



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

TREBALL FI DE GRAU

**Grau en Enginyeria Química**

**ESTUDI D'UN INDICADOR DE SOSTENIBILITAT DE LA  
MATRIU ENERGÈTICA NACIONAL DELS PAÏSOS,  
MITJANÇANT L'APLICACIÓ D'EINES MULTICRITERI**



**Memòria i Annexos**

**Autor:** Marta Jové  
**Director:** Bruno Domènech  
**Convocatòria:** Juny 2020



## Resum

En aquest treball de final de grau es planteja aplicar dues eines de decisió multicriteri amb l'objectiu de donar robustesa a un indicador de sostenibilitat de la matriu energètica dels països. Concretament, s'utilitzen el Procés Analític Jeràrquic (AHP) i la programació compromís per a la millora del càlcul del SEDI (Índex del Desenvolupament Energètic Sostenible). La validació s'aplica amb dos conjunts de països: OCDE (Organització de cooperació i Desenvolupament Econòmic) i la UE (Unió Europea).

L'indicador SEDI consta d'un conjunt de criteris i indicadors que avaluen diferents aspectes de les matrius energètiques nacional, des d'una perspectiva tècnica, econòmica, ambiental i social. La tècnica AHP s'utilitza per a l'assignació de pesos a cadascun dels indicadors, en funció de la seva importància respecte els altres. Per la seva banda, la programació compromís permet avaluar cada país respecte cada indicador i agregar els resultats, tenint en compte els pesos, per cada país. Així, els països es poden ordenar d'acord amb el seu compliment amb la sostenibilitat energètica i l'eina permet a les institucions identificar aquells punts forts i aspectes a millorar.

Complementàriament, s'ha fet una anàlisi de la robustesa dels pesos en relació amb els resultats obtinguts amb l'indicador SEDI original. Així, s'ha pogut concloure que l'indicador SEDI és robust front a les variacions en l'ús de pesos per als indicadors i la utilització d'eines multicriteri.

## Resumen

En este trabajo de final de grado se plantea aplicar dos métodos de decisión multicriterio con el objetivo de dar robustez a un indicador de sostenibilidad de la matriz energética de los países. Concretamente, se utilizan el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) i la programación compromiso para la mejora del cálculo del SEDI (Índice de Desarrollo Energético Sostenible). La validación se aplica con dos conjuntos de países: OCDE (Organización de Cooperación y Desarrollo Económico) y la UE (Unión Europea).

El indicador SEDI consta de un conjunto de criterios e indicadores que evalúan diferentes aspectos de la matriz energética nacional, desde una perspectiva técnica, económica, ambiental y social. La técnica AHP se utiliza para la asignación de pesos a cada uno de los indicadores, en función de su importancia respecto a los otros. Por su parte, la programación compromiso permite evaluar cada país respecto a cada indicador y agregar los resultados, teniendo en cuenta los pesos, por cada país. Así, los países se pueden ordenar acuerdo con su cumplimiento con la sostenibilidad energética y el método permite a las instituciones identificar aquellos puntos fuertes y aspectos a mejorar.

Complementariamente, se ha hecho un análisis de la robustez de los pesos en relación con los resultados obtenidos con el indicador SEDI original. Así, se ha podido concluir que el indicador SEDI es robusto frente a las variaciones del uso de los pesos para los indicadores y el uso de métodos multicriterio.

## Abstract

In thesis, it is proposed to introduce two methodologies of multicriteria decision analysis with the main propose of giving strength to a sustainability indicator of the energy matrix of the countries. In particular, the Analytic Hierarchy Process (AHP) and the Compromise Programming are used to improve the calculation of the SEDI (Sustainable Energy Development Index). The validation is applied to two sets of countries: OCDE (Organization for Economic Cooperation and Development) and the UE (European Union).

The indicator SEDI consists of a set of criteria and indicators that evaluate different points of the national energy matrix, as of a technical perspective, economic, environmental and social. The AHP technique it is used to assign weights to each indicator, according to their importance with the others. On one side, the compromise programming allows to evaluate each country according to each indicator and aggregate results, considering to their fulfillment with the energy sustainability and the method allows the institutions to identify the strengths and the aspects that should be improved.

Apart from that, an analysis of the strengths of the weights in relation with the results that has been obtained with the original indicator SEDI has been done. Thus, has been concluded that the SEDI indicator is strong in front of the variation weights in the indicators and the use of the multicriteria methods.

## Agraïments

Voldria agrair la col·laboració del meu tutor, Bruno Domènech, per l'ajuda proporcionada per a poder dur a terme aquest treball de final de grau.

## Glossari

**AHP:** Procés Analític Jeràrquic

**DM:** Presa de decisió

**ECO:** Dimensió econòmica

**EDI:** Índex del desenvolupament energètic

**ELECTRE:** Eliminació i elecció de la realitat traduïda

**ENV:** Dimensió ambiental

**GNI:** Renda nacional bruta/ Ingress nacional brut

**HDI:** Índex del desenvolupament humà

**INS:** Dimensió institucional

**MCDA:** Mètode d'anàlisi de decisions multicriteri

**MCN:** matriu de comparació normalitzada

**MCP:** matriu de comparació per parells

**MEPI:** Índex multidimensional de pobresa energètica

**PROMETHEE:** Mètode d'Organització de classificació de preferències per a l'enriquiment de les avaluacions.

**SEDI:** Índex de desenvolupament energètic sostenible

**SOC:** Dimensió Social

**TEC:** Dimensió tècnica

**TFC:** Consum final total

**TPES:** Subministrament total d'energia primària

**VEP:** Vector de prioritat





# Índex

<b>RESUM</b>	<b>I</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>III</b>
<b>AGRAÏMENTS</b>	<b>IV</b>
<b>GLOSSARI</b>	<b>V</b>
<b>1. INTRODUCCIÓ</b>	<b>3</b>
1.1. Àmbit.....	3
1.2. Rellevància de l'estudi .....	4
1.3. Objectius .....	5
1.4. Metodologia emprada i validació.....	5
<b>2. DESCRIPCIÓ DE LA PROBLEMÀTICA D'ESTUDI</b>	<b>9</b>
2.1. Conceptes previs .....	9
2.2. Els indicadors .....	10
2.2.1. Indicadors de sostenibilitat energètica .....	11
2.3. SEDI. Índex de desenvolupament energètic sostenible .....	14
2.3.1. Dimensions i Indicadors.....	16
2.3.2. Limitacions i propostes de millora.....	20
<b>3. EINES MULTICRITERI</b>	<b>23</b>
3.1. Selecció de criteris .....	24
3.2. Ponderació dels criteris .....	26
3.2.1. Procés Analític Jeràrquic (AHP) .....	27
3.3. Avaluació de les alternatives .....	32
3.4. Agregació de resultats .....	34
3.4.1. Programació compromís.....	35
<b>4. PRESENTACIÓ PROPOSTA</b>	<b>43</b>
4.1. Criteris per a la proposta .....	44
4.1.1. Dimensió tècnica.....	45
4.1.2. Dimensió Social .....	46
4.1.3. Dimensió mediambiental.....	46
4.2. Aplicació del mètode AHP en la proposta d'estudi. ....	47

---

4.3. Aplicació de la programació compromís en la proposta d'estudi.....	47
<b>5. RESULTATS. AVALUACIÓ DE L'APLICACIÓ DE LES EINES MULTICRITERI _____</b>	<b>49</b>
5.1. Anàlisi global per al conjunt de tots els països sota les diferents condicions. ....	63
<b>6. ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL _____</b>	<b>71</b>
<b>7. CONCLUSIONS _____</b>	<b>73</b>
<b>8.PRESSUPOST I/O ANÀLISI ECONÒMICA _____</b>	<b>75</b>
<b>BIBLIOGRAFIA _____</b>	<b>77</b>
<b>ANNEX A _____</b>	<b>81</b>
A1. Càlcul d'indicadors i dimensions .....	81
A2. Càlcul dels Pesos.....	86
A3. Càlcul de la distància Manhattan i distància Chebysev .....	88

## 1. Introducció

Cercant la paraula sostenibilitat en l'enciclopèdia catalana obtenim que aquesta es pot definir com *“Conjunt de polítiques destinades a fer compatible el creixement econòmic i la preservació de la biodiversitat i evitar, en darrer terme, la degradació de la biosfera provocada per l'acció humana.”*(1) i a través de la RAE la definició següent *“ Especialmente en ecología y economía, que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medio ambiente”*(2). Són dues definicions força semblants i què ambdues deixen clar que el marc politico-econòmic i el marc mediambiental són els pilars sobre els quals gira el concepte de sostenibilitat.

En els últims anys, a les portades dels diaris i dels telenotícies la temàtica de sostenibilitat i desenvolupament sostenible ha tingut molt d'impacte, des de les manifestacions pel canvi climàtic, la promoció de turisme eco-sostenible i el consum responsable o bé en el marc jurídic les noves mesures legals proposades o preses .

L'energia és el focus principal de sostenibilitat ja que aquesta és el principal responsable de la gran majoria d'impactes ambientals relacionats amb el desenvolupament humà, també permet la possibilitat de generar riquesa i és fonamental per al desenvolupament de qualsevol país(3). D'aquí que moltes de les mesures legals siguin enfocades a l'ús o gestió de l'energia. Com per exemple, la llei de transició energètica de Catalunya(3) ió o inclús a casa nostra, en La Universitat Politècnica de Catalunya, l'existència d'un Pla UPC 2020 de Sostenibilitat Energètica(4).

En aquest pla es recorda que la Universitat Politècnica de Catalunya ha de promoure la responsabilitat social, i en quan a aquest pla concret de cara al 2020 se'n destaca la següent frase: cal passar a un model energètic integral, que combini adequadament les energies renovables, l'eficiència energètica i l'ús i la gestió intel·ligent de l'energia per part de la comunitat.(4)

En definitiva, com a persones cal promoure i garantir la sostenibilitat i el desenvolupament cap a un futur sostenible. I com a enginyers i part de la comunitat científica, tenim el deure de fer ús dels nostres coneixements i eines per a implementar millores o facilitar ajudes que puguin garantir una un correcte desenvolupament sostenible de la societat en la qual vivim .

### 1.1. Àmbit

L'origen d'aquest treball rau en l'interès de poder aplicar els coneixements adquirits al llarg de la carrera en proporcionar una millora en l'àmbit del mediambiental i de la sostenibilitat energètica.

Per a poder dur a terme l'esmentat, ens centrarem en l'estudi dels índex de sostenibilitat. Aquests índex proporcionen informació de forma numèrica sobre la situació a la qual es troba un país o regió pel que fa a sostenibilitat. Davant l'existència de diferents índex de sostenibilitat com : l'EDI (índex del desenvolupament energètic), l'HDI (Índex del desenvolupament humà) o el MEPI(Índex multidimensional de pobresa energètica) entre d'altres, en aquest treball de final de grau ens centrarem en l'estudi del SEDI (Índex del Desenvolupament Energètic Sostenible).

Per a poder treballar correctament sobre el SEDI s'ha fet ús de dos articles referents: *Sustainable Energy Development Index: A multi-dimensional indicator for measuring sustainable energy development*(5) i *Study of the SEDI: Assessment of country's sustainable energy development policies*(6).

El primer article mostra per primera vegada el SEDI com a índex multidimensional i la seva trajectòria envers els anteriors indicadors. S'especifiquen les metodologies emprades per al seu càlcul i les dimensions sobre les quals treballa. En el segon article, es fa una revisió del SEDI exposant les mancances d'alguns indicadors i proposant millores sobre els càlculs.

Sobre l'ús d'eines multicriteri, el llibre de Carlos Romero: *Análisis de las decisiones multicriterio*(7), serveix com a base per a conèixer les diferents eines multicriteri existents i també ens proporciona de forma detallada el mètode de ponderació emprat en aquest treball: El Procés Analític Jeràrquic (AHP). I com a introducció a la segona eina de decisió multicriteri, la programació compromís, s'ha fet ús de l'article: *Making Sustainability Ranking Using Compromise Programmin. An application to European Paper Industry*.(8)

Aquests són els principals articles i treballs sobre els quals s'ha començat aquest treball, val a dir que altres articles, llibres i treballs han estat consultats i són citats al llarg del treball.

## 1.2. Rellevància de l'estudi

Per a poder entendre la rellevància que pot comportar aquest treball sobre l'indicador SEDI cal entendre com treballa aquest indicador i quins factors hi intervenen.

El SEDI es presenta com un índex multidimensional. Té en compte diferents aspectes o dimensions per al seu càlcul. Aquestes dimensions són la dimensió tècnica, la econòmica, la social, l'ambiental i l'institucional. Cadascuna de les dimensions ve representada per un únic indicador: indicador de la dimensió tècnica, indicador de la dimensió econòmica...etc. I cadascun d'aquests indicadors està format per subindicadors, cadascun calculat de forma pròpia englobant les diferents relacions i valors dels aspectes corresponents a aquella dimensió en concret. Per exemple, la dimensió ambiental té com a subindicador el càlcul de l'emissió de Carboni, o bé la dimensió social té en compte les

desigualtats pèl que fa a la renda. Per últim, el càlcul del SEDI resulta ser la mitjana aritmètica dels cinc indicadors corresponents a les cinc dimensions.

No s'han fet estudis pèl que fa a la importància que té cada dimensió sobre el valor del SEDI. Per tant, en aquest treball s'apliquen dues eines multicriteri per al càlcul del SEDI, valorant l'afectació que té variar aquesta importància i per tant, la manera en que es calcula el valor final del SEDI.

Si el càlcul del SEDI és la resultat de la mitjana aritmètica del valor de cada dimensió, cada dimensió tindrà la mateixa importància sobre el valor del SEDI. En aquest treball doncs, s'aplicarà el Procés Analític Jeràrquic per a atribuir de forma racional, un valor determinat i diferent a cadascuna de les dimensions, és a dir, un pes. I per a l'agregació dels diferents indicadors per al càlcul del SEDI s'utilitzarà la programació compromís.

### 1.3. Objectius

L'objectiu d'aquest treball, és valorar si es pot millorar i fer més precís el càlcul del SEDI mitjançant un mètode de decisió multicriteri com l'AHP (Procés Analític Jeràrquic). De manera que permeti fer una assignació d'importància específica per a cada indicador. I aplicar-li la programació compromís per agregar aquests indicadors en un únic índex, anomenat en aquest treball SEDI.P, per a poder diferenciar-lo del SEDI original.

Per a poder complir l'objectiu global d'aquest treball, s'han hagut d'anar assolint un seguit d'objectius parcials. Els quals es llisten a continuació:

- Revisar la literatura sobre els indicadors de sostenibilitat existents per identificar un que permeti avaluar la sostenibilitat de les matrius energètiques des de totes les perspectives.
- Revisar en l'estat de l'art de les tècniques multicriteri per l'avaluació de la sostenibilitat existents.
- Desenvolupar un procés metodològic d'avaluació de la sostenibilitat de les matrius energètiques, integrant tècniques multicriteri a l'indicador SEDI identificat.
- Aplicar i validar el procés metodològic en dos conjunts de països (OCDE i UE) per contrastar els resultats amb els del SEDI original.

### 1.4. Metodologia emprada i validació

Pèl que fa a la metodologia emprada en aquest treball d'investigació, s'ha fet ús únicament del programa de full de càlcul : Office Excel.

Per a poder acotar i limitar el nostre estudi, s'ha decidit estudiar únicament els casos dels països pertinents a la UE (Unió Europea) i de l'OCDE (Organització de Cooperació i desenvolupament econòmic).

Primerament, s'han hagut de calcular els valors dels diferents indicadors per a cada país. Per a aquest procés, s'han utilitzat les fórmules millorades de l'estudi: *Study of the SEDI: Assessment of country's sustainable energy development policies*(6), i en alguns casos en concret s'han adaptat aquestes fórmules per a poder fer els càlculs amb tota la informació facilitada per l'IEA ( Agència Internacional de l'energia)(9), WorldBank(10) i Tradingeconomics(11). Després d'obtenir els diferents valors d'indicadors per a cada dimensió i per a tots els països, s'han aplicat les eines multicriteri escollides.

Per a l'aplicació del mètode AHP:

- S'ha utilitzat una fulla de càlcul per a dissenyar una matriu de comparació de parells. Aquesta matriu permet que el centre decisor de manera qualitativa i numèrica atribueixi una importància específica a una dimensió a través de la comparativa entre dimensions. També s'ha calculat un quocient de consistència que permet avaluar quant de fiable, per tant racional, és l'opinió d'aquest centre decisor. Amb aquesta matriu i diferents càlculs explicats amb detall més endavant, s'obté un vector de pesos, que comprèn cadascun dels pesos de cada dimensió.

Per a l'aplicació del mètode de la programació compromís:

- S'ha utilitzat una nova fulla de càlcul amb els valors del vector de pesos obtingut mitjançant l'AHP i el llistat de valors corresponents a cada dimensió de cada país. La programació compromís treballa amb el càlcul de dues distàncies anomenades  $L_1$  ( distància Manhattan) i  $L_\infty$  ( distància Chebyshev), aquestes distàncies es calculen tenint en compte el valor màxim obtingut en cada dimensió, anomenat valor ideal i el valor mínim obtingut en cada dimensió, anomenat valor antiideal. La distància Manhattan permet obtenir la millor agregació numèrica pel SEDI i la distància Chebyshev permet obtenir la solució més equilibrada del SEDI. Finalment, el valor del SEDI.P és el resultat de la mitjana entre aquestes dues distàncies. Aquesta agregació ens permet crear un rànquing dels diferents països i el valor del SEDI obtingut, tenint com a premissa que a major valor de SEDI millor.

Per últim, la validació d'aquesta aplicació és fa mitjançant una comparativa entre els nous valors obtinguts amb l'aplicació de les eines multicriteri (SEDI.P) i els valors obtinguts sense la seva aplicació (SEDI).

La creació d'un rànquing ens permet veure més fàcilment com varien els diferents països depenent de l'aplicació o no de les eines multicriteri pèl que fa al valor del SEDI. Però també s'ha fet una valoració els resultats en funció dels diferents valors del SEDI i els valors obtinguts per a cada dimensió, per veure

si és existent la relació entre dimensió i valor global. Els valors obtinguts s'han mostrat en forma de llistat a l'apartat corresponent i també s'han representat gràficament per a poder tenir una representació visual global del canvi entre els dos SEDIs.





## 2. Descripció de la problemàtica d'estudi

Per a poder comprendre amb detall l'interès d'aquest treball, cal tenir unes nocions bàsiques sobre sostenibilitat, índex i indicadors i el càlcul d'aquests. En aquest capítol es pretén fer una introducció esquemàtica sobre el concepte de sostenibilitat. Seguidament l'existència i l'ús d'indicadors del mateix i finalment fent especial èmfasi als indicadors de sostenibilitat energètica, destacant per l'objectiu d'aquest treball l'indicador SEDI.

### 2.1. Conceptes previs

El concepte de sostenibilitat té diferents significats per a diferents persones. Aquest concepte pot comprendre visions de curt termini o de llarg termini, perspectives individuals o col·lectives, innovacions tecnològiques o fins a canvis en les actituds, comportaments i preferències de les persones. Per tant, donar una única definició per a sostenibilitat és impossible i poc precís.(12)

Tot i no poder tenir una única definició de sostenibilitat, sí que es comparteix la idea de que el concepte en si engloba tres grans dimensions: la social, l'econòmica i la ambiental. De manera que la sostenibilitat utilitza criteris ambientals que són ecològicament viables i no degradants (dimensió ambiental), és socialment acceptada i desitjada (dimensió social), i és econòmicament realitzable amb tecnologies apropiades (dimensió econòmica).(13)

Per a poder entendre millor com aquestes tres dimensions interactuen es presenta a continuació la triangularitat de la sostenibilitat.



Il·lustració 1. Triangularitat de la sostenibilitat.(13)

Quan parlem de desenvolupament sostenible fem referència al desenvolupament que satisfà les necessitats de la generació actual, sense arribar a comprometre la capacitat de les futures generacions. De manera que aquestes últimes, puguin satisfer les seves pròpies necessitats sense perjudici inicial. (14). Amb aquesta definició ens estem referint a una situació en la qual les tres dimensions anteriorment plantejades es satisfan i es complementen simultàniament.

A més de les ja mencionades anteriorment, s'ha inclòs una nova dimensió relacionada amb el concepte de sostenibilitat. La dimensió institucional, aquesta fa referència a les organitzacions i institucions, que mitjançant polítiques, lleis i regulacions fan front o combaten situacions no sostenibles. És a dir, fa referència a les estructures organitzatives que creen i apliquen regulacions enfocades a la sostenibilitat.

Així doncs, partint del fet de què no existeix un únic concepte de sostenibilitat, què aquest té varies dimensions i què a l'hora depenen de factors diversos que s'interrelacionen entre si. Ens trobem davant d'una gran complexitat conceptual, que impedeix a priori mesurar i desenvolupar detalladament les extensions o amplituds que avarca el terme.

És per això, que al llarg del temps s'han anat desenvolupant una sèrie d'indicadors de sostenibilitat.

Aquests tenen la funció de simplificar, quantificar i permetre analitzar tota la informació que comprèn la sostenibilitat i les seves dimensions.

## 2.2. Els indicadors

En termes més específics, els indicadors pretenen transformar la informació recollida sobre una dimensió en una estadística o manera numèrica més bàsica. De manera què permeti als lectors i analistes, per una banda una comprensió més profunda de les dimensions. I per l'altre banda una visió general del tema o dimensió incloent-hi les interconnexions existent. És a dir, els indicadors esdevenen una mètrica especial que permet quantificar un concepte i en conseqüència adoptar la solució o alternativa que millor s'adapta en cada cas. (5)

Existeixen indicadors per a qualsevol tema, dimensió, procés o activitat. Però concretament, n'hi ha de tres tipus; els indicadors de resultats, que mesuren objectius i s'utilitzen per a conèixer el grau de satisfacció. Els indicadors de procés, que mesuren activitats i s'utilitzen per a reorganitzar i millorar la gestió. I finalment, els indicadors d'estructura; mesuren recursos i s'utilitzen per a obtenir informació del nivell d'utilització de recursos i el seu cost.(15).

Com a exemple del que s'ha dit: a les escoles s'utilitzen indicadors d'avaluació que permeten avaluar el grau d'assoliment de les competències per a un alumne determinat. Aquest indicador, consta de

diverses dimensions, per exemple, l'àmbit lingüístic o l'àmbit del treball autònom. En el primer s'analitzaria la capacitat de l'alumne per a organitzar correctament les idees, l'ús correcte de connectors i signes de puntuació, l'ús d'un lèxic adequat...en termes generals la "cohesió".

Així doncs, a partir de l'anàlisi i l'avaluació podem situar el nivell de l'alumne amb un coeficient numèric. I amb aquest, comparar-lo amb la resta d'alumnes de classe o de curs i si calgués ajudar-lo amb mesures adaptades a ell.

En el món científic, un dels indicadors més importants és l'**índex de desenvolupament humà (HDI)**(16). Que com bé indica el seu nom, mesura de forma general el benestar humà d'un país. Aquest índex representa la mitjana geomètrica de tres indicadors: l'esperança de vida al néixer, l'educació ( la mitjana d'anys mitjans d'escolarització , i els ingressos (GNI per càpita).(17)

### 2.2.1. Indicadors de sostenibilitat energètica

Si tornem a la definició presentada per a desenvolupament sostenible, podem extrapolar-la també a l'àmbit de l'energia. Aquesta extrapolació seria: per a què existeixi un consum d'energia sostenible, cal què els recursos energètics utilitzats estiguin disponibles i fora de risc d'esgotar-los. A més de que els residus produïts en la utilització dels mateixos, no malbaratin la biosfera.

Per a poder tenir constància de quins són els recursos energètics presents i quins són els què més s'utilitzen, existeix la matriu energètica.

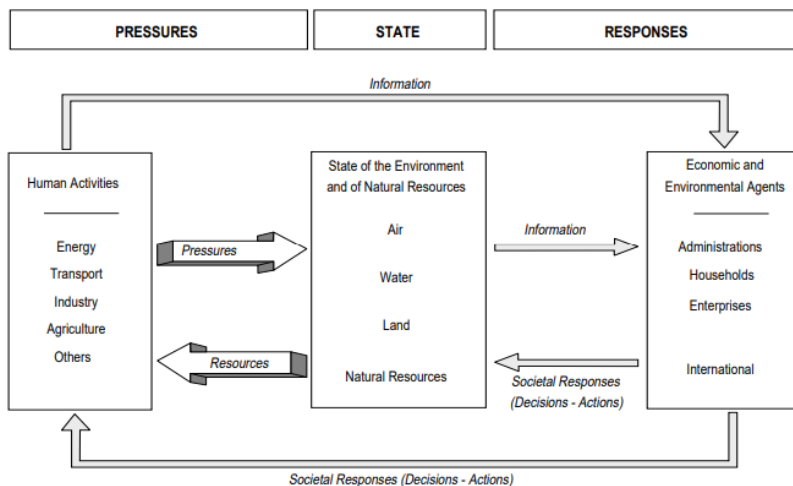
Aquesta matriu energètica és una eina útil que ajuda a comprendre les tendències de producció i consum de les fonts d'energia en diferents escenaris per un país. De manera que, resulta ser un indicador de les tendències estructurals del sector energètic i per tant, de gran importància a l'hora de crear polítiques i regulacions.(18)

El desenvolupament energètic d'un país va estrictament lligat amb el seu desenvolupament social i econòmic. Així per exemple, els països amb gran demanda energètica són aquells països que reflecteixen un major creixement econòmic, això comporta què existeixin un gran nombre d'indicadors energètics què poden ser englobats dins de les dimensions de sostenibilitat. És a dir, dimensió econòmica, el social o l'institucional.(18)

D'altra banda, durant la novena sessió de la comissió de desenvolupament sostenible (CSD-9) de les Nacions Unides (UN), aquesta idea de energia sostenible va rebre gran importància. En concret, es va debatre sobre com millorar l'accessibilitat dels serveis energètics i com implementar més, l'ús de tecnologies netes i eficients. També va ser en aquesta sessió ,on l'Agència d'Energia Atòmica (AIEA), l'Agència internacional de l'energia (EIA) i altres organitzacions nacionals i internacionals van presentar els Indicadors per al Desenvolupament de l'Energia Sostenible (ISED).(19)(20)

Els indicadors proposats compartien varis entorns de treball en comú, entre els quals s'inclouen(5):

- a) L'entorn de treball Estat-Pressió-Resposta (PSR) ; pretén englobar i analitzar els impactes ambientals i es base en els vincles causals per identificar causes i resultats.



Il·lustració 2. Entorn de treball Estat-Pressió-Resposta(21)

- b) L'entorn del benestar humà o del ecosistema, que pot enfocar-se acord amb el benestar econòmic o en una perspectiva més amplia, que englobi sentiments, el funcionament o la capacitat de les persones.
- c) Indicadors que treballen envers una problemàtica en concret sense formar part d'un entorn de treball específic
- d) Entorn de treball de la comptabilitat del capital; mesurant les existències de diferents tipus de capital (econòmic, humà, natural i social) i el seu ús per al benestar de la societat.

Els indicadors poden treballar de manera individual o bé de manera composta creant índex específics. Però independentment de la seva caracterització estructural, han de complir les següents condicions per esdevenir indicadors d'anàlisi de sostenibilitat. (6)

Resiliència (capacitat del sistema per a resistir pertorbacions), així cada indicador ha de avaluar positivament els països els quals la seva situació energètica sigui sostenible i estable.

Conveniència: cada indicador ha de avaluar positivament els països els quals la seva situació energètica sigui desitjable per als humans i el seu entorn (medi ambient).

Escala (espai-temps) : cada indicador ha de tenir la mateixa escala a nivell temporal i espacial.

Un cop presentades les condicions dels indicadors de sostenibilitat. Es mostra el càlcul i contingut de dos índex específics relacionats amb el camp energètic, que resulten d'interès per a aquest treball i donen ajuda a comprendre la diversitat d'índex existents per avaluar el camp energètic.(22)

- **Índex de desenvolupament energètic (EDI)(5)**

Conceptualment, l'EDI treballa en el camp de la transició d'un país o d'una regió cap al ús de combustibles moderns. Tot i això, sense fer referència a si aquesta conversió és sostenible en funció de les condicions econòmiques, socials o ambientals del país o regió. Treballa amb els següents indicadors:

- a) Consum energètic comercial per càpita com a indicador del desenvolupament econòmic global d'un país.
- b) El consum per càpita de l'electricitat en el sector residencial i la capacitat dels clients d'accedir-hi econòmicament.
- c) Quantitat de combustibles moderns en el consum total del sector d'energia residencial per indicar l'accés d'aquest combustibles moderns a la llar.
- d) Percentatge de població amb accés a l'electricitat.

Cadascun d'aquests quatre indicadors s'expressen de forma numèrica amb valors compresos entre el 0 i el 1. Mitjançant la següent fórmula:

$$Indicador = \frac{V_A - V_{Min}}{V_{Max} - V_{min}} \quad \text{Eq. 2.1}$$

On  $V_A$  correspon al valor del país,  $V_{Min}$  fa referència al valor mínim del indicador, i per contra  $V_{Max}$  fa referència al valor màxim de l'indicador.

L'EDI doncs, és el resultat de la mitjana aritmètica dels quatre indicadors.

- **Índex multidimensional de pobresa energètica (MEPI; una ampliació a l'HDI)(23)**

El MEPI treballa amb el nivell de pobresa energètica, és a dir amb el rang de privació del subministrament energètic a persones classificades com a pobres energèticament. Així doncs, és el producte de la relació entre aquestes persones pobres energèticament i la intensitat mitjana de privació del subministrament energètic. Aquest índex té en compte sis indicadors, de més o menys pes (valors indicats entre parèntesis per %), dividits en cinc dimensions:

- a) Cuina: on d'indicadors hi ha el combustible modern de cuina (0.2); contaminació interior de la llar (0.2)
- b) Il·luminació: Accés a l'electricitat (0.2)
- c) Serveis prestats pels electrodomèstics: Electrodomèstics en propietat (0.13)
- d) Entreteniment i educació: Electrodomèstics d'entreteniment o educació (ex: TV) en propietat (0.13)
- e) Comunicació: Mitjans de comunicació (ex: línia telefònica) (0.13)

Com es pot veure ambdós índex tenen en compte diverses dimensions i diferents indicadors específics presentats en l'ISED. Però no tenen en compte ni fan referència el concepte específic d'energia sostenible. Per exemple, l'EDI només es centra en la transició d'un país o regió cap a l'ús de combustibles moderns sense fer cap referència a sí aquesta transició resulta ser sostenible en funció de condicions com: les econòmiques, socials o ambientals del mateix país. Traslladant-ho a la realitat, ens podem trobar en què un país amb un valor alt del EDI (entenent com a major valor, millor) pot ser a l'hora un país sense un futur energètic sostenible. I per contra, un país amb un valor baix de EDI o MEPI pot ser un país amb un nivell acceptable de sostenibilitat energètica.(5)

Per tant, ja què l'energia correspon a un factor essencial en la majoria de les activitats econòmiques i del benestar humà. Cal evitar els conceptes únics per donar entrada a un concepte més profund i global del què correspon al desenvolupament sostenible, què permeti tenir en consideració els diversos aspectes què l'envolten i el configuren. És per això què es va crear un nou índex, l'índex de desenvolupament sostenible energètic (SEDI) per I.Iddrisu i S.Bhattacharyya (5). Aquest pretén enfocar la sostenibilitat de manera que englobi les necessitats intra i inter-generacionals i per tant millorar la comprensió de les dimensions configuradores del desenvolupament sostenible de l'energia, respecte dels altres índex. (5)

### 2.3. SEDI. Índex de desenvolupament energètic sostenible

De manera única, el SEDI té en compte cinc dimensions amb diferents indicadors **cadascuna (Taula 1)**. Inclou les quatre ja vistes anteriorment l'econòmica, social, l'ambiental i la institucional. I presenta una de nova: la tècnica.

Totes cinc dimensions treballen en gran majoria amb indicadors calculats segons la base de dades de l'Agència internacional d'energia (IEA). Aquesta organització intergovernamental fou creada l'any 1974 per garantir la seguretat del subministrament de petroli, a hores d'ara també gestiona altres afers com la seguretat elèctrica, el canvi climàtic, contaminació atmosfèrica, l'accés i l'eficiència energètica entre d'altres.(9)

En la següent taula es mostren les diverses dimensions sobre les quals treballa el SEDI, els seus indicadors i la fórmula resultat de l'agregació dels diferents indicadors per a cada dimensió, més endavant s'especificarà el seu càlcul.

Taula 1. Dimensions i indicadors del SEDI.(6)

Dimensió	Indicador	Fórmula	Normalització	Disposició
Tècnica	Tec1.Energies esgotables en TPES			
	Tec2.Coefficient d'esgotament dels recursos energètics locals	$TEC=(1-TEC1*TEC2)*TEC3$	Eq. 2.7	Eq. 2.2
	Tec3.Eficiència de conversió			
Econòmica	ECO1.Consum d'energies modernes per càpita			
	ECO2.Intensitat energètica	$ECO = \frac{ECO1 * ECO3}{ECO2}$	Eq. 2.7	Eq. 2.3
	ECO3.Ús productiu d'energia			
Social	SOC1.Consum d'energia neta per càpita	$SOC=SOC1*(1-SOC2)$	Eq. 2.7	Eq. 2.4
	SOC2.Coefficient GINI			
Ambiental	ENV1.Combustibles bruts en el consum d'energies residencials	$ENV=ENV1*ENV2$	Eq. 2.8	Eq. 2.5
	ENV2. Emissió de carboni			
Institucional	INS1. Autosuficiència energètica en general	$INS=INS1$	Eq. 2.7	Eq. 2.6

Les fórmules presentades en l'anterior taula, donen com a resultat un valor numèric determinat, aquest és un valor numèric compres entre el 0 i el 1, per a què això sigui possible s'ha fet ús d'un criteri de normalització, a la taula anterior també s'especifica quina de les dues fórmules de normalització s'ha utilitzat.

- **Normalització 1:** Valor més alt, millor:

$$V = \frac{V_{act} - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \quad \text{Eq. 2.5}$$

Per al cas de les dimensions: Tècnica, Econòmica, Social i Institucional.

- **Normalització 2:** Valor més Baix, millor:

$$V = \frac{V_{max} - V_{act}}{V_{max} - V_{min}} \quad \text{Eq. 2.6}$$

Per al cas de la dimensió mediambiental.

On  $V$  correspon al valor normalitzat,  $V_{act}$  al valor actual de l'indicador per a aquell país,  $V_{min}$  i  $V_{max}$  són els valors màxim i mínim que pren l'indicador.(6)

Finalment el SEDI resulta ser la mitjana aritmètica d'aquests cinc valors ja normalitzats, per tant no té dimensió.

### 2.3.1. Dimensions i Indicadors

En aquest apartat es donarà una descripció del què representa i què mesura cadascun dels indicadors que configuren les diferents dimensions.(19)(5). Es presentaran les dimensions i els indicadors amb el mateix ordre que el seguit a la taula anterior.

#### 2.3.1.1. Dimensió Tècnica

Aquesta dimensió defineix quina capacitat té el sistema en si de satisfer les necessitats energètiques de la societat en un moment específic. És a dir, té en compte els recursos energètics existents com ara les energies primàries (carbó, gas natural), l'energia hidroelèctrica, les energies nuclears o les renovables. I també té en comte tot el sistema d'infraestructures que faciliten el subministrament energètic a la societat, com les refineries, les plantes de gasificació o les instal·lacions de producció de petroli, entre d'altres.(5)

Pel què fa als indicadors, la dimensió tècnica en contempla tres(6):

➤ **TEC1. Taxa d'energies esgotables en TPES (Subministrament total d'energies primàries).**

Aquest primer indicador mesura el ritme de transició d'un país o regió cap a font d'energia renovables

➤ **TEC2. Coeficient d'esgotament dels recursos energètics locals.**

Aquest indicador serveix per a controlar el ritme amb el qual s'esgoten els recursos energètics no renovables locals.

➤ **EC3. Eficiència de conversió.**

L'últim indicador, vol revisar la millora tecnològica sobre la conversió energètica primària del país.

El càlcul detallat de cada indicador es mostra en la següent taula:



Taula 2. Fórmules dels indicadors de la dimensió tècnica(6)

Indicador	Fórmula	Definició	Disposició
TEC1	$TEC1 = \sqrt{\frac{\text{Producció d'energies renovables modernes}}{TPES}}$	Producció d'energies renovables modernes=Energies renovables( hidro, biofuels, residus i altres energies renovables) – Biocombustibles primaris sòlids ( fusta i carbó)  TPES= Consum Total d'energies no renovables	Eq. 2.7
TEC2	$Taxa\ d'esgotament_i = \frac{Producció_i}{Reserves\ Provades_i} (*)$ $E_i^N = \frac{\text{Producció de Biocombustibles primaris sòlids}^N \cdot \text{Àrea forestal}^{N-1} - \text{Àrea Forestal}^N}{\text{Producció Total}^N}$ $TEC2 = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 E_i$	i representa les 4 energies esgotables:  ➤ Carbó ➤ Petroli cru ➤ Gas Natural ➤ Combustibles sòlids	Eq. 2.8
TEC3	$TEC3 = \frac{\text{Energia final produïda}}{\text{Energia Total consumida}}$ $\text{Energia final produïda} = \sum_{i=1}^n \text{Electricitat i calor produïda}$ $\text{Energia Total consumida} = \text{Energia total d'ús propi en les indústries} + \text{pèrdues totals} + \sum_{i=1}^n \text{quantitat d'energia primària utilitzada en centrals energètiques}$	On i és el tipus de central energètica ( Elèctricitat, CHP o calor) i n és el nombre de centrals energètiques.	Eq. 2.9

\*Taxa d'esgotament de boscos= ( Producció de combustibles sòlids/ Producció Total)/ ( superfície forestal % /100)

### 2.3.1.2. Dimensió Econòmica

Aquesta dimensió engloba tots els factors que permeten tenir un subministrament d'energia rendible i assequible per a la societat.

Tenint en compte l'anterior, per a poder realitzar inversions energètiques que millorin la sostenibilitat. Cal que existeixi un equilibri econòmic que permeti un cost assumible de subministrament i un

excedent suficient per a invertir en sostenibilitat. Per tant, no només que el subministrament estigui disponible físicament, sinó que també la societat pugui permetre-se'l econòmicament. (5). Els indicadors d'aquesta dimensió són els següents(6):

➤ **ECO1. Consum d'energia moderna per càpita**

Aquest indicador revisa el progrés d'un país cap a l'ús d'energies renovables, ja que aquesta transició fa que millori el desenvolupament econòmic sostenible.

➤ **ECO2. Intensitat Energètica final**

Supervisa ell progrés cap a l'eficiència energètica d'un país o regió.

➤ **ECO3. Taxa d'ús productiu de l'energia.**

Controlar l'influència del subministrament energètic d'un país al seu creixement econòmic.

El càlcul detallat de cada indicador es mostra en la següent taula:

*Taula 3. Fórmules dels indicadors de la dimensió econòmica(6)*

Indicador	Fórmula	Definició	Disposició
ECO1	$ECO1 = \frac{\text{Consum d'energies modernes}}{\text{Població}}$	Consum d'energies modernes= TFC – biocombustibles sòlids primaris, Petrolí cru, Carbó, Torba i pissarra bituminosa del TFC- Productes petrolífers i ús no energètic del gas natural  TFC= Consum Final Total	Eq. 2.10
ECO2	$ECO2 = \frac{TFC}{PIB, PPP}$	PIB= Producte interior brut PPP= Paritat de poder adquisitiu (Purchasing power parity)	Eq. 2.11
ECO3	$ECO3 = \frac{\text{Ús productiu d'energia}}{TFC}$		Eq. 2.12

### 2.3.1.3. Dimensió Social

La dimensió social avalua l'efecte de distribució de l'energia en la societat. Es podria dividir en dues subdimensions. La primera, la inclusió financera del subministrament, fa referència al fet d'estar cobert físicament als serveis energètics però no poder-lo consumir per problemes econòmics. I la segona, l'accessibilitat de la societat a aquest subministrament, en aquest cas fa referència a l'exclusió física dels serveis energètics en un determinat espai o regió(5).

La dimensió social, consta de dos indicadors(6):

➤ **SOC1.Consum d'energia neta per càpita**

Aquest indicador pretén revisar l'accés i la capacitat de les llars a poder pagar l'accés als combustibles moderns.

➤ **SOC2.GINI.Desigualtats en la renda**

El índex GINI mesura fins a quin punt la distribució d'ingressos (o , en alguns casos, despesa de consum) entre individus o llars dins d'una economia es desvia d'una distribució perfectament equitativa. Així doncs aquest coeficient comprèn valors entre 0 i 1. On 0 correspon a una perfecta distribució equitativa i 1, totalment el contrari, una distribució totalment desigual.

El càlcul detallat de cada indicador es mostra en la següent taula:

Taula 4. Fórmules dels indicadors de la dimensió social(11)

Indicador	Fórmula	Definició	Disposició
SOC1	$SOC1 = \frac{RCCE}{Població}$	RCCE= TFC Residencial – Productes petrolífers; Gas natural líquid brut i matèria prima; turba; Carbó i productes de carbó; biofuels i residus de la part Residencial del TFC	Eq. 2.13
SOC2	$SOC2 = GINI$		Eq. 2.14

**2.3.1.4. Dimensió Mediambiental**

Aquesta dimensió fa un anàlisi de l'impacte ambiental que produeix l'ús d'energia, així avalua en quin grau el subministrament energètic afecta a la biosfera, fa un llistat ambiental dels danys produïts, com per exemple les emissions de CO2.(5)

La dimensió Mediambiental només té en compte dues dimensions(6):

➤ **ENV1.Taxa de combustibles bruts en el consum d'energia de la llar**

L'indicador mesura el nivell de privació de les llars a l'ús de combustibles nets.

➤ **ENV2.Intensitat de Carboni**

L'indicador fa un seguiment de la millora en quant a les emissions de carboni a nivell residencial.

El càlcul detallat de cada indicador es mostra en la següent taula:

Taula 5. Fórmules dels indicadors de la dimensió Mediambiental(11)

Indicador	Fórmula	Definició	Disposició
ENV1	$ENV1 = \frac{TFC\ Residencial - RCCE}{TFC\ Residencial}$	RCCE= descrita per l'indicador SOC1	Eq. 2.15
ENV2	$ENV2 = \frac{Emissions\ de\ CO_2}{TPES}$	$Emissions\ de\ CO_2 = Emissions\ de\ CO_2\ de\ la\ combustió\ energètica$	Eq. 2.16

### 2.3.1.5. Dimensió Institucional

En aquest dimensió s'engloben tots els aspectes polítics que giren entorn a l'ús energètic, ja sigui per regulacions locals, protecció d'inversions, polítiques de protecció al consumidor o noves decisions polítiques que actuïn sobre l'estructura futura del sistema i la gestió de l'energia.(5)

A diferència de les demés dimensions, l'Institucional només té en compte un indicador(6):

#### ➤ INS1. Autosuficiència general.

Aquest únic indicador revisa la habilitat que té un país o regió per a poder gestionar el seu subministrament intern.

El càlcul detallat de cada indicador es mostra en la següent taula:

Taula 6. Fórmules dels indicadors de la dimensió Institucional (11)

Indicador	Fórmula	Definició	Disposició
INS1	$INS1 = \frac{Producció}{TPES}$		Eq. 2.17

### 2.3.2.Limitacions i propostes de millora

Comparant amb altres indicadors sí és cert que la proposat de I.Iddrisu i S.Bhattacharyya representa una millora com a índex per a mesurar el desenvolupament sostenible de l'energia. A diferència dels presentats anteriorment contempla cinc dimensions, que permeten capturar de manera més precisa el desenvolupament sostenible de l'energia d'un país. Tot així aquest índex presenta diverses limitacions.

Primer de tot analitzar únicament l'indicador del SEDI per a poder determinar la sostenibilitat energètica d'un país és erroni o poc precís. És necessari, desglossar aquest índex en les diverses

dimensions per a poder treure una conclusió adequada i a l'hora dur a terme les correctes accions polítiques necessàries. El cas d'Iran, permet observar de forma numèrica l'anterior afirmació.

Taula 7. Valors dimensions i SEDI per a Iran(5)

Rànquing	País	TEC	ECO	SOC	ENV	INS	SEDI
1	Iran	0.918	0.469	1.000	1.000	0.147	0.707

Abans d'analitzar el cas d'Iran, cal destacar que el valor mostrat en la dimensió mediambiental (ENV) s'ha normalitzat acord amb l'equació Eq.2.8 per a poder-lo operar a la mateixa escala que les altres dimensions.

Així doncs, tal i com s'indica a la columna del rànquing. Iran és el país amb millor SEDI pel que fa a països en desenvolupament(5). Això és degut al alt valor que presenten les dimensions social i mediambiental. Però per contra, pel que fa a la dimensió Institucional aquesta presenta un valor molt baix.

Conseqüentment, si es fa una lectura global es pot extreure que Iran és un país amb un alt desenvolupament energètic sostenible. Però, amb una lectura fragmentada és clar que té mancances en l'àmbit institucional i podríem incloure també l'àmbit econòmic. És per això que la visió desglossada és tant necessària com útil a efectes de millores en el sistema sostenible del país.

Sumant a la justificació anterior, abans s'ha afirmat que un desenvolupament o conversió cap a la sostenibilitat energètica comportava estrictament a un creixement econòmic. Per tant es podria dir que un país o regió amb un alt valor en el SEDI té un creixement econòmic en curs. Tornant en el cas d'Iran aquesta afirmació no es compleix al observar el coeficient de la dimensió econòmica. De manera que el fet anterior ens mostra o exemplifica un cop més com la lectura del SEDI de manera única és errònia i insuficient.



### 3. Eines multicriteri

La presa de decisions és constant en el nostre dia a dia. Va des de triar quina roba ens posem cada matí, triar què dinem o triar quin transport agafem per poder anar a la feina. Totes aquestes decisions es prenen tenint en compte un seguit de criteris què ens ajuden a decidir-nos per una opció o altra.

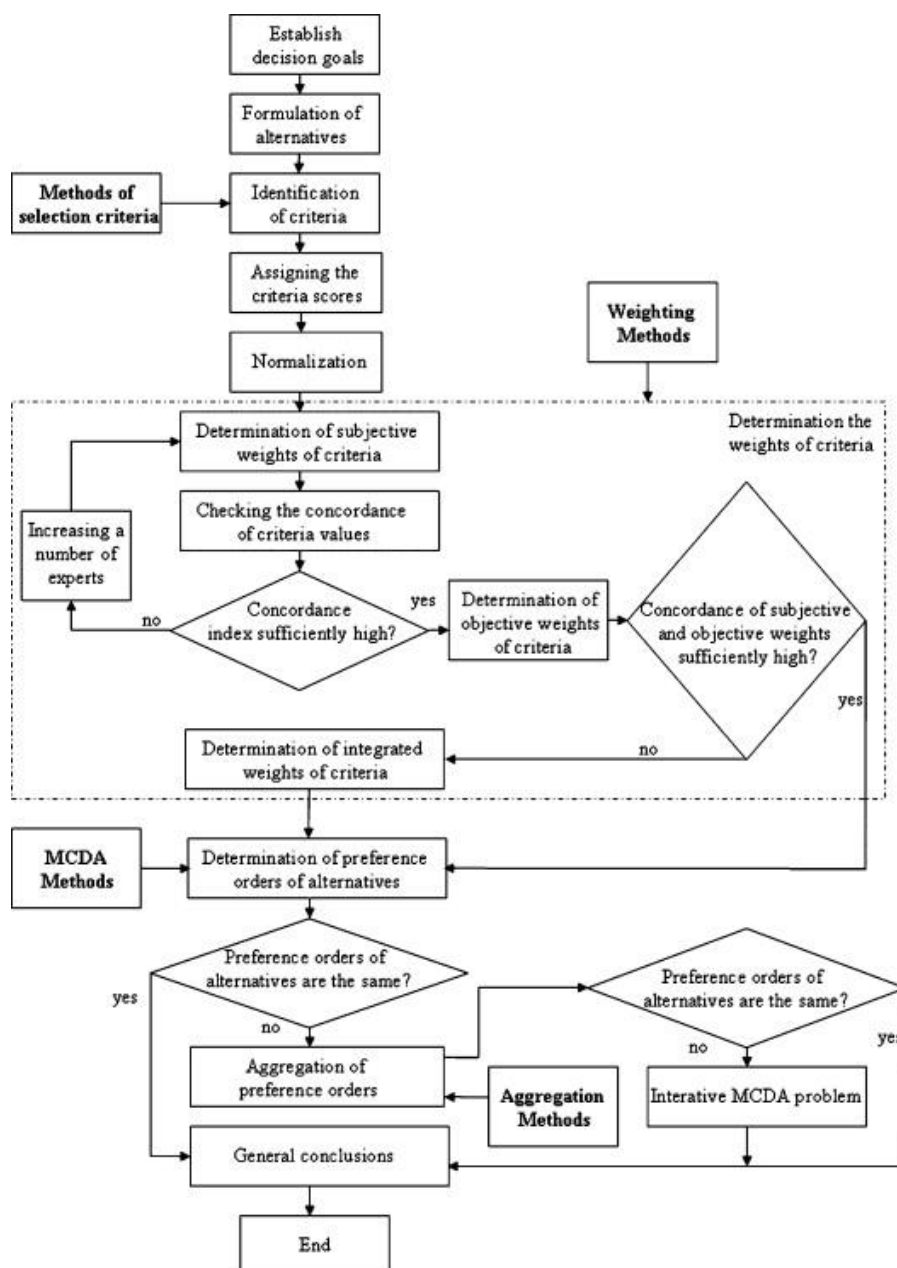
Amb els exemples mencionats, és clar que no es tracta d'una activitat gaire difícil. Però en altres nivells més complexos com la sostenibilitat, la utilització dels diferents indicadors (econòmics, social i ambientals), la subjectivitat o la pròpia incertesa. Fan què la presa de decisions envers aquesta problemàtica d'estudi sigui més difícil. (24)

Per combatre aquesta situació es fa ús de l'anàlisi de decisions multicriteri (MCDA). Aquests ens permeten, mitjançant l'ús d'una metodologia matemàtica triar la millor solució o bé fer una classificació de les possibles alternatives de solució al problema. Aquesta metodologia matemàtica té en compte, tant les opinions o valors dels centres decisors com la informació tècnica de la problemàtica sobre la qual es treballa. És per això, que els mètodes MCDA han augmentat considerablement la seva popularitat i presència com a eines per facilitar la presa de decisions en termes de desenvolupament sostenible.(25)

Pel que fa a l'aplicació dels mètodes MCDA en l'àmbit de desenvolupament energètic sostenible, aquests consten de quatre passos o blocs:

- 1) Selecció de criteris
- 2) Ponderació dels criteris
- 3) Avaluació d'alternatives
- 4) Agregació dels resultats

Aquests es veuen desglossats en el següent diagrama **Il·lustració 3:**



Il·lustració 3. Metodologia d'aplicació de MCDM en decisions de sostenibilitat energètica(25)

### 3.1. Selecció de criteris

La selecció de criteris és el primer pas o bloc en qualsevol MCDM. Com bé es veu en l'Il·lustració 3 i per poder definir correctament els criteris, cal haver estudiat prèviament els objectius de l'anàlisi i les possibles alternatives. És a dir, tenir una idea general però acurada de la problemàtica d'estudi.

Però abans també, cal saber què s'entén per "criteri".



Així doncs, per poder definir què són els criteris convé introduir una sèrie de conceptes i definicions que l'integren:

- **Atribut:** Valors del centre decisor relacionats amb una realitat objectiva. Aquests valors poden mesurar-se independentment de l'opinió del centre decisor.
- **Objectius:** Representen direccions de millora dels atributs. Es pot interpretar com “ més de l'atribut millor” o bé “menys de l'atribut millor”, és a dir la maximització o minimització dels atributs.
- **Meta:** És el nivell acceptable d'assoliment d'un atribut.

Finalment el terme **criteri** engloba els conceptes d'atribut, objectiu i meta, què són importants per a un problema de decisió.

Tornant a la selecció de criteris que afectaran en el MCDA, s'ha de tenir en compte que la selecció dels mateixos està subjecte al compliment d'una sèrie de principis:(25)

- Principi sistèmic: El sistema de criteris ha de reflectir la característica essencial i tota l'actuació dels sistemes energètics.
- Principi de coherència: El sistema de criteris ha de ser coherent amb l'objectiu de la presa de decisió (DM; decision-making).
- Principi d'independència: Els criteris no han de tenir una relació d'inclusió al mateix nivell, sinó que han de reflectir l'actuació de les alternatives des de diferents aspectes.
- Principi de mesurabilitat: Els criteris han de ser mesurables en valor quantitatiu o expressar-se qualitativament.
- Principi de comparabilitat: Els resultats de la presa de decisió és més racional quan la comparabilitat de criteris és més evident. Cal normalitzar els criteris per comparar-los o operar-los directament.

Aquests principis poden ser difícils d'aconseguir sobretot quan la problemàtica d'estudi planteja diferents opinions per a diferents interessats. Per exemple, es pot donar cas d'haver de classificar els criteris en una divisió menor, subcriteris. Existeixen diferents mètodes que faciliten la selecció de criteris, seguidament se'n explicaran un parell breument.

- **Mètode Delphi:** (25)\_ Aquest mètode consisteix en seleccionar un grup d'individus i fer-los un qüestionari sobre selecció de criteris. Un cop finalitzat aquest qüestionari, cada individu ha d'exposar els motius què l'han dut a seleccionar cada criteri. Seguit d'això, se'ls hi torna a realitzar el qüestionari.

El què pretén aquest mètode, és que el grup d'individus tingui en compte en cada nou qüestionari els motius de selecció dels altres individus. De tal manera que després d'un seguit d'iteracions, tot el grup convergeixi cap a un únic conjunt de criteris.

- **Mètode del quadrat mínim (LMS):**(25) Aquest mètode consisteix en eliminar aquells criteris que tenen molta semblança amb algun altre criteri major. És a dir, el criteri major al semblar-se al de menor importància, aquest últim pot ser ignorat. Aquesta selecció segueix acord amb:

$$S_j = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (X_{ij} - \bar{X}_j)^2} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad \text{Eq. 3.1}$$

On  $X_{ij}$  és el  $i$  exemple del  $j$  criteris,  $i = 1, 2, \dots, m$  i  $\bar{X}_j = \left(\frac{1}{m}\right) \sum_{i=1}^m x_{ij}$

Per tant, si existeix  $k$  per fer  $s_k = \min_{1 \leq j \leq n} \{s_j\}$  i  $s_k \approx 0$ , el criteri  $k$  que correspon a  $s_k$  és pot eliminar i ser ignorat.

### 3.2. Ponderació dels criteris

La ponderació dels criteris constitueix el segon pas o bloc del MCDA. Com bé indica el seu nom, un cop seleccionats els criteris de treball es procedeix en la ponderació d'aquests. La ponderació dels criteris determina quin grau d'importància té el criteri respecte la presa de decisió (DM). Aquesta ponderació s'anomena "pes" i n'existeixen únicament dues variants. La primera és la que fa referència al fet de què cada criteri presenta la mateixa importància i conseqüentment la mateixa ponderació o pes. D'altre banda, la segona variant fa referència al fet de què cada criteri tingui una influència diferent sobre la DM.(25)

La primera variant no presenta cap problemàtica, el pes resultarà ser:

$$w_i = \frac{1}{n} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \text{Eq. 3.2}$$

La segona variant es definiria com:

$$w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_n \geq 0 / \sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad \text{Eq. 3.3}$$

On  $i$  és el nombre de criteris.

Per a la segona variant, existeixen diferents mètodes:(7)(26)

- **Mètode d'assignació directe.** En aquest primer mètode, el centre decisor selecciona el criteri que considera de major importància, a partir de  $n$  criteris, atorgant-li aquest el valor  $n$  a partir de  $n$  criteris. Seguidament, es selecciona el següent criteri de més importància atorgant-li el valor  $n-1$  i així successivament fins arribar al criteri amb menys importància.  
Per contra, aquest mètode presenta dues problemàtiques. La primera és que aquesta ordenació resulta altament complicada quan ens trobem amb un nombre de criteris molt elevat. I la segona és que no mesura amb quina intensitat un criteri és major o menor que un altre.
- **Mètode de comparació per parells.** Aquest mètode resulta ser més objectiu que el mètode directe. En aquest es demana al centre decisor que compari de manera simultània dos criteris. El mètode que més s'utilitza és el Procés analític Jeràrquic (AHP) .

### 3.2.1. Procés Analític Jeràrquic (AHP)

#### 3.2.1.1. Definició

El Procés Analític Jeràrquic (AHP) és un mètode de ponderació de criteris a través de la comparació per parells. Fou proposat a finals de la dècada dels anys 70 per a Thomas L. Saaty(7).

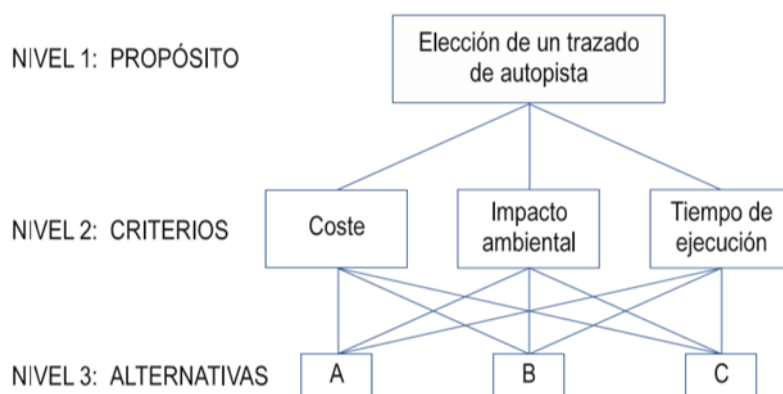
Va suposar un gran abans ja que el mètode directe es presentava com un mètode poc objectiu i que resultava ser molt complex quan el nombre de criteris augmentava. L'AHP va permetre resoldre problemes multicriteri de major volum menys complexitat i més objectivitat.

El Procés Analític Jeràrquic segueix una sèrie de passos que són:(27)

1. Estructuració jeràrquica del model, identificació dels atributs, criteris i alternatives
2. Priorització dels elements del model jeràrquic
3. Comparació per parells entre els elements i assignació de pesos

#### 3.2.1.2. Estructuració jeràrquica del model, identificació dels criteris i priorització dels elements(7)

Com mencionàvem anteriorment, aquest procés necessita que el centre decisor ponderi els criteris assignant-los uns valors de manera subjectiva. I a l'hora, que especifiqui la preferència entre les possibles alternatives. És a dir, que ponderi per a cada nivell jeràrquic del problema. De tal manera que no és necessària cap informació quantitativa del resultat de les alternatives. A tall d'exemple, vegeu la següent il·lustració:



Il·lustració 4. Camins d'alternativa per a la construcció d'una autopista; representació jeràrquica(7)

El centre decisor ha de fer un anàlisi de ponderació al nivell 2 per als criteris, i un altre per al nivell 3, per a les alternatives.

Cal destacar, que pel que fa a les alternatives. Aquest mètode a diferència d'altres, permet analitzar-les de manera qualitativa gràcies a la taula de Saaty.

Escala numérica	Escala verbal
1	Ambos criterios o elementos son de igual importancia
3	Débil o moderada importancia de uno sobre el otro
5	Importancia esencial o fuerte de un criterio sobre el otro
7	Importancia demostrada de un criterio sobre otro
9	Importancia absoluta de un criterio sobre otro
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes, que se emplean cuando es necesario un término medio entre dos de las intensidades anteriores
2	Entre igualmente y moderadamente preferible
4	Entre moderadamente y fuertemente preferible
6	Entre fuertemente y extremadamente preferible
8	Entre muy fuertemente y extremadamente preferible

Il·lustració 5Escala de Saaty (28)

Les dades de l'assignació subjectiva de valors, és a dir, la prioritització dels elements pel centre decisió són recollides en una matriu de comparació per parells (**MCP**).

Aquesta matriu, és una matriu  $n \times n$  on  $n$  és el número de criteris del nostre problema.

### 3.2.1.3. Comparació per parells entre els elements i assignació de pesos(29)

La matriu  $A (n \times n)$ , és una matriu que segueix la següent forma:

Taula 8. Estructura de la matriu MCP

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{3n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Com s'ha mencionat en l'apartat anterior, n correspondrà al nombre de criteris del problema.

Els elements  $a_{11}, a_{22}, \dots, a_{nn}$  correspondran a un valor 1, ja que correspon a la valoració feta per el centre decisor pel criteri n sobre ell mateix.

L'assignació de valors fet per el centre decisor es veurà reflectida en la diagonal superior de la matriu. D'aquesta manera:  $a_{12}$  correspon a l'assignació de preferència del criteri 1 sobre el criteri 2, acord amb l'escala de Saaty. Els valors d'aquesta matriu compleixen l'axioma de reciprocitat tal que :

$$a_{ij} * a_{ji} = 1 \tag{Eq. 3.4}$$

Tal que la diagonal inferior de la matriu quedarà calculada automàticament amb aquest axioma.

Es pot veure clarament aquesta explicació amb un exemple:

Taula 9. Exemple numèric MCP0.33

Matriu de comparació per parells (MCP)					
	TEC	ECO	SOC	ENV	INS
TEC	1	4	3	2	3
ECO	0,25	1	3	2	3
SOC	0,33	0,33	1	2	3
ENV	0,5	0,5	0,5	1	3
INS	0,33	0,33	0,33	0,33	1

Després de la construcció de la Matriu MCP aquesta es normalitza, anomenant-la **matriu normalitzada (MCN)**.

La matriu normalitzada A' segueix la següent estructura:

Taula 10. Estructura MCN A' per a n=3

$$A' = \begin{bmatrix} \frac{a_{11}}{\sum a_{i1}} & \frac{a_{12}}{\sum a_{i2}} & \frac{a_{13}}{\sum a_{i3}} \\ \frac{a_{21}}{\sum a_{i1}} & \frac{a_{22}}{\sum a_{i2}} & \frac{a_{23}}{\sum a_{i3}} \\ \frac{a_{31}}{\sum a_{i1}} & \frac{a_{32}}{\sum a_{i2}} & \frac{a_{33}}{\sum a_{i3}} \end{bmatrix}$$

Seguint el mateix exemple anterior, la MCN de la MCP anterior és:

Taula 11. Exemple numèric MCN

Matrix normalizada (MCN)					
	TEC	ECO	SOC	ENV	INS
TEC	0,41	0,65	0,38	0,27	0,23
ECO	0,10	0,16	0,38	0,27	0,23
SOC	0,14	0,05	0,13	0,27	0,23
ENV	0,21	0,08	0,06	0,14	0,23
INS	0,14	0,05	0,04	0,05	0,08

Després de normalitzar la matriu, es procedeix a calcular el **vector de prioritat (VEP)**.

El vector de prioritat és el valor obtingut del sumatori dels valors de la fila corresponent de la matriu MCN dividit entre el número de criteris  $n$ .

Amb l'exemple anterior:

Taula 12. Exemple numèric del càlcul del VEP

	vector de prioridad
TEC	0,39
ECO	0,23
SOC	0,16
ENV	0,14
INS	0,07

Els valors dels VEPS són els pesos corresponents a cada criteri.

### 3.2.1.4. Quocient de consistència

Un dels punts clau en el mètode AHP és la possibilitat de calcular un quocient de consistència. Aquest serveix per indicar en quin grau el centre decisor és fiable o no, perquè en cas de que no ho sigui, es pugui millorar, canviar o ignorar.

Els passos són els següents(30):

#### 1. Càlcul d'un índex de consistència (CI):

Abans de tot, s'ha de calcular la mesura de consistència, aquesta és la multiplicació de matrius, es multiplicarà la fila del criteri  $n$  de la matriu MCP per el vector de prioritats VEP. Donant a lloc un valor per a cada criteri.

Tenint:

$$VEP = (VEP1, VEP2, \dots, VEPn) \quad \text{Eq. 3.5}$$

Mesura de consistència(MC) per al criteri  $n$  serà:

$$MCn = \frac{(a_{11} * VEP1 + \dots + a_{1n} * VEPn)}{VEPx} \quad \text{Eq. 3.6}$$

Donant a lloc un vector de la forma:

$$MC = (MC1, MC2, \dots, MCn) \quad \text{Eq. 3.7}$$

Per a l'exemple anterior, el vector MC correspon a:

Taula 13.Exemple numèric càlcul MC

	MC
TEC	5,92
ECO	5,74
SOC	5,30
ENV	5,22
INS	5,34

Així doncs, l'í ndex de consistència per a  $n$  criteris serà:

$$CI = \frac{(\sum MC/n) - n}{n - 1} \quad \text{Eq. 3.8}$$

Per al exemple:

Taula 14. Càlcul CI per al exemple

índice de consistencia (CI)	0,13
-----------------------------	------

## 2. Càlcul d'índex aleatori (RI):

L'índex aleatori no resulta ser un càlcul sinó que és un valor tabulat.

Taula 15. RI per a  $n=5$ (31)

Índice aleatorio (RI)	1,12
-----------------------	------

## 3. Càlcul quocient de consistència (RC) i valoració.

Finalment el quocient de consistència (RC) és el quocient entre l'índex de consistència (IC) i l'índex aleatori RI. Tal que:

$$RC = \frac{IC}{RI} \quad \text{Eq. 3.9}$$

Per al exemple:

Taula 16. Càlcul RC per al exemple

Cociente de consistencia (RC)	0,11
-------------------------------	------

S'ha de tenir em compte que una consistència perfecte és impossible és per tant que es considera que el vector de prioritats té una inconsistència acceptable quan el CR és menor del 10% i (5% i 8% per a  $n = 3$  i  $n = 4$  respectivament).(32)

## 3.3. Avaluació de les alternatives

El tercer pas o bloc presentat en el diagrama de la **imatge3**, és l'anomenat "avaluació d'alternatives". Aquest es duu a terme, un cop s'han definit els corresponents pesos per a cada criteri. I un cop s'ha determinat l'ordre de preferència de les diverses opcions.

Per a realitzar aquesta avaluació, existeixen diferent mètodes que s'agrupen en tres categories: els mètode elementals, els mètodes en criteris de síntesi únics i els mètodes de superació. A continuació es presenten alguns mètodes per a cada categoria:(25)

### ➤ Mètode elementals:

- Mètode de la suma ponderada (WSM)

La puntuació de les alternatives es calcula de la següent manera:

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j X_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad \text{Eq. 3.10}$$

Amb aquest càlcul cada alternativa obté un valor numèric que permet crear un rànquing de les millors alternatives.



➤ **Mètodes de criteris de síntesi únics:**

○ **Mètode Procés Analític Jeràrquic**

L'AHP a part de ser un mètode per a la ponderació de criteris, també s'utilitza per a avaluar les alternatives. La puntuació de les alternatives és el sumatori de la multiplicació de cada pes per el valor del criteri corresponent. Generant el rànquing d'alternatives.

➤ **Mètodes de superació(outranking):**

- **Mètode del ELECTRE(33)(7)(34):** Aquest mètode té diferents versions. Però totes elles tenen en comú el mateix mètode comparatiu d'alternatives per superació. Aquesta relació o sobre-qualificació indica que l'alternativa  $A_h$  és preferible a la  $A_k$  en el criteri considerat si la qualificació de  $A_h$  és major o igual a la de  $A_k$ . Per a poder fer aquesta afirmació, el mètode ELECTRE utilitza la relació de superació i dues matrius de comparació per parells. Aquestes matrius tenen dues mesures : la de concordança i la de discordança. La concordança fa referència a aquells parells d'alternatives que superen a l'altre. I la discordança al parell d'alternatives que són superats per l'altre. Per a cada versió del mètode existeixen diferents fórmules, per al ELECTRE II: Per a la mesura de concordança  $C(A_i, A_k)$  per a cada parell d'alternatives  $(A_i, A_k)$  és:

$$C(A_i, A_k) = \frac{\sum_{j \in Q(A_i, A_k)} w_j}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad \text{Eq. 3.11}$$

On  $Q(A_i, A_k)$  és el conjunt de criteris per els quals  $A_i$  és igual o millor  $A_k$  i  $w_j$  és el pes del criteri  $j$ .

Per a la mesura de la discordança  $D(A_i, A_k)$  és:

$$D(A_i, b) = \frac{\max_{j \in Q'(A_i, b)} |X_{bj} - X_{A_i j}|}{\max_{j=1}^n |X_{bj} - X_{A_i j}|} \quad \text{Eq. 3.12}$$

On  $X_{a_j}$  i  $X_{b_j}$  és el rendiment de l'alternativa  $A_i$  i  $A_k$  per al criteri  $j$ . I  $Q'(A_i, b)$  és el conjunt de criteris pels quals  $A_i$  és pitjor que  $A_k$ , i  $n$  és el número de criteris.

Finalment la posta en comú d'aquestes dues mesures de pre-ordre donaran un rànquing final d'alternatives.

- **Mètode de PROMETHEE(29)(25):** Aquest mètode té un gran ús a l'hora de classificar problemes on hi ha un nombre finit d'alternatives, que tenen en compte diversos criteris sovint conflictius entre ells. Utilitza la comparació per parelles per analitzar les alternatives.

L'índex de preferències per un parell d'alternatives  $A_i$  i  $A_k$  es defineix com:

$$\pi(A_i, A_k) = \frac{\sum_{j=1}^n w_j p_j(A_i, A_k)}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad \text{Eq. 3.13}$$

On  $p_j(a, b)$  són les funcions de preferència per a les alternatives a i b. I  $\pi$  la relació de superació de les alternatives.

Utilitza dues ordenacions prèvies, classificant segons el flux entrant i el flux sortint.

El flux d'entrada es calcula com:

$$\phi^+(A_i) = \sum_{k=1}^m \pi(A_i, A_k), \quad k = 1, 2, \dots, m \quad \text{Eq. 3.14}$$

El flux de sortida es calcula com:

$$\phi^-(A_i) = \sum_{k=1}^m \pi(A_k, A_i), \quad k = 1, 2, \dots, m \quad \text{Eq. 3.15}$$

Finalment, el flux net és igual a la diferència del flux entrant i el flux sortint. Després d'obtenir tots els fluxos nets d'alternatives, es considera l'alternativa amb major flux net com la millor.

### 3.4. Agregació de resultats

Aquest és l'últim pas per a la MCDA. Com es pot veure per les explicacions anterior no existeix un únic mètode MCDA per a cada problema específic. Normalment, s'utilitzen diversos mètodes per a l'avaluació d'alternatives i després és selecciona la millor opció. Normalment, aquesta selecció es duu a terme pel mateix centre decisor. Però com és obvi es tracta d'una decisió amb molta subjectivitat, i per tant, poca credibilitat. D'aquesta manera en aquest capítol es presenten una sèrie de mètodes MCDA per a l'agregació de resultats.(25)

Els mètodes d'agregació de resultats, es poden dividir en dos grans grups. Primer el **mètode de votació** i el segon el **mètode d'agregació matemàtica**. Aquest segon grup té dues subdivisions, el dur (**hardmethod** en anglès) i el suau (**softmethod** en anglès).(25)

#### ➤ **Mètode de votació:**(25)

Com bé indica el nom, la preferència d'alternatives es duu a terme a votació. Per fer aquesta votació existeixen un seguit de normes. Les més conegudes són: Borda i Copeland.

- **Borda:** Cada individu dona una puntuació a cada alternativa, creant el seu propi rànquing, és a dir, la primera alternativa tindrà una puntuació P, la segona P-1 i així successivament. L'alternativa de preferència serà la que major puntuació tingui envers tot el conjunt d'individus.
- **Copeland:** Aquest mètode consisteix en fer una comparació per parells. Es calcula el nombre d'alternatives que superen per majoria de votació, i el nombre d'alternatives que reben pitjor votació. Es calcula la diferència entre aquests dos nombres, com major sigui la diferència l'alternativa és troba més amunt del rànquing i per tant, és millor.
- **Mètode d'agregació matemàtica:(25)**
  - **Hard method:** és el mètode més objectiu i més convincent. Utilitza només mètodes matemàtics per a obtenir el rànquing d'alternatives sense tenir en compte l'opinió del centre decisor.
  - **Soft method:** Aquest mètode té poc és a la vida real ja que pretén que els centres decisors arribin a un acord o negociació per a la selecció de la millor opció o rànquing d'opcions.

### 3.4.1. Programació compromís

#### 3.4.1.1. Definició

El mètode de la programació compromís fou presentada per Yu (35) i Zeleny(36) als anys setanta, es presenta com un mètode per a l'agregació de diferents criteris que consten de diferents ponderacions entre ells.

La idea bàsica de la programació compromís consisteix en trobar la solució més propera al punt ideal, punt per en el qual tots els criteris tenen el seu valor òptim, dins del conjunt de solucions factibles per al problema en si.(37)

Per a poder trobar aquesta solució compromís així doncs, caldrà(38):

1. Determinar els punts Ideal i antiideal.
2. Establir el conjunt de solucions eficients.
3. Finalment, buscar la solució dins del conjunt de solucions eficients més pròxima a l'ideal.

### 3.4.1.2. Metodologia d'aplicació

#### 3.4.1.2.1 Punts Ideal i Antiideal

Tal i com s'ha descrit anteriorment, el punt ideal és aquell punt en el qual es té la millor solució i per tant, és obvi considerar que el punt antiideal, el seu oposat, és la pitjor solució possible.

Cal tenir en compte que per a poder realitzar el procés d'agregació els diferents criteris han d'haver estat normalitzats per a poder treballar entre ells amb la mateixa mètrica, a l'hora el seu valor ideal o antiideal variarà segons un criteri estigui subjecte a major valor millor o bé a menor valor millor.

Es pot veure clar amb el següent exemple. Per al nostre problema d'estudi els diferents cinc indicadors han estat normalitzats acord a les equacions Eq 2.7 i Eq 2.8. Aquestes normalitzacions comporten valors entre 0 i 1. Per al cas de les dimensions: tècnica, econòmica, social i institucional, aquestes al seguir un criteri de major valor millor, tindran com a punt Ideal el màxim valor obtingut en la seva dimensió i per al punt antiideal el menor. En el cas de la dimensió ambiental, al seguir el criteri de menor valor menor, el valor ideal serà el menor valor obtingut i el punt antiideal serà el major valor obtingut.

Taula 17. Exemple per als països de la Unió Europea.

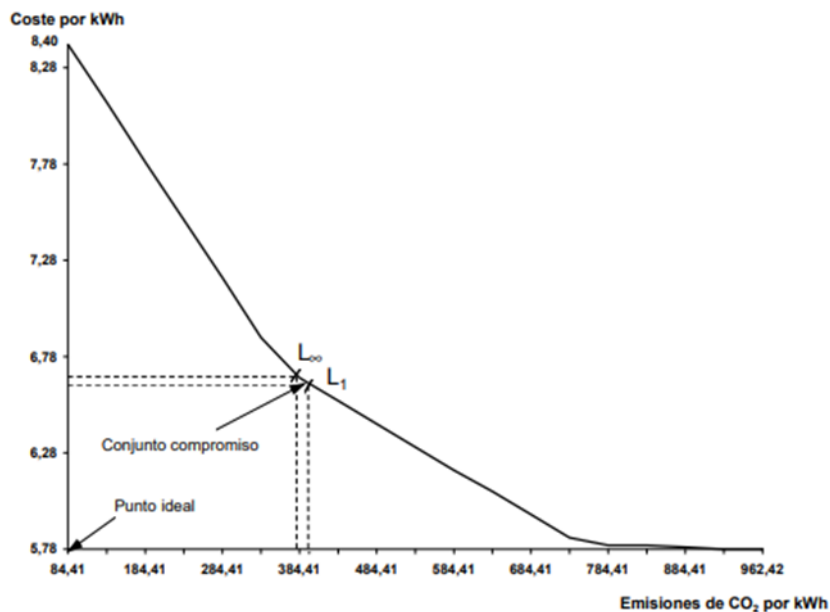
	Ideal	Antiideal
Tècnica	1,00	0,34
Econòmica	1,00	0,00
Social	0,93	0,00
Ambiental	0,48	1,00
Institucional	1,00	0,00

L'anterior taula mostra els valors ideal i antiideal per als països de la unió Europea, agafant l'exemple de la dimensió Social, el major valor que sobte de tot el conjunt de països és 0.93, per tant aquest és el valor Ideal, per contra el mínim valor obtingut és el 0 i aquest resulta ser el valor antiideal. La taula anterior per tant mostra el vector Ideal i Antiideal per als països de la unió europea.

#### 3.4.1.2.2 Conjunt de solucions eficients

El conjunt de solucions eficients són tots els conjunts de valors que es pot obtenir per cada criteri, al haver estat normalitzats per a poder treballar entre ells, el conjunt de solucions eficients vindrà delimitat per al vector Ideal i antiideal.(39)(38)

En la següent imatge es pot veure el conjunt de solucions eficients marcades com les diverses solucions delimitades per sota la corba.



Il·lustració 6. Representació Conjunt compromís i punt ideal. (39)

Aquest conjunt de solucions eficients té una distància al punt ideal expressada com la següent funció de distància dependent de la mètrica  $p$  presentada per la programació compromís(8):

$$\text{Min } L_p = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [\alpha_j (R_{ij}) X_i]^p \quad \text{Eq. 3.16}$$

Subjecte a :

$$\sum_{i=1}^n X_i = 1$$

$$i \in \{1,2, \dots, n\} \quad j \in \{1,2, \dots, m\}$$

$$X_i \in \{0,1\}$$

Eq. 3.17

On  $p$  és la mètrica que defineix la família de funcions de distància  $L_p$ . Exemple:  $L_1$ = Distància Manhattan,  $L_\infty$ = Distància Chebysev o la mes coneguda  $L_2$  distància Euclidiana.

El vector  $i$  representa el país avaluat (en el cas del SEDI) i  $j$ , l'indicador avaluat. El paràmetre  $\alpha_j$  defineix el pes atribuït a cada indicador. La variable  $X_i$  representa una variable binària que respon a  $X_i = 1$  quan el país  $i$  s'escull o bé  $X_i = 0$ , en cas contrari. I finalment el paràmetre  $\bar{R}_{ij}$  que correspon al valor de l'indicador normalitzat acord amb :

$$\bar{R}_{ij} = 1 - \frac{R_j^* - R_{ij}}{R_j^* - R_{*j}} = \frac{R_{ij} - R_{*j}}{R_j^* - R_{*j}} \quad \text{Eq. 3.18}$$

On  $R_j^*$  és el valor ideal,  $R_{*j}$  és el valor antiideal i  $R_{ij}$  és el valor obtingut.

Aquest criteri és quan s'avalua l'indicador de la forma a més valor millor, en cas de que s'utilitzés el criteri a menor valor millor, l'Eq 3.16 es veuria modificada a :

$$\text{Min } L_p = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [\alpha_j (1 - R_{ij}) X_i]^p \quad \text{Eq. 3.19}$$

#### 3.4.1.2.3 Solució compromís

Tal i com es mostra en la **il·lustració 6**, dins del conjunt de solucions eficients, es pot delimitar un subconjunt anomenat conjunt compromís, aquest vindrà acotat per a dues distàncies la distància Manhattan  $L_1$  i la distància Chebysev  $L_\infty$ , que resulten ser les dues distàncies més properes al punt ideal.

El funció distància per a  $L_1$  resulta ser(8):

$$\text{Min } L_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [\alpha_j (\bar{R}_{ij}) X_i] \quad \text{Eq. 3.20}$$

Subjecte a :

$$\sum_{i=1}^n X_i = 1$$

$$i \in \{1, 2, \dots, n\} \quad j \in \{1, 2, \dots, m\}$$

$$X_i \in \{0, 1\}$$

Eq. 3.21

Aquest model dona la millor solució a nivell global; és a dir la millor agregació, però per contra és pot trobar què en algun cas un dels indicadors o criteris de sostenibilitat sigui altament pobre i per tant no acceptables per a la solució(8). Per exemple el cas de Estònia (UE), que presenta una agregació bona  $L_1 = 0.628$ , però per contra té una dimensió social molt pobre amb un valor de 0.076.

D'altra banda el model per a  $L_\infty$  correspon a(8) :

$$\text{Min } L_\infty = D \quad \text{Eq. 3.22}$$

Subjecte a :

$$\sum_{j=1}^m [\alpha_j (1 - \bar{R}_{ij}) X_i] \leq D \quad i \in \{1, 2, \dots, n\}$$

$$\sum_{i=1}^n X_i = 1$$

Eq. 3.23

$$i \in \{1, 2, \dots, n\} \quad j \in \{1, 2, \dots, m\}$$

$$X_i \in \{0, 1\}$$

On D representa la màxima desviació o desacord, d'aquesta manera es minimitza la desviació l'indicador o criteri amb més desplaçament respecte el seu valor ideal. Aquesta mètrica dóna per solució el model més equilibrat. Aquesta mètrica també té un aspecte negatiu i es que pot donar com a resultat una mitjana molt pobre(8). Com es el cas d' Àustria (UE), en què s'obté una mitjana molt pobre  $L_\infty = 0.331$ , quan té indicadors força bons com la dimensió ambiental amb un valor de 0.795

Així doncs, la solució plantejada per André i Romero (14), resulta ser una combinació de les dues en què es pugui considerar ambdós casos límit.

$$\text{Min } L_\lambda = (1 - \lambda)D + \lambda \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [\alpha_j (\bar{R}_{ij}) X_i]$$

Eq. 3.24

Subjecte a :

$$\sum_{j=1}^m [\alpha_j (\bar{R}_{ij}) X_i] \leq D \quad i \in \{1, 2, \dots, n\}$$

$$\sum_{i=1}^n X_i = 1$$

Eq. 3.25

$$i \in \{1, 2, \dots, n\} \quad j \in \{1, 2, \dots, m\}$$

El paràmetre de control  $\lambda$ , determina què per a  $\lambda=1$  el model anterior resultarà ser el model de  $L_1$ , i per a  $\lambda=0$  el model anterior resultarà ser el model de  $L_\infty$ . D'aquesta manera ens permet valorar quina de les dues solucions compromís és més òptima per a cada cas.

### 3.4.1.3. Exemple numèric

Per a què pugui ser més fàcil d'entendre l'aplicació de la programació compromís es mostra un exemple numèric extret de la pròpia proposta d'estudi d'aquest treball. S'ha agafat el cas d'Espanya en el conjunt de països de la OECD. Seguidament es mostra pas per pas la metodologia d'agregació.

#### 1. Punts ideal i antiideal

	Ideal	Antiideal
Tècnica	0,64	0,30
Econòmica	0,84	0,12
Social	0,49	0,00
Ambiental	0,58	1,00
Institucional	0,33	0,03

Il·lustració 7. Valors Ideal i Antiideal per a les diferents dimensions en el conjunt de països de la OECD

En la taula anterior es mostren els diferents valors ideals i antiideals per a les diferents dimensions, aquests valors s'utilitzen per a la normalització dels diferents indicadors. En el nostre cas específic la normalització s'ha fet prèviament de forma que aquests valors mostrats a la taula són els valors Ideal i antiideal per als valors ja normalitzats, per tant es mostren però no se'n farà us en aquest exemple ni en la proposta d'aquest treball.

#### 2. Solució compromís

Abans de poder mostrar el càlcul de la solució compromís, es mostra en la següent taula els diferents valors per a cada dimensió en el cas d'Espanya, i els pesos atribuïts a cada dimensió que s'utilitzaran per a aquest exemple.

	Pes	Spain
Tècnica	0,10	0,445
Econòmica	0,26	0,708
Social	0,16	0,111
Ambiental	0,42	0,870
Institucional	0,06	0,030

Il·lustració 8. Pesos i valors per a cada dimensió per a Espanya (OECD)

Seguidament, per a les fórmules :

$$\begin{aligned} \text{Min } L_1 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [\alpha_j (\bar{R}_{ij}) X_i] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [\alpha_j * \bar{R}_{ij}] = \\ & (0.10 * 0.445) + (0.26 * 0.708) + (0.16 * 0.111) + (0.42 * 0.870) + (0.06 * 0.030) \end{aligned} \quad \text{Eq. 3.26}$$

I per



$$\begin{aligned}
 \text{Min } L_{\infty} = D &= \text{Max} [\alpha_j * \bar{R}_{ij}] \\
 &= \text{Max}[(0.10 * 0.445); (0.26 * 0.708); (0.16 * 0.111); (0.42 * 0.870); (0.06 * 0.030)]
 \end{aligned}
 \tag{Eq. 3.27}$$

Per tant, els valors corresponen a:

	Spain
L1	0,611
Linf	0,362

*Il·lustració 9. Valors per a la distància Manhattan i la distància Chebysev per a Espanya (OECD)*

Per aquest exemple en concret, ja que es treballava amb el criteri: A major valor millor. Un cop avaluats les dues distàncies, es veu clar que la distància  $L_1$  és la més afavorida i per tant el model  $L_{\lambda}$  correspon a  $\lambda=1$ .



## 4. Presentació proposta

Aquest treball en concret pretén incorporar eines de suport a la presa de decisions multicriteri per al càlcul de l'indicador SEDI presentat per I.Iddrisu i S.Bhattacharyy (5) per a l'avaluació del desenvolupament sostenible energètic dels països.

Prèviament es redefiniran el conjunt de criteris sobre els quals es treballarà, seguidament s'utilitzarà la tècnica AHP per a la ponderació d'aquests criteris, i finalment s'aplicarà la programació compromís per a poder dur a terme una classificació entre els diferents països.

Degut a la quantitat de dades a analitzar s'ha volgut acotar el nombre de països a tenir en compte per analitzar i comparar. S'han fet dos anàlisis amb dues agrupacions diferents, els països membres de la Unió Europea (UE)(40) i els països membres de la Organització de cooperació i desenvolupament econòmic (OECD).(41)

De forma esquemàtica la metodologia emprada en la proposta d'aquest treball és la següent:

1. Criteris de la proposta: Recerca dels diferents indicadors i aplicació de les variacions pertinents.
2. Per a cada país :
  - a. Càlcul dels diferents subindicadors i indicadors de cada dimensió.
  - b. Càlcul del SEDI en la seva forma original.
  - c. Ordenar en forma de rànquing els diferents països acord amb el valor del SEDI obtingut.
3. Aplicació del mètode AHP per a l'assignació de pesos.
  - a. Construcció de la matriu de comparació de parells, amb l'assignació numèrica acord amb l'escala de Saaty que correspon a la comparació entre diferents parells de dimensions.
  - b. Transformació de la matriu de comparació de parells a matriu normalitzada
  - c. Obtenció del Vector de prioritat (VEP) que correspon al vector de pesos.
  - d. Càlcul del quocient de consistència.
4. Per a cada país:
  - a. Aplicació del mètode de la programació compromís per al càlcul del nou SEDI.P amb els diferents valors obtinguts per a cada indicador i els pesos obtinguts a través del mètode AHP.
    - i. Càlcul distància  $L_1$
    - ii. Càlcul distància  $L_\infty$
    - iii. Càlcul distància  $L$

- b. Ordenar en forma de rànquing els diferents països acord amb el valor del SEDI.P obtingut.
5. Comparativa entre els diferents valors obtinguts pels SEDIs.

#### 4.1. Criteris per a la proposta

Els criteris del SEDI s'han presentat detalladament a l'apartat 2.3.1. Al no tenir a mà tots els valors numèrics dels diferents indicadors, s'ha decidit calcular el conjunt d'indicadors que formen el SEDI per als diferents països de la UE i de la OECD des de zero. Tota la informació recollida s'ha extret de les diferents bases de dades mostrades en la següent taula:

*Taula 18. Bases de dades per a cada indicador*

<b>TEC1</b>	<b>IEA(9)</b>
<b>TEC2</b>	IEA
<b>TEC3</b>	IEA
<b>ECO1</b>	IEA, World Bank(10)
<b>ECO2</b>	IEA
<b>ECO3</b>	IEA
<b>SOC1</b>	IEA, World Bank
<b>SOC2</b>	World Bank, Tradingeconomics(11)
<b>ENV1</b>	IEA
<b>ENV2</b>	IEA
<b>INS1</b>	IEA

A falta d'algunes fons de dades fiables o falta de d'informació específica s'ha modificat d'alguna manera les fórmules dels diferents indicadors. A continuació es detallen les modificacions dutes terme i també les condicions establertes per a alguns casos. Els indicadors que no estan descrits a continuació segueixen les fórmules descrites a l'apartat 2.3.1.

#### 4.1.1. Dimensió tècnica

- TEC1: S'ha modificat el concepte de *Producció d'energies renovables modernes*, no s'ha tingut en compte els biocombustibles primaris sòlids com la fusta i el carbó (*charcoal*). Com a condició s'ha establert que quan la Producció d'energies renovables és < 0, aquesta pren el valor de 0.
- TEC2: En aquest indicador només s'han tingut en compte tres productes: Carbó (Coal), Petroli cru i Gas Natural. Com a concepte de Reserves Provades s'ha tingut en compte la producció, la importació i exportació i s'ha exclòs el concepte de taxa d'esgotament de boscos. Com a condició només s'han tingut en compte els productes en els quals les Reserves Provades són >0. Per al cas particular de Bèlgica, Suïssa, Portugal, Xipre, Malta, Islàndia i Luxemburg TEC2 resulta ser 0 ja que són països que no produeixen.
- TEC3: Pel que fa a la quantitat d'energia primària utilitzada en centrals energètiques; aquestes centrals són exclusivament: Electricitat, CHP i Calor. I les energies són: Carbó (*coal*), Petroli cru, Gas Natural, Nuclear, hidroelèctrica, eòlica, solar, biofuels i residus.

Les fórmules es veuen modificades en la següent taula.

Taula 19. Modificacions als indicadors del SEDI per a la dimensió tècnica

Indicador	Fórmula	Definició	Descripció
TEC1	$TEC1 = \sqrt{\frac{\text{Producció d'energies renovables modernes}}{TPES}}$	Producció d'energies renovables modernes= Energies renovables (hidro, biofuels, residus i altres energies renovables)	Eq. 4.1
		TPES= Consum Total d'energies no renovables	
TEC2	$\text{Taxa d'esgotament}_i = \frac{\text{Producció}_i}{\text{Reserves Provades}_i}$ $\text{Reserves Provades}_i = \text{Producció}_i + \text{importació}_i - \text{exportacions}_i$ $E_i = \frac{\text{Producció}_i}{\text{Producció Total}} * \text{Taxa d'esgotament}_i$ $TEC2 = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 E_i$	i representa les 3 energies esgotables:	➤ Carbó ➤ Petroli cru ➤ Gas Natural

$$TEC3 = \frac{\text{Energia final produïda}}{\text{Energia Total consumida}}$$

On  $i$  és el tipus de central energètica (Electricitat, CHP o calor)

$$\text{Energia final produïda} = \sum_{i=1}^n \text{Electricitat i calor produïda}$$

TEC3

$$\text{Energia Total consumida} = \text{Energia total d'ú propi en les indústries} + \text{pèrdues totals} + \sum_{i=1}^n \text{quantitat d'energia primària utilitzada en centrals energètiques}$$

Eq. 4.3

#### 4.1.2. Dimensió Social

- SOC1: L'IEA inclou el Gas Natural Líquid (GNL) i la matèria prima dins l'apartat de Petrolí cru, i la turba dins de l'apartat del carbó (*Coal*).

#### 4.1.3. Dimensió mediambiental

- ENV2. Aquest indicador no s'ha calculat ja que el valor directe era facilitat a la base de dades de l'IEA.

Pel què fa a la normalització, els indicadors : TEC1, TEC2, TEC3 , ECO3 i ENV1 ,al tractar-se de percentatges ja venen normalitzats. Per al cas particular del TEC3, hi ha països que obtenen un valor superior a 1 (Xipre =11.214; Malta = 4.769) degut a què no consumeixen energia primària a les centrals energètiques, aquests valors han estat directament fixats a 1.

La resta d'indicadors han estat normalitzats conforme les equacions pertinents de la *Taula 2*. I finalment amb les fórmules de la mateixa taula s'han calculat els indicadors de cada dimensió : TEC, ECO, SOC , ENV i INS.

A l'hora de calcular el SEDI com la mitjana aritmètica de les cinc dimensions ,la dimensió ECO s'ha hagut de tornar a normalitzar altre cop acord amb l'Eq 2.7 ja que en alguns casos el seu càlcul representava valors majors a la unitat. I la dimensió ENV al ser el producte ENV1 x ENV2 normalitzats amb l'equació l'Eq 2.8 (a menor valor millor) s'ha hagut d'adaptar el valor d'ENV amb els criteris dels demés indicadors per a poder operar-hi ,els demés indicadors segueixen el criteri de major valor millor, per tant el nou valor de la dimensió serà :

$$ENV = (1 - ENV)$$

Eq. 4.4

## 4.2. Aplicació del mètode AHP en la proposta d'estudi.

En l'apartat 3.2 s'explicava què el mètode AHP servia tant com per a la ponderació de criteris, com per a l'avaluació d'alternatives. En aquest treball en concret s'aplica simplement per a ponderar els diferents criteris ja definits anteriorment amb major o menor importància entre ells. S'havia parlat de l'escala de Saaty, aquesta escala comprenia valors numèrics entre l'1 i el 9 depenent de la importància que tenien els criteris uns sobre els altres. En aquest treball s'ha volgut reduir l'escala de valors numèrics d'1 a 5. Ja què al gran marge de valors podia complicar la anàlisi de preferència entre criteris, ja que sovint podia ser difícil diferenciar entre un valor i un altre. Així doncs, l'escala sobre la qual treballarem queda definida com:

Escala numèrica	Escala verbal
1	Ambdós criteris o elements són d'igual importància
2	Dèbil o moderada importància d'un sobre l'altre
3	Entre igual i moderadament preferible
4	Importància fora d'un criteri sobre l'altre
5	Importància absoluta d'un criteri sobre l'altre.

Pel que fa a la comparació per parelles entre els elements i l'assignació de pesos, l'exemple numèric de l'apartat 4.2.1 és sobre el qual s'ha treballat en els inicis d'aquest treball, com s'explicarà més endavant, els valors han estat variats per a veure com influenciava l'assignació de pesos als valors finals.

## 4.3. Aplicació de la programació compromís en la proposta d'estudi

Per a l'aplicació de la programació compromís en aquest treball, l'apartat de normalització dels criteris acord amb els valors ideal i antiideal s'ha situat dins l'apartat 5.1.

A l'hora de crear el conjunt compromís, delimitat per la distància Manhattan i la distància Chebysev, s'han seguit les Equacions Eq 3.20 i Eq 3.22.

En aquest cas, com a solució compromís no s'ha utilitzat la fórmula presentada per André i Romero (14) sinó que s'ha fet ús de la següent:

$$L = \frac{L_1 + L_\infty}{2} \quad \text{Eq. 4.5}$$



## 5. Resultats. Avaluació de l'aplicació de les eines multicriteri

El punt de partida en l'estudi d'aquest treball és comparar els valors obtinguts amb el càlcul del SEDI segons els articles (5)(6), és a dir, atribuint el mateix pes per a cadascuna de les dimensions, i els valors obtinguts amb el càlcul del SEDI amb l'aplicació del mètode AHP i la programació compromís, anomenat a partir d'ara SEDI.P. Aquests càlculs numèrics són detallats als ANNEXOS. Per a poder fer la comparativa es mostren en forma de taula els valors obtinguts i a l'hora es representen en forma de gràfica, separant els dos conjunts de països sobre els quals es treballa.

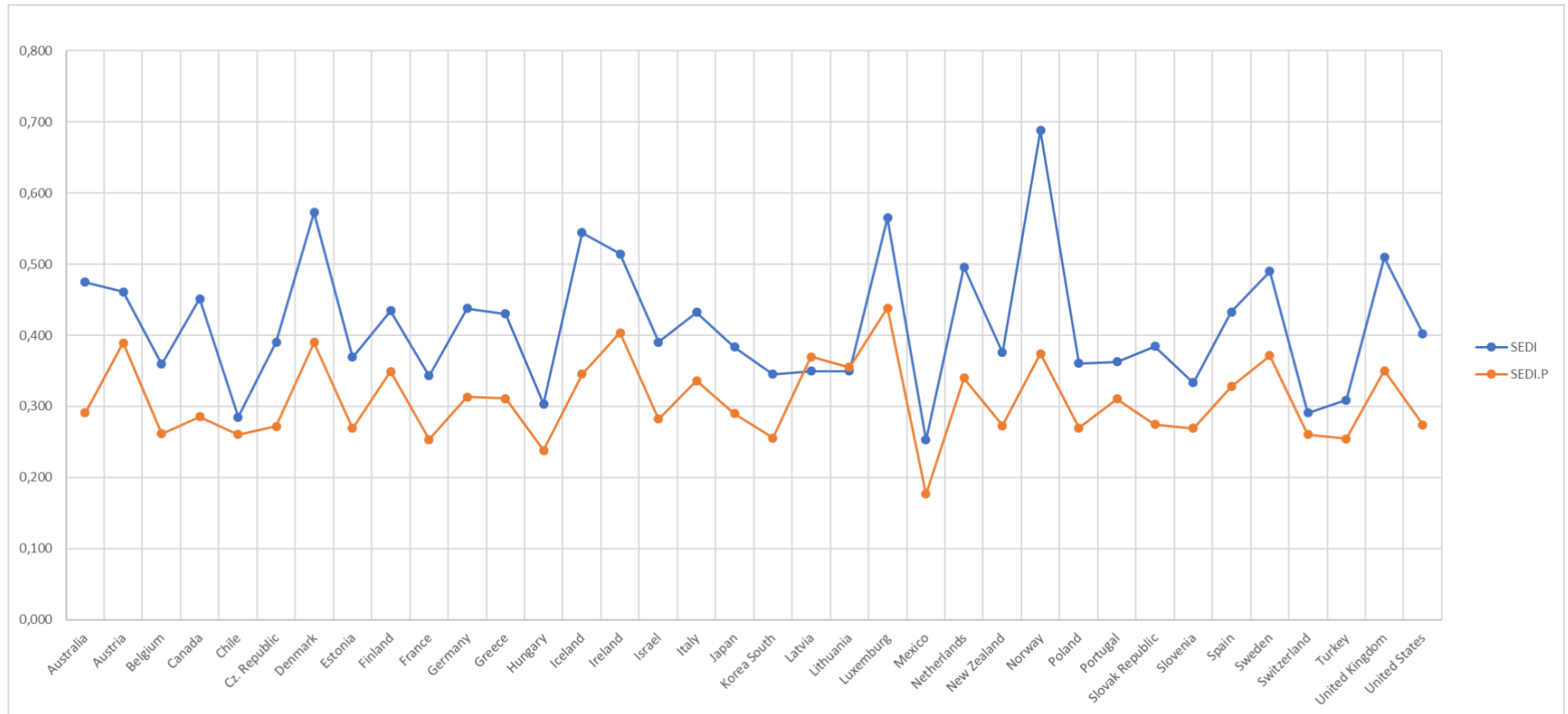
Les condicions per aquesta primera comparació són les següents:

*Taula 20. Pesos corresponents per a cada dimensió*

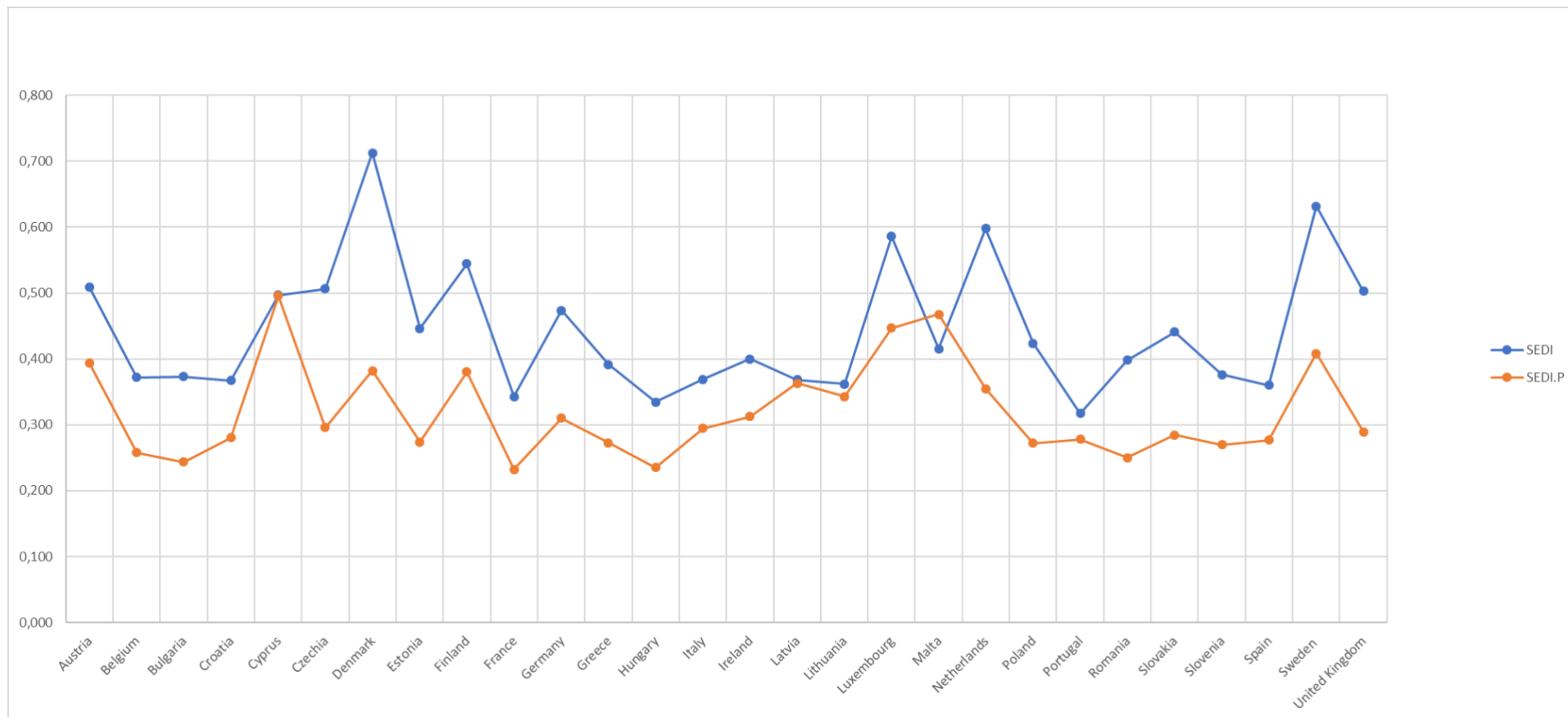
Dimensió	SEDI	SEDI.P
Tècnica	0,200	0,389
Econòmica	0,200	0,230
Social	0,200	0,164
Ambiental	0,200	0,143
Institucional	0,200	0,071

Els valors atribuïts als pesos per al SEDI.P són els utilitzats en l'exemple de l'apartat 3.2.1, és per això que aquí s'han mostrat directament sense entrar en profunditat en el seu càlcul.

A continuació es mostren en forma de gràfica els valors obtinguts per als països de la OECD i els països de la UE, sota les condicions anteriors:



Gràfica 1. Comparativa de tendències entre el SEDI i el SEDI.P per als països de la OECD



Gràfica 2 Comparativa de tendències entre SEDI i SEDI.P per als països de la UE

A primera vista, es pot observar què tant en el cas dels països de la OECD com en els països de la UE, els valors del SEDI.P són tret d'alguns casos puntuals, inferiors als valors del SEDI. En ambdós grups, però amb menys mesura per als països de la UE, els valors del SEDI.P disten al voltant d'un 20% de diferència amb els valors del SEDI.

A continuació s'analitzen alguns casos específics per a cada grup de països:

- Casos particulars OECD:

País	SEDI	SEDI.P	Error
Lituània	0,350	0,355	1%
Xile	0,285	0,260	9%
Letònia	0,350	0,370	6%

*Il·lustració 10. Valors numèrics dels diferents SEDI per als casos particulars de la OECD*

Dimensió	Pesos	Lituània	Letònia	Xile
TEC	0,390	0,706	0,759	0,480
ECO	0,230	0,135	0,088	0,165
SOC	0,165	0,124	0,144	0
ENV	0,144	0,716	0,693	0,734
INS	0,071	0,068	0,065	0,046

*Il·lustració 11. Valors numèrics de les diferents dimensions per als casos particulars de la OECD*

S'han agafat aquests tres casos particulars a analitzar ja que són els tres països amb una diferència menor entre SEDI d'entre tot el conjunt i una diferència menor del 10% i no segueixen el patró dels demés països. S'ha volgut comparar el valor de cada dimensió amb el pes d'aquesta per veure si aquests tres casos particulars compartien alguna similitud. En groc són marcats els valors més elevats (recordem que a major valor numèric millor) per a cada país.

Per una banda, el cas de Letònia té una relació directa entre la dimensió amb major valor numèric i la dimensió amb major pes, la tècnica., però dels tres casos no és el país que presenta menor diferència entre SEDI. Per als casos de Lituània i Xile, la relació que existia en el cas de Letònia no es compleix, ambdós països tenen la dimensió amb major valor numèric l'ambiental (ENV), però aquesta resulta ser la 4a dimensió amb major pes, i pel que fa a la relació entre els valors numèrics del SEDI, disten completament entre ells.

Per altra banda, Lituània és el país amb menor diferència entre SEDI de tot conjunt de països de la OECD, s'ha volgut veure si havia una relació entre l'atribució del valor numèric amb la dimensió, és a dir, per al cas de Lituània l'ordre de major a menor valor numèric segons la dimensió és: ENV, TEC,

ECO, SOC i INS. Però s'ha pogut veure en dos exemples que no hi ha relació entre l'anterior afirmació i la diferència entre els SEDI.

	Àustria	Bèlgica
TEC	0,635	0,367
ECO	0,450	0,327
SOC	0,340	0,272
ENV	0,835	0,797
INS	0,047	0,034
SEDI	0,461	0,359
SEDI.P	0,272	0,390
Error	16%	27%

Il·lustració 12. Dades per a Àustria i Bèlgica

- Casos particulars UE:

País	SEDI	SEDI.P	Error
Xipre	0,497	0,496	0%
Letònia	0,368	0,363	1%
Lituània	0,362	0,363	5%

Il·lustració 13. Valors numèrics dels diferents SEDI per als casos particulars de la UE

Dimensió	Pesos	Xipre	Letònia	Lituània
TEC	0,390	1	0,759	0,706
ECO	0,230	0,17	0,041	0,046
SOC	0,165	0,087	0,056	0,024
ENV	0,144	0,972	0,621	0,650
INS	0,071	0,254	0,364	0,383

Il·lustració 14. Valors numèrics de les diferents dimensions per als casos particulars de la UE.

Per als casos particulars dels països de la UE s'ha agafat el mateix criteri que per als països de la OECD, els tres països presenten la menor diferència entre els SEDI, i una diferència menor del 10 % respecte tot el conjunt de països de la UE.

Es pot veure que en tots tres casos, la dimensió amb major valor és la dimensió tècnica, i a l'hora la segona dimensió amb major pes per a cada país és la dimensió ambiental, com succeïa en el cas de Lituània en el grup de països de la OECD. S'ha volgut veure si en aquest cas tots tres països compartien el mateix ordre pel que fa el valor numèric (de major a menor) en funció de la dimensió. En tots tres casos comparteixen l'ordre de major a menor pes per a : TEC, ENV i INS, però per al cas de Xipre i Lituània l'ordre acabaria amb : ECO, SOC, i per al cas de Letònia: SOC, ECO. I aquest ordre tampoc

resulta ser el mateix que per als països de la OECD. Per tant, no es troba una correlació entre aquestes dades.

Tot i aquestes primeres conclusions respecte al primer anàlisi de les dades, es decideix comprovar si realment hi ha una correlació entre major pes de la dimensió i el major valor numèric d'aquesta, com que l'atribució de pesos ha de ser la mateixa per a tot el conjunt de països i no pot ser específica i variant per a cada cas es duu a terme el següent càlcul.

Per a cada dimensió de cada conjunt de països es cerca el valor numèric més alt que pot obtenir la dimensió en qüestió, també es cerca el valor mig del conjunt de valors numèrics de la mateixa dimensió, i finalment es calcula la quantitat de països que el seu valor numèric respecte aquesta dimensió és major que el valor mig. D'aquesta manera el que es pretén és que per a cada conjunt de països, es creï un rànquing de dimensions de major a menor quantitat de països que superen la mitjana, i amb aquest rànquing, atribuir de major a menor pes a la dimensió. L'atribució de pesos s'ha dut a terme mitjançant el mètode AHP.

- Per al conjunt de països de la OECD:
  - Rànquing: ENV>ECO>SOC>TEC>INS, per tant, la seva matriu de comparació per parells serà:

*Taula 21. Matriu de comparació per parells països OECD*

	TEC	ECO	SOC	ENV	INS
TEC	1	0,3	1	0,25	2
ECO	3	1	2	0,5	4
SOC	2	1	1	0,3	3
ENV	4	2	3,0	1	5
INS	1	0	0	0	1

I finalment, el vector de prioritat que resulta ser el vector de pesos serà:

*Taula 22. Pesos per a les dimensions del conjunt de països de la OECD*

	Pesos
TEC	0,10
ECO	0,26
SOC	0,16
ENV	0,42
INS	0,06

- Per al conjunt de països de la UE:

- Rànquing: ENV>INS>ECO>SOC>TEC, per tant, la seva matriu de comparació per parells serà:

Taula 23. Matriu de comparació per parells països UE

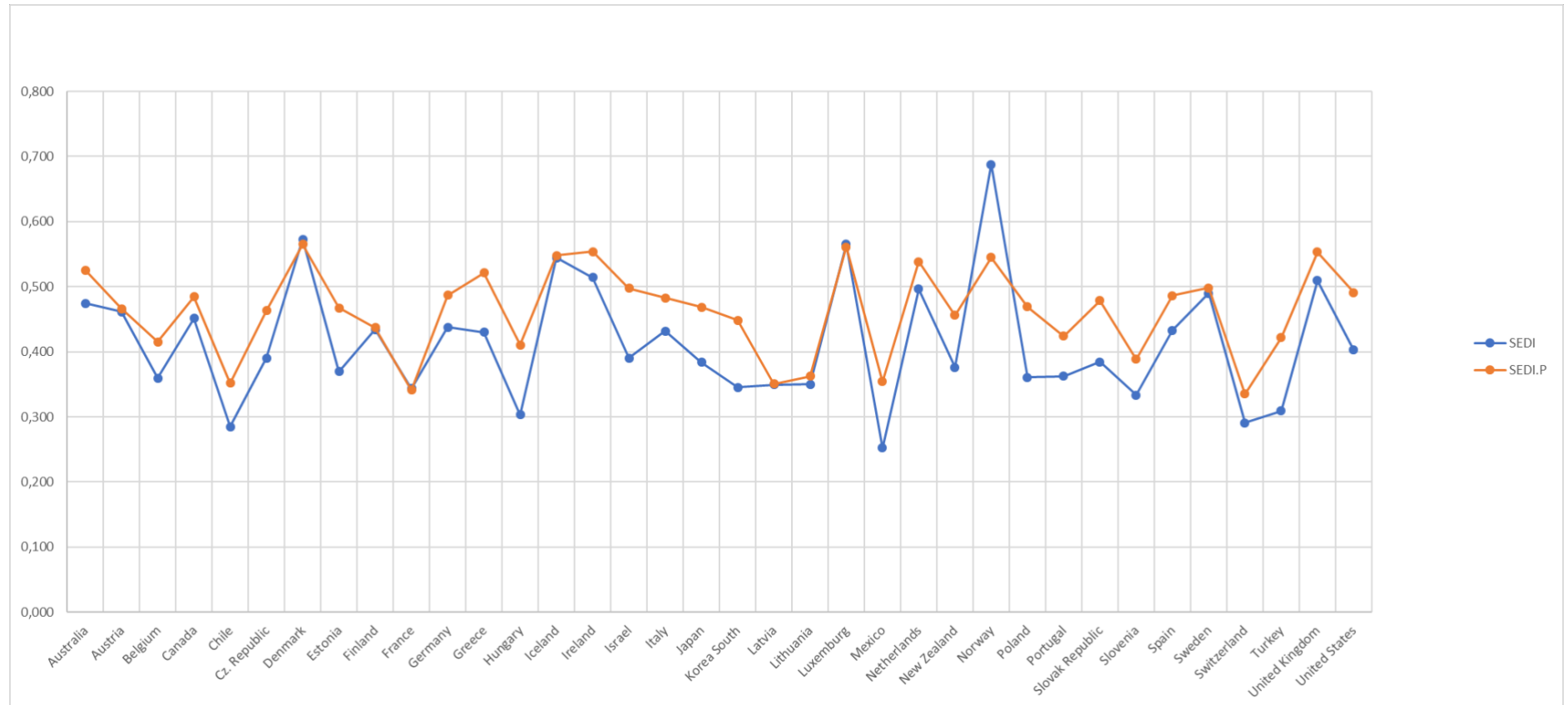
	TEC	ECO	SOC	ENV	INS
TEC	1	0,3	0,5	0,2	0,25
ECO	3	1	2	0,3	0,5
SOC	2,00	0,50	1	0,25	0,3
ENV	5	3	4	1	2
INS	4,00	2,00	3,00	0,50	1

I per tant, el vector de prioritat que representa l'assignació de pesos serà:

Taula 24. Pesos per a les dimensions del conjunt de països de la UE

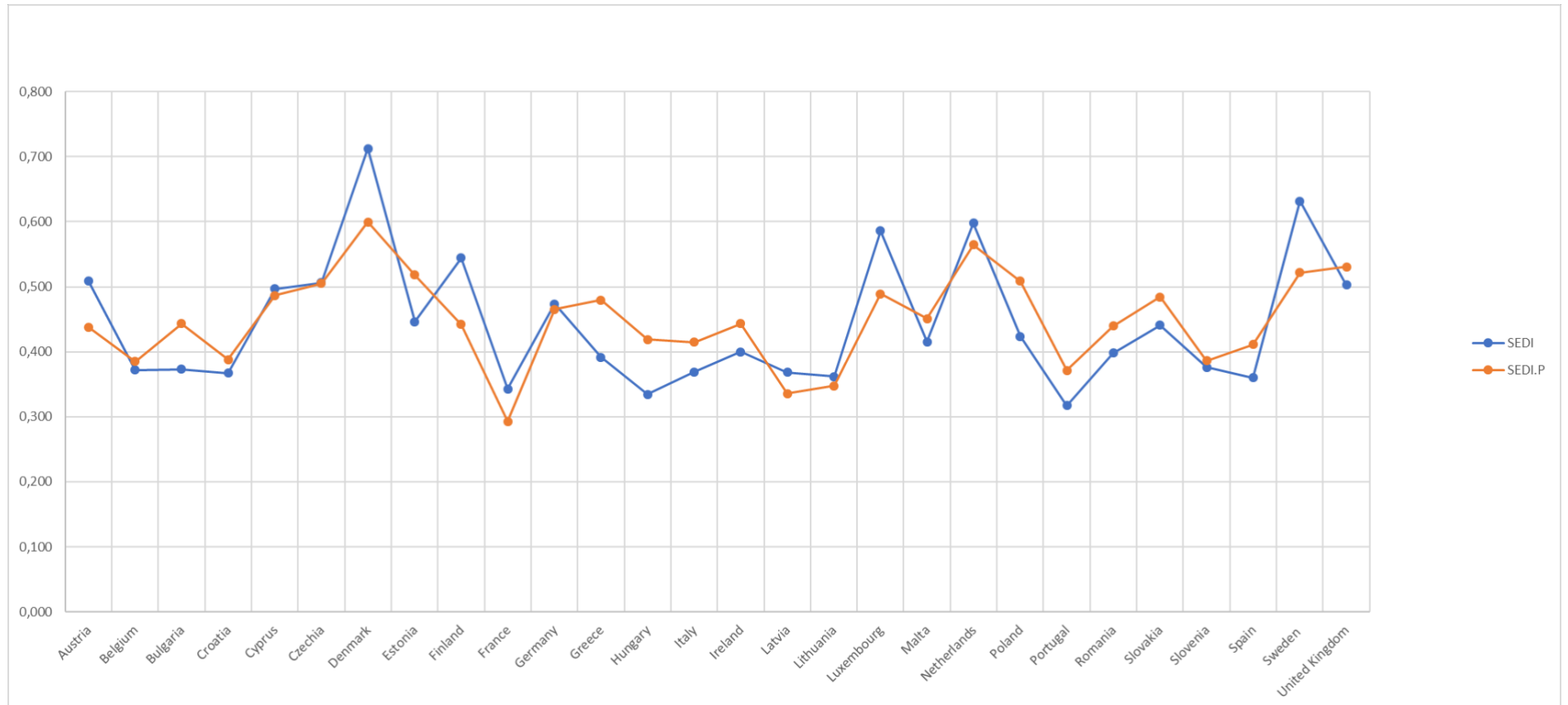
	Pesos
TEC	0,06
ECO	0,16
SOC	0,10
ENV	0,42
INS	0,26

Cal a destacar què tant en la matriu de comparació per parells dels països de la OECD com dels països de la UE, el quocient de consistència ha sigut de 0.02, inferior al 0.1 i per tant, més què acceptable.



Gràfica 3 .Comparativa de tendències entre SEDI i SEDI.P per als països de la OECD





Gràfica 4 .Comparativa de tendències entre SEDI i SEDI.P per als països de la UE

A simple vista, es pot veure que entre els dos grups de països, en el cas de la UE, hi ha un major nombre de coincidències pel que fa als dos valors del SEDI, en ambdós casos la diferència mitjana entre aquests dos valors és inferior al 20%, 15% per al cas de la OECD i 12% per al cas de la UE.

Seguidament, es presenten en forma de taula els tres països de cada grup que mostren menor diferència entre valors del SEDI.

- Per als països de la OECD:

*Taula 25. Valors numèrics dels diferents SEDI per als casos particulars de la OECD*

País	SEDI	SEDI.P	Error
Finlàndia	0,435	0,548	0,57%
França	0,343	0,554	0,55%
Letònia	0,350	0,456	0,32%

*Taula 26. Valors numèrics de les diferents dimensions per als casos particulars de la OECD*

Dimensió	Pesos	Finlàndia	França	Letònia
TEC	0,099	0,566	0,344	0,759
ECO	0,262	0,239	0,471	0,088
SOC	0,161	0,493	0,256	0,144
ENV	0,416	0,807	0,577	0,693
INS	0,062	0,068	0,069	0,065

Per als països de la UE:

*Taula 27. Valors numèrics dels diferents SEDI per als casos particulars de la UE*

País	SEDI	SEDI.P	Error
R. Txeca	0,497	0,487	1,96%
Xipre	0,506	0,505	0,16%
Alemanya	0,474	0,465	1,82%

Taula 28. Valors numèrics de les diferents dimensions per als casos particulars de la UE

Dimensió	Pesos	R. Txeca	Xipre	Alemanya
TEC	0,062	0,389	1,000	0,421
ECO	0,161	0,125	0,170	0,278
SOC	0,099	0,528	0,087	0,481
ENV	0,416	0,919	0,972	0,877
INS	0,262	0,569	0,254	0,312

Després d'aquest segon tanteig es pot corroborar que no hi ha cap relació directe entre la disminució de la diferència entre els dos valors del SEDI i l'atribució dels majors valors numèrics a les dimensions amb major pes, ja que per al cas dels països de la OECD, el país amb la diferència menor és Letònia i aquest presenta un ordre de major a menor valor de : TEC>ENV>SOC>ECO>INS enlloc del ENV>ECO>SOC>TEC>INS ordre que correspon del major a menor pes. I en el cas dels països de la UE, el país amb menor diferència entre SEDI és Xipre, que presenta un ordre de preferència: TEC>ENV>INS>ECO>SOC, enlloc del ENV>INS>ECO>SOC<TEC, ordre que correspon del major al menor pes.

## 5.1. Anàlisi global per al conjunt de tots els països sota les diferents condicions.

Després d'estudiar les quatre variants de forma específica per a certs països en concret, en aquest apartat es pretén fer un anàlisi global per a tots els països en cadascuna de les quatre variants.

Seguidament es mostren en forma de taula els valors obtinguts per a cada conjunt de països en les cinc dimensions, el SEDI, el SEDI.P i finalment la diferència entre els dos SEDIs. Amb això es vol donar explicació a alguns valors en concret que s'han cregut importants a tenir en compte.

Per a què fos més fàcil visualment, s'han marcat amb diferents colors les diferents caselles de les quals es fa referència. Així doncs, en color rosa s'han marcat els diferents països que presenten una diferència entre SEDIs (Columna %) inferior al 10%. En color blau s'han marcat aquells valors que corresponen als valors més alts per a cada columna. En color lila s'ha marcat valors ideal i antiideal (0 i 1), que en algun cas hauran de rebre explicació. I finalment s'han marcat de color taronja aquells cinc valors més alts per a cada SEDI en particular.

Sota les condicions de la Taula20 els valors obtinguts per al conjunt de països són els següents:

Ranking	País	TEC	ECO	SOC	ENV	INS	SEDI	SEDI.P	%
1	Luxemburg	0,596	0,973	0,355	0,903	0,000	0,565	0,439	22,30%
2	Ireland	0,478	1,000	0,155	0,929	0,011	0,514	0,403	21,60%
3	Denmark	0,431	0,838	0,473	0,938	0,185	0,573	0,390	31,94%
4	Austria	0,635	0,450	0,340	0,835	0,047	0,461	0,389	15,62%
5	Norway	0,281	0,777	0,527	0,855	1,000	0,688	0,374	45,64%
6	Sweden	0,560	0,343	0,546	0,910	0,092	0,490	0,371	24,29%
7	Latvia	0,759	0,088	0,144	0,693	0,065	0,350	0,370	5,71%
8	Lithuania	0,706	0,135	0,124	0,716	0,068	0,350	0,355	1,43%
9	United Kingdom	0,361	0,778	0,326	0,971	0,112	0,510	0,350	31,37%
10	Finland	0,566	0,239	0,493	0,807	0,068	0,435	0,349	19,77%
11	Iceland	0,415	0,289	0,904	0,992	0,123	0,545	0,345	36,70%
12	Netherlands	0,433	0,539	0,411	0,985	0,114	0,496	0,340	31,45%
13	Spain	0,445	0,708	0,111	0,870	0,030	0,433	0,328	24,25%
14	Italy	0,486	0,583	0,188	0,881	0,023	0,432	0,336	22,22%
15	Germany	0,421	0,475	0,338	0,902	0,055	0,438	0,313	28,54%
16	Greece	0,411	0,604	0,098	0,992	0,045	0,430	0,311	27,67%
17	Portugal	0,514	0,396	0,057	0,821	0,025	0,363	0,311	14,33%
18	Australia	0,300	0,491	0,252	0,998	0,332	0,475	0,291	38,74%
19	Japan	0,414	0,462	0,109	0,908	0,025	0,384	0,290	24,48%
20	Canada	0,360	0,259	0,494	0,928	0,214	0,451	0,285	36,81%
21	Israel	0,383	0,445	0,121	0,985	0,018	0,390	0,282	27,69%
22	Slovak Republic	0,398	0,199	0,299	0,980	0,047	0,385	0,275	28,57%
23	United States	0,356	0,421	0,161	0,966	0,108	0,403	0,274	32,01%
24	New Zealand	0,403	0,298	0,139	0,918	0,122	0,376	0,273	27,39%
25	Cz.Republic	0,389	0,189	0,335	0,936	0,103	0,390	0,272	30,26%
26	Poland	0,429	0,136	0,139	1,000	0,099	0,361	0,270	25,21%
27	Slovenia	0,441	0,233	0,149	0,774	0,071	0,334	0,269	19,46%
28	Estonia	0,419	0,124	0,198	0,986	0,119	0,369	0,269	27,10%
29	Belgium	0,367	0,327	0,272	0,797	0,034	0,359	0,262	27,02%
30	Switzerland	0,491	0,000	0,194	0,705	0,064	0,291	0,260	10,65%
31	Chile	0,480	0,165	0,000	0,734	0,046	0,285	0,260	8,77%
32	Korea South	0,383	0,202	0,188	0,931	0,024	0,345	0,256	25,80%
33	Turkey	0,440	0,098	0,050	0,917	0,039	0,309	0,254	17,80%
34	France	0,344	0,471	0,256	0,577	0,069	0,343	0,253	26,24%
35	Hungary	0,391	0,156	0,027	0,880	0,062	0,303	0,238	21,45%
36	Mexico	0,281	0,000	0,000	0,805	0,176	0,253	0,177	30,04%

Il·lustració 15. Rànquing de Països (OECD) en funció del valor del SEDI.P

Per al rànquing de la *Il·lustració 15* podem veure que Mèxic en la posició número 36 presenta dues dimensions molt pobres (ECO i SOC), amb un valor de 0 ambdues. Això és degut a què els valors d'ECO1 i SOC1 són molt petits de l'ordre de  $10^{-5}$  (el mateix passa per al cas de Xile). Mèxic és un país d'una població molt elevada i el Consum d'energies modernes (per al càlcul d'ECO1) i el valor de RCCE (per al càlcul de SOC1) són molt petits respecte la quantitat de població.

També es pot observar que la gran majoria de valors marcats en blau es troben situats sobre els dotze primers països del rànquing. Excepte per als valors de la dimensió ambiental (ENV), que com es veu en tots els casos (EU i OECD sota diferents condicions), presenta valors molt grans, la gran majoria per sobre del 0.7. Cal recordar que la dimensió ambiental s'havia tornat a calcular com a 1-ENV per a poder operar.

A destacar, el cas d'Islàndia, és al top 5 de països amb un valor de SEDI més favorable, això és degut a què te uns valors molt alts per a la dimensió SOC i ENV, fent què el càlcul del SEDI amb forma de mitjana aritmètica resulti ser molt favorable, però que el seu SEDI.P no surti tant afavorit.

Per als casos de Lituània i Letònia es pot veure que comparteixen valors força similars en totes les dimensions i presenten una diferència entre SEDIS de les més baixes de tot el conjunt de països, però per contra no hi ha correlació amb aquesta similitud i les dades obtingudes per a Xile.

Per als països de la UE s'obtenen els següents valors:

Ranking	País	TEC	ECO	SOC	ENV	INS	SEDI	SEDI.P	%
1	Cyprus	1,000	0,170	0,087	0,972	0,254	0,497	0,496	0,20%
2	Malta	1,000	0,000	0,076	1,000	0,000	0,415	0,468	12,77%
3	Luxemburg	0,596	1,000	0,433	0,878	0,022	0,586	0,447	23,72%
4	Sweden	0,560	0,273	0,931	0,889	0,507	0,632	0,408	35,44%
5	Austria	0,635	0,309	0,536	0,795	0,271	0,509	0,394	22,59%
6	Denmark	0,431	0,386	0,824	0,922	1,000	0,712	0,382	46,35%
7	Finland	0,566	0,240	0,774	0,762	0,380	0,545	0,380	30,28%
8	Latvia	0,759	0,041	0,056	0,621	0,364	0,368	0,363	1,36%
9	Netherlands	0,433	0,449	0,503	0,981	0,625	0,598	0,355	40,64%
10	Lithuania	0,706	0,046	0,024	0,650	0,383	0,362	0,343	5,25%
11	Ireland	0,478	0,426	0,110	0,909	0,078	0,400	0,312	22,00%
12	Germany	0,421	0,278	0,481	0,877	0,312	0,474	0,310	34,60%
13	Czechia	0,389	0,125	0,528	0,919	0,569	0,506	0,296	41,50%
14	Italy	0,486	0,270	0,095	0,853	0,142	0,369	0,295	20,05%
15	United Kingdom	0,361	0,298	0,275	0,964	0,616	0,503	0,289	42,54%
16	Slovakia	0,398	0,098	0,464	0,975	0,271	0,441	0,284	35,60%
17	Croatia	0,499	0,062	0,133	0,742	0,398	0,367	0,280	23,71%
18	Portugal	0,514	0,141	0,000	0,777	0,154	0,317	0,278	12,30%
19	Spain	0,445	0,264	0,071	0,838	0,181	0,360	0,277	23,06%
20	Estonia	0,419	0,076	0,101	0,981	0,653	0,446	0,274	38,57%
21	Greece	0,411	0,234	0,064	0,987	0,261	0,392	0,273	30,36%
22	Poland	0,429	0,042	0,104	0,997	0,547	0,424	0,272	35,85%
23	Slovenia	0,441	0,165	0,156	0,719	0,400	0,376	0,270	28,19%
24	Belgium	0,367	0,281	0,261	0,749	0,203	0,372	0,258	30,65%
25	Romania	0,403	0,000	0,155	0,813	0,622	0,398	0,250	37,19%
26	Bulgaria	0,385	0,025	0,147	0,879	0,430	0,373	0,244	34,58%
27	Hungary	0,391	0,079	0,000	0,852	0,350	0,335	0,235	29,85%
28	France	0,344	0,252	0,252	0,478	0,386	0,343	0,232	32,36%

Il·lustració 16. Rànquing de Països (UE) en funció del valor del SEDI.P

Primer de tot, el cas de Xipre i Malta són dos casos particulars, ja que sovint les seves dimensions representen valors extrems, això és degut a varies raons. Primer de tot cal recordar que per a la dimensió tècnica, ja que els dos països obtenien valors superiors a la unitat, aquests valors quedaven directament fixats a 1. I més concretament per al cas de Malta la dimensió ECO representa un valor de 0 ja que  $ECO_2=0$ , després de la normalització, els valors de les dimensions ENV i INS són simplement els valors obtinguts a causa de la normalització.

Altre cop, com passava en el cas dels països de la OECD, els valors més grans, de color blau, es situen al principi del rànquing, més concretament en les primeres vuit posicions. I altre cop torna a passar el

mateix amb la dimensió ENV, això s'anirà repetint. Excepte els casos concrets de Romania i Estònia, que són països on la producció és inferior als TPES.

Per al cas d'Hongria aquest té un SOC1 de l'ordre de  $10^{-4}$ , i per les mateixes raons similars al cas de Mèxic descrit amb anterioritat, no pas per el nivell de població, sinó per la proporció RCCE/població, obté el valor antiideal. I per al cas de Romania aquest té l'indicador ECO1 amb el mateix ordre de  $10^{-4}$  i per les mateixes raons, obté un valor antiideal.

Per aquest cas concret de països de la UE, es pot veure que el TOP 5 de països amb major SEDI està més dispersat que en el cas dels països de la OECD, però tot i així es manté al principi del rànquing, entre els primers 8 països. Caldria destacar que el cas de Malta i Xipre, són casos particulars com s'ha descrit en el primer paràgraf.

El cas d'holanda és fàcilment d'explicar, ja que té tres dimensions amb valors alts (marcats en blau) i això afavoreix al càlcul del SEDI i no pas al càlcul del SEDI.P, com passava en el cas d'Islàndia en el rànquing de països de la OECD sota les mateixes condicions.

Finalment, per al cas de Lituània i Letònia torna a passar al mateix que per als països de la OECD, ambdós comparteixen valors similars entre ells respecte les diferents dimensions i també tenen una diferència entre SEDIS petita, però quan es compara amb el tercer país que té una diferència de SEDI petita, aquesta correlació ja no existeix.

Sota les condicions de la *Taula21* els valors obtinguts per al conjunt de països de la OECD són els següents:

Ranking	País	TEC	ECO	SOC	ENV	INS	SEDI	SEDI.P	%
1	Denmark	0,431	0,838	0,473	0,938	0,185	0,573	0,565	1,40%
2	Luxemburg	0,596	0,973	0,355	0,903	0,000	0,565	0,561	0,71%
3	Ireland	0,478	1,000	0,155	0,929	0,011	0,514	0,554	7,78%
4	United Kingdom	0,361	0,778	0,326	0,971	0,112	0,510	0,553	8,43%
5	Iceland	0,415	0,289	0,904	0,992	0,123	0,545	0,548	0,55%
6	Norway	0,281	0,777	0,527	0,855	1,000	0,688	0,545	20,78%
7	Netherlands	0,433	0,539	0,411	0,985	0,114	0,496	0,538	8,47%
8	Australia	0,300	0,491	0,252	0,998	0,332	0,475	0,525	10,53%
9	Greece	0,411	0,604	0,098	0,992	0,045	0,430	0,522	21,40%
10	Sweden	0,560	0,343	0,546	0,910	0,092	0,490	0,498	1,63%
11	Israel	0,383	0,445	0,121	0,985	0,018	0,390	0,498	27,69%
12	United States	0,356	0,421	0,161	0,966	0,108	0,403	0,491	21,84%
13	Germany	0,421	0,475	0,338	0,902	0,055	0,438	0,487	11,19%
14	Spain	0,445	0,708	0,111	0,870	0,030	0,433	0,487	12,47%
15	Canada	0,360	0,259	0,494	0,928	0,214	0,451	0,484	7,32%
16	Italy	0,486	0,583	0,188	0,881	0,023	0,432	0,483	11,81%
17	Slovak Republic	0,398	0,199	0,299	0,980	0,047	0,385	0,479	24,42%
18	Poland	0,429	0,136	0,139	1,000	0,099	0,361	0,469	29,92%
19	Japan	0,414	0,462	0,109	0,908	0,025	0,384	0,468	21,88%
20	Estonia	0,419	0,124	0,198	0,986	0,119	0,369	0,467	26,56%
21	Austria	0,635	0,450	0,340	0,835	0,047	0,461	0,467	1,30%
22	Cz.Republic	0,389	0,189	0,335	0,936	0,103	0,390	0,464	18,97%
23	New Zealand	0,403	0,298	0,139	0,918	0,122	0,376	0,456	21,28%
24	Korea South	0,383	0,202	0,188	0,931	0,024	0,345	0,448	29,86%
25	Finland	0,566	0,239	0,493	0,807	0,068	0,435	0,437	0,46%
26	Portugal	0,514	0,396	0,057	0,821	0,025	0,363	0,424	16,80%
27	Turkey	0,440	0,098	0,050	0,917	0,039	0,309	0,422	36,57%
28	Belgium	0,367	0,327	0,272	0,797	0,034	0,359	0,415	15,60%
29	Hungary	0,391	0,156	0,027	0,880	0,062	0,303	0,410	35,31%
30	Slovenia	0,441	0,233	0,149	0,774	0,071	0,334	0,388	16,17%
31	Lithuania	0,706	0,135	0,124	0,716	0,068	0,350	0,363	3,71%
32	Mexico	0,281	0,000	0,000	0,805	0,176	0,253	0,354	39,92%
33	Chile	0,480	0,165	0,000	0,734	0,046	0,285	0,352	23,51%
34	Latvia	0,759	0,088	0,144	0,693	0,065	0,350	0,351	0,29%
35	France	0,344	0,471	0,256	0,577	0,069	0,343	0,341	0,58%
36	Switzerland	0,491	0,000	0,194	0,705	0,064	0,291	0,335	15,12%

Il·lustració 17. Rànquing de Països (OECD) en funció del valor del SEDI.P

Els valors ideals i antiideals marcats en color lila, en aquest cas són els mateixos que en l'anterior versió del rànquing de la OECD (Il·lustració 15).

En aquest cas, al haver canviat els pesos, Letònia i Lituània han passat d'estar al principi del rànquing en la Il·lustració 15 amb posició 7 i 8 respectivament. A una posició número 34 i 31 respectivament. En el Top 3 del rànquing es segueixen mantenint els casos de Dinamarca, Luxemburg i Irlanda, tot i que la posició entre ells s'ha vist variada. El cas particular de Noruega és l'únic que es segueix mantenint entre els sis primers països per a aquestes segones condicions.

A destacar: entre la Il·lustració 15 i la Il·lustració 17, veiem que en la primera, els valors més elevats (color blau= es troben al principi del rànquing mentre que en la Il·lustració 17 podem veure països amb valors alts i propers a les posicions més baixes, com es el cas de Letònia i Lituània, o bé fora de les 12 primeres posicions com és el cas d'Espanya i Àustria. La dimensió ambiental segueix mantenint valors alts, però en els casos descrits de Letònia, Lituània i Àustria, aquests valors es centren en la dimensió



tècnica. Aquesta tenia un pes de 0.389 en el cas de la *Il·lustració15* i per a aquest rànquing te atribuït un pes de 0.10 per tant la seva repercussió per al càlcul del SEDI.P es veu afectat disminuint el seu valor final.

Si seguim comparant les dues taules, es pot veure que en la *Il·lustració15*, pel que fa a valors del SEDI, Islàndia tenia un dels valors més alts, dins del TOP5 en el rànquing, però es trobava en una posició número 11. En aquest cas això no succeeix, el TOP 5 en el rànquing de SEDI es troba proper al principi del rànquing a parell del TOP5 de SEDI.P, per al cas d'Islàndia, amb la variació de pesos aquesta passa de la posició 11 a la posició 5.

Pel cas particular de Noruega, aquest obté un valor de SEDI més elevat que Regne Unit, però degut a que te un valor ideal en la dimensió Institucional, i per tant el càlcul del SEDI mitjançant la mitjana aritmètica es veu molt afavorit. I en canvi per el SEDI.P, tot i què també es manté força alt obté una diferència entre valors molt més elevada.

En comparativa, també es pot veure que amb aquesta nova ponderació la diferència entre els valors obtinguts entre els SEDI ha disminuït, prèviament, en la *Il·lustració15* només obteníem 3 països amb una diferència menor del 10% i amb aquesta nova ponderació els països amb aquesta diferència s'eleva a 14.

I finalment, sota les condicions de la *Taula23* els valors obtinguts per al conjunt de països de la UE són els següents:

Ranking	País	TEC	ECO	SOC	ENV	INS	SEDI	SEDI.P	%
1	Denmark	0,431	0,386	0,824	0,922	1,000	0,712	0,600	15,73%
2	Netherlands	0,433	0,449	0,503	0,981	0,625	0,598	0,564	5,69%
3	United Kingdom	0,361	0,298	0,275	0,964	0,616	0,503	0,530	5,37%
4	Sweden	0,560	0,273	0,931	0,889	0,507	0,632	0,522	17,41%
5	Estonia	0,419	0,076	0,101	0,981	0,653	0,446	0,518	16,14%
6	Poland	0,429	0,042	0,104	0,997	0,547	0,424	0,508	19,81%
7	Czechia	0,389	0,125	0,528	0,919	0,569	0,506	0,505	0,20%
8	Luxemburg	0,596	1,000	0,433	0,878	0,022	0,586	0,489	16,55%
9	Cyprus	1,000	0,170	0,087	0,972	0,254	0,497	0,487	2,01%
10	Slovakia	0,398	0,098	0,464	0,975	0,271	0,441	0,484	9,75%
11	Greece	0,411	0,234	0,064	0,987	0,261	0,392	0,480	22,45%
12	Germany	0,421	0,278	0,481	0,877	0,312	0,474	0,465	1,90%
13	Malta	1,000	0,000	0,076	1,000	0,000	0,415	0,451	8,67%
14	Bulgaria	0,385	0,025	0,147	0,879	0,430	0,373	0,443	18,77%
15	Ireland	0,478	0,426	0,110	0,909	0,078	0,400	0,443	10,75%
16	Finland	0,566	0,240	0,774	0,762	0,380	0,545	0,442	18,90%
17	Romania	0,403	0,000	0,155	0,813	0,622	0,398	0,440	10,55%
18	Austria	0,635	0,309	0,536	0,795	0,271	0,509	0,438	13,95%
19	Hungary	0,391	0,079	0,000	0,852	0,350	0,335	0,419	25,07%
20	Italy	0,486	0,270	0,095	0,853	0,142	0,369	0,415	12,47%
21	Spain	0,445	0,264	0,071	0,838	0,181	0,360	0,411	14,17%
22	Croatia	0,499	0,062	0,133	0,742	0,398	0,367	0,388	5,72%
23	Slovenia	0,441	0,165	0,156	0,719	0,400	0,376	0,386	2,66%
24	Belgium	0,367	0,281	0,261	0,749	0,203	0,372	0,385	3,49%
25	Portugal	0,514	0,141	0,000	0,777	0,154	0,317	0,371	17,03%
26	Lithuania	0,706	0,046	0,024	0,650	0,383	0,362	0,348	3,87%
27	Latvia	0,759	0,041	0,056	0,621	0,364	0,368	0,336	8,70%
28	France	0,344	0,252	0,252	0,478	0,386	0,343	0,293	14,58%

Il·lustració 18. Rànquing de Països (UE) en funció del valor del SEDI.P

Així com passava entre la Il·lustració15 i la Il·lustració17, en la Il·lustració18, els països que tenen valors marcats en lila com a valors ideals i antiideals resulten ser els mateixos i seguir la mateixa explicació que la descrita per a la Il·lustració16.

També succeeix un similar que també passava entre les dues condicions mostrades per als països de la OECD, Letònia i Lituània es desplacen fins a posicions molt baixes, essent en la Il·lustració16 a la posició 8 i 10 respectivament i en aquest nou rànquing posició 28 i 27. En el cas de Xipre també passa el mateix fet però no tant dràstic, ja que Xipre consta d'un valor ideal, tot i que en una dimensió amb un baix pes, però un valor molt alt 0.972 per a la dimensió amb major pes.

Per al que fa als valors en color blau, que representaven els valors més alts, torna a passar una semblant a la que passava amb els països Letònia, Lituània i Àustria en la OECD. La dimensió Tècnica en aquest cas ha disminuït d'un valor de 0.389 a un valor de 0.06, per tant, tot i que tinguin valors alts per a la dimensió Tècnica, aquesta al tenir un pes molt baix, no influeix gairebé en el valor del SEDI.P i per tant, aquests països en qüestió obtenen valors inferiors.

També està marcat en color blau la dimensió Social de Finlàndia, els països amb valors alts en la dimensió social són països que obtenen un indicador SOC2 baix. L'indicador SOC2 corresponia al valor

del coeficient GINI per a cada país, Finlàndia té un GINI de 26.9, així com Islàndia 26.7, o altres països de la UE com Dinamarca amb un GINI de 24, i són països amb un valor alt en la dimensió Social, per contra països com Portugal amb 38.5, Espanya amb un 34.7 o casos extrems com Xile i Mèxic amb valors de 52.1 i 48.3 obtenen valors molt baixos per a la dimensió Social.

Un altre cas particular, és el cas d'Irlanda. Aquest representa el tercer país amb el valor més alt per el què fa a la dimensió Econòmica, però obté una posició número 15 en el rànquing ja que tot i tenir un valor alt en la dimensió econòmica el càlcul del SEDI.P no es veu afectat positivament per tenir un valor molt baix a la dimensió institucional, la dimensió amb major pes.

Analitzant la *Il·lustració 18* i fent referència als països que conformen el TOP5 en quant a valors del SEDI, tornen a trobar-se dispersats, més concretament per al cas de Finlàndia i Luxemburg. Fixant-nos amb més atenció al cas de Luxemburg, ja que el seu SEDI és molt més proper amb el SEDI d'Holanda (tercera posició en el rànquing), torna a passar en què és un país amb una dimensió amb un valor ideal, i per tant, el càlcul del SEDI, al ser la mitjana aritmètica és veu beneficiat i en canvi per al càlcul del SEDI.P no es veu tant afectat, ja que té un major valor la dimensió Econòmica (amb menor pes 0.16) i no pas major valor la dimensió Institucional (amb un pes amb més càrrec 0.26) i que resulta tenir un valor molt pobre.

Aquest nou criteri de ponderació representat en la *Il·lustració18* fa variar d'una forma molt considerable el rànquing, només es manté Suècia en el TOP 5, mantenint tant per la *Il·lustració16* com per la *Il·lustració18* la posició quarta. A l'hora tal i com passava per als països de la OECD, aquest canvi de ponderació ha fet augmentar el nombre de països amb una diferència entre SEDIs menor al 10% de 3 a 12.



## 6. Anàlisi de l'impacte ambiental

En aquest treball, com és pot veure després d'haver vist la memòria és un treball que s'ha realitzat únicament a ordinador. De manera que no hi ha hagut cap impacte ambiental directe. Ni pel que fa a l'ús de paper en l'elaboració del mateix. Ni per les comunicacions i intercanvis d'informació amb el tutor, ja que s'han dut a terme a través de correu electrònic. Com també l'entrega d'aquesta memòria, feta de forma digital.

Encara que d'aquesta manera no es pugui llistar un seguit de conceptes que hagin intervingut en forma d'impacte ambiental, com en altres treballs de final de grau d'enginyeria química podrien haver estat existents ( reactius, productes, emissions...). Sí s'ha de considerar de forma qualitativa que aquest treball s'ha enfocat totalment cap a una feina de millora i/o ajuda al indicador SEDI. I que per tant, sí té un impacte ambiental pel que fa a la gestió de la sostenibilitat i el concepte que es té d'aquesta.

Com s'ha mostrat a la introducció d'aquest treball, el concepte de desenvolupament d'energia sostenible gira al voltant de la transició energètica cap a mesures més sostenibles. Entenen aquestes com a l'ús d'energies renovables enfront de les no renovables, això es pot veure exemplificat en aquestes dues recents notícies a la Vanguardia (42) i al Periódico de la energía (43).

En la primera notícia en destaca el següent paràgraf: *“Casi las tres cuartas partes de la nueva capacidad de generación de electricidad construida en 2019 utiliza energía renovable, lo que representa una cifra histórica. Un nuevo informe de la Agencia Internacional de Energía Renovable (Irena) demuestra que la tecnología solar, eólica y otras tecnologías verdes proporcionan ya más de un tercio de la energía mundial.”*

I del segon article se'n pot destacar: *“La energía renovable es una fuente rentable de nueva energía que aísla a los mercados de energía y a los consumidores de la volatilidad, apoya la estabilidad económica y estimula el crecimiento sostenible”* y *“En este momento desafiante, recordamos la importancia de construir resiliencia en nuestras economías. En lo que debe ser la década de acción, se necesitan políticas habilitadoras para aumentar las inversiones y acelerar la adopción de energías renovables”*.

La sostenibilitat és una necessitat ja que com s'ha definit a l'inici d'aquest treball, sense sostenibilitat es compromet a les generacions futures a poder satisfer les seves pròpies necessitats, és a dir, sense sostenibilitat hi ha una fi de recursos. I en concret la sostenibilitat energètica per la seva afectació de forma global en l'impacte ambiental. Però l'ús d'energia neta, com a única font d'energia, no és la única solució.

Avui en dia estem vivint una gran crisi ambiental des de l'augment de temperatures que han provocat el desgel de pols, i per tant l'augment del nivell del mar en algunes regions. L'augment de la contaminació atmosfèrica i les seves conseqüències sobre la capa d'ozó, o la desforestació, amb imatges com les que arribaven de l'Amazònia i d'Austràlia el passat any.

Amb exemples com els anteriors es torna a evidenciar que el procés cap a la sostenibilitat és una necessitat i urgent però tal com es cita en aquest article del país: *“La sexta edición del GEO advierte de que las proyecciones indican que los avances son demasiado lentos para alcanzar las metas, o que incluso progresan en sentido equivocado”* (44). El procés és molt lent, tal que fa a la presa de decisions, la implementació d'aquestes i l'obtenció de resultats favorables.

Aquest treball per tant, mostra els diferents aspectes que integren el desenvolupament energètic sostenible i obre la mirada cap a un conjunt d'aspectes que sovint no es tenen presents quan es parla col·loquialment de desenvolupament energètic sostenible. Com aspectes socials ( regulació al dret de l'accés a l'energia), aspectes tècnics ( eficiència energètica) o bé aspectes ambientals ( amb la promoció de l'economia circular).

A part de obrir la mirada de forma genèrica als diferents aspectes esmentats. També pretén que aquest indicador i els estudis realitzats sobre ell , facilitin el treball i per tant la presa de decisions, a aquelles institucions i organismes que treballen i gestionen les matrius energètiques.

De manera que es pugui agilitzar tot el procés que hi ha al llarg d'una presa de decisió i per tant que hi hagi una ràpida implementació de les mesures necessàries, ja que els tràmits burocràtics són indiscutiblement lents.

Fora bo així doncs, que tant aquest treball com altres treballs en relació als diferents indicadors de sostenibilitat. Estiguessin plenament a l'abast en un dipòsit digital on s'hi tingues accés de manera global. Tant per a prendre consciència com a individus de les diferents afectacions sobre la sostenibilitat. Com per a futurs estudis que puguin aportar resultats més satisfactoris i per tant, produir un impacte òptim sobre la gestió de decisions i mesures cap a un complet i eficaç desenvolupament sostenible.

## 7. Conclusions

Després de presentar-se en el capítol anterior les diferents dades obtingudes de forma gràfica i numèrica, i després d'haver fet un anàlisi global dels resultats per a tot el conjunt de països i analitzats els casos particulars. Es pot determinar que l'aplicació de les eines de decisió multicriteri escollides per a aquest treball, com han estat en concret l'AHP per a la ponderació de criteris i la programació compromís per a l'agregació de resultats, no han dut a resultats satisfactoris o resultats que ens permetin veure una relació directe entre la millora o empitjorament del càlcul del SEDI.

Com s'ha destacat en l'anterior capítol, la variació de la ponderació dels criteris. En primer lloc de forma aleatòria per a poder veure simplement canvis i afectacions i així poder encaminar l'estudi d'aquest treball. I En segon lloc, la variació de la ponderació dels criteris disminuint el coeficient de consistència del centre decisor, és a dir, millorant-lo mitjançant una nova ponderació que atribuís els pesos de manera més racional i per tant, que podria dur a resultats més pròxims al real. No han donat resultats que ens poguessin permetre obtenir un patró de variació.

I pel que fa a la programació compromís per a l'agregació dels resultats aplicada a la nostra proposta de millora. Amb l'objectiu de dur a terme una agregació que s'apropés més al valor amb millor resultats. Tampoc ha estat fructífera.

D'altra banda, tot i que no es pugui extreure una conclusió global ni amb sentit concret pel que fa a l'aplicació d'aquestes eines multicriteri en el càlcul del SEDI.

Amb els resultats obtinguts, sí es pot fer una afirmació en un sentit concret, que tot i que no forma part de l'objectiu del treball pot esdevenir una conclusió d'aquest:

No hi ha una relació per als valors de cada dimensió entre els països amb menor diferència de SEDIS. És a dir, en el primer exemple numèric, per als països de la OECD, Lituània era el país amb menor diferència entre SEDIS, però s'ha provat amb els exemples d'Àustria i Bèlgica, que complien amb la mateixa relació entre assignació de pesos i dimensió, de major a menor pes i major a menor valor numèric, que no hi ha relació entre aquesta assignació pes-dimensió i la disminució de diferència entre SEDIS.

Tot i l'afirmació anterior, s'ha fet una nova ponderació diferent per a cadascun del conjunt de països (OECD i UE), assignant una major ponderació a aquelles dimensions amb major valor numèric en el conjunt de països. I una menor ponderació a les dimensions més pobres numèricament.

I amb això conclou tot i que ha augmentat considerablement de 3 a 14 (OECD) i de 3 a 12 (UE) el nombre de països amb una diferència entre SEDIS menor al 10%.

I que la nova assignació de pesos ha fet també augmentar el valor màxim del SEDI.P tant per al cas dels països de la OECD com els països de la UE.

No es pot treure cap patró observable en la variació derivada de l'aplicació dels mètodes seleccionats.

Encara que no es pugui catalogar com a conclusió única i derivada del estudi realitzat, com ja s'ha dit anteriorment. Considero que la informació que proporciona en el conjunt d'aquest treball és d'interès tant per a pròxims estudis com per a la configuració d'aquest apartat.



## 8. Pressupost i/o Anàlisi Econòmica

En aquest apartat es vol fer un resum de la despesa econòmica que ha comportat aquest estudi en qüestió. Degut a que s'ha tractat d'un treball acadèmic merament d'investigació en ordinador, no hi ha hagut cap despesa directe en quant a material de laboratori, reactius o bé altres conceptes que normalment formen part d'un treball de final de grau d'enginyeria química.

Si més no, hi ha certs aspectes que sí es poden tenir en compte per a l'anàlisi econòmic, com són el programari utilitzat o els honoraris d'enginyer. Es llisten a continuació:

- Salari d'enginyer: aquest ha estat extret del " Boletín Oficial del Estado" (BOE)(45) i s'ha pres el salari base de 18.074,56€ per a un enginyer tècnic recent graduat, amb unes 49 setmanes laborals i amb una jornada laboral de 8 hores diàries, obtenint un sou de 9.22 €/hora. S'han tingut en compte per aquest treball unes 790 hores, repartides entre sis mesos i mig.
- Microsoft Office: S'ha pres la llicència anual del programari amb un preu de 69€ (amb IVA).(46)
- Ordinador Portàtil: S'ha pres de referència l'ordinador portàtil utilitzat amb un preu de 599€. ( amb IVA).(47)

Taula 29. Pressupost

Pressupost					
Concepte	Quantitat	Unitats	Preu	Unitats	Subtotal(€)
Sou enginyer	790	Hores	9.22	€/hora	7283.8
Llicència office	1	-	69.00	€/any	69.00
Ordinador	1	-	599.00	€/unitat	599.00
				<b>Total (€)</b>	<b>7951.8</b>



## Bibliografia

1. sostenibilitat | enciclopèdia.cat. A: [en línia]. [Consulta: 8 abril 2020]. Disponible a: <https://www.enciclopedia.cat/ec-gdlc-e00174159.xml>.
2. sostenible | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE. A: [en línia]. [Consulta: 8 abril 2020]. Disponible a: <https://dle.rae.es/sostenible?m=form>.
3. Llei de transició energètica de Catalunya i transformació de l'Institut Català d'Energia en l'Agència d'Energia de Catalunya. Institut Català d'Energia. A: [en línia]. [Consulta: 8 abril 2020]. Disponible a: <http://icaen.gencat.cat/ca/participacio/llei-de-transicio-energetica-de-catalunya-i-transformacio-de-linstitut-catala-denergia-en-lagencia-denergia-de-catalunya/>.
4. Consell de Govern. Pla UPC 2020 de Sostenibilitat Energètica. A: [en línia]. 2015, p. 45. Disponible a: [https://www.upc.edu/normatives/ca/butlleti-upc/hemeroteca/2015-2016/butlleti-upc-166/copy\\_of\\_bupc-num-docs/docs-consell-govern/16.14-aprovacio-del-pla-upc2020-sostenibilitat-energetica](https://www.upc.edu/normatives/ca/butlleti-upc/hemeroteca/2015-2016/butlleti-upc-166/copy_of_bupc-num-docs/docs-consell-govern/16.14-aprovacio-del-pla-upc2020-sostenibilitat-energetica).
5. Iddrisu, I. i Bhattacharyya, S.C. Sustainable Energy Development Index: A multi-dimensional indicator for measuring sustainable energy development. A: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línia]. Elsevier, 2015, Vol. 50, p. 513-530. ISSN 1364-0321. DOI 10.1016/j.rser.2015.05.032. Disponible a: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.032>.
6. Des, E., Al, M.D. i Carmaux, B.I. S T U D Y O F T H E S E D I A S S E S S M E N T O F C O U N T R Y ' S S U S T A I N A B L E. A: .
7. Teoría, L. et al. *Análisis de las decisiones multicriterio*. ISBN 8489338140.
8. Diaz-balteiro, L., Voces, R. i Romero, C. Compromise Programming . An Application to European Paper Industry. A: . 2011, Vol. 45, núm. July, p. 761-773.
9. Data tables – Data & Statistics - IEA. A: [en línia]. [Consulta: 27 març 2020]. Disponible a: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=FRANCE&energy=Balances&year=2009>.
10. World Bank Open Data | Data. A: [en línia]. [Consulta: 27 març 2020]. Disponible a: <https://data.worldbank.org/>.
11. Iceland - GINI Index - 2003-2014 Data | 2020 Forecast. A: [en línia]. [Consulta: 27 març 2020]. Disponible a: <https://tradingeconomics.com/iceland/gini-index-world-bank-estimate-wb-data.html>.
12. Partidario, M.R., Vicente, G. i Belchior, C. Can new perspectives on sustainability drive lifestyles? A: *Sustainability*. 2010, Vol. 2, núm. 9, p. 2849-2872. ISSN 20711050. DOI 10.3390/su2092849.
13. 4. Les dimensions de la sostenibilitat — Site. A: [en línia]. [Consulta: 27 març 2020]. Disponible a: <https://tecnologiaisostenibilitat.cus.upc.edu/continguts/concepte-de-desenvolupament-sostenible.-paradigma-sostenibilista/4.-les-dimensions-de-la-sostenibilitat>.

14. André, F.J. i Romero, C. Computing compromise solutions: On the connections between compromise programming and composite programming. A: *Applied Mathematics and Computation*. 2008, Vol. 195, núm. 1, p. 1-10. ISSN 00963003. DOI 10.1016/j.amc.2007.04.064.
15. Índex de la presentació. A: . 2014, p. 1-30.
16. Gasper, D., Victoria Portocarrero, A. i St. Clair, A.L. *An analysis of the human development report 2011: Sustainability and equity: A better future for all*. 2013. ISBN 9780230363311. DOI 10.1080/19962126.2013.11865067.
17. Hickel, J. The sustainable development index: Measuring the ecological efficiency of human development in the anthropocene. A: *Ecological Economics* [en línia]. Elsevier, 2020, Vol. 167, núm. April 2019, p. 106331. ISSN 09218009. DOI 10.1016/j.ecolecon.2019.05.011. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.05.011>.
18. Gómez, C.R., Arango-Aramburo, S. i Larsen, E.R. Construction of a Chilean energy matrix portraying energy source substitution: A system dynamics approach. A: *Journal of Cleaner Production*. 2017, Vol. 162, p. 903-913. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.06.111.
19. International Energy Agency (IEA), INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Energy Indicators for Sustainable Development : Guidelines and. A: [en línia]. 2007, p. 7-140. Disponible a: [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1222\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1222_web.pdf).
20. Atomic, I. i Agency, E. Indicators for Sustainable Energy Development. A: . 2002,
21. Organisation for Economic Co-operation and Development. Towards Sustainable Development: Indicators to measure progress. A: *OECD Rome Conference*. 2000, p. 417.
22. Sustainable Energy: Choosing Among Options, Edition 2, escrit per Jefferson W. Tester, Elisabeth M. Drake, Michael J. Driscoll, Michael W. Golay, William A. Peters - Llibres a Google Play. A: [en línia]. [Consulta: 27 març 2020]. Disponible a: [https://play.google.com/store/books/details/Jefferson\\_W\\_Tester\\_Sustainable\\_Energy?id=pd7xCwAAQBAJ](https://play.google.com/store/books/details/Jefferson_W_Tester_Sustainable_Energy?id=pd7xCwAAQBAJ).
23. Sebastian Levine, J.M. and Y.M.B. OPHI WORKING PAPER NO . 55 A Robust Multidimensional Poverty Profile for Uganda. A: *Oxford Poverty and Human Development Initiative* [en línia]. 2012, p. 27. ISSN 2040-8188. Disponible a: <http://ophi.keh.ox.ac.uk/>.
24. Zanghelini, G.M., Cherubini, E. i Soares, S.R. How Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) is aiding Life Cycle Assessment (LCA) in results interpretation. A: *Journal of Cleaner Production*. 2018, Vol. 172, p. 609-622. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.10.230.
25. Wang, J.J. et al. Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. A: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009, Vol. 13, núm. 9, p. 2263-2278. ISSN 13640321. DOI 10.1016/j.rser.2009.06.021.
26. Domenech Léga, B. Metodología para el diseño de sistemas de electrificación autónomos para comunidades rurales. A: . 2013, p. 238.
27. Decisi, T.D.E. 5. toma de decisión. A: . p. 111-129.

28. Usefulness of multiple criteria decision methods (such as AHP) in an environment with growing competitiveness. A: [en línia]. [Consulta: 27 març 2020]. Disponible a: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-35922007000200004](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-35922007000200004).
29. Fontana, M. i Muñuzuri, J. Equation Chapter 1 Section 1 Proyecto Fin de Carrera Ingeniería Industrial Métodos de decisión multicriterio AHP y PROMETHEE aplicados a la elección de un dispositivo móvil. A: [en línia]. 2015, p. 65. Disponible a: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5618/fichero/ProyectoFinal2.pdf>.
30. Hurtado, T. i Bruno, G. El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. A: *Tesis Digitales UNMSM* [en línia]. 2005, Vol. 3, p. 100. ISSN 1098-6596. DOI 10.1017/CBO9781107415324.004. Disponible a: [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bivirtualdata/tesis/basic/toskano\\_hg/cap3.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bivirtualdata/tesis/basic/toskano_hg/cap3.pdf) <http://www.jstor.org/stable/978380?origin=crossref>.
31. How to do ahp analysis in excel. A: [en línia]. [Consulta: 27 març 2020]. Disponible a: <https://www.slideshare.net/rabbitrix/how-to-do-ahp-analysis-in-excel>.
32. Moreno, J.M., Altuzarra, A. i Escobar, M.T. El índice de consistencia geométrico para matrices incompletas en ahp. A: *Actas XVII Reunión Asepelt-España* [en línia]. 2003, p. 1-17. Disponible a: <http://www.asepelt.org/ficheros/File/Anales/2003 - Almeria/asepeltPDF/192.PDF>.
33. Pallar, J.R. Autor: Jaime Ruiz Pallarés Tutor: Jesús Muñuzuri Sanz. A: . 2015,
34. Diseño de Procesos - Unidad 2a El método ELECTRE. A: [en línia]. [Consulta: 27 març 2020]. Disponible a: <https://sites.google.com/site/procesosesiqie/modulos-del-curso/modulos-del-curso-2/unidad-2a-el-metodo-electre>.
35. Yu, P.L. A Class of Solutions for Group Decision Problems. A: *Management Science*. 1973, Vol. 19, núm. 8, p. 936-946. ISSN 0025-1909. DOI 10.1287/mnsc.19.8.936.
36. Zelany, M. A concept of compromise solutions and the method of the displaced ideal. A: *Computers and Operations Research*. Pergamon, 1974, Vol. 1, núm. 3-4, p. 479-496. ISSN 03050548. DOI 10.1016/0305-0548(74)90064-1.
37. Canales, F.A. et al. Assessing temporal complementarity between three variable energy sources through correlation and compromise programming. A: *Energy* [en línia]. Elsevier Ltd, 2020, Vol. 192, p. 116637. ISSN 03605442. DOI 10.1016/j.energy.2019.116637. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116637>.
38. UPV. A: [en línia]. [Consulta: 27 març 2020]. Disponible a: <http://www.upv.es/visorv/media/7b9b60c8-08dd-6d4b-a7fe-3c4318ed32bb/c>.
39. Linares, P. Una aplicación de la programación multiobjetivo a la planificación eléctrica. A: [en línia]. 2007, p. 1-9. Disponible a: <http://www.iit.upcomillas.es/pedrol/documents/energia97.pdf>.
40. Countries | European Union. A: [en línia]. [Consulta: 27 març 2020]. Disponible a: [https://europa.eu/european-union/about-eu/countries\\_en](https://europa.eu/european-union/about-eu/countries_en).
41. List of OECD Member countries - Ratification of the Convention on the OECD - OECD. A: [en línia].

[Consulta: 27 març 2020]. Disponible a: <https://www.oecd.org/about/document/list-oecd-member-countries.htm>.

42. El rápido (pero todavía insuficiente) crecimiento de las energías renovables. A: [en línea]. [Consulta: 8 abril 2020]. Disponible a: <https://www.lavanguardia.com/natural/20200408/48376719817/rapido-insuficiente-crecimiento-energias-renovables.html>.

43. España entra en el Top 10 mundial de capacidad renovable con un total de 54.592 MW – El Periodico de la Energía | El Periodico de la Energía con información diaria sobre energía eléctrica, eólica, renovable, petróleo y gas, mercados y legislación energética. A: [en línea]. [Consulta: 8 abril 2020]. Disponible a: <https://elperiodicodelaenergia.com/espana-entra-en-el-top-10-mundial-de-capacidad-renovable-con-un-total-de-54-592-mw/>.

44. Contaminación: La ONU pide cambios sin precedentes para evitar la catástrofe medioambiental del planeta | Sociedad | EL PAÍS. A: [en línea]. [Consulta: 8 abril 2020]. Disponible a: [https://elpais.com/sociedad/2019/03/12/actualidad/1552409167\\_549272.html](https://elpais.com/sociedad/2019/03/12/actualidad/1552409167_549272.html).

45. Trabajo, M.D.E. i Social, Y.S. Boletín Oficial del Estado: Ministerio De Trabajo , Migraciones. A: . 2019, p. 32526-32554.

46. Comparación de todos los productos de Microsoft Office | Microsoft Office. A: [en línea]. [Consulta: 1 abril 2020]. Disponible a: <https://products.office.com/es-es/compare-all-microsoft-office-products?&activetab=tab:primaryr1>.

47. Portátil - HP 15s-fq1008ns, 15.6" HD, Intel® Core™ i5-1035G1, 8 GB RAM, 512 GB SSD, W10, Blanco. A: [en línea]. [Consulta: 1 abril 2020]. Disponible a: [https://www.mediamarkt.es/es/product/\\_portatil-hp-15s-fq1008ns-15-6-hd-intel-core-i5-1035g1-8-gb-ram-512-gb-ssd-w10-blanco-1467985.html](https://www.mediamarkt.es/es/product/_portatil-hp-15s-fq1008ns-15-6-hd-intel-core-i5-1035g1-8-gb-ram-512-gb-ssd-w10-blanco-1467985.html).

## Annex A

### A1. Càlcul d'indicadors i dimensions

Country	TEC1	TEC2	TEC3	ECO1	ECO2	ECO3	SOC1	SOC2	ENV1	ENV2	INS1
Australia	0,000	0,089	0,300	0,003	82,108	0,866	0,000	30,500	0,175	73,500	2,323
Austria	0,527	0,011	0,639	0,002	75,397	0,767	0,000	26,000	0,406	47,700	0,355
Belgium	0,210	0,000	0,367	0,003	92,858	0,784	0,000	33,000	0,406	41,600	0,266
Canada	0,237	0,456	0,403	0,005	141,606	0,819	0,001	32,600	0,175	47,300	1,512
Chile	0,503	0,303	0,566	0,001	76,933	0,773	0,000	52,100	0,779	51,900	0,345
Czech Republic	0,000	0,263	0,389	0,002	93,567	0,749	0,000	26,000	0,332	61,500	0,744
Denmark	0,418	0,710	0,612	0,002	60,901	0,690	0,001	24,000	0,306	60,900	1,306
Estonia	0,000	0,264	0,419	0,002	101,246	0,659	0,000	36,000	0,439	72,100	0,854
Finland	0,421	0,016	0,570	0,003	119,494	0,780	0,001	26,900	0,350	38,400	0,497
France	0,279	0,000	0,344	0,002	68,176	0,724	0,000	32,700	0,645	31,500	0,505
Germany	0,000	0,085	0,421	0,002	69,859	0,728	0,000	28,300	0,342	55,400	0,408
Greece	0,000	0,265	0,411	0,002	62,144	0,765	0,000	34,300	0,578	73,200	0,342
Hungary	0,205	0,048	0,395	0,001	86,844	0,660	0,000	31,200	0,256	43,800	0,458
Iceland	0,937	0,000	0,415	0,008	198,231	0,854	0,001	26,700	0,008	9,200	0,878
Ireland	0,069	0,044	0,479	0,002	59,458	0,730	0,000	34,500	0,573	66,000	0,103
Israel	0,219	0,140	0,395	0,002	66,864	0,761	0,000	39,200	0,296	70,900	0,152
Italy	0,344	0,010	0,488	0,002	64,093	0,740	0,000	36,000	0,383	54,000	0,187
Japan	0,198	0,001	0,414	0,002	70,962	0,846	0,000	38,100	0,293	53,800	0,204
Korea South	0,100	0,000	0,383	0,002	104,637	0,874	0,000	31,300	0,206	52,300	0,193
Latvia	0,688	0,000	0,759	0,001	104,778	0,617	0,000	36,600	0,568	39,000	0,476
Lithuania	0,363	0,000	0,706	0,001	85,948	0,702	0,000	37,600	0,428	31,100	0,501
Luxemburg	0,172	0,000	0,596	0,007	89,372	0,860	0,001	30,800	0,471	60,700	0,029
Mexico	0,207	0,480	0,312	0,000	66,972	0,841	0,000	48,300	0,718	56,500	1,247
Netherlands	0,218	0,482	0,484	0,003	81,609	0,817	0,001	30,900	0,041	49,600	0,817
New Zealand	0,457	0,210	0,445	0,002	93,549	0,881	0,000	36,200	0,162	41,400	0,874
Norway	0,576	1,000	0,662	0,003	71,155	0,801	0,001	25,800	0,201	27,200	6,942
Poland	0,000	0,300	0,429	0,001	84,148	0,693	0,000	34,100	0,507	74,100	0,715
Portugal	0,450	0,000	0,514	0,001	66,750	0,831	0,000	38,500	0,529	52,100	0,202
Slovak Republic	0,192	0,007	0,398	0,001	84,676	0,802	0,000	26,000	0,048	46,500	0,355
Slovenia	0,000	0,127	0,441	0,002	89,804	0,745	0,000	31,200	0,623	50,500	0,523
Spain	0,264	0,012	0,447	0,002	61,170	0,825	0,000	34,700	0,376	51,600	0,238
Sweden	0,591	0,000	0,560	0,003	86,889	0,783	0,001	25,000	0,111	21,400	0,663
Switzerland	0,446	0,000	0,491	0,002	48,923	0,713	0,000	33,700	0,521	37,300	0,470
Turkey	0,000	0,108	0,440	0,001	64,101	0,375	0,000	39,000	0,505	63,500	0,301
United Kingdom	0,000	0,214	0,361	0,002	59,554	0,688	0,001	34,000	0,104	56,000	0,804
United States	0,000	0,219	0,356	0,004	99,332	0,819	0,001	45,000	0,125	56,500	0,779
	MAX			0,00777	198,230739		1,17E-03	52,1		74,1	6,94244834
	MIN			8,50095E-05	48,9233441		4,41742E-06	24		9,2	0,02949332

Il·lustració 19. Per als països de la OECD. Valors obtinguts per a cada indicador sense normalitzar.

Country	TEC1	TEC2	TEC3	ECO1	ECO2	ECO3	SOC1	SOC2	ENV1	ENV2	INS1
Austria	0,527	0,011	0,639	0,002	75,397	0,767	0,000	26,000	0,406	47,700	0,355
Belgium	0,210	0,000	0,367	0,003	92,858	0,784	0,000	33,000	0,406	41,600	0,266
Bulgaria	0,000	0,113	0,385	0,001	82,982	0,766	0,000	28,200	0,386	57,800	0,562
Croatia	0,449	0,145	0,534	0,001	89,443	0,659	0,000	33,700	0,516	47,900	0,521
Cyprus	0,182	0,000	1,000	0,001	63,199	0,796	0,000	32,600	0,437	71,000	0,333
Czechia	0,000	0,263	0,389	0,002	93,567	0,749	0,000	26,000	0,332	61,500	0,744
Denmark	0,418	0,710	0,612	0,002	60,901	0,690	0,001	24,000	0,306	60,900	1,306
Estonia	0,000	0,264	0,419	0,002	101,246	0,659	0,000	36,000	0,439	72,100	0,854
Finland	0,421	0,016	0,570	0,003	119,494	0,780	0,001	26,900	0,350	38,400	0,497
France	0,279	0,000	0,344	0,002	68,176	0,724	0,000	32,700	0,645	31,500	0,505
Germany	0,000	0,085	0,421	0,002	69,859	0,728	0,000	28,300	0,342	55,400	0,408
Greece	0,000	0,265	0,411	0,002	62,144	0,765	0,000	34,300	0,578	73,200	0,342
Hungary	0,205	0,048	0,395	0,001	86,844	0,660	0,000	31,200	0,256	43,800	0,458
Italy	0,344	0,010	0,488	0,002	64,093	0,740	0,000	36,000	0,383	54,000	0,187
Ireland	0,069	0,044	0,479	0,002	59,458	0,730	0,000	34,500	0,573	66,000	0,103
Latvia	0,688	0,000	0,759	0,001	104,778	0,617	0,000	36,600	0,568	39,000	0,476
Lithuania	0,363	0,000	0,706	0,001	85,948	0,702	0,000	37,600	0,428	31,100	0,501
Luxembourg	0,172	0,000	0,596	0,007	89,372	0,860	0,001	30,800	0,471	60,700	0,029
Malta	0,035	0,000	1,000	0,001	33,694	0,829	0,000	29,100	0,234	74,400	0,001
Netherlands	0,218	0,482	0,484	0,003	81,609	0,817	0,001	30,900	0,041	49,600	0,817
Poland	0,000	0,300	0,429	0,001	84,148	0,693	0,000	34,100	0,507	74,100	0,715
Portugal	0,450	0,000	0,514	0,001	66,750	0,831	0,000	38,500	0,529	52,100	0,202
Romania	0,000	0,176	0,403	0,001	66,028	0,657	0,000	30,000	0,464	53,000	0,812
Slovakia	0,192	0,007	0,398	0,001	84,676	0,802	0,000	26,000	0,048	46,500	0,355
Slovenia	0,000	0,127	0,441	0,002	89,804	0,745	0,000	31,200	0,623	50,500	0,523
Spain	0,264	0,012	0,447	0,002	61,170	0,825	0,000	34,700	0,376	51,600	0,238
Sweden	0,591	0,000	0,560	0,003	86,889	0,783	0,001	25,000	0,111	21,400	0,663
United Kingdom	0,000	0,214	0,361	0,002	59,554	0,688	0,001	34,000	0,104	56,000	0,804
	MAX			0,00704122	119,494299		6,65E-04	38,5	0,6446475	74,4	1,30605912
	MIN			0,00083884	33,6936937		0,000046814	24		21,4	0,00124378

Il·lustració 20. Per als països de la UE. Valors obtinguts per a cada indicador sense normalitzar.



ESTUDI D'UN INDICADOR DE SOSTENIBILITAT DE LA MÀTRIU ENERGÈTICA NACIONAL DELS PAÏSOS, MITJANÇANT L'APLICACIÓ D'EINES MULTICRITERI

Country	TEC1	TEC2	TEC3	ECO1	ECO2	ECO3	SOC1	SOC2	ENV1	ENV2	INS1
Australia	0,000	0,089	0,300	0,372	0,222	0,866	0,328	0,231	0,175	0,009	0,332
Austria	0,527	0,011	0,639	0,307	0,177	0,767	0,366	0,071	0,406	0,407	0,047
Belgium	0,210	0,000	0,367	0,363	0,294	0,784	0,400	0,320	0,406	0,501	0,034
Canada	0,237	0,456	0,403	0,581	0,621	0,819	0,712	0,306	0,175	0,413	0,214
Chile	0,503	0,303	0,566	0,118	0,188	0,773	0,054	1,000	0,779	0,342	0,046
Czech Republic	0,000	0,263	0,389	0,223	0,299	0,749	0,361	0,071	0,332	0,194	0,103
Denmark	0,418	0,710	0,612	0,288	0,080	0,690	0,473	0,000	0,306	0,203	0,185
Estonia	0,000	0,264	0,419	0,195	0,350	0,659	0,346	0,427	0,439	0,031	0,119
Finland	0,421	0,016	0,570	0,427	0,473	0,780	0,549	0,103	0,350	0,550	0,068
France	0,279	0,000	0,344	0,248	0,129	0,724	0,371	0,310	0,645	0,656	0,069
Germany	0,000	0,085	0,421	0,270	0,140	0,728	0,399	0,153	0,342	0,288	0,055
Greece	0,000	0,265	0,411	0,207	0,089	0,765	0,154	0,367	0,578	0,014	0,045
Hungary	0,205	0,048	0,395	0,178	0,254	0,660	0,036	0,256	0,256	0,467	0,062
Iceland	0,937	0,000	0,415	1,000	1,000	0,854	1,000	0,096	0,008	1,000	0,123
Ireland	0,069	0,044	0,479	0,285	0,071	0,730	0,247	0,374	0,573	0,125	0,011
Israel	0,219	0,140	0,395	0,207	0,120	0,761	0,264	0,541	0,296	0,049	0,018
Italy	0,344	0,010	0,488	0,236	0,102	0,740	0,328	0,427	0,383	0,310	0,023
Japan	0,198	0,001	0,414	0,238	0,148	0,846	0,218	0,502	0,293	0,313	0,025
Korea South	0,100	0,000	0,383	0,254	0,373	0,874	0,254	0,260	0,206	0,336	0,024
Latvia	0,688	0,000	0,759	0,157	0,374	0,617	0,262	0,448	0,568	0,541	0,065
Lithuania	0,363	0,000	0,706	0,140	0,248	0,702	0,240	0,484	0,428	0,663	0,068
Luxembourg	0,172	0,000	0,596	0,905	0,271	0,860	0,468	0,242	0,471	0,206	0,000
Mexico	0,207	0,480	0,312	0,000	0,121	0,841	0,000	0,865	0,718	0,271	0,176
Netherlands	0,218	0,482	0,484	0,426	0,219	0,817	0,545	0,246	0,041	0,378	0,114
New Zealand	0,457	0,210	0,445	0,298	0,299	0,881	0,246	0,434	0,162	0,504	0,122
Norway	0,576	1,000	0,662	0,427	0,149	0,801	0,563	0,064	0,201	0,723	1,000
Poland	0,000	0,300	0,429	0,136	0,236	0,693	0,218	0,359	0,507	0,000	0,099
Portugal	0,450	0,000	0,514	0,168	0,119	0,831	0,118	0,516	0,529	0,339	0,025
Slovak Republic	0,192	0,007	0,398	0,176	0,239	0,802	0,322	0,071	0,048	0,425	0,047
Slovenia	0,000	0,127	0,441	0,253	0,274	0,745	0,200	0,256	0,623	0,364	0,071
Spain	0,264	0,012	0,447	0,208	0,082	0,825	0,180	0,381	0,376	0,347	0,030
Sweden	0,591	0,000	0,560	0,329	0,254	0,783	0,566	0,036	0,111	0,812	0,092
Switzerland	0,446	0,000	0,491	0,290	0,000	0,713	0,297	0,345	0,521	0,567	0,064
Turkey	0,000	0,108	0,440	0,078	0,102	0,375	0,108	0,534	0,505	0,163	0,039
United Kingdom	0,000	0,214	0,361	0,238	0,071	0,688	0,505	0,356	0,104	0,279	0,112
United States	0,000	0,219	0,356	0,512	0,338	0,819	0,639	0,747	0,125	0,271	0,108

II-l·lustració 21. Per als països de la OECD. Valors obtinguts per a cada indicador normalitzats

Country	TEC1	TEC2	TEC3	ECO1	ECO2	ECO3	SOC1	SOC2	ENV1	ENV2	INS1
Austria	0,527	0,011	0,639	0,259	0,486	0,767	0,622	0,138	0,406	0,504	0,271
Belgium	0,210	0,000	0,367	0,328	0,690	0,784	0,687	0,621	0,406	0,619	0,203
Bulgaria	0,000	0,113	0,385	0,025	0,574	0,766	0,206	0,290	0,386	0,313	0,430
Croatia	0,449	0,145	0,534	0,080	0,650	0,659	0,403	0,669	0,516	0,500	0,398
Cyprus	0,182	0,000	1,000	0,097	0,344	0,796	0,215	0,593	0,437	0,064	0,254
Czechia	0,000	0,263	0,389	0,154	0,698	0,749	0,613	0,138	0,332	0,243	0,569
Denmark	0,418	0,710	0,612	0,235	0,317	0,690	0,824	0,000	0,306	0,255	1,000
Estonia	0,000	0,264	0,419	0,121	0,787	0,659	0,584	0,828	0,439	0,043	0,653
Finland	0,421	0,016	0,570	0,408	1,000	0,780	0,968	0,200	0,350	0,679	0,380
France	0,279	0,000	0,344	0,185	0,402	0,724	0,631	0,600	0,645	0,809	0,386
Germany	0,000	0,085	0,421	0,213	0,422	0,728	0,684	0,297	0,342	0,358	0,312
Greece	0,000	0,265	0,411	0,134	0,332	0,765	0,222	0,710	0,578	0,023	0,261
Hungary	0,205	0,048	0,395	0,099	0,619	0,660	0,000	0,497	0,256	0,577	0,350
Italy	0,344	0,010	0,488	0,171	0,354	0,740	0,551	0,828	0,383	0,385	0,142
Ireland	0,069	0,044	0,479	0,232	0,300	0,730	0,398	0,724	0,573	0,158	0,078
Latvia	0,688	0,000	0,759	0,073	0,828	0,617	0,425	0,869	0,568	0,668	0,364
Lithuania	0,363	0,000	0,706	0,052	0,609	0,702	0,383	0,938	0,428	0,817	0,383
Luxembourg	0,172	0,000	0,596	1,000	0,649	0,860	0,815	0,469	0,471	0,258	0,022
Malta	0,035	0,000	1,000	0,007	0,000	0,829	0,117	0,352	0,234	0,000	0,000
Netherlands	0,218	0,482	0,484	0,406	0,558	0,817	0,959	0,476	0,041	0,468	0,625
Poland	0,000	0,300	0,429	0,047	0,588	0,693	0,342	0,697	0,507	0,006	0,547
Portugal	0,450	0,000	0,514	0,087	0,385	0,831	0,155	1,000	0,529	0,421	0,154
Romania	0,000	0,176	0,403	0,000	0,377	0,657	0,265	0,414	0,464	0,404	0,622
Slovakia	0,192	0,007	0,398	0,096	0,594	0,802	0,538	0,138	0,048	0,526	0,271
Slovenia	0,000	0,127	0,441	0,192	0,654	0,745	0,309	0,497	0,623	0,451	0,400
Spain	0,264	0,012	0,447	0,136	0,320	0,825	0,271	0,738	0,376	0,430	0,181
Sweden	0,591	0,000	0,560	0,286	0,620	0,783	1,000	0,069	0,111	1,000	0,507
United Kingdom	0,000	0,214	0,361	0,173	0,301	0,688	0,885	0,690	0,104	0,347	0,616

II-l·lustració 22..Per als països de la UE. Valors obtinguts per a cada indicador normalitzats

Country	TEC	ECO	SOC	ENV	INS	ENV(1)	ECO(1)	SEDI
Australia	0,300	1,450	0,252	0,002	0,332	0,998	0,491	0,475
Austria	0,635	1,329	0,340	0,165	0,047	0,835	0,450	0,461
Belgium	0,367	0,965	0,272	0,203	0,034	0,797	0,327	0,359
Canada	0,360	0,766	0,494	0,072	0,214	0,928	0,259	0,451
Chile	0,480	0,486	0,000	0,266	0,046	0,734	0,165	0,285
Czech Republic	0,389	0,558	0,335	0,064	0,103	0,936	0,189	0,390
Denmark	0,431	2,475	0,473	0,062	0,185	0,938	0,838	0,573
Estonia	0,419	0,367	0,198	0,014	0,119	0,986	0,124	0,369
Finland	0,566	0,705	0,493	0,193	0,068	0,807	0,239	0,435
France	0,344	1,391	0,256	0,423	0,069	0,577	0,471	0,343
Germany	0,421	1,402	0,338	0,098	0,055	0,902	0,475	0,438
Greece	0,411	1,785	0,098	0,008	0,045	0,992	0,604	0,430
Hungary	0,391	0,462	0,027	0,120	0,062	0,880	0,156	0,303
Iceland	0,415	0,854	0,904	0,008	0,123	0,992	0,289	0,545
Ireland	0,478	2,953	0,155	0,071	0,011	0,929	1,000	0,514
Israel	0,383	1,313	0,121	0,015	0,018	0,985	0,445	0,390
Italy	0,486	1,721	0,188	0,119	0,023	0,881	0,583	0,432
Japan	0,414	1,365	0,109	0,092	0,025	0,908	0,462	0,384
Korea South	0,383	0,596	0,188	0,069	0,024	0,931	0,202	0,345
Latvia	0,759	0,260	0,144	0,307	0,065	0,693	0,088	0,350
Lithuania	0,706	0,398	0,124	0,284	0,068	0,716	0,135	0,350
Luxemburg	0,596	2,873	0,355	0,097	0,000	0,903	0,973	0,565
Mexico	0,281	0,000	0,000	0,195	0,176	0,805	0,000	0,253
Netherlands	0,433	1,591	0,411	0,015	0,114	0,985	0,539	0,496
New Zealand	0,403	0,880	0,139	0,082	0,122	0,918	0,298	0,376
Norway	0,281	2,296	0,527	0,145	1,000	0,855	0,777	0,688
Poland	0,429	0,400	0,139	0,000	0,099	1,000	0,136	0,361
Portugal	0,514	1,169	0,057	0,179	0,025	0,821	0,396	0,363
Slovak Republic	0,398	0,589	0,299	0,020	0,047	0,980	0,199	0,385
Slovenia	0,441	0,688	0,149	0,226	0,071	0,774	0,233	0,334
Spain	0,445	2,091	0,111	0,130	0,030	0,870	0,708	0,433
Sweden	0,560	1,013	0,546	0,090	0,092	0,910	0,343	0,490
Switzerland	0,491	0,000	0,194	0,295	0,064	0,705	0,000	0,291
Turkey	0,440	0,289	0,050	0,083	0,039	0,917	0,098	0,309
United Kingdom	0,361	2,297	0,326	0,029	0,112	0,971	0,778	0,510
United States	0,356	1,242	0,161	0,034	0,108	0,966	0,421	0,403

*Il·lustració 23. Per als països de la OECD. Valors obtinguts per a cada dimensió*

Country	TEC	ECO	SOC	ENV	INS	ENV(1)	ECO(1)	SEDI
Austria	0,635	0,409	0,536	0,205	0,271	0,795	0,309	0,529
Belgium	0,367	0,372	0,261	0,251	0,203	0,749	0,281	0,390
Bulgaria	0,385	0,033	0,147	0,121	0,430	0,879	0,025	0,375
Croatia	0,499	0,082	0,133	0,258	0,398	0,742	0,062	0,371
Cyprus	1,000	0,226	0,087	0,028	0,254	0,972	0,170	0,508
Czechia	0,389	0,166	0,528	0,081	0,569	0,919	0,125	0,514
Denmark	0,431	0,511	0,824	0,078	1,000	0,922	0,386	0,738
Estonia	0,419	0,101	0,101	0,019	0,653	0,981	0,076	0,451
Finland	0,566	0,318	0,774	0,238	0,380	0,762	0,240	0,560
France	0,344	0,334	0,252	0,522	0,386	0,478	0,252	0,359
Germany	0,421	0,368	0,481	0,123	0,312	0,877	0,278	0,492
Greece	0,411	0,310	0,064	0,013	0,261	0,987	0,234	0,407
Hungary	0,391	0,105	0,000	0,148	0,350	0,852	0,079	0,340
Italy	0,486	0,358	0,095	0,147	0,142	0,853	0,270	0,387
Ireland	0,478	0,564	0,110	0,091	0,078	0,909	0,426	0,428
Latvia	0,759	0,055	0,056	0,379	0,364	0,621	0,041	0,371
Lithuania	0,706	0,061	0,024	0,350	0,383	0,650	0,046	0,365
Luxembourg	0,596	1,325	0,433	0,122	0,022	0,878	1,000	0,651
Malta	1,000	0,000	0,076	0,000	0,000	1,000	0,000	0,415
Netherlands	0,433	0,595	0,503	0,019	0,625	0,981	0,449	0,627
Poland	0,429	0,056	0,104	0,003	0,547	0,997	0,042	0,427
Portugal	0,514	0,187	0,000	0,223	0,154	0,777	0,141	0,326
Romania	0,403	0,000	0,155	0,187	0,622	0,813	0,000	0,398
Slovakia	0,398	0,130	0,464	0,025	0,271	0,975	0,098	0,448
Slovenia	0,441	0,218	0,156	0,281	0,400	0,719	0,165	0,387
Spain	0,445	0,351	0,071	0,162	0,181	0,838	0,264	0,377
Sweden	0,560	0,361	0,931	0,111	0,507	0,889	0,273	0,650
United Kingdom	0,361	0,395	0,275	0,036	0,616	0,964	0,298	0,522

Il·lustració 24. Per als països de la UE. Valors obtinguts per a cada dimensió

## A2. Càlcul dels Pesos

Matriu de comparació per parells (MCP)						
	TEC	ECO	SOC	ENV	INS	MC
TEC	1	4	3	2	3	5,92
ECO	0,25	1	3	2	3	5,74
SOC	0,33	0,33	1	2	3	5,30
ENV	0,5	0,5	0,5	1	3	5,22
INS	0,33	0,33	0,33	0,33	1	5,34
índice de consistencia (CI)						0,13
Índice aleatorio (RI)						1,12
Cociente de consistencia (RC)						0,11
Matrix normalizada (MCN)						
	TEC	ECO	SOC	ENV	INS	vector de prioridad
TEC	0,41	0,65	0,38	0,27	0,23	0,39
ECO	0,10	0,16	0,38	0,27	0,23	0,23
SOC	0,14	0,05	0,13	0,27	0,23	0,16
ENV	0,21	0,08	0,06	0,14	0,23	0,14
INS	0,14	0,05	0,04	0,05	0,08	0,07

Il·lustració 25. Per als països de la OECD i UE. Càlcul dels Pesos per a la primera condició

Matriu de comparació per parells (MCP)						
	TEC	ECO	SOC	ENV	INS	MC
TEC	1	0,3	1	0,25	2	5,02
ECO	3	1	2	0,5	4	5,11
SOC	2	1	1	0,3	3	5,06
ENV	4	2	3,0	1	5	5,12
INS	1	0	0	0	1	5,03
índice de consistencia (CI)						0,02
Índice aleatorio (RI)						1,12
Cociente de consistencia (RC)						0,02
Matrix normalizada (MCN)						
	TEC	ECO	SOC	ENV	INS	vector de prioridad
TEC	0,10	0,08	0,07	0,11	0,13	0,10
ECO	0,29	0,24	0,29	0,22	0,27	0,26
SOC	0,19	0,12	0,15	0,15	0,20	0,16
ENV	0,38	0,49	0,44	0,44	0,33	0,42
INS	0,05	0,06	0,05	0,09	0,07	0,06

Il·lustració 26. Per als països de la OECD. Càlcul dels Pesos per a la segona condició

Matriu de comparació per parells (MCP)						
	TEC	ECO	SOC	ENV	INS	MC
TEC	1,0	0,3	0,5	0,2	0,25	5,03
ECO	3,0	1,0	2,0	0,3	0,5	5,06
SOC	2,0	0,5	1,0	0,3	0	5,02
ENV	5,0	3,0	4,0	1,0	2	5,12
INS	4,0	2,0	3,0	0,5	1	5,11
		índice de consistencia (CI)				0,02
		Índice aleatorio (RI)				1,12
		Cociente de consistencia (RC)				0,02
Matrix normalizada (MCN)						
	TEC	ECO	SOC	ENV	INS	vector de prioridad
TEC	0,07	0,05	0,05	0,09	0,06	0,06
ECO	0,20	0,15	0,19	0,15	0,12	0,16
SOC	0,13	0,07	0,10	0,11	0,08	0,10
ENV	0,33	0,44	0,38	0,44	0,49	0,42
INS	0,27	0,29	0,29	0,22	0,24	0,26

Il·lustració 27. Per als països de la UE. Càlcul dels Pesos per a la segona condició

### A3. Càlcul de la distància Manhattan i distància Chebysev

País	Primera condició			Segona Condició		
	L1	Linf	L	L1	Linf	L
Australia	0,439	0,144	0,291	0,635	0,416	0,525
Austria	0,531	0,248	0,389	0,586	0,347	0,467
Belgium	0,380	0,143	0,262	0,499	0,332	0,415
Canada	0,430	0,140	0,285	0,583	0,386	0,484
Chile	0,334	0,187	0,260	0,399	0,305	0,352
Cz. Republic	0,392	0,152	0,272	0,538	0,389	0,464
Denmark	0,587	0,193	0,390	0,740	0,390	0,565
Estonia	0,375	0,163	0,269	0,524	0,411	0,467
Finland	0,478	0,221	0,349	0,538	0,336	0,437
France	0,373	0,134	0,253	0,443	0,240	0,341
Germany	0,463	0,164	0,313	0,599	0,375	0,487
Greece	0,462	0,160	0,311	0,630	0,413	0,522
Hungary	0,324	0,152	0,238	0,454	0,366	0,410
Iceland	0,529	0,162	0,345	0,683	0,413	0,548
Ireland	0,576	0,230	0,403	0,721	0,386	0,554
Israel	0,415	0,149	0,282	0,585	0,410	0,498
Italy	0,483	0,189	0,336	0,599	0,367	0,483
Japan	0,418	0,161	0,290	0,559	0,378	0,468
Korea South	0,362	0,149	0,256	0,510	0,387	0,448
Latvia	0,444	0,296	0,370	0,413	0,288	0,351
Lithuania	0,435	0,275	0,355	0,427	0,298	0,363
Luxemburg	0,645	0,232	0,439	0,746	0,376	0,561
Mexico	0,238	0,116	0,177	0,374	0,335	0,354
Netherland	0,510	0,169	0,340	0,667	0,410	0,538
New Zealand	0,389	0,157	0,273	0,530	0,382	0,456
Norway	0,569	0,179	0,374	0,734	0,356	0,545
Poland	0,372	0,167	0,270	0,523	0,416	0,469
Portugal	0,421	0,200	0,311	0,507	0,342	0,424
Slovak Republic	0,394	0,155	0,275	0,550	0,408	0,479
Slovenia	0,366	0,172	0,269	0,455	0,322	0,388
Spain	0,482	0,174	0,328	0,611	0,362	0,487
Sweden	0,524	0,218	0,371	0,617	0,379	0,498
Switzerland	0,329	0,192	0,260	0,377	0,293	0,335
Turkey	0,337	0,172	0,254	0,461	0,382	0,422
United Kingdom	0,521	0,179	0,350	0,703	0,404	0,553
United States	0,409	0,139	0,274	0,580	0,402	0,491

Il·lustració 28. Per als països de la OECD. Valors de les diferents distàncies

País	Primera condició			Segona Condició		
	L1	Linf	L	L1	Linf	L
Austria	0,541	0,248	0,394	0,544	0,331	0,438
Belgium	0,373	0,143	0,258	0,459	0,312	0,385
Bulgaria	0,337	0,150	0,244	0,521	0,366	0,443
Croatia	0,366	0,195	0,280	0,467	0,309	0,388
Cyprus	0,601	0,390	0,496	0,569	0,405	0,487
Czechia	0,440	0,152	0,296	0,628	0,383	0,505
Denmark	0,596	0,168	0,382	0,816	0,384	0,600
Estonia	0,385	0,163	0,274	0,628	0,408	0,518
Finland	0,540	0,221	0,380	0,567	0,317	0,442
France	0,330	0,134	0,232	0,387	0,199	0,293
Germany	0,456	0,164	0,310	0,565	0,365	0,465
Greece	0,385	0,160	0,273	0,549	0,411	0,480
Hungary	0,318	0,152	0,235	0,484	0,355	0,419
Italy	0,400	0,189	0,295	0,475	0,355	0,415
Ireland	0,439	0,186	0,312	0,508	0,378	0,443
Latvia	0,430	0,296	0,363	0,413	0,258	0,336
Lithuania	0,411	0,275	0,343	0,425	0,271	0,348
Luxembourg	0,662	0,232	0,447	0,612	0,366	0,489
Malta	0,546	0,390	0,468	0,486	0,416	0,451
Netherlands	0,541	0,169	0,355	0,721	0,408	0,564
Poland	0,377	0,167	0,272	0,602	0,415	0,508
Portugal	0,356	0,200	0,278	0,419	0,324	0,371
Romania	0,344	0,157	0,250	0,541	0,338	0,440
Slovakia	0,414	0,155	0,284	0,563	0,406	0,484
Slovenia	0,367	0,172	0,270	0,473	0,299	0,386
Spain	0,380	0,174	0,277	0,474	0,349	0,411
Sweden	0,598	0,218	0,408	0,674	0,370	0,522
United Kingdom	0,437	0,141	0,289	0,660	0,401	0,530

Il·lustració 29. Per als països de la UE. Valors de les diferents distàncies