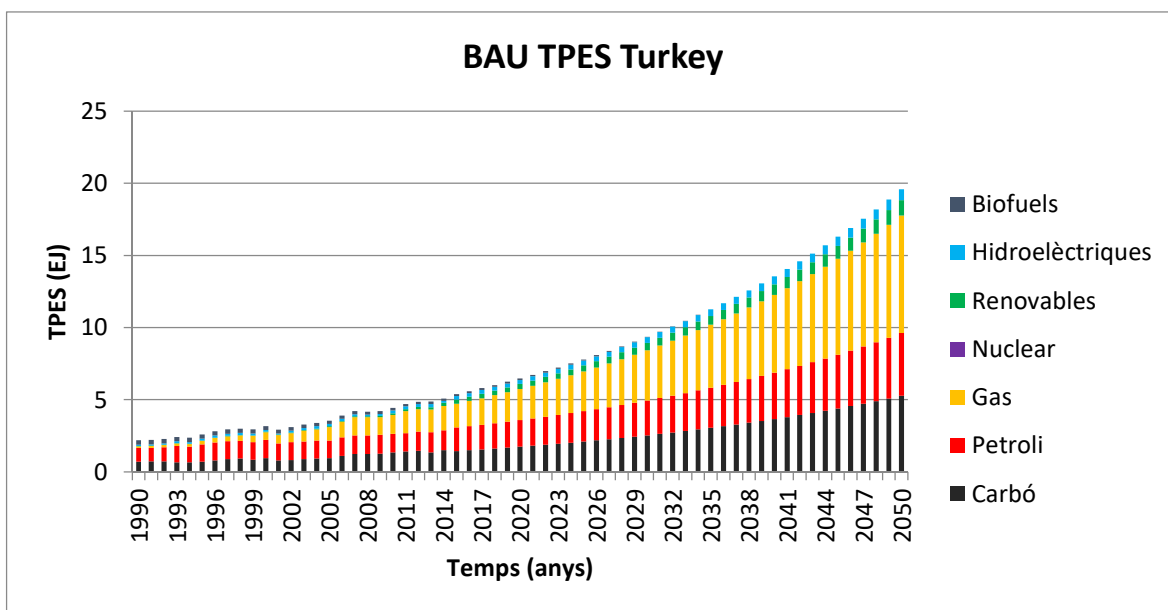


Figura 53. Escenari BAU de TPES de Turquia.

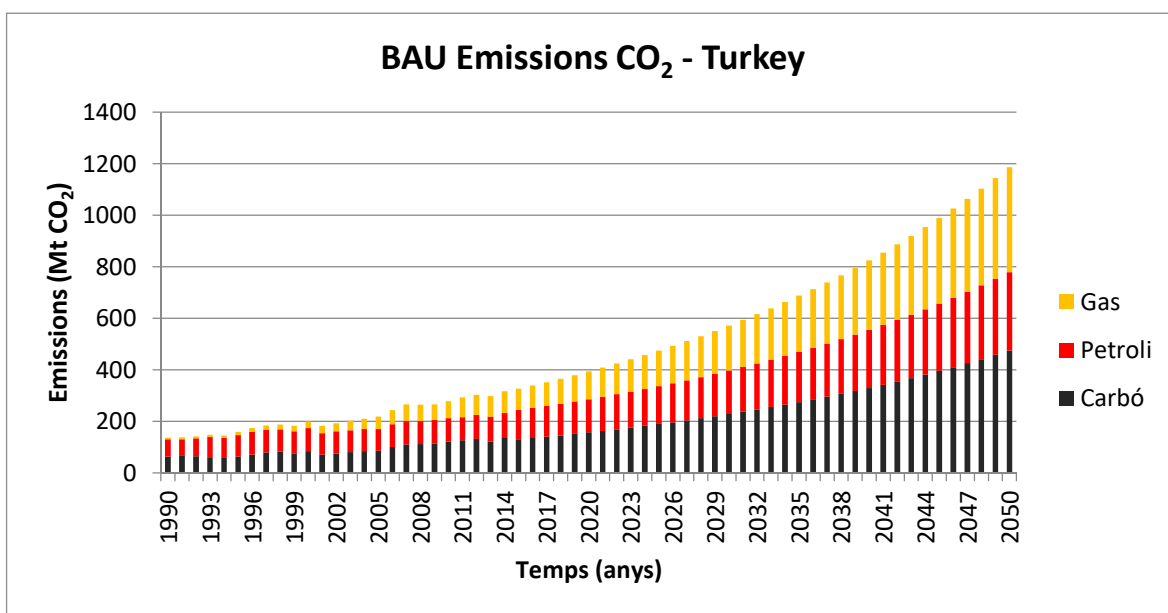


Figura 54. Escenari BAU d'emissions de Turquia.

Tot i tenir un comportament de país en desenvolupament donat l'increment exponencial de TPES i d'emissions, existeix una diferència amb casos com el d'Algèria o el d'Egipte i és que a Turquia sí que comencen a aparèixer les renovables al vector energètic.

Tornant al cas concret dels desenvolupats, la intensitat de carboni queda:

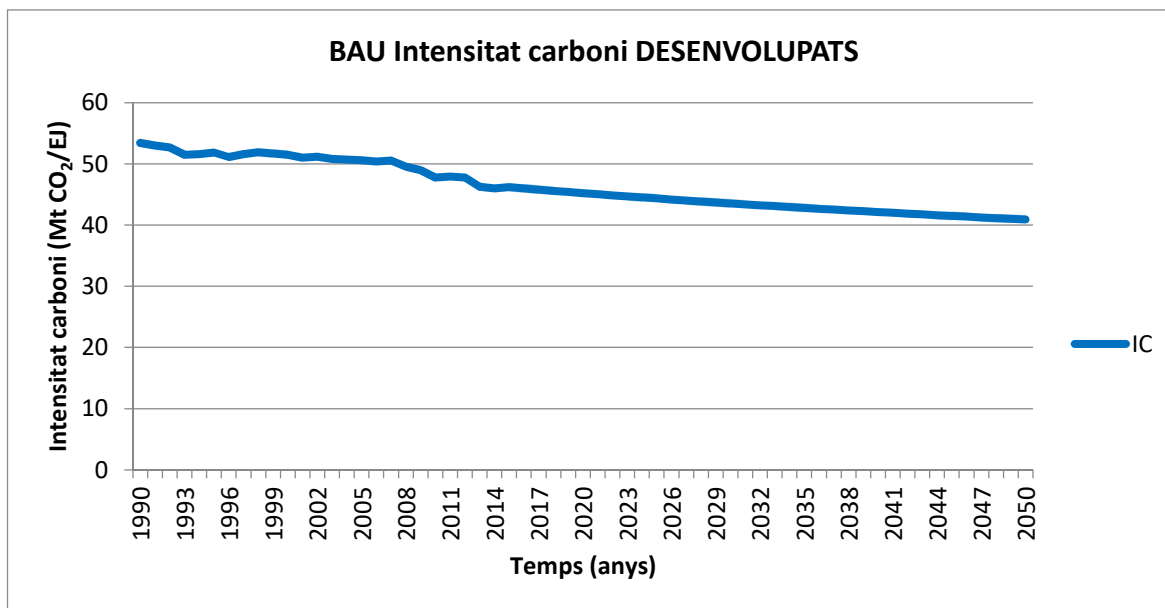


Figura 55. Escenari BAU de la intensitat de carboni dels països desenvolupats.

Es produeix una reducció de la intensitat de carboni, com ja feien preveure els casos d'Itàlia o França, però menys pronunciada que en aquells països per la influència de nou de Turquia, que presenta la següent corba:

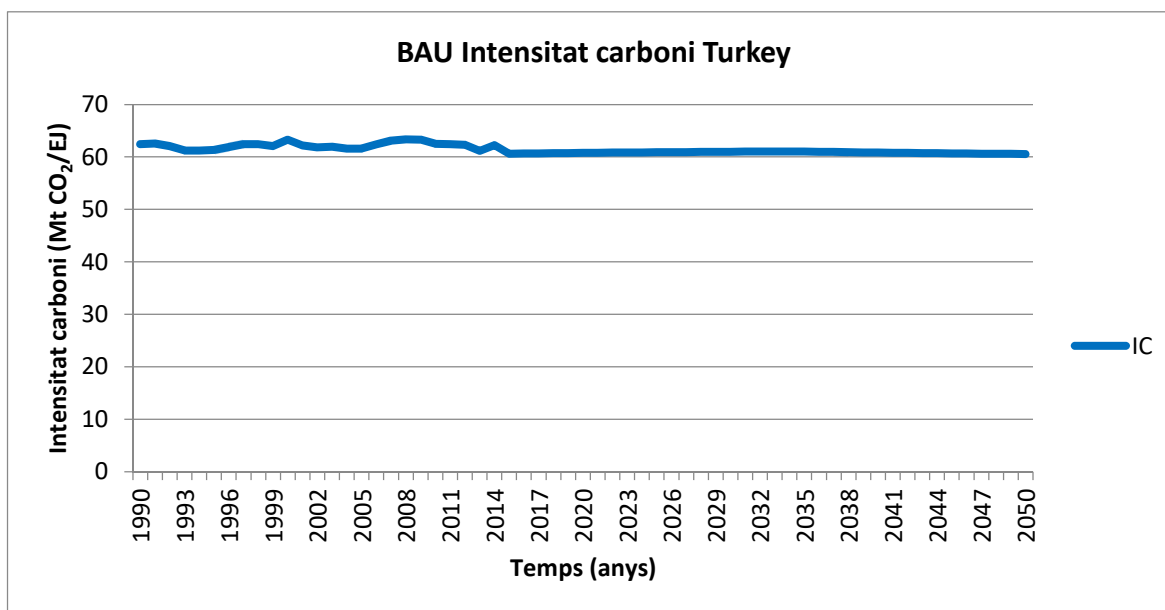


Figura 56. Escenari BAU de la intensitat de carboni de Turquia.

I per últim, respecte els països en desenvolupament:

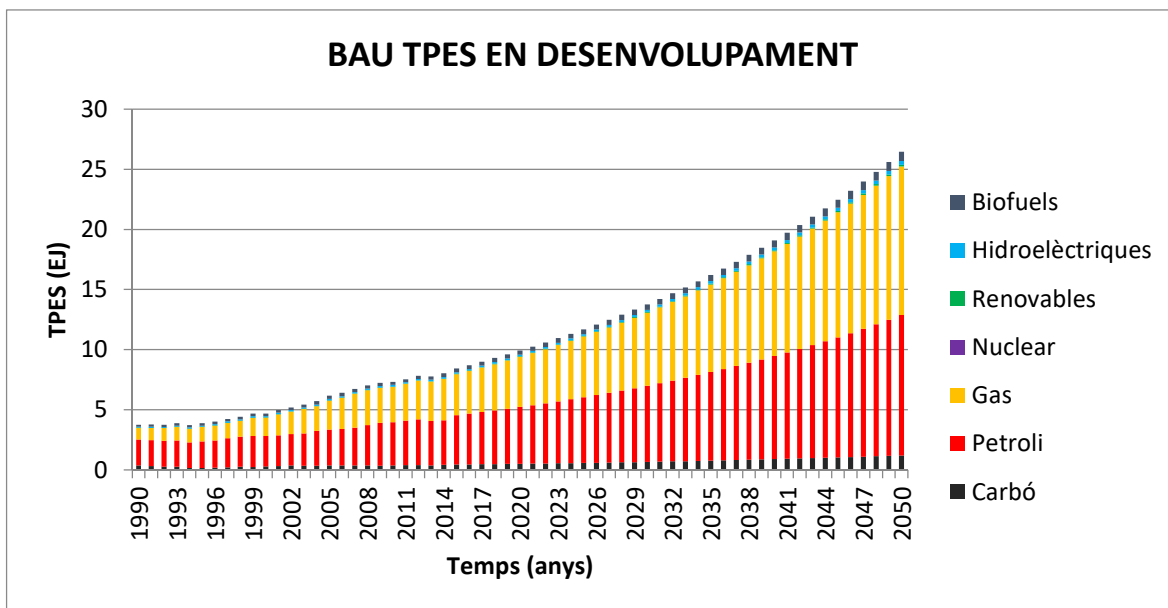


Figura 57. Escenari BAU de TPES dels països en desenvolupament.

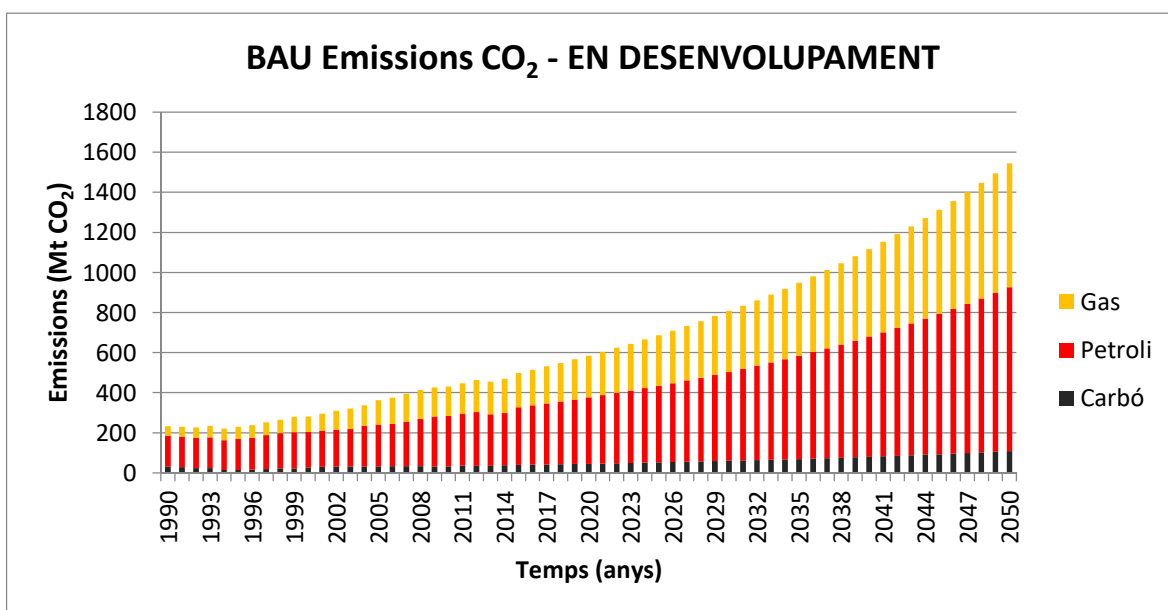


Figura 58. Escenari BAU d'emissions dels països en desenvolupament.

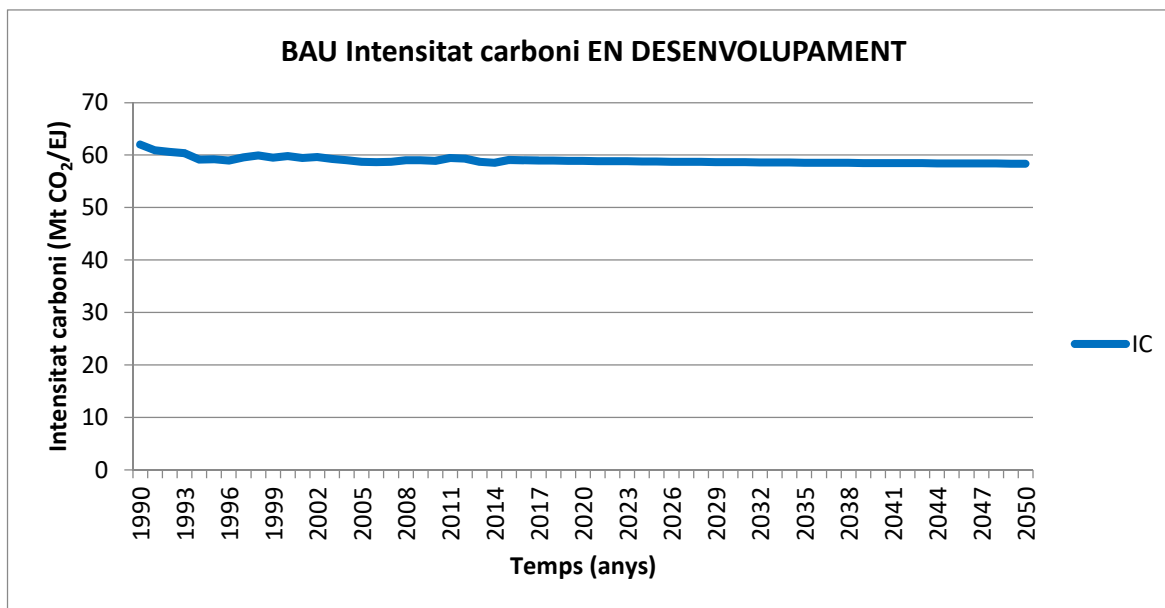


Figura 59. Escenari BAU de la intensitat de carboni dels països en desenvolupament.

Es compleix exactament el patró que ja marcava l'exemple d'Algèria i que confirmava el cas d'Egipte, pel que es poden extreure les mateixes conclusions.

Si es mirés el resultat del total de països de la conca mediterrània, es confirmaria la conclusió que es repeteix en cada capítol, de que segueixen la tendència dels desenvolupats.

### 5.3. Integració en la Identitat de Kaya

Per tal de fer complir la Identitat de Kaya, es disposa de la intensitat de carboni i de les pròpies emissions, però es vol tenir el valor dels altres tres factors conductors: intensitat energètica, PIB per càpita i població.

Per al PIB per càpita i la població, s'utilitzen els escenaris de futur BAU obtinguts al TFG anterior [1], que també es prendran com a escenaris BAU d'aquest projecte.

Ara bé, la intensitat energètica s'ha d'adaptar. En el primer projecte, els factors conductors de l'escenari BAU es van trobar utilitzant el mètode de la taxa de variació mitjana interanual. En aquest treball, el que s'ha trobat d'aquesta manera és el TPES, que és el numerador de la fracció que forma la intensitat energètica (veure *Equació 4*), fet que modifica molt lleugerament les dades de futur d'aquest factor conductor.

Ja que es té com a prioritat el compliment de la Identitat de Kaya, es divideixen les emissions d'aquest projecte entre el producte d'intensitat de carboni (també d'aquest projecte), PIB per càpita i



poplació (aquestes dues últimes del projecte anterior), de manera que s'obté un valor d'intensitat energètica que, en endavant, serà considerat l'escenari BAU d'aquest factor, gairebé idèntic a l'escenari BAU que ja es tenia.

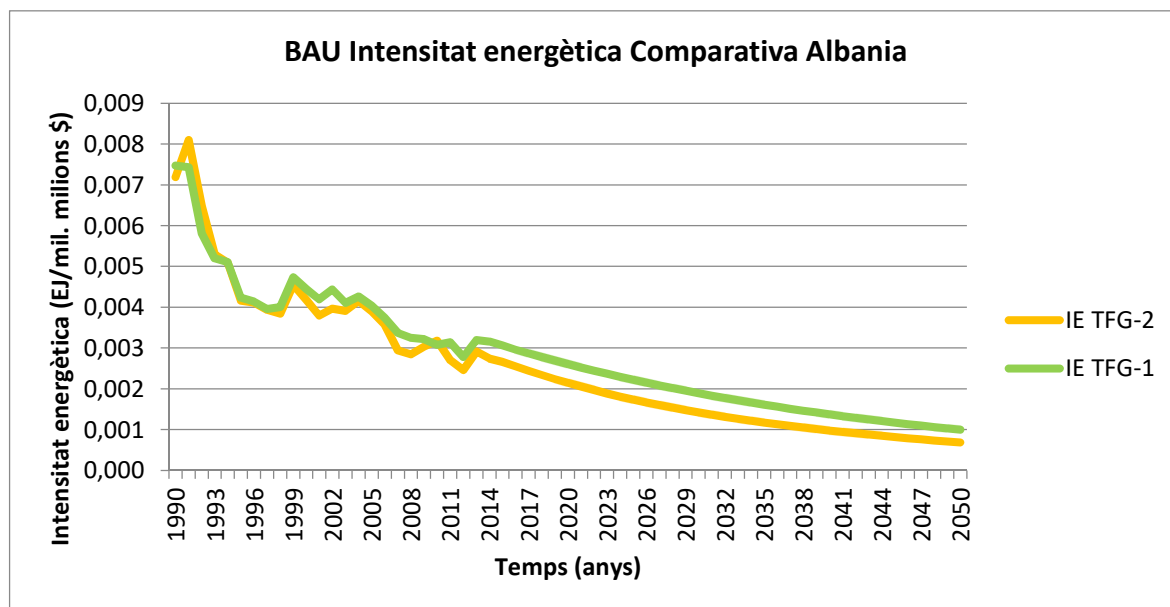


Figura 60. Comparativa d'intensitats energètiques per a Albània.

Aquest petit càlcul es pot veure als mateixos annexos en els quals es calcula el BAU, així com la comparació d'emissions, intensitat de carboni i intensitat energètica amb les obtingudes al projecte anterior.

## 6. Escenaris de futur alternatius

L'altre criteri possible a seguir per a l'elaboració d'escenaris de futur és el d'aplicar alguna variació significativa en alguna magnitud en algun moment de l'interval de temps futur i observar com afecta aquest canvi a l'evolució de la pròpia magnitud i a altres magnituds vinculades a aquesta. Un escenari de futur confeccionat en base a aquest criteri és un escenari de futur alternatiu.

Aquest capítol té l'objectiu d'aplicar canvis en la distribució del vector energètic respecte l'escenari tendencial o BAU a l'any 2050 i observar com varia l'evolució i com afecta aquest canvi a les emissions i a la intensitat de carboni. No es contempla variar el valor total de TPES, sinó únicament variar la proporció de les fonts d'energia que componen el vector energètic. També es considera l'aplicació d'aquest procés de forma inversa, és a dir, efectuar canvis en les emissions i avaluar quins canvis seria necessari fer en el vector energètic i en la intensitat de carboni per tal d'assolir els canvis en les emissions.

### 6.1. Escenaris alternatius de països

En aquest projecte, es construeixen escenaris de futur per a quatre països concrets. Aquests són Algèria, Marroc, França i Espanya. L'elecció d'aquests estats i no d'uns altres es justifica en la intenció de comptar amb dos països significatius de cada agregat en funció del seu grau de desenvolupament.

Els escenaris de futur alternatius per a aquests quatre països (tant càlculs com representacions gràfiques) es poden trobar al ANNEX III.

#### 6.1.1. Escenari alternatiu d'Algèria

Per tal de plantejar una variació sobre l'escenari BAU per a crear un escenari alternatiu s'observa el balanç d'energia publicat per la IEA per al cas d'Algèria l'any 2015 [32].

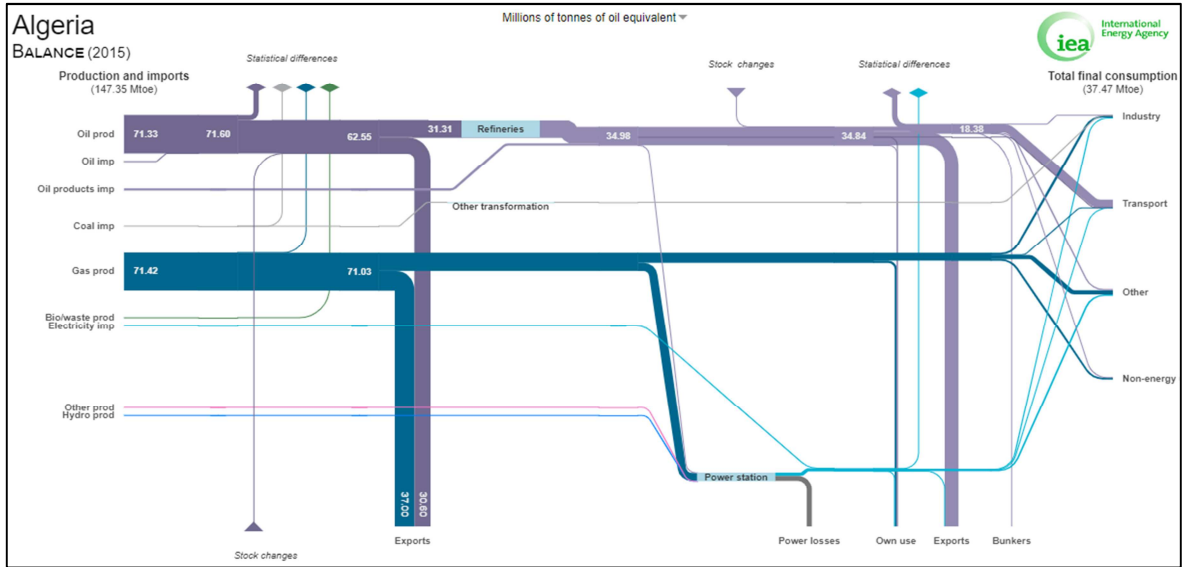


Figura 61. Balanç energètic d'Algèria el 2015. Font: [32].

En base al balanç, el canvi que es decideix aplicar és reduir la part de petroli destinada al transport a la meitat i cobrir aquesta reducció a parts iguals entre gas i renovables. Com s'ha dit, es manté el valor total de TPES i únicament es canvia la composició del vector energètic.

Calculant la proporció, aquest canvi suposa una reducció del 39,53 % sobre el total de petroli, a aplicar l'any 2050.

Si es varien els valors de l'escenari BAU d'Algèria per al 2050 de petroli, gas i renovables i es traça la nova corba cap a aquests valors, mantenint el total de TPES i recalculant la proporció, aquesta queda:

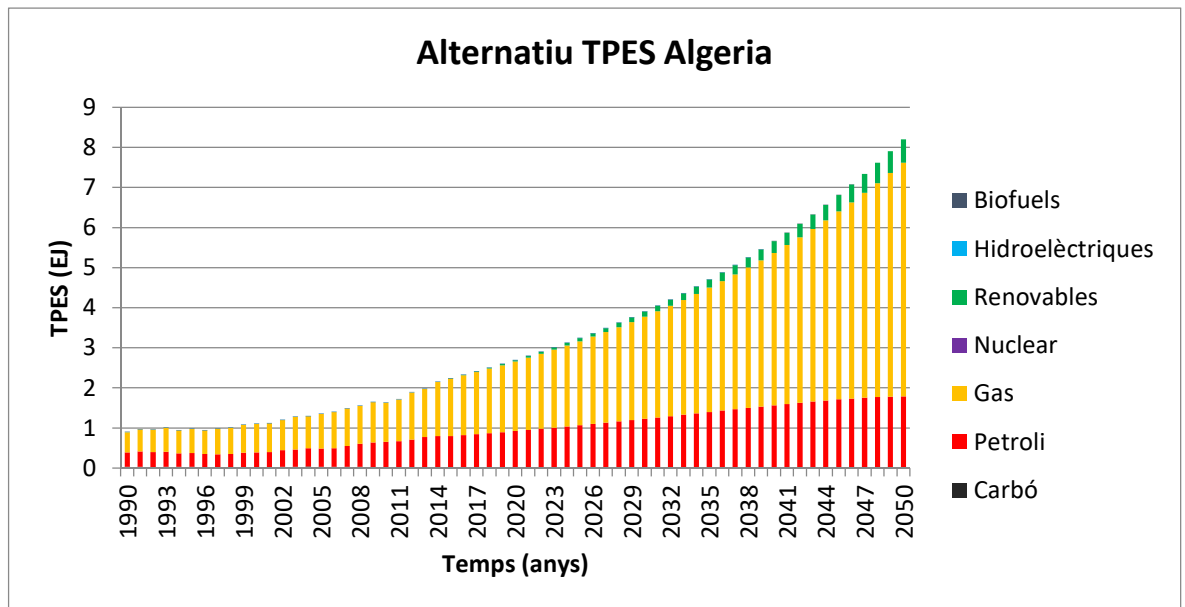


Figura 62. Escenari alternatiu de TPES d'Algèria.

Aplicant el mateix mètode que pel BAU, a partir del vector energètic, es calculen emissions i intensitat de carboni:

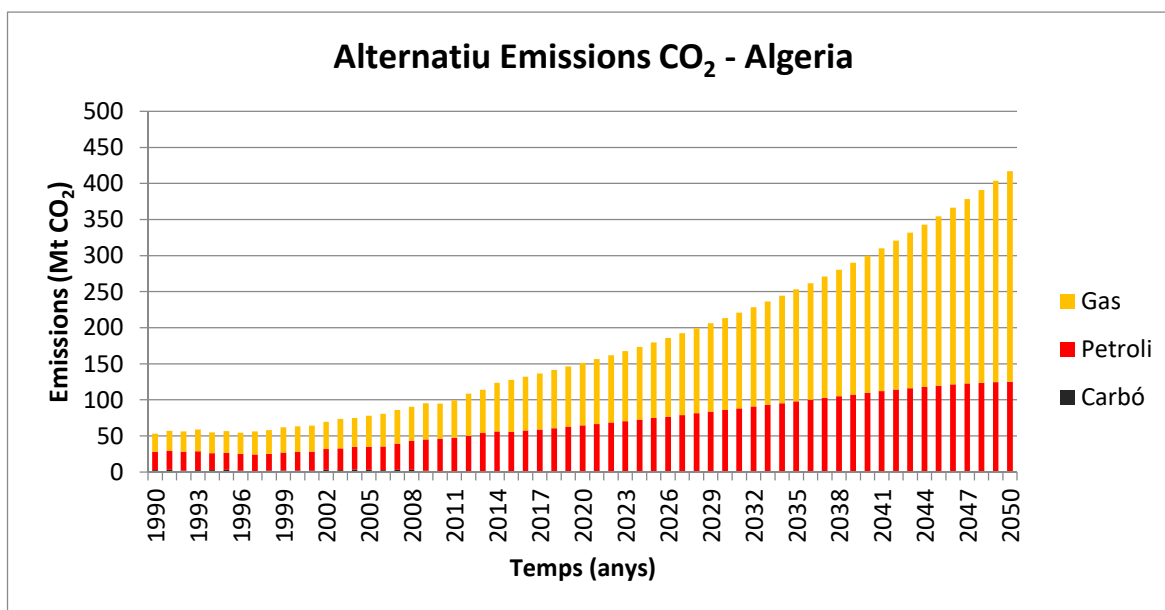


Figura 63. Escenari alternatiu d'emissions d'Algèria.

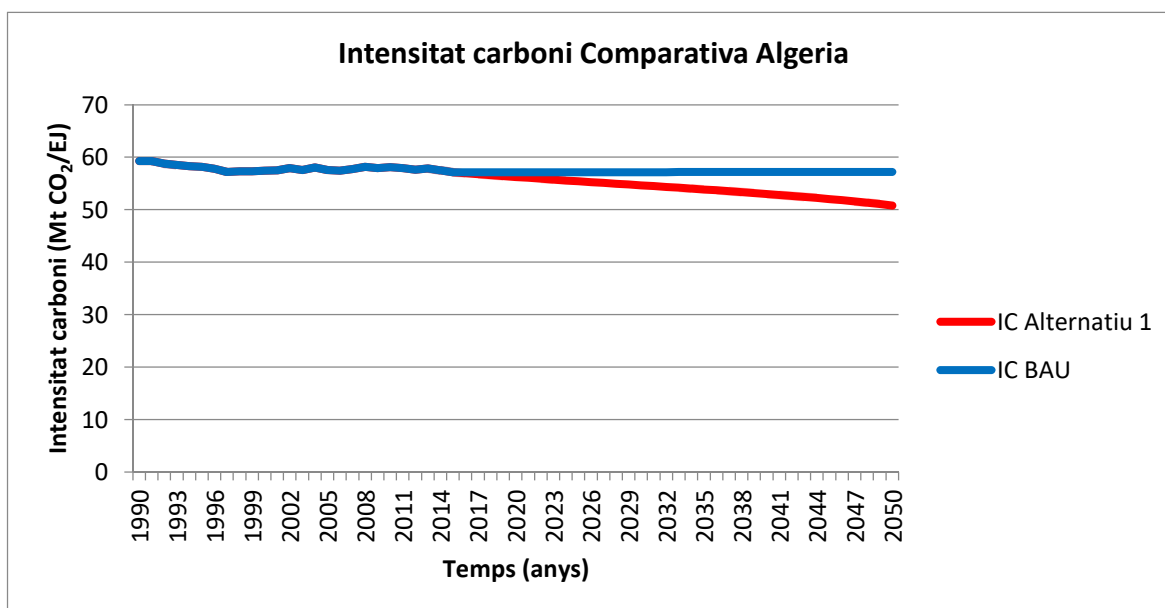


Figura 64. Comparativa d'escenaris BAU i alternatiu de la intensitat de carboni d'Algèria.

Les emissions es redueixen, i per tant la intensitat de carboni, donat que desapareix una part de petroli en favor de renovables (que no tenen emissions associades) i de gas (amb un factor d'emissió més baix).

### 6.1.2. Escenari alternatiu de França

Seguint el mateix procediment que en el cas anterior, en primer lloc s'observa el balanç d'energies:

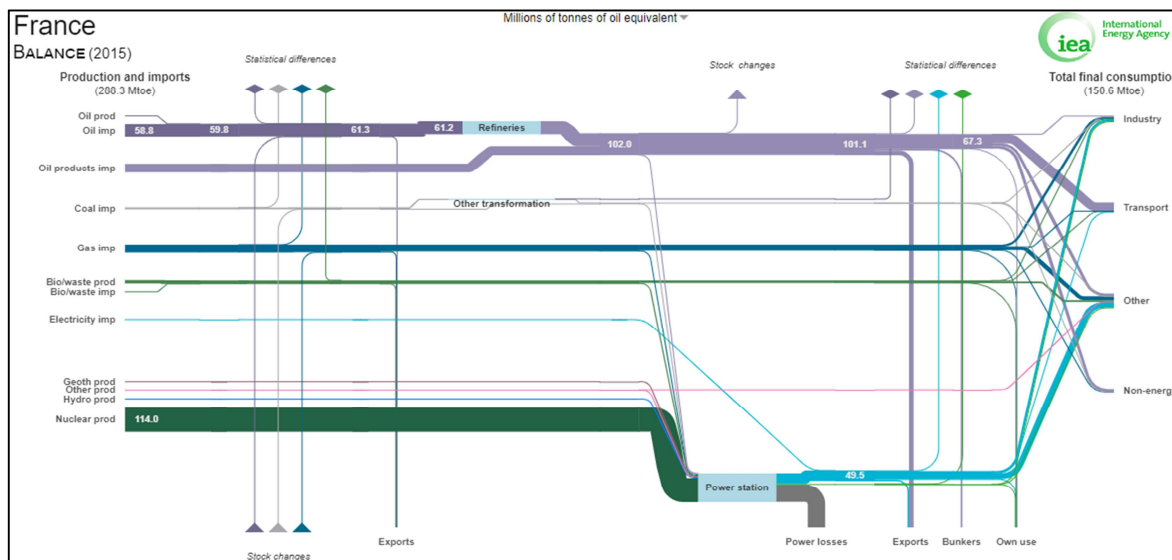


Figura 65. Balanç energètic de França el 2015. Font: [33].

El canvi a aplicar en aquest cas és eliminar la part de petroli destinada al transport (que suposa una reducció del 58,44 % sobre el total de petroli), reduir un 50 % del total de gas, eliminar el carbó i reduir un 40 % la nuclear. Donat que s'ha de mantenir el total de TPES, la reducció que suposen aquests canvis es vol compensar amb un 60 % de renovables, un 30 % de biocombustibles i un 10 % d'hidroelèctrica. Com abans, això es vol aplicar al 2050, de manera que el vector energètic queda:

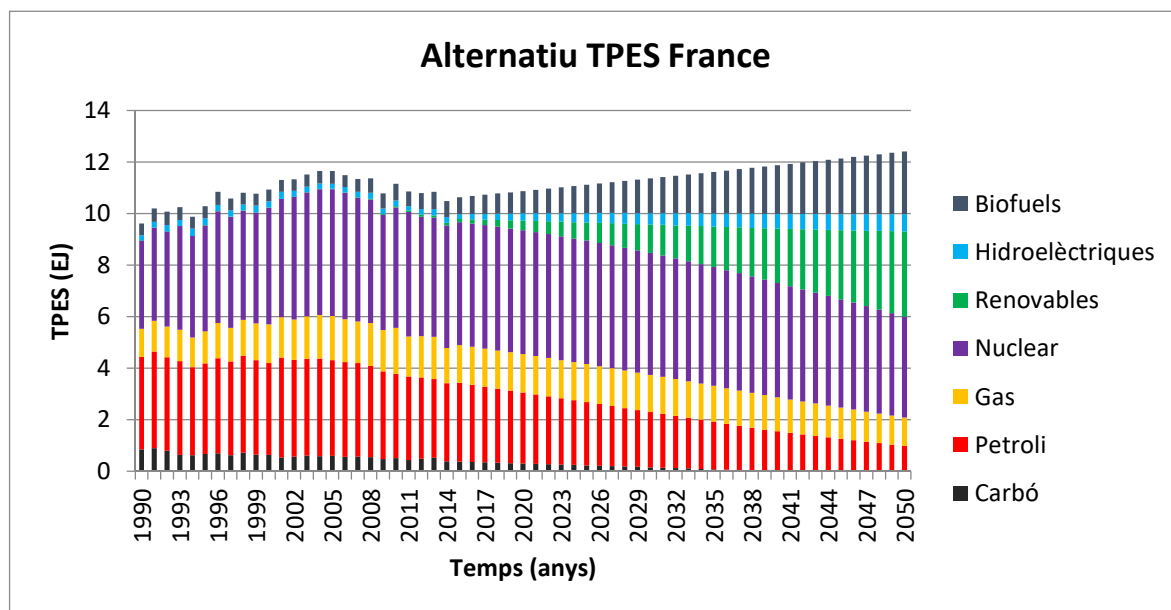


Figura 66. Escenari alternatiu de TPES de França.

I les emissions i la intensitat de carboni:

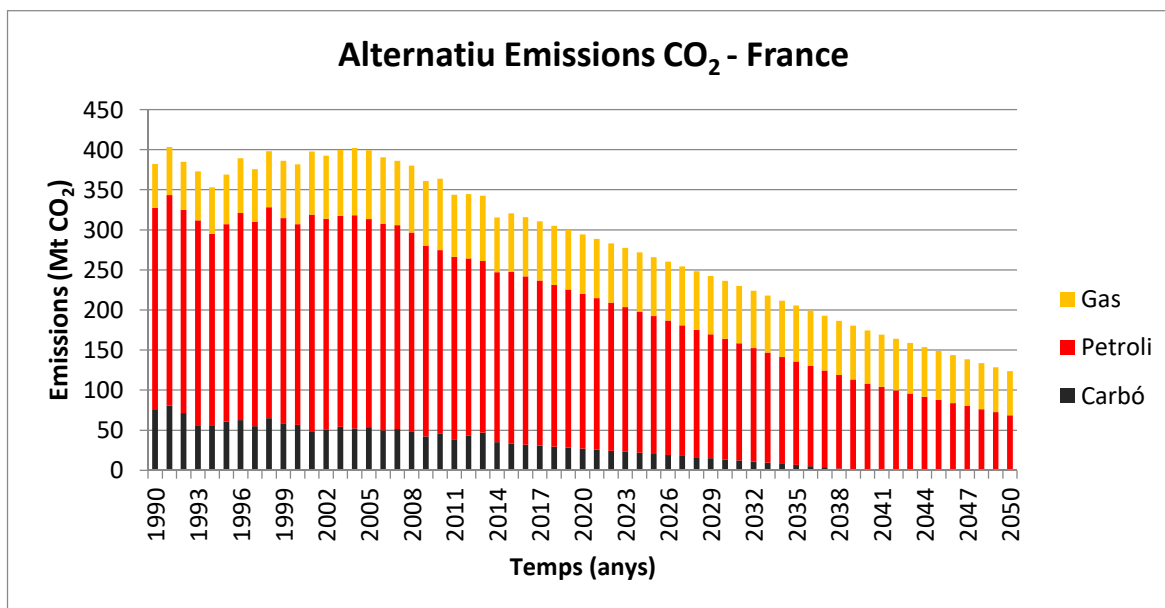


Figura 67. Escenari alternatiu d'emissions de França.

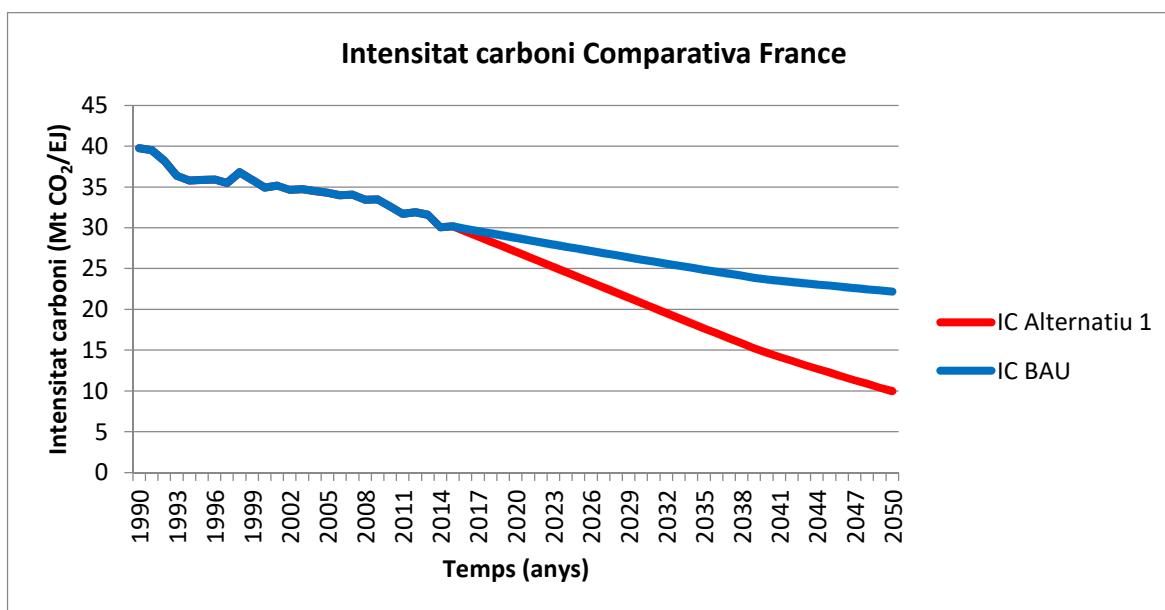


Figura 68. Comparativa d'escenaris BAU i alternatiu de la intensitat de carboni de França.

En aquest cas, la reducció és de més de la meitat respecte el BAU i és que es redueix la contribució de les tres fonts emissores, que són substituïdes per fonts no emissores.

### 6.1.3. Escenari alternatiu del Marroc

En el cas del Marroc, el balanç és el següent:

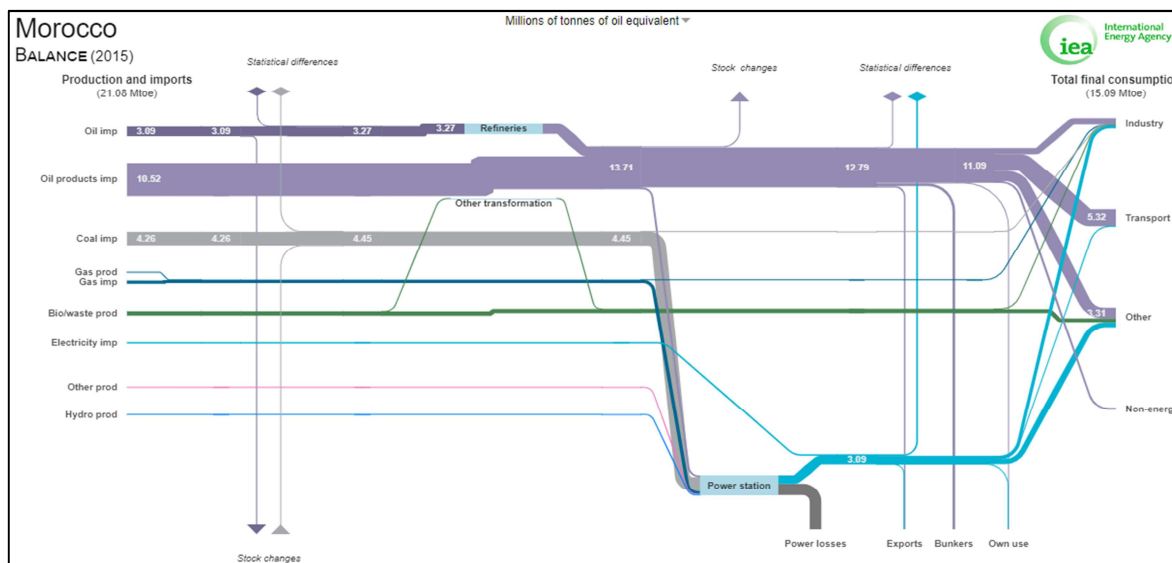


Figura 69. Balanç energètic del Marroc el 2015. Font: [34].

Es pretén reduir el TPES de petroli en un 50 % i eliminar el carbó completament. Això vol ésser compensat amb un 50 % de renovables i un 50 % de gas, quedant el vector energètic:

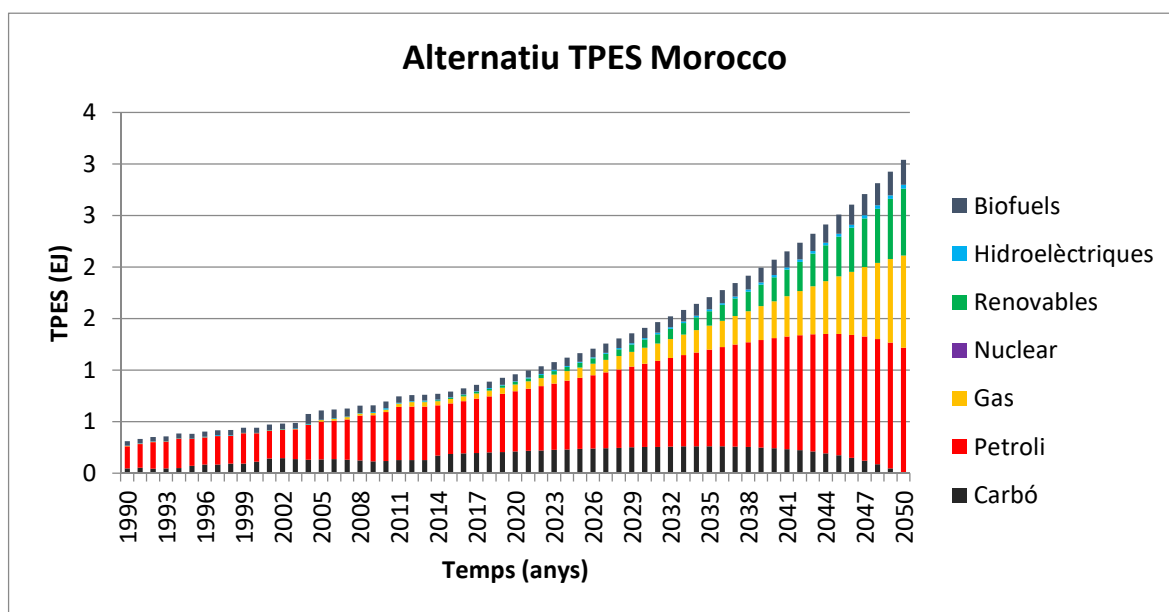


Figura 70. Escenari alternatiu de TPES del Marroc.

En aquest cas concret es mostra també com queda el BAU de TPES del Marroc donat que no es mostra al capítol dels escenaris tendencials (com sí es mostra en els casos d'Algèria i França):

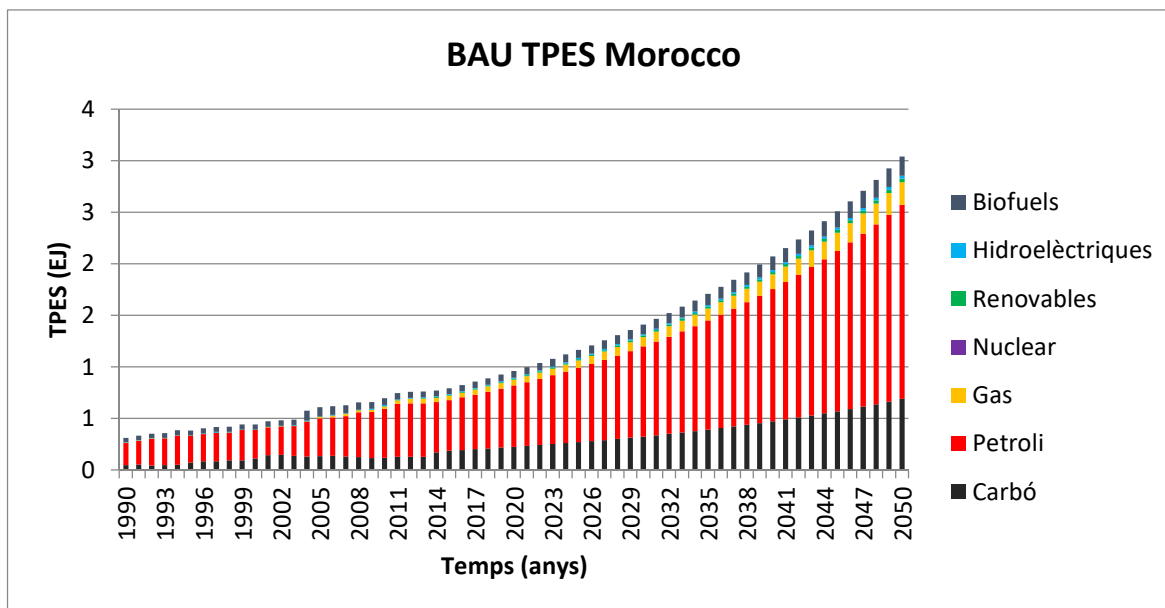


Figura 71. Escenari BAU de TPES del Marroc.

S'observa el predomini de les fonts emissores i el creixement exponencial d'aquestes. S'ajusta, per tant, al prototip de país en desenvolupament.

Les emissions queden:

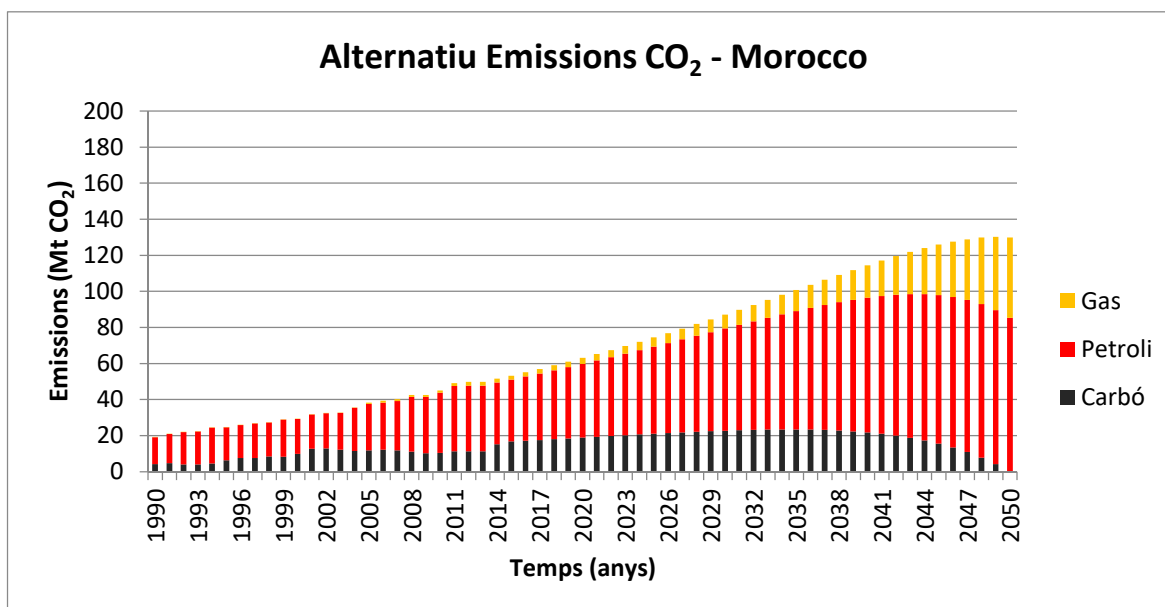


Figura 72. Escenari alternatiu d'emissions del Marroc.

Aquestes suposen un decreixement del 35 % respecte el BAU, mostrar a continuació:



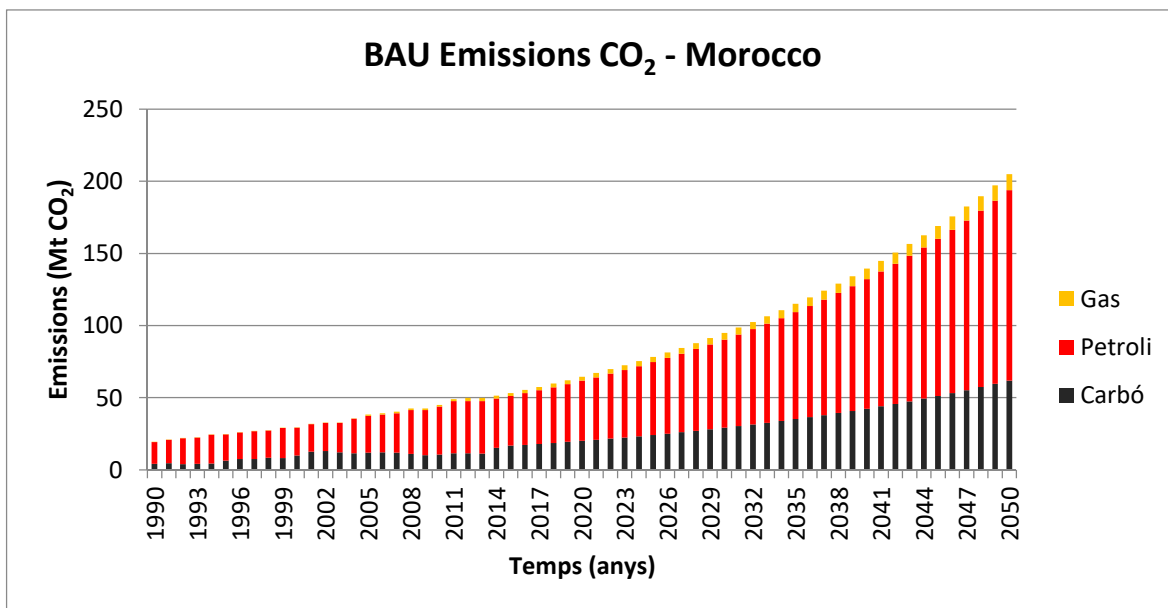


Figura 73. Escenari BAU d'emissions del Marroc.

Finalment, la reducció en emissions es fa extensible a la intensitat de carboni:

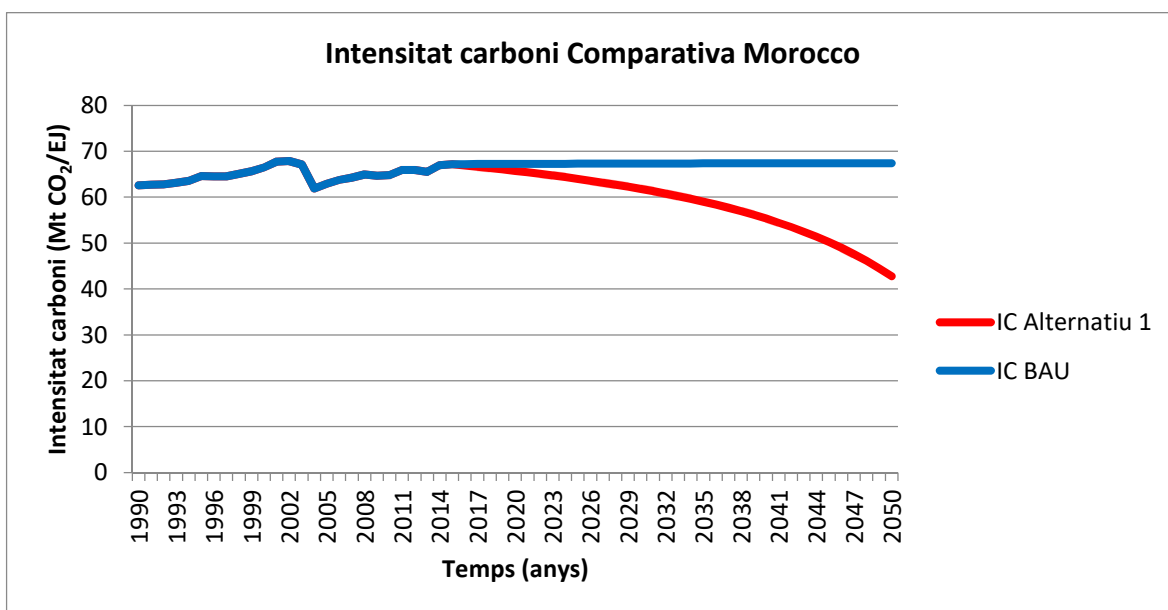


Figura 74. Comparativa d'escenaris BAU i alternatiu de la intensitat de carboni del Marroc.

#### 6.1.4. Escenari alternatiu d'Espanya

Com a últim país d'exemple, es tracta Espanya. Aquest presenta el següent balanç el 2015:



Per tal de comparar-ho, es mostra el BAU (en aquest cas tampoc s'ha posat com a exemple al capítol dels escenaris BAU):

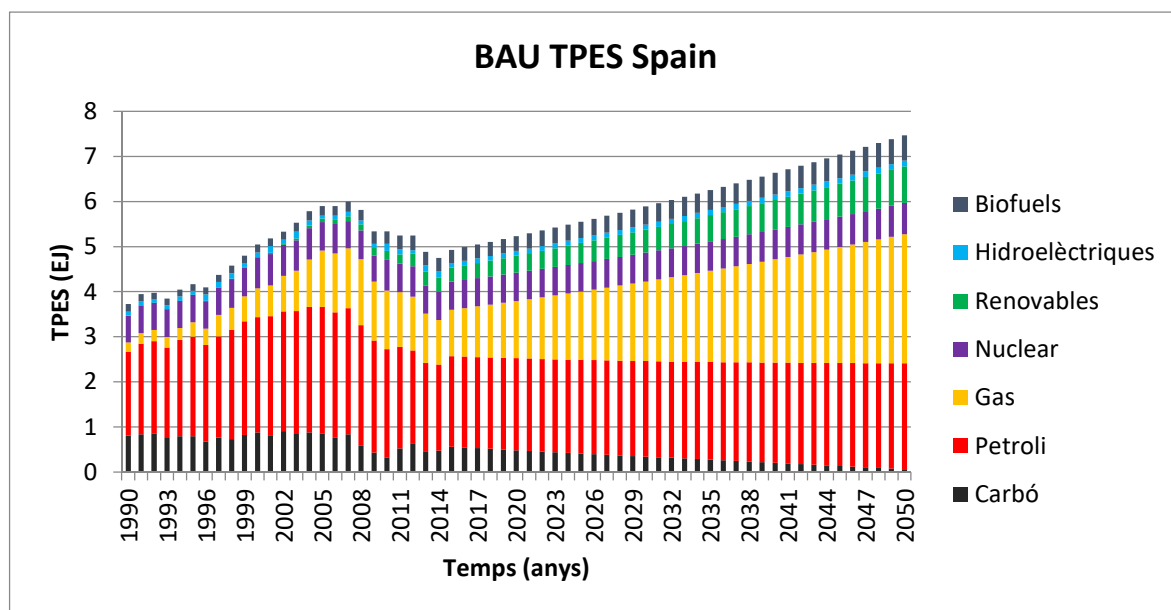


Figura 77. Escenari BAU de TPES d'Espanya.

Com es pot observar, no només la majoria del vector està format per fonts emissores (gas i petroli en aquest cas), sinó que a més augmenten en el futur. També s'aprecia com les renovables van entrant al vector de forma molt lenta.

Això implica unes noves emissions:

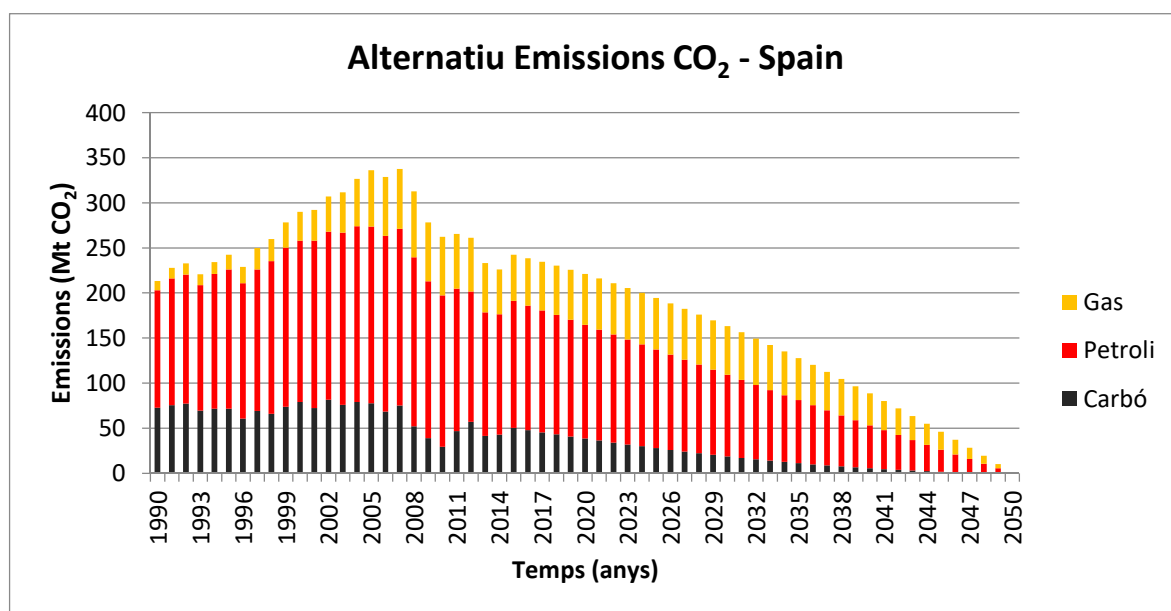


Figura 78. Escenari alternatiu d'emissions d'Espanya.

Com es veu, les emissions s'acaben anul·lant, que era el que es pretenia en aquest escenari. Aquestes es poden comparar amb les que resulten de l'escenari BAU, que augmenten com ja feia preveure el vector energètic:

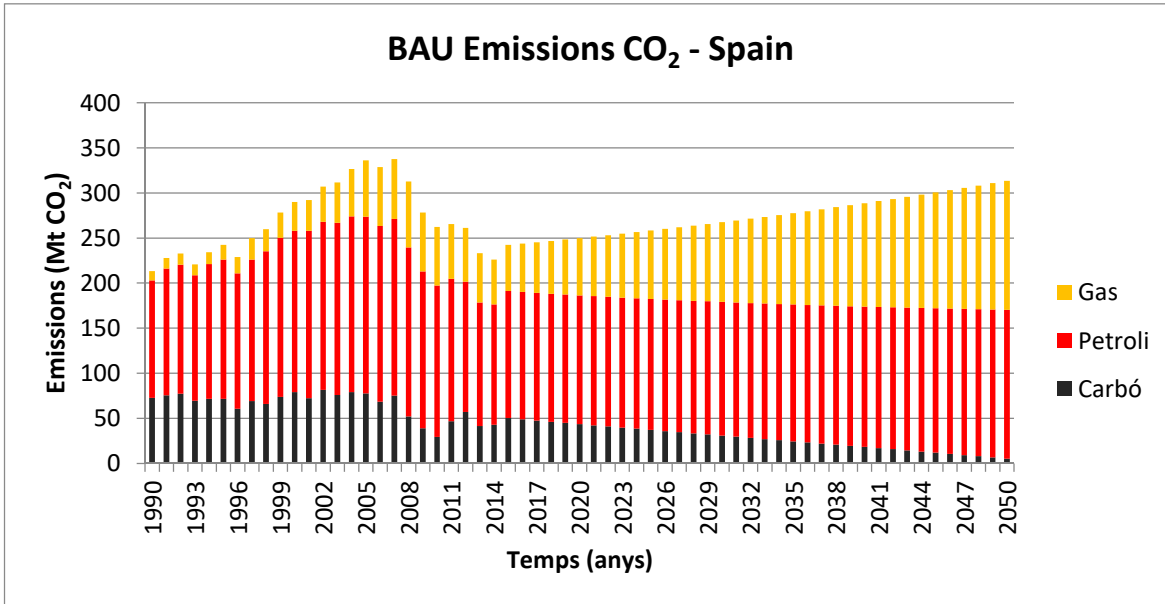


Figura 79. Escenari BAU d'emissions d'Espanya.

El resultat d'aquest procés en la intensitat de carboni és el següent, amb una reducció del 100 %:

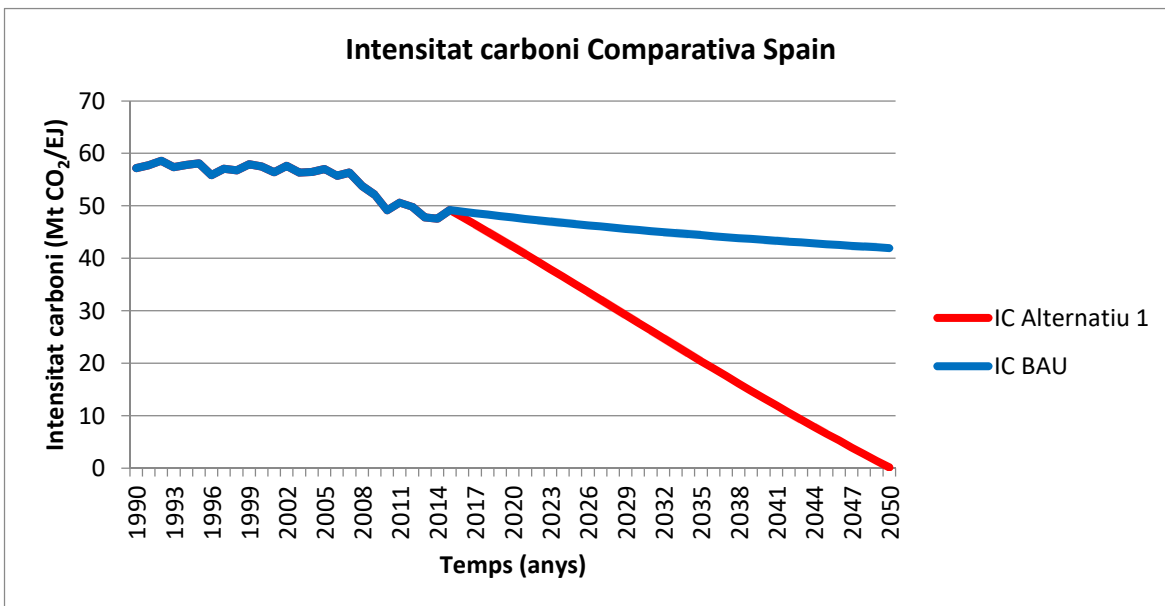


Figura 80. Comparativa d'escenaris BAU i alternatiu de la intensitat de carboni d'Espanya.

## 6.2. Escenaris alternatius d'agregats

En aquest projecte es creen dos escenaris de futur alternatius pels agregats: un per als països desenvolupats i un altre per als països en desenvolupament.

En aquest cas es fixen reduccions d'emissions al 2050 i es calculen, a partir d'aquestes, el vector energètic i la intensitat de carboni.

Els càlculs d'aquests escenaris i de totes les representacions gràfiques es poden trobar al ANNEX V.

### 6.2.1. Escenari alternatiu de l'agregat desenvolupat

En aquest cas es fixa una reducció del 50 % de les emissions per al 2050 respecte el BAU, quedant:

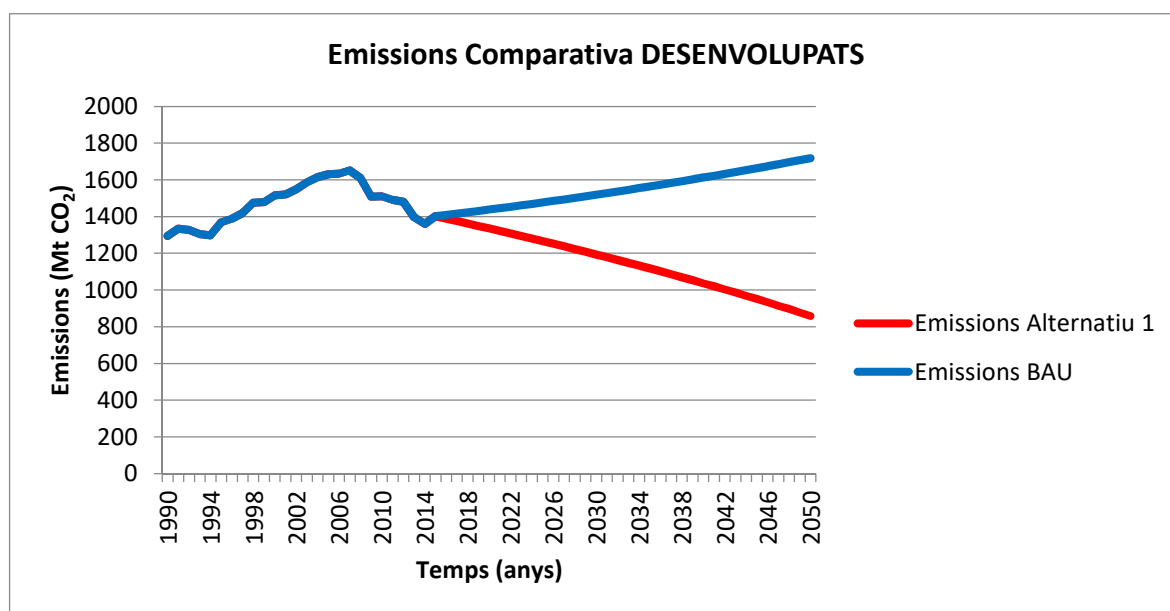


Figura 81. Comparativa d'escenaris BAU i alternatiu d'emissions dels països desenvolupats.

En base a aquestes noves emissions i mantenint els valors d'intensitat energètica, PIB per càpita i població del BAU, es fa ús de la Identitat de Kaya per a trobar la nova intensitat de carboni, que es redueix en proporció a les emissions:

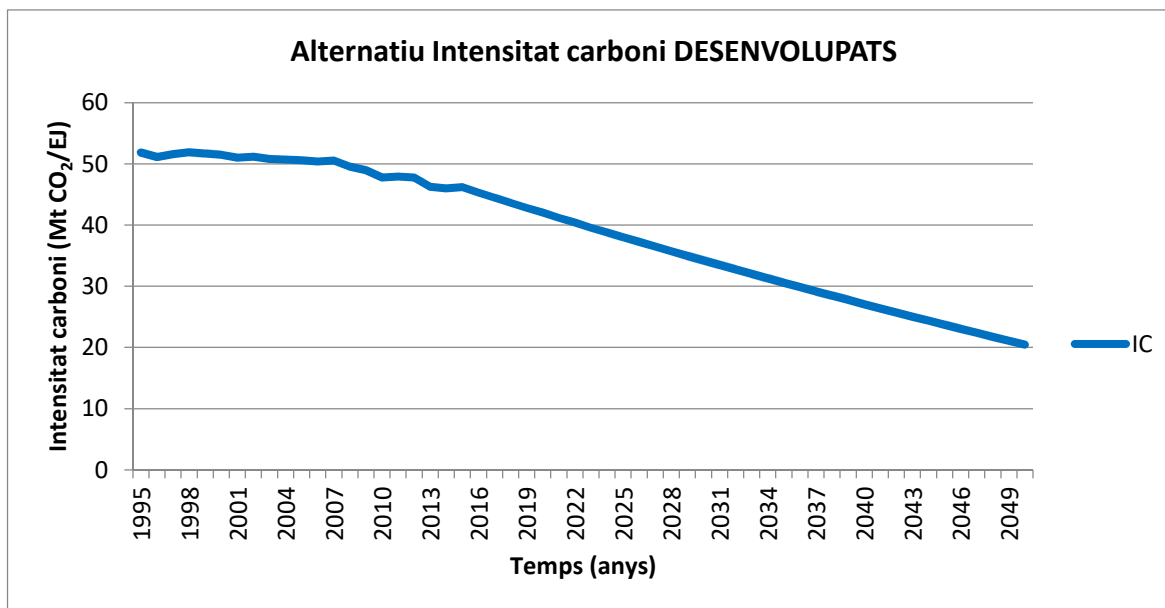


Figura 82. Escenari alternatiu de la intensitat de carboni dels països desenvolupats.

A partir d'aquí, les noves emissions es reparteixen de manera que s'elimina el carbó, es manté el gas igual que al BAU i la reducció addicional que es necessiti, es fa sobre el petroli, quedant:

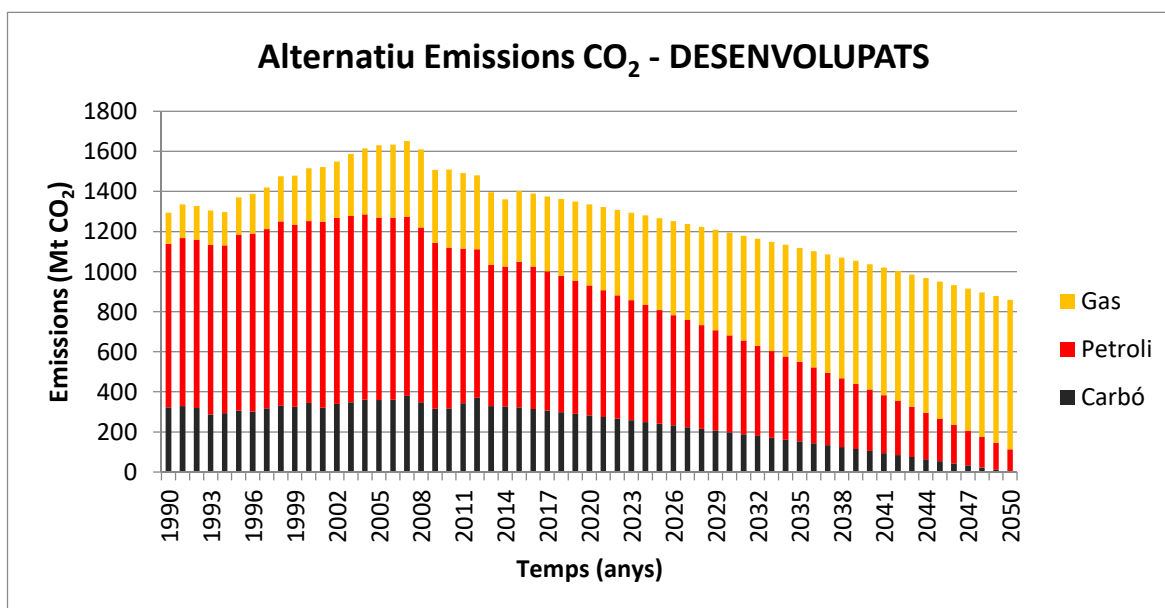


Figura 83. Escenari alternatiu d'emissions dels països desenvolupats.

Finalment, fent ús dels factors d'emissió es troben els TPES de petroli, carbó i gas i, a través de projeccions lineals, també els de la resta de fonts d'energia, quedant el vector energètic:

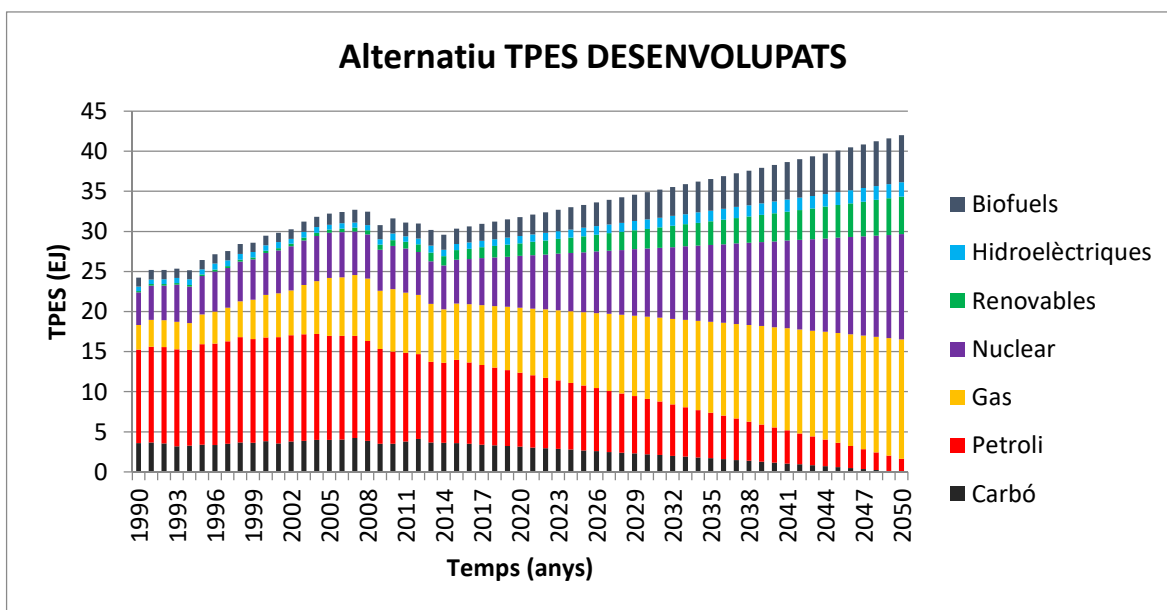


Figura 84. Escenari alternatiu de TPES dels països desenvolupats.

Es produeix una reducció gairebé total de l'ús de petroli, i el gas manté el seu BAU, fet que provoca que augmenti la dependència de la resta de components (biocombustibles, hidroelèctrica, renovables i nuclear).

### 6.2.2. Escenari alternatiu de l'agregat en desenvolupament

En aquest cas, la reducció d'emissions també és del 50 % per al 2050, quedant:

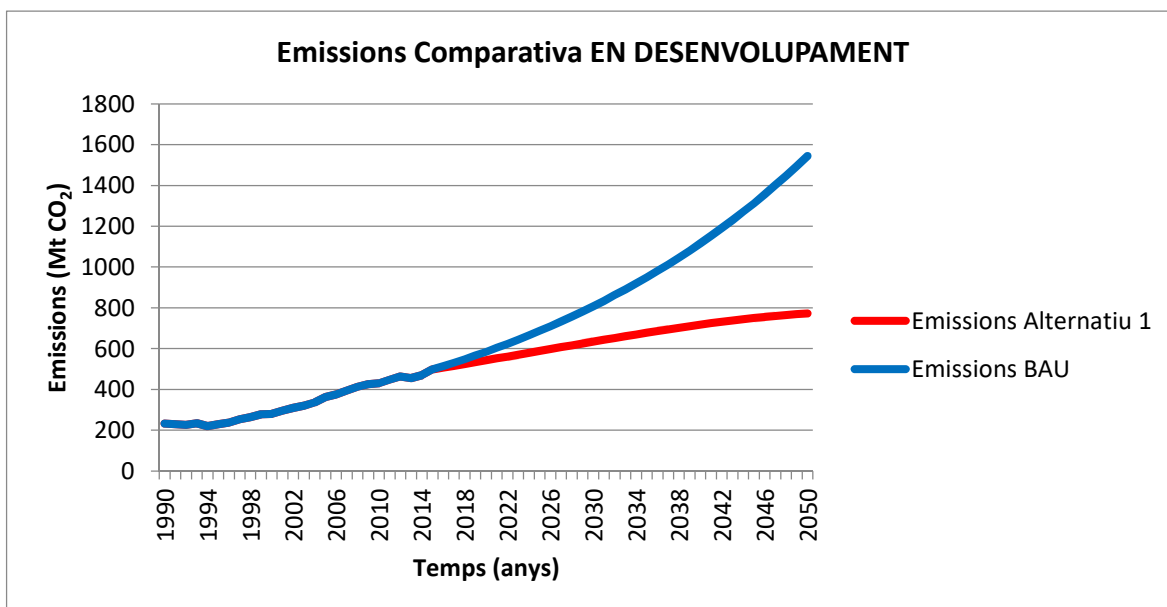


Figura 85. Comparativa d'escenaris BAU i alternatiu d'emissions dels països en desenvolupament.

Seguint el procés anterior, s'obté la intensitat de carboni:

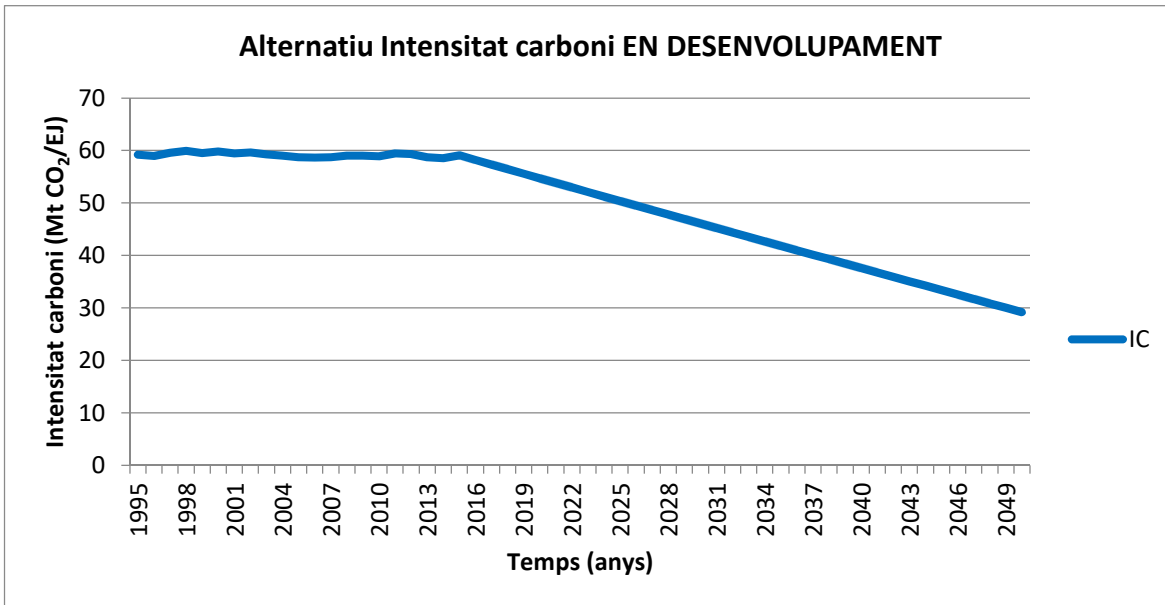


Figura 86. Escenari alternatiu de la intensitat de carboni dels països en desenvolupament.

I seguint amb el mètode, la repartició d'emissions queda:

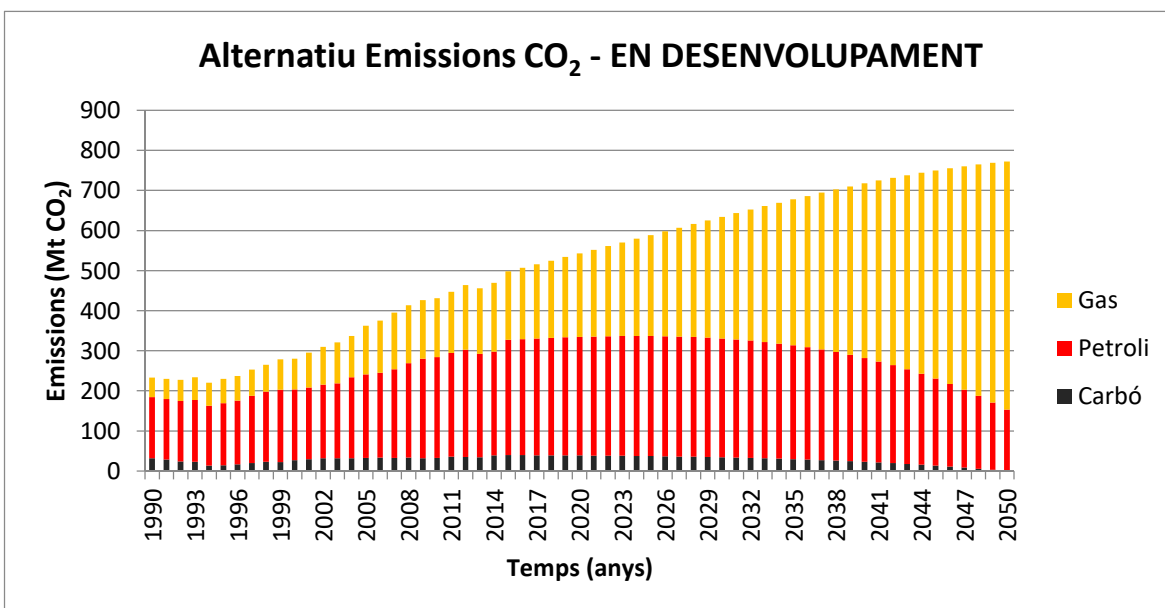


Figura 87. Escenari alternatiu d'emissions dels països en desenvolupament.

I finalment, es troba el vector energètic alternatiu:



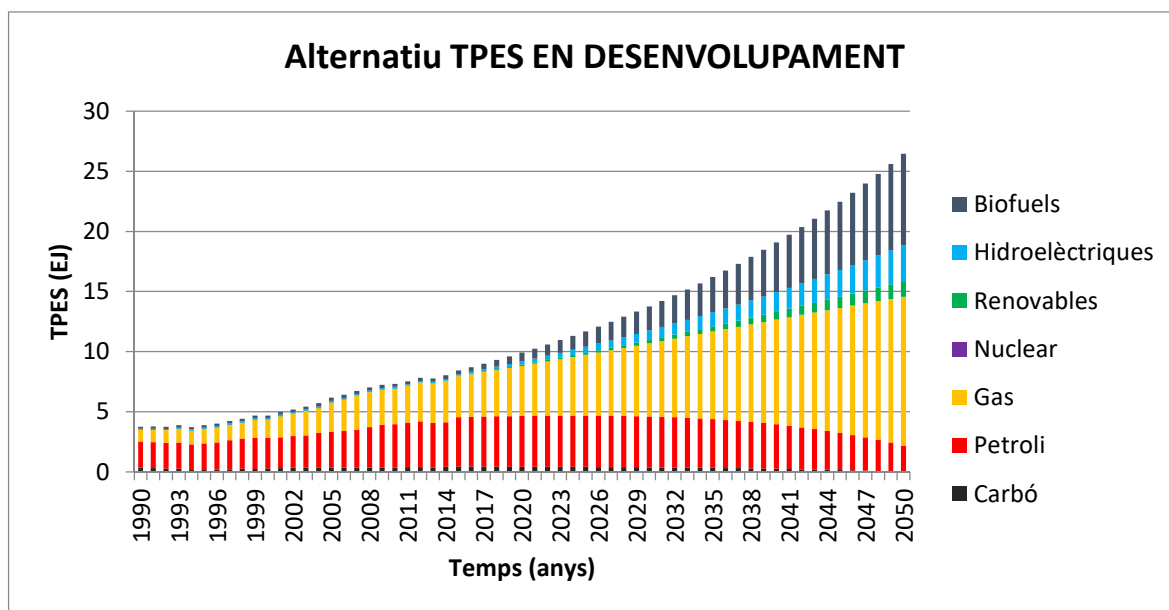


Figura 88. Escenari alternatiu de TPES dels països en desenvolupament.

Donat que les emissions alternatives, tot i la reducció al 50 % al 2050, continuen en augment per a aquest agregat de països, el TPES de les fonts emissores també ho fa. En aquest cas, el petroli també es redueix bastant i el gas, que manté el seu BAU, és la principal font.

Cal destacar el gran augment dels biocombustibles i, pel contrari, la insignificant presència de les renovables.

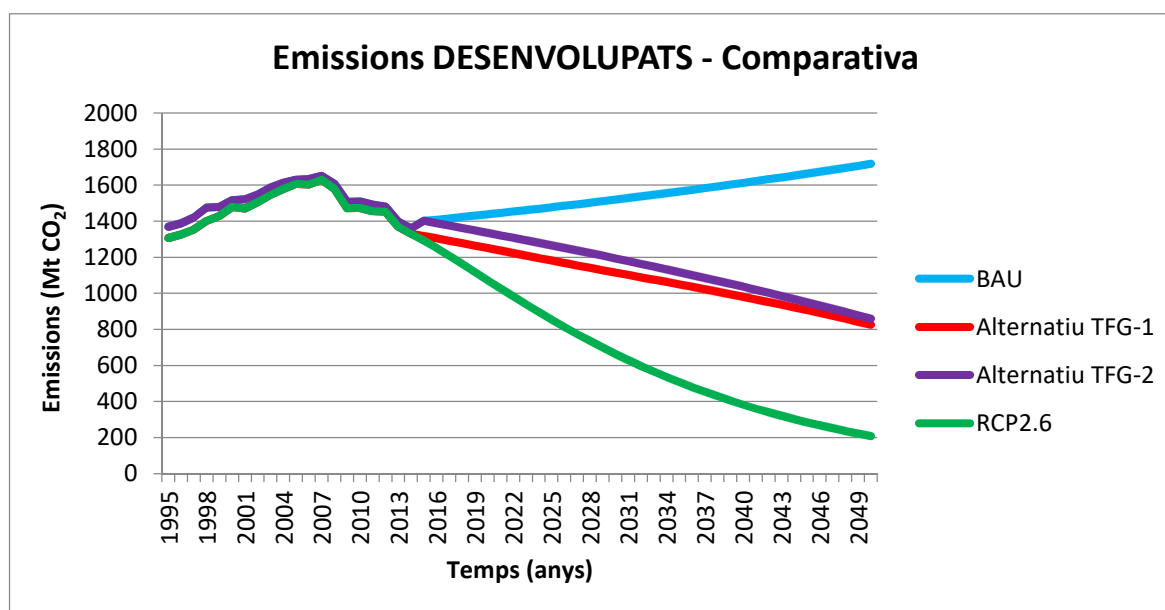
## 7. Comparació amb el RCP2.6

Aquest darrer capítol té el propòsit de comparar els escenaris alternatius elaborats al capítol anterior, així com els escenaris BAU del cinquè capítol, amb l'escenari dels 2 °C per als agregats de països (desenvolupats, en desenvolupament i total).

Aquest escenari dels 2 °C ha estat elaborat pels codirectors d'aquest projecte [36] i, sense entrar en detall, és una translació de l'escenari RCP2.6 de l'IPCC [15] realitzada en base a l'aplicació de criteris de justícia climàtica. Aquest escenari d'emissions de futur estableix el nivell d'emissions necessàries per a no superar un increment de la temperatura mitjana del planeta de 2 °C al final de segle respecte els nivells preindustrials, per a tot el món.

El Model de Justícia Climàtica esmentat assigna un total d'emissions a cada país prenent com a punt de partida les emissions aportades per l'IPCC en l'escenari RCP2.6. Aquesta assignació d'emissions es fa suposant un igual número d'emissions per càpita i considerant la responsabilitat històrica de cada país pel que fa a emissions.

A la gràfica comparativa també es mostra l'escenari alternatiu del TFG anterior [1] que implicava una major reducció d'emissions (anomenat COMBINAT 2 en aquell moment). Aquest consistia en reduir la intensitat energètica dels països en desenvolupament fins el nivell que tindrien els desenvolupats el 2050 segons el seu BAU, i el PIB per càpita dels desenvolupats fins el que tindrien els països en desenvolupament el 2050 també segons el seu BAU.



**Figura 89.** Comparativa d'escenaris de futur alternatiu, BAU i RCP2.6 d'emissions als països desenvolupats.

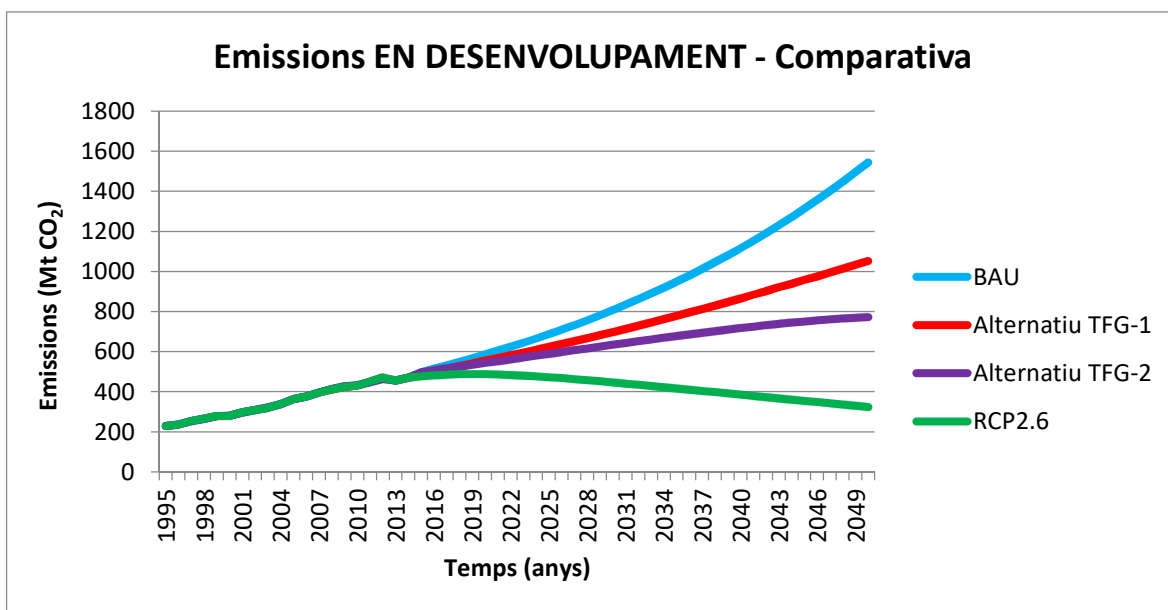


Figura 90. Comparativa d'escenaris de futur alternatiu, BAU i RCP2.6 d'emissions als països en desenvolupament.

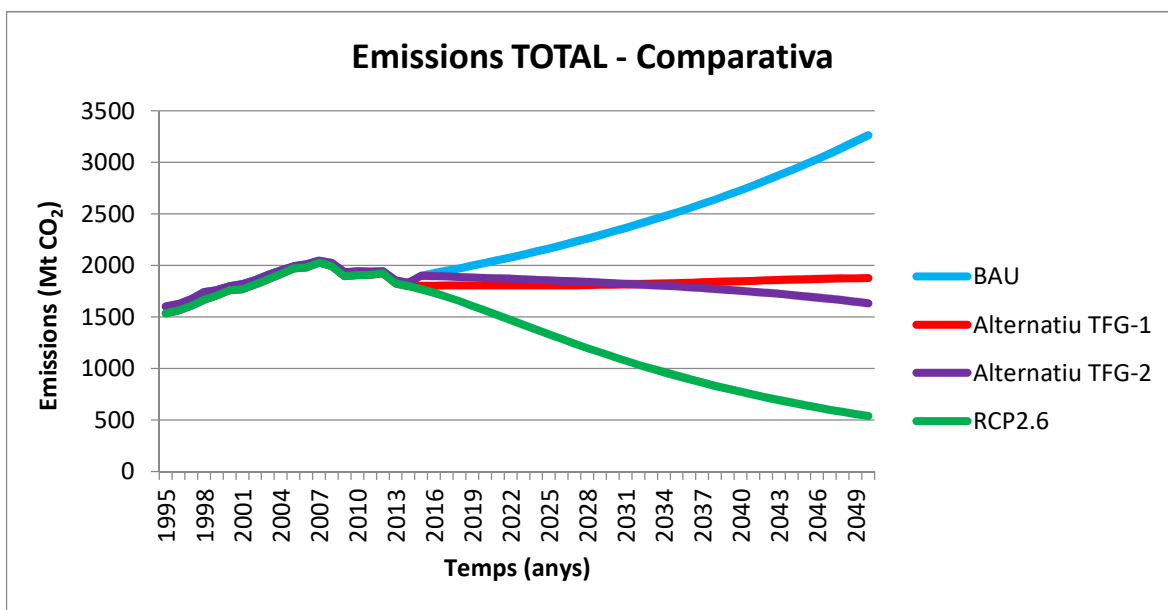


Figura 91. Comparativa d'escenaris de futur alternatiu, BAU i RCP2.6 d'emissions al total de països de la conca mediterrània.

Es pot apreciar com en els països desenvolupats s'aconsegueix la mateixa reducció d'emissions amb els dos escenaris alternatius respecte el BAU (50 %), mentre que als països en desenvolupament, la variació d'intensitat de carboni proposada en aquest projecte aconsegueix una reducció d'emissions superior a la que assolien les variacions dels altres factors conductors al projecte anterior.

En el cas del total de tots els països, la reducció es troba a mig camí entre la dels desenvolupats i la dels països en desenvolupament.

Al mateix temps, s'aprecia com la distància amb l'escenari dels 2 °C segueix essent bastant gran (superior a 1000 Mt CO<sub>2</sub> en el total de països el 2050).

Com a última alternativa, es combinen els escenaris alternatius d'un i altre projecte (s'apliquen simultàniament) per a crear un escenari alternatiu combinat final i intentar apropar-se el màxim possible al nivell d'emissions del RCP2.6, és a dir, per a intentar assolir l'objectiu dels 2 °C.

Amb la combinació d'aquests, el que s'està fent és variar les intensitat de carboni, intensitat energètica i el PIB per càpita, de manera que es modifiquen tots els factors conductors de la Identitat de Kaya a excepció de la població.

Els resultats després de recalculer les emissions són:

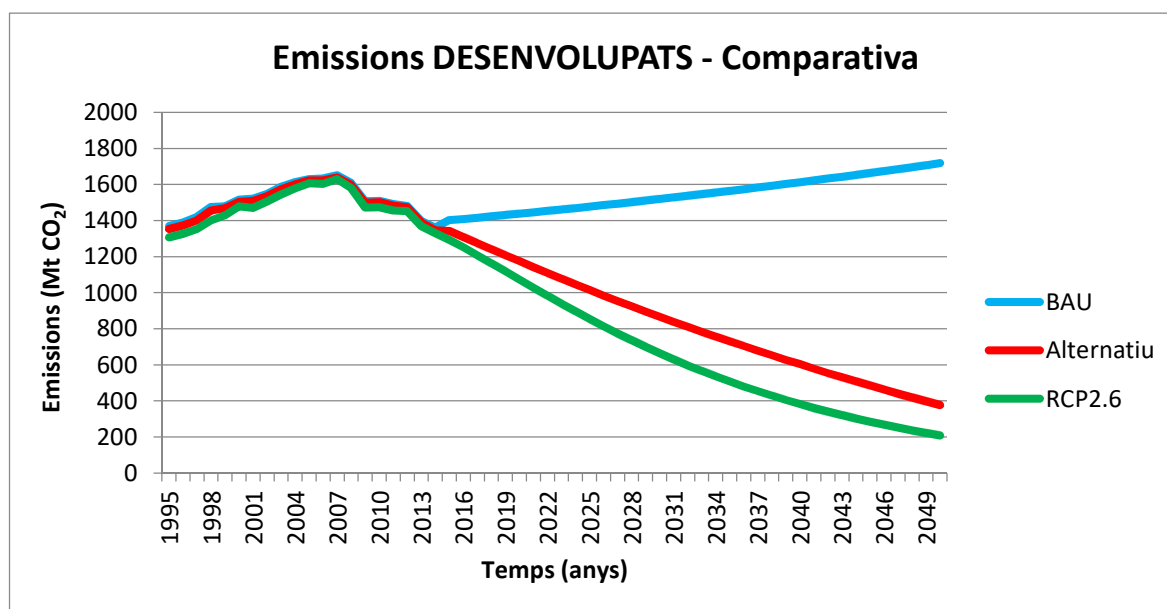


Figura 92. Comparativa d'escenaris de futur d'emissions dels països desenvolupats.

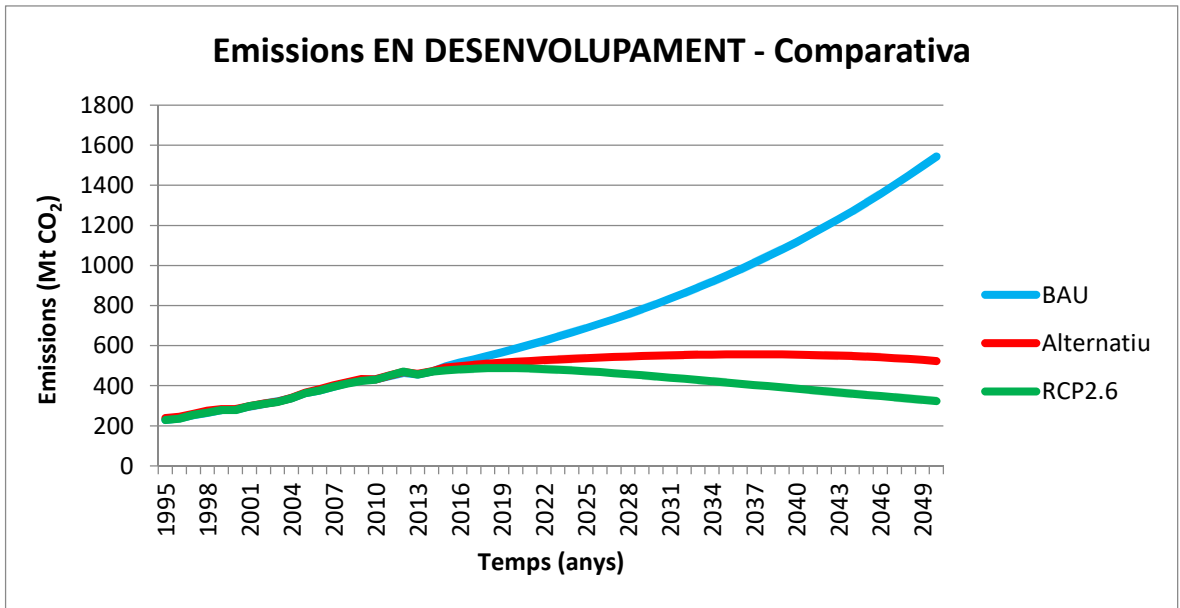


Figura 93. Comparativa d'escenaris de futur d'emissions dels països en desenvolupament.

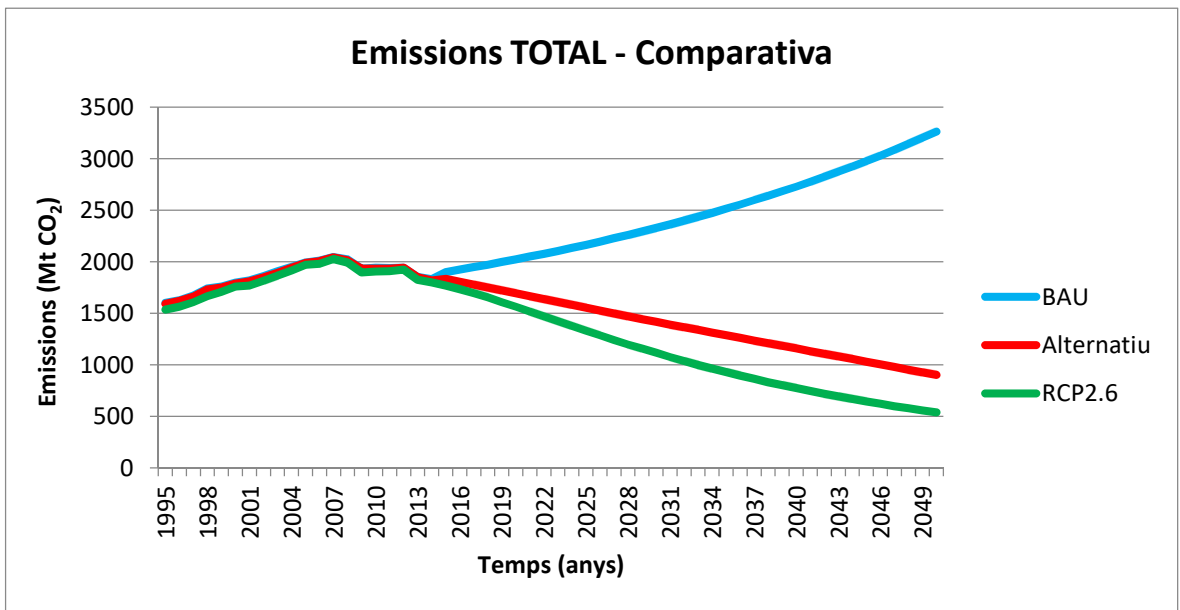


Figura 94. Comparativa d'escenaris de futur d'emissions del total de països de la conca mediterrània.

En aquests casos s'aprecia com la reducció és molt major, suposant uns decrements respecte els BAU del 75 %, 65 % i 70 % per a desenvolupats, en desenvolupament i total, respectivament. A més, es veu com la distància amb el RCP2.6 és de 200 Mt CO<sub>2</sub> per als desenvolupats, 250 Mt CO<sub>2</sub> per als en desenvolupament i 450 Mt CO<sub>2</sub> per al total.

Es pot dir, per tant, que els resultats obtinguts són molt positius, ja que suposen una reducció respecte el BAU i, a més a més, una aproximació a l'escenari dels 2 °C considerable. A la conclusió del

TFG anterior [1], es deia que calia valorar la modificació de la intensitat de carboni per tal de tenir una visió més real sobre les possibilitats d'arribar a l'objectiu dels 2 °C. S'ha vist com la modificació d'aquest factor ajuda notablement a apropar-s'hi.

Ara bé, cal ajustar-se al màxim a la realitat i tenir en compte dos factors:

- Les mesures de reducció aplicades als factors conductors en l'elaboració d'ambdós projectes són molt ambicioses i, en conseqüència, de difícil assoliment.
- Tot i les mesures difícilment assumibles implementades, encara existeix certa distància amb l'escenari RCP2.6.

Això fa pensar que l'objectiu dels 2 °C és més llunyà del que pot semblar a la representació gràfica mostrada.

Tots els càlculs i representacions gràfiques referents a aquest capítol es poden trobar al ANNEX VI.

## 8. Anàlisi de l'impacte ambiental

*Aquest apartat es troba referenciat al TFG que serveix de base per a aquest [1].*

En aquest apartat s'analitza l'impacte sobre el medi ambient que hagi pogut causar l'elaboració del propi Treball Fi de Grau. Donades les característiques del projecte, l'impacte ambiental que se'n deriva és mínim, tot i que es poden considerar alguns factors com els exposats a continuació:

- Ús de paper: s'ha fet ús de folis de paper en les reunions de seguiment amb la directora i el co-director del treball amb l'objectiu de discutir els següents passos a fer. També s'han emprat folis com a esborranys de càlculs o gràfiques.
- Ús de l'ordinador portàtil: el treball s'ha elaborat majoritàriament en base a la informació cercada a Internet, a la consulta de documents en format PDF i a l'ús de dos programes informàtics com són Microsoft Excel i Microsoft Word. Totes aquestes aplicacions han estat executades des d'un ordinador portàtil propietat de l'autor del present document. Donada la potència elèctrica de l'esmentat equip informàtic (65 W) i les hores dedicades a l'elaboració del TFG (630, veure l'apartat del pressupost), es pot deduir una energia consumida de 40,95 kWh. Seguint el publicat per l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic (OCCC) per a l'any 2017 [37], les emissions de CO<sub>2</sub> per unitat d'energia elèctrica són de 392 g CO<sub>2</sub>/kWh. Això suposa unes emissions de 16,05 kg CO<sub>2</sub>.
- Ús del transport públic: els desplaçaments físics de l'autor del treball a la universitat per a l'assistència a les reunions de seguiment s'han efectuat en transport públic (concretament emprant Rodalies Renfe i Metro). L'ús d'aquest tipus de transport implica unes emissions mínimes.





## Conclusions

Aquest apartat té com a objectiu agrupar les conclusions més importants dels diferents capítols del treball i aportar les conclusions generals d'aquest.

Pel que fa a l'anàlisi històric, hi ha un punt comú entre tots els països, ja siguin desenvolupats o estiguin en desenvolupament, i és la seva dependència de les fonts emissores (petroli, carbó i gas). En la majoria d'ells, aquests tres recursos suposen més de tres quartes parts del vector energètic, fet que implica unes emissions molt elevades i relega a un segon pla a les renovables, inclús en aquells països on les renovables han començat a obrir-se camí.

Hi ha diferents esdeveniments històrics que afecten a l'evolució del vector energètic i de les emissions. Alguns d'aquests successos alteren el funcionament normal del país i provoquen recessions econòmiques. Les emissions i el subministrament d'energia primària (TPES) en aquests casos, s'estanquen o fins i tot es redueixen. Els exemples més clars han estat el desmembrament de l'antiga Iugoslàvia (que afecta països com Bòsnia o Croàcia), la crisi econòmica mundial (que afecta sobretot Europa) i els conflictes als països àrabs dels darrers anys.

En relació als països desenvolupats, el valor total de TPES es manté constant durant els darrers anys. Observant la seva composició, la font emissora predominant és el petroli (34 % del total) i hi ha una contribució important (18 %) de l'energia nuclear. També es veu com apareixen les renovables, però aquestes suposen un percentatge insignificant (4 %).

Pel que fa a les emissions, es mantenen constants en els últims anys, de la mateixa manera que la contribució al vector energètic de les fonts emissores. Això causa una intensitat de carboni lleugerament descendent i gairebé constant.

Respecte els països en desenvolupament, el total de TPES va en augment i el vector energètic està íntegrament format per petroli i gas, sense energia nuclear ni renovables. Això provoca que les emissions també augmentin any a any i que en resulti una intensitat de carboni constant durant tot el període històric.

Pel que fa a l'anàlisi històric del total de països de la conca mediterrània, en valor absolut la contribució dels països desenvolupats és quasi 3 vegades superior a la dels països en desenvolupament. Per aquesta raó, la tendència del total ve fortament marcada per la dels països desenvolupats. Això es repeteix en tots els escenaris de futur també.

Per tant, quan s'analiza l'agregat de tots els països estudiats, s'observa una evolució constant de les tres magnituds (TPES, emissions i intensitat de carboni) amb predomini de les fonts emissores

(sobretot el petroli) i influència de l'energia nuclear. En concret, l'evolució de la intensitat de carboni és idèntica a la dels països desenvolupats.

Dels escenaris tendencials o BAU, es pot extreure com a conclusió general que, aplicant el mètode de la taxa de variació mitjana interanual, la tendència dels darrers anys és la que es manté fins el 2050.

Al llarg del TFG s'ha explicat algun exemple del BAU d'alguns països. En el cas d'Algèria o Egipte, països típics en desenvolupament, hi ha un gran augment tant de TPES com d'emissions donat que la dependència és exclusiva de petroli i gas (això deriva una intensitat de carboni constant). En casos com el d'Itàlia, acaba desapareixent el petroli del vector energètic, però el gas és la font més emprada amb diferència (suposa més de la meitat del vector), fet que provoca una disminució d'emissions donada la diferència en el factor d'emissió d'un i altre recurs i, en conseqüència, una reducció de la intensitat de carboni. Per últim, en el cas particular de França, continua la gran proporció d'energia nuclear al vector energètic i, a més, aquesta augmenta fins el 2050.

Posant el focus en els agregats, el BAU manté la tendència comentada anteriorment per als països tipus. Als desenvolupats hi ha un augment de TPES, però augmenta la presència de fonts d'energia no emissores, el que provoca que hi hagi també un augment d'emissions, però molt menys pronunciat. Això es tradueix en una disminució de la intensitat de carboni. Respecte els territoris en desenvolupament, també hi ha un augment de TPES, però en aquest cas, acompanyat d'un augment igual d'emissions, donat que petroli i gas suposen gairebé la totalitat del vector energètic. Això fa que la intensitat de carboni es mantingui constant.

En relació als escenaris de futur alternatius construïts, variant la composició del vector energètic, d'alguns països en concret, es conclou que:

- En tots s'aconsegueix un decrement d'emissions a partir de reduir la dependència d'alguna font emissora (sobretot petroli i carbó), indistintament del seu grau de desenvolupament.
- Es tracta d'escenaris ambiciosos i de difícil assoliment, donades les reduccions de les dependències de determinades fonts d'energia imposades (on destaca el cas d'Espanya, on es proposa un escenari d'anul·lació d'emissions per al 2050).

Respecte els escenaris de futur alternatius construïts per als agregats de països, s'han fixat objectius de reducció d'un 50 % d'emissions el 2050 respecte el BAU, i s'ha dissenyat la composició del vector energètic d'acord amb aquest objectiu. Les principals conclusions són:

- L'eliminació del carbó i la reducció del petroli (deixant el gas segons el seu BAU) ajuden a assolir l'objectiu de reducció d'emissions fàcilment, donat que tenen els factors d'emissió més elevats.

- Donat que es manté el valor total de TPES (tot i el canvi en la distribució del vector energètic), la reducció d'emissions imposada implica una reducció també de la intensitat de carboni del 50 %.
- En el cas dels països desenvolupats, hi ha un augment de la dependència de l'energia nuclear i de les renovables.
- En el cas dels països en desenvolupament, hi ha un augment de la dependència de biocombustibles i, en menor mesura, de l'energia hidroelèctrica.
- En tots dos casos, donat el criteri seguit, la font energètica principal acaba essent el gas.

Finalment, es comparen els escenaris alternatius amb la translació per als països de la conca mediterrània de l'escenari mundial dels 2 °C. D'aquesta comparació es conclou que quan s'actua únicament sobre un dels factors conductors segons la Identitat de Kaya (en aquest cas, la intensitat de carboni), l'objectiu de no superar els 2 °C d'increment de temperatura respecte els nivells preindustrials no s'assoleix. Aquesta mateixa conclusió sorgia al TFG anterior quan es modificaven intensitat energètica i PIB per càpita.

Ara bé, l'actuació simultània sobre intensitat de carboni, intensitat energètica i PIB per càpita dona com a resultat un escenari futur d'emissions que ja s'apropa considerablement a un escenari compatible amb l'objectiu dels 2 °C.

Tots aquests escenaris futurs (de països concrets, però, sobretot, dels agregats) es creen a partir de l'aplicació de mesures molt dràstiques o ambicioses i, per tant, de difícil assoliment, motiu pel qual cal tenir en compte que les corbes d'emissions que es comparen amb el RCP2.6 es troben en la realitat més lluny d'aquest del que les representacions gràfiques d'aquest projecte puguin mostrar.

Donada la conclusió final d'aquest estudi, l'assoliment de l'objectiu dels 2 °C és, no impossible, però sí ambiciós. Aquest treball se centra en la conca mediterrània, però la situació es podria extrapolar a la resta del món (on inclús podria empitjorar), doncs és on es troben els majors emissors, com són la Xina o els Estats Units. Precisament aquest darrer, per exemple, ha renunciat en el darrer any als seus compromisos en matèria de canvi climàtic adoptats en l'Acord de París. Situacions com aquesta haurien de motivar altres països (en especial aquells més desenvolupats) a apostar més fort i consensuar mesures més ambicioses contra el canvi climàtic, que no impliquessin un retrocés econòmic, però en les que es millorés l'eficiència de les centrals generadores d'energia i es fes el salt definitiu cap als recursos energètics d'origen renovable; i el que està clar és que un acord de mínims com el que s'ha signat el 2018 a Katowice (Polònia) no és la millor via.



## Pressupost

En aquest capítol s'exposa l'anàlisi econòmic associat a l'elaboració d'aquest projecte. En primer terme, es calculen les hores dedicades a la realització del treball, corresponents aproximadament al quadrimestre de tardor de 2018:

Comptabilització d'hores dedicades	
Inici període elaboració TFG	12 de setembre de 2018
Fi període elaboració TFG	7 de gener de 2019
Dies totals	118
Dies festius	9
Dies no treballats	4
Dies treballats	105
Mitjana hores diàries	6
<b>Total hores</b>	<b>630</b>

Taula 6. Comptabilització d'hores dedicades a l'elaboració del TFG.

I en segon lloc es valoren la resta de partides que contribueixen a la despesa econòmica del projecte (juntament amb les hores de treball de la taula anterior). El preu de les hores d'enginyeria s'extreu de l'ITEC (Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya) [38], que el fixa en 38,77 €/hora per al 2018, del que es descompta un 30 % per la manca d'experiència laboral, quedant en 27,14 €/hora.

Desglossament del pressupost			
Concepte	Unitats	Preu unitat (€)	Preu total (€)
Hores d'enginyeria	630	27,14 [38]	17.098,20
Ordinador portàtil HP	1	760	760
Targeta T-Jove TMB 1 Zona	1	105	105
Base imposable			17.963,20
21 % IVA			3.772,27
<b>TOTAL</b>			<b>21.735,47</b>

Taula 7. Desglossament del pressupost del TFG.



## Bibliografia

- [1] J. Serrano. Treball Fi de Grau. *Emissions de CO<sub>2</sub> als països de la conca mediterrània. Escenaris de futur "Business As Usual" i escenaris alternatius*. 2018. Barcelona.
- [2] O. Alcaraz & J. Xercavins. *Ciència de l'escalfament global i del CC (part 1)*. 2016. Barcelona.
- [3] IPCC. *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis. A: Observations: Atmosphere and Surface* [en línia]. 2014. [Consulta: 14 desembre 2018]. Disponible a <[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_Chapter02\\_FINAL.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter02_FINAL.pdf)>.
- [4] NOAA. *Climate data and reports* [en línia]. [Consulta: 14 desembre 2018]. Disponible a: <<https://www.noaa.gov/climate-data-and-reports>>.
- [5] CarbonBrief. *Analysis: Fossil-fuel emissions in 2018 increasing at fastest rate for seven years* [en línia]. [Consulta: 14 desembre 2018]. Disponible a: <<https://www.carbonbrief.org/analysis-fossil-fuel-emissions-in-2018-increasing-at-fastest-rate-for-seven-years>>.
- [6] IPCC. *Climate Change 2007 - The Physical Science Basis. A: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing* [en línia]. 2007. [Consulta: 14 desembre 2018]. Disponible a <<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf>>.
- [7] European Parliament. *Emisiones de gases de efecto invernadero por país y sector* [en línia]. [Consulta: 14 desembre 2018]. Disponible: <<http://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180301STO98928/emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-por-pais-y-sector-infografia>>.
- [8] IPCC. *Special Report. Global Warming of 1.5 °C. A: Chapter 1: Framing and Context* [en línia]. 2018. [Consulta: 14 desembre 2018]. Disponible a: <[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/11/SR15\\_Chapter1\\_Low\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/11/SR15_Chapter1_Low_Res.pdf)>.

- [9] Earth System Research Laboratory. Mauna Loa Observatory. *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide* [en línia]. [Consulta: 14 desembre 2018]. Disponible a: <<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>>.
- [10] Energía y Sociedad. *Manual de la Energía. 3.1. El cambio climático y los acuerdos internacionales* [en línia]. [Consulta: 15 desembre 2018]. Disponible a: <<http://www.energiaysociedad.es/manenergia/3-1-el-cambio-climatico-y-los-acuerdos-internacionales/>>.
- [11] UNFCCC. Paris Agreement. A: *21st Conference of the Parties* [en línia]. 2015. [Consulta: 15 desembre 2018]. Disponible a: <[http://unfccc.int/files/essential\\_background/convention/application/pdf/english\\_paris\\_agreement.pdf](http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf)>.
- [12] URBACT. *COP21 Logo* [en línia]. 2015. [Consulta: 15 desembre 2018]. Disponible a: <<http://urbact.eu/files/cop21-logo>>.
- [13] UNFCCC. Aggregate effect of the intended determined contributions: an update. A: *22nd Conference of the Parties* [en línia]. 2016. [Consulta: 15 desembre 2018]. Disponible a: <<http://unfccc.int/resource/docs/2016/cop22/eng/02.pdf>>.
- [14] Y. Kaya. *Environment, Energy, and Economy: strategies for sustainability* [en línia]. 1990. ISBN 9280809113 [Consulta: 17 desembre 2018]. Disponible a: <<http://archive.unu.edu/unupress/unupbooks/uu17ee/uu17ee00.htm#Contents>>.
- [15] IPCC. Climate Change 2013 - The Physical Science Basis. A: *Climate Change 2014: Synthesis Report* [en línia]. 2014. [Consulta: 17 desembre 2018]. Disponible a <[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf)>.
- [16] IPCC. *Special Report. Global Warming of 1,5 °C* [en línia]. 2018. [Consulta: 17 desembre 2018]. Disponible a: <<https://www.ipcc.ch/sr15/>>.
- [17] Wikipedia. *Anexo: Países por superficie* [en línia]. [Consulta: 18 desembre 2018]. Disponible a <[https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Pa%C3%ADses\\_por\\_superficie](https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Pa%C3%ADses_por_superficie)>.



- [18] United Nations, Department of Economic and Social Affairs. *World Population Prospects: The 2015 Revision, DVD Edition* [en línia]. [Consulta: 12 novembre 2018]. Disponible a: <<https://esa.un.org/unpd/wpp/Download/Standard/Population/>>.
- [19] DIDACTALIA. *Mapa de països del Mediterráneo* [en línia]. [Consulta: 19 desembre 2018]. Disponible a: <<https://mapasinteractivos.didactalia.net/ca/comunitat/mapasflashinteractivos/recurs/mapa-de-paises-del-mediterraneo-freemap/0aaa19da-7813-454e-b238-dffbcf71d494>>.
- [20] Wikipedia. *Montenegro* [en línia]. [Consulta: 20 desembre 2018]. Disponible a: <<https://es.wikipedia.org/wiki/Montenegro>>.
- [21] Wikipedia. *Yugoslavia* [en línia]. [Consulta: 20 desembre 2018]. Disponible a: <<https://es.wikipedia.org/wiki/Yugoslavia>>.
- [22] Wikipedia. *Estat de Palestina*. [en línia]. [Consulta: 20 desembre 2018]. Disponible a: <[https://ca.wikipedia.org/wiki/Estat\\_de\\_Palestina](https://ca.wikipedia.org/wiki/Estat_de_Palestina)>.
- [23] Wikipedia. *Primavera Àrab* [en línia]. [Consulta: 20 desembre 2018]. Disponible a: <[https://ca.wikipedia.org/wiki/Primavera\\_%C3%80rab](https://ca.wikipedia.org/wiki/Primavera_%C3%80rab)>.
- [24] OCDE. *Members and partners* [en línia]. [Consulta: 12 setembre 2018]. Disponible a: <<http://www.oecd.org/about/membersandpartners/>>.
- [25] G. Argilés. Treball Fi de Grau. *Escenaris de futur de les emissions mundials en base a l'anàlisi dels factors conductors d'aquestes*. 2017. Barcelona.
- [26] IEA. *Statistics Search. Balances*. [en línia]. 2018. [Consulta: 12 setembre 2018]. Disponible a: <<https://www.iea.org/classicstats/statisticssearch/>>.
- [27] O. Alcaraz & J. Xercavins. *El vector energètic y las emisiones asociadas a la quema de combustibles fósiles. PRÁCTICA I*. 2016. Barcelona.
- [28] IEA. *CO2 Emissions From Fuel Combustion Highlights 2016* [en línia]: *CO<sub>2</sub> Highlights 2016 – Excel Tables*. [Consulta: 6 febrer 2017]. Disponible a: <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/co2-emissions-from-fuel-combustion-highlights-2017.html>>.

- [29] WB. Data Catalog: *World Development Indicators* [en línia]. [Consulta: 19 febrer 2017]. Disponible a: <<https://datacatalog.worldbank.org/dataset/world-development-indicators>>.
- [30] Wikipedia. *Unión Soviética* [en línia]. [Consulta: 27 desembre 2018]. Disponible a: <[https://es.wikipedia.org/wiki/Uni%C3%B3n\\_Sovi%C3%A9tica](https://es.wikipedia.org/wiki/Uni%C3%B3n_Sovi%C3%A9tica)>.
- [31] Wikipedia. *Crisis financiera de 2008* [en línia]. [Consulta: 27 desembre 2018]. Disponible a: <[https://es.wikipedia.org/wiki/Crisis\\_financiera\\_de\\_2008](https://es.wikipedia.org/wiki/Crisis_financiera_de_2008)>.
- [32] IEA. *Balance energy flows. Algeria. 2015* [en línia]. [Consulta: 27 novembre 2018]. Disponible a: <<https://www.iea.org/Sankey/#?c=Algeria&s=Balance>>.
- [33] IEA. *Balance energy flows. France. 2015* [en línia]. [Consulta: 27 novembre 2018]. Disponible a: <<https://www.iea.org/Sankey/#?c=France&s=Balance>>.
- [34] IEA. *Balance energy flows. Morocco. 2015* [en línia]. [Consulta: 27 novembre 2018]. Disponible a: <<https://www.iea.org/Sankey/#?c=Morocco&s=Balance>>.
- [35] IEA. *Balance energy flows. Spain. 2015* [en línia]. [Consulta: 27 novembre 2018]. Disponible a: <<https://www.iea.org/Sankey/#?c=Spain&s=Balance>>.
- [36] O. Alcaraz, J. Antequera, P. Buenestado, B. Escribano, A. Turon & J. Xercavins. *Quantified proposal –based on criteria of climate change justice per capita- of the distribution among the UNFCCC state parties of the emissions mitigation global objective defined by scenario RCP2.6 of the IPCC’s AR5*. 2015. Barcelona.
- [37] OCCC. *Guia pràctica per al càlcul d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH)* [en línia]. [Consulta: 31 desembre 2018]. Disponible a: <[http://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/home/reduex\\_emissions/Com\\_calcular\\_emissions\\_GEH/guia\\_de\\_calcul\\_demissions\\_de\\_co2/18\\_Guia-practica-calcul-emissions\\_sense-canvis\\_CA.pdf](http://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/home/reduex_emissions/Com_calcular_emissions_GEH/guia_de_calcul_demissions_de_co2/18_Guia-practica-calcul-emissions_sense-canvis_CA.pdf)>.
- [38] ITEC-BEDEC. *Banc Bedec* [en línia]. [Consulta: 31 desembre 2018]. Disponible a: <[https://itec.cat/banc-preus-bedec/ma-dobra/tecnic-ea010\\_10/](https://itec.cat/banc-preus-bedec/ma-dobra/tecnic-ea010_10/)>.

## Annexos

Tots els annexos del projecte es troben adjunts a l'entrega electrònica de la documentació del treball.

### ANNEX I

Inclou l'anomenat "Excel de Referència", que conté les dades històriques del vector energètic descarregades, seleccionades i ordenades per a tots els territoris objecte d'estudi (inclosos els agregats), així com el càlcul d'emissions a partir de factors d'emissió:

- Arxiu base de referència per a l'anàlisi (EXCEL REFERENCIA TFG-2).

### ANNEX II

Inclou l'anàlisi històric de vector energètic, emissions i intensitat de carboni de tots els països de la conca mediterrània, així com la creació de l'escenari de futur BAU per a cadascun d'ells:

- Anàlisi de dades històriques i construcció de l'escenari BAU d'Albània (Albania - BAU).
- Anàlisi de dades històriques i construcció de l'escenari BAU d'Algèria (Algeria - BAU).
- Anàlisi de dades històriques i construcció de l'escenari BAU de Bòsnia i Hercegovina (Bosnia - BAU).
- Anàlisi de dades històriques i construcció de l'escenari BAU de Croàcia (Croatia - BAU).
- Anàlisi de dades històriques i construcció de l'escenari BAU de Xipre (Cyprus - BAU).
- Anàlisi de dades històriques i construcció de l'escenari BAU d'Egipte (Egypt - BAU).
- Anàlisi de dades històriques i construcció de l'escenari BAU de França (France - BAU).
- Anàlisi de dades històriques i construcció de l'escenari BAU de Grècia (Greece - BAU).
- Anàlisi de dades històriques i construcció de l'escenari BAU d'Israel (Israel - BAU).
- Anàlisi de dades històriques i construcció de l'escenari BAU d'Itàlia (Italy - BAU).
- Anàlisi de dades històriques i construcció de l'escenari BAU de Jordània (Jordan - BAU).
- Anàlisi de dades històriques i construcció de l'escenari BAU del Líban (Lebanon - BAU).
- Anàlisi de dades històriques i construcció de l'escenari BAU de Malta (Malta - BAU).
- Anàlisi de dades històriques i construcció de l'escenari BAU del Marroc (Morocco - BAU).
- Anàlisi de dades històriques i construcció de l'escenari BAU de Portugal (Portugal - BAU).
- Anàlisi de dades històriques i construcció de l'escenari BAU d'Eslovènia (Slovenia - BAU).
- Anàlisi de dades històriques i construcció de l'escenari BAU d'Espanya (Spain - BAU).
- Anàlisi de dades històriques i construcció de l'escenari BAU de Tunísia (Tunisia - BAU).

- Anàlisi de dades històriques i construcció de l'escenari BAU de Turquia (Turkey - BAU).

### ANNEX III

Inclou la creació d'escenaris de futur alternatius per a quatre països concrets de la conca mediterrània:

- Construcció de l'escenari alternatiu d'Algèria (Algeria – Alternatiu).
- Construcció de l'escenari alternatiu de França (France – Alternatiu).
- Construcció de l'escenari alternatiu del Marroc (Morocco – Alternatiu).
- Construcció de l'escenari alternatiu d'Espanya (Spain – Alternatiu).

### ANNEX IV

Inclou la mateixa informació que el ANNEX II, però aplicada als agregats de països:

- Anàlisi de dades històriques i construcció de l'escenari BAU de l'agregat de països desenvolupats (DESENVOLUPATS - BAU).
- Anàlisi de dades històriques i construcció de l'escenari BAU de l'agregat de països en desenvolupament (EN DESENVOLUPAMENT - BAU).
- Anàlisi de dades històriques i construcció de l'escenari BAU de l'agregat de tots els països de la conca mediterrània (TOTAL - BAU).

### ANNEX V

Inclou la mateixa informació que el ANNEX III, però aplicada als agregats de països:

- Construcció de l'escenari alternatiu dels països desenvolupats (DESENVOLUPATS – Alternatiu).
- Construcció de l'escenari alternatiu dels països en desenvolupament (EN DESENVOLUPAMENT – Alternatiu).

### ANNEX VI

Inclou la comparació dels escenaris alternatius d'emissions amb l'escenari RCP2.6 de l'IPCC:

- Comparació d'escenaris alternatius amb l'escenari RCP2.6 (COMPARATIVA RCP2.6 TFG-2).