

**Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica**

**Relació entre Indústria 4.0 i economia circular. Mètriques.**

**Memòria**

**ALFREDO ANTOLÍN BLANCO**

**PONENT: JULIAN HERRILLO**

PRIMAVERA 2023





## **Resum**

A l'actualitat els termes Indústria 4.0 i economia circular son primordials a l'hora de parlar del futur del sector industrial. En aquest projecte es pretén dissenyar una metodologia per a classificar i mesurar el nivell de la economia circular i indústria 4.0 als països de la Unió Europea. Per a aconseguir aquest objectiu s'empren tècniques d'anàlisi factorial i clúster. Després s'utilitza aquesta metodologia per a elaborar un ranking i s'avalua el nivell de relació entre els dos conceptes a estudiar.

## **Resumen**

En la actualidad, los términos Industria 4.0 y economía circular son primordiales a la hora de hablar del futuro del sector industrial. En este proyecto se pretende diseñar una metodología para clasificar y medir el nivel de la economía circular e industria 4.0 entre los países de la Unión Europea. Para conseguir este objetivo se emplean técnicas de análisis factorial y clúster. Después se utiliza esta metodología para elaborar un ranking i se evalúa el nivel de relación entre los dos conceptos a estudiar.

## **Abstract**

Nowadays, the terms Industry 4.0 and circular economy are paramount when talking about the future of the industrial sector. The aim of the project is to design a methodology for classifying / measuring the level of economy's circularity and industry 4.0 among the European Union country members. To achieve this objective, statistical techniques such as factorial and cluster analysis are used. Afterwards, the designed methodology is used to elaborate a ranking and the relationship between the two concepts under study is evaluated.



# Índex

Resum.....	I
Índex de figures .....	VII
Índex de taules.....	IV
Glossari de termes. ....	V
1. Objectius.....	1
1.1. Propòsit. ....	1
1.2. Finalitat. ....	1
1.3. Objecte. ....	1
1.4. Abast. ....	1
1.5. Línies de recerca i transferència de coneixement del Tecnocampus. ....	2
2. Introducció.....	3
2.1. Que es l'economia circular?.....	3
2.2. Que es la Industria 4.0?.....	5
3. Objectius de detall i especificacions tècniques. ....	9
4. Marc Conceptual. ....	11
4.1. Mètriques existents per a la mesura de l'Economia circular. ....	11
4.1.1. Circulytics.....	11
4.1.2. Forética.....	12
4.1.3. Circular Economy Toolkit.....	13
4.1.4. Circle Assessment. ....	14
4.2. Mètriques existents per a la mesura de la Industria 4.0. ....	14

## IV

4.2.1.	Flexis AG.....	14
4.2.2.	Indicadors emprats per a països de la UE i mètode Procedia CS.....	15
4.2.3.	World Economic Forum report. ....	17
4.2.4.	ScienceDirect maturity model for assessing Industry 4.0. ....	21
5.	Selecció d'indicadors. ....	23
5.1.	Possibles indicadors d'Indústria 4.0. ....	23
5.2.	Possibles indicadors d'economia circular. ....	24
5.3.	Disponibilitat de dades.....	25
5.4.	Indicadors definitius d'Indústria 4.0. ....	25
5.5.	Indicadors definitius d'Economia Circular.....	26
5.6.	Recopilació i creació de la base de dades. ....	28
6.	Metodologia i eines aplicades. ....	31
6.1.	Anàlisi factorial.....	31
6.1.1.	Explicació teòrica. ....	31
6.1.2.	Aplicació a software SPSS. ....	34
6.2.	Anàlisi clúster. ....	38
6.2.1.	Explicació teòrica. ....	38
6.2.2.	Aplicació a software SPSS. ....	40
7.	Mostra de resultats.....	45
7.1.	Resultats de l'anàlisi factorial.....	45
7.1.1.	Indústria 4.0.....	45

7.1.2.	Economia Circular.....	48
7.1.3.	Indústria 4.0 i economia circular.....	50
7.2.	Resultats de l'anàlisi clúster.....	54
7.2.1.	Indústria 4.0.....	54
7.2.2.	Economia circular.....	54
7.2.3.	Indústria 4.0 i economia circular.....	55
8.	Anàlisi de resultats.....	57
8.1.	Factors determinants per a la Indústria 4.0.....	57
8.2.	Factors determinants per a l'economia circular.....	61
8.3.	Factors determinants per a la I4.0 i EC.....	67
8.4.	Clústers d'Indústria 4.0.....	76
8.5.	Clústers d'economia circular.....	80
8.6.	Clústers de I4.0 i EC.....	86
8.7.	Relació entre Indústria 4.0 i economia circular.....	92
9.	Planificació.....	95
9.1.	Planificació de l'avantprojecte.....	96
9.2.	Planificació del projecte sencer.....	98
9.3.	Execució de la planificació.....	100
10.	Perspectiva de gènere.....	103
11.	Impacte mediambiental.....	105
12.	Conclusions.....	107
12.1.	Desviacions.....	107



12.2. Possibles millores i futures línies de treball.....	108
13. Bibliografia.....	111

## Índex de figures

Figura 1.1. Esquema de la economia circular.....	3
Figura 4.1. Esquema d'un full de ruta per a mesurar la economia circular.....	12
Figura 4.2. Exemple de qüestionari.. ..	13
Figura 4.3. Ranking dels països de la UE i altres. ....	16
Figura 5.1. Taula normalitzada d'indicadors d'Indústria 4.0.....	29
Figura 5.2. Taula normalitzada d'indicadors d'Economia circular.....	29
Figura 6.1: Opció SPSS per a anàlisi factorial.....	34
Figura 6.2: Opció per a mostrar KMO a SPSS.....	35
Figura 6.3: Opció per a mostrar la matriu de rotació amb mètode varimax.....	35
Figura 6.4: Exemple de KMO per a Anàlisi de EC.....	36
Figura 6.5: Taula de comunalitats EC.....	36
Figura 6.6: Taula de variància total.....	37
Figura 6.7: Matriu de components rotats.....	37
Figura 6.8: Opció SPSS per a anàlisi clúster.....	40
Figura 6.9: Opció per a canviar mètode per anàlisi clúster.....	41
Figura 6.10: Resum del processament de casos.....	41
Figura 6.11: Historial de coeficients.....	42
Figura 6.12: Opció per a determinat nombre de clústers.....	42
Figura 6.13: Taula de clústers.....	43

## VIII

Figura 7.1: Matriu de components rotats I4.0.....	45
Figura 7.2: Matriu de components rotats EC.....	48
Figura 7.3: Matriu de components rotats I4.0 i EC.....	51
Figura 7.4: Matriu de clústers I4.0.....	44
Figura 7.5: Matriu de clústers EC.....	54
Figura 7.6: Matriu de clústers I4.0 i EC.....	54
Figura 8.1: Mapa del Factor 1 I4.0.....	57
Figura 8.2: Mapa del Factor 2 I4.0.....	59
Figura 8.3: Mapa del Factor 3 I4.0.....	60
Figura 8.4: Mapa del Factor 1 EC.....	62
Figura 8.5: Mapa del Factor 2 EC.....	63
Figura 8.6: Mapa del Factor 3 EC.....	65
Figura 8.7: Mapa del Factor 4 EC.....	66
Figura 8.8: Mapa del Factor 1 I4.0 EC.....	68
Figura 8.9: Mapa del Factor 2 I4.0 EC.....	69
Figura 8.10: Mapa del Factor 3 I4.0 EC.....	71
Figura 8.11: Mapa del Factor 4 I4.0 EC.....	72
Figura 8.12: Mapa del Factor 5 I4.0 EC.....	73
Figura 8.13: Mapa del Factor 6 I4.0 EC.....	75
Figura 8.14: Mapa del Clúster 1 I4.0.....	76
Figura 8.15: Mapa del Clúster 2 I4.0.....	77

Figura 8.16: Mapa del Clúster 3 I4.0.....	78
Figura 8.17: Mapa del Clúster 4 I4.0.....	79
Figura 8.18: Mapa del Clúster 5 I4.0.....	80
Figura 8.19: Mapa del Clúster 1 EC.....	81
Figura 8.20: Mapa del Clúster 2 EC.....	82
Figura 8.21: Mapa del Clúster 3 EC.....	83
Figura 8.22: Mapa del Clúster 4 EC.....	84
Figura 8.23: Mapa del Clúster 5 EC.....	85
Figura 8.24: Mapa del Clúster 6 EC.....	86
Figura 8.25: Mapa del Clúster 1 I4.0 EC.....	87
Figura 8.26: Mapa del Clúster 2 I4.0 EC.....	88
Figura 8.27: Mapa del Clúster 3 I4.0 EC.....	89
Figura 8.28: Mapa del Clúster 4 I4.0 EC.....	90
Figura 8.29: Mapa del Clúster 5 I4.0 EC.....	91
Figura 8.30: Mapa del Clúster 6 I4.0 EC.....	92
Figura 9.1. Programació de vacances.....	95
Figura 9.2. Diagrama de Gantt de planificació AVP.....	97
Figura 9.3: Diagrama de Gantt de planificació projecte sencer.....	99
Figura 9.4: Diagrama de Gantt d'execució de projecte sencer.....	101





## Índex de taules.

Taula 6-1: Validació amb KMO.....	33
Taula 7-1. Factor 1: Habilitadors empresarials i capital humà.....	46
Taula 7-2. Factor 2: Consum, innovació i educació.....	46
Taula 7-3. Factor 3: Població per país.....	46
Taula 7-4. Factor 1: Reciclatge i residus.....	49
Taula 7-5. Factor 2: Innovació i material footprint.....	49
Taula 7-6. Factor 3: Reciclatge a nivell població.....	49
Taula 7-7. Factor 4: Reutilització i reparació.....	49
Taula 7-8. Factor 1.....	52
Taula 7-9. Factor 2.....	52
Taula 7-10. Factor 3.....	53
Taula 7-11. Factor 4.....	53
Taula 7-12. Factor 5.....	53
Taula 7-13. Factor 6.....	53
Taula 8-1. Ranking F1 I4.0.....	58
Taula 8-2. Ranking F2 I4.0.....	59
Taula 8-3. Ranking F3 I4.0.....	61
Taula 8-4. Ranking F1 EC.....	62
Taula 8-5. Ranking F2 EC.....	64
Taula 8-6. Ranking F3 EC.....	65

Taula 8-7. Ranking F4 EC.....	67
Taula 8-8. Ranking F1 I4.0 EC.....	68
Taula 8-9. Ranking F2 I4.0 EC.....	70
Taula 8-10. Ranking F3 I4.0 EC.....	71
Taula 8-11. Ranking F4 I4.0 EC.....	73
Taula 8-12. Ranking F5 I4.0 EC.....	74
Taula 8-13. Ranking F6 I4.0 EC.....	75
Taula 8-14. Mitjana Clúster 1 I4.0.....	76
Taula 8-15. Mitjana Clúster 2 I4.0.....	77
Taula 8-16. Mitjana Clúster 3 I4.0.....	78
Taula 8-17. Mitjana Clúster 4 I4.0.....	79
Taula 8-18. Mitjana Clúster 5 I4.0.....	80
Taula 8-19. Mitjana Clúster 1 EC.....	81
Taula 8-20. Mitjana Clúster 2 EC.....	82
Taula 8-21. Mitjana Clúster 3 EC.....	83
Taula 8-22. Mitjana Clúster 4 EC.....	84
Taula 8-23. Mitjana Clúster 5 EC.....	85
Taula 8-24. Mitjana Clúster 6 EC.....	86
Taula 8-25. Mitjana Clúster 1 I4.0 EC.....	87
Taula 8-26. Mitjana Clúster 2 I4.0 EC.....	88
Taula 8-27. Mitjana Clúster 3 I4.0 EC.....	89



## VI

Taula 8-28. Mitjana Clúster 4 I4.0 EC.....	90
Taula 8-29. Mitjana Clúster 5 I4.0 EC.....	91
Taula 8-30. Mitjana Clúster 6 I4.0 EC.....	92
Taula 9-1: Tasques AVP.....	96
Taula 9-2. Tasques PDET.....	98
Taula 9-3. Tasques Exec.....	101





## **Glossari de termes.**

AVP	Avantprojecte
EC	Economia Circular
ESUPT	Escola Superior Politècnica
IoT	Internet of Things
KMO	Adequació de la mostra
P2P	Product to product
PDET	Projecte de detall
PIB	Producte Interior Brut
RCI	Regional Competitiveness Index
RFID	Radio Frequency Identification
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
TIC	Tecnologies de la Informació i la Comunicació



# **1. Objectius.**

## **1.1. Propòsit.**

El propòsit d'aquest projecte es analitzar la relació entre la indústria 4.0 i la economia circular i elaborar una metodologia per a mesurar aquesta relació mitjançant l'anàlisi de indicadors clau.

## **1.2. Finalitat.**

Descobrir en quin estat es troben els països de la Unió Europea en l'àmbit de la Indústria 4.0 i la economia circular. Fer-ho identificant les característiques més rellevants (indicadors clau) i fer us dels models estadístics d'anàlisi factorial i clúster per a obtenir el millor resultat possible.

## **1.3. Objecte.**

Es pretén realitzar un estudi teòric per tal de caracteritzar els sistemes industrials de les regions europees i assolir el coneixement necessari per a fer un correcte anàlisi dels factors clau que determinaran la transició cap a la Indústria 4.0 i la circularitat de la economia. Amb els indicadors definits es realitzarà un sistema de rating per als nivells de la circularitat de la economia i Indústria 4.0, a més de la avaluació de la relació entre els dos conceptes.

## **1.4. Abast.**

El àmbit territorial que s'estudiarà es el de país de la Unió Europea. Es definiran les mètriques existents més rellevants i els conceptes de Indústria 4.0 i economia circular. S'efectuarà el disseny d'una mètrica a partir dels indicadors identificats com a més importants amb l'ajut dels mètodes d'anàlisi factorial i clúster. També es farà un anàlisi de la relació entre els dos conceptes (I4.0 i EC) una vegada es tinguin les dades i resultats finals.

## **1.5. Línies de recerca i transferència de coneixement del Tecnocampus.**

El treball de final de grau està relacionat amb l'àmbit de la Indústria 4.0 i la economia circular, és a dir tot el procés de transformació digital de l'empresa i l'activitat econòmica. Es poden trobar línies de recerca basades directament en l'estudi de la Indústria 4.0 i la economia circular, i conceptes que es troben relacionats com la innovació, la sostenibilitat, el data analysis, etc. El projecte es troba emmarcat en l'àmbit de treball del grup de recerca FI4.0 de l'ESUPT.

El coneixement que es podrà extreure d'aquest treball pot ser molt útil per a línies de recerca que estiguin relacionades amb l'anàlisi i la millora de l'estat actual de la transformació industrial a la Unió Europea.

A més, molts dels indicadors emprats tenen a veure amb innovació, aprenentatge i sostenibilitat, dades que podran ser d'ús per a línies de recerca relacionades amb aquests àmbits.

## 2. Introducció.

Avui dia, el sector industrial està vivint un dels moments més crucials del segle XXI. L'escalfament global està provocant un augment en les demandes per part de la societat i governs en quant a temes relacionats amb el medi ambient i el reciclatge. Cada vegada es demanen més restriccions per a assegurar una reducció de l'impacte mediambiental.

L'Indústria 4.0 i la economia circular son parts fonamentals d'una transformació industrial que pot portar el sector industrial a ser molt menys impactant al medi ambient i reforçar la seva eficiència. Quan els dos conceptes son aplicats a la industria, no només coexisteixen sinó que s'ajuden l'un a l'altre.

Per a saber com es du a terme aquesta relació, primer s'ha de saber exactament que son aquests conceptes i com s'han mesurat i avaluat al llarg dels darrers anys.

### 2.1. Que es l'economia circular?

L'economia circular [1] és un model de producció i consum que implica compartir, llogar, reutilitzar, reparar, renovar i reciclar materials i productes existents totes les vegades que sigui possible per a crear un valor afegit.



Figura 1.1 Esquema de la economia circular

Font: Web del Parlament Europeu [2]

L'objectiu principal que té aquest model és reduir els residus al mínim mitjançant la reutilització dels productes amb un cicle de vida acabat. Es vol que el cicle de vida dels materials o productes sigui infinit.



Una de les raons per la qual es important adaptar aquest model, es l'augment de la demanda de matèries primeres. Les matèries primeres son escasses i finites, cosa que fa el factor de reutilització molt important. L'altra principal raó es l'impacte mediambiental que te el model actual d'un sol us, impacte que es veuria dràsticament reduït amb el model d'economia circular. El model d'un sol us també afecta al consumidor, ja que empra la obsolescència programada per a afavorir un sistema que utilitza materials més barats.

Els beneficis que l'economia circular te son:

- Prevenció de residus.
- Reducció de costos.
- Reducció d'emissions d'efecte hivernacle.
- Productes mes duradors i innovadors.

L'economia circular és la intersecció dels aspectes ambientals, econòmics i socials. Es proposa un nou model de societat que utilitza i optimitza els estocs i els fluxos de materials, energia i residus i el seu objectiu és l'eficiència de l'ús dels recursos.

L'economia circular és generadora d'ocupació. El sector de la gestió dels residus representa a Espanya milers de llocs de treball.

En un context d'escassetat i fluctuació dels costos de les matèries primeres, l'economia circular contribueix a la seguretat del subministrament i a la reindustrialització del territori nacional.

Els residus d'uns esdevenen recursos per a altres. El producte ha de ser dissenyat per a ser desconstruït. L'economia circular aconsegueix convertir els residus en matèries primeres, paradigma d'un sistema de futur. Finalment, aquest sistema és un sistema generador d'ocupació local i no deslocalitzable.

L'economia circular funciona seguint els següents principis:

- L'eco-concepció: considera els impactes mediambientals al llarg del cycle de vida d'un producte i els integra des del començament.

- L'ecologia industrial i territorial: establiment d'una manera d'organització industrial en un mateix territori caracteritzat per una gestió optimitzada dels estocs i dels fluxos de materials, energia i serveis.
- L'economia de la "funcionalitat": privilegiar l'ús davant de la possessió, la venda d'un servei enfront d'un bé.
- El segon ús: reintroduir al circuit econòmic aquells productes que ja no es corresponen a les necessitats inicials dels consumidors.
- La reutilització: reutilitzar certs residus o certes parts dels mateixos, que encara poden funcionar per a l'elaboració de nous productes.
- La reparació: trobar una segona vida als productes espatllats.
- El reciclatge: aprofitar els materials que es troben en els residus.
- La valorització: aprofitar energèticament els residus que no es poden reciclar.

## 2.2. Que es la Industria 4.0?

La industria 4.0 [3] es la transformació digital al sector industrial mitjançant tecnologies disruptives com per exemple les TIC (Tecnologies de la informació i comunicació).

L'objectiu principal d'aquesta transformació digital es permetre un procés de producció més flexible i eficient a partir de l'ús de les TIC. Les TIC s'empren per a la recollida i anàlisi de dades. Això vol dir que les empreses, especialment manufactureres, tindran una major capacitat per a reaccionar més ràpidament a la demanda, reduint costos d'estoc i producció.

La industria 4.0 no només permet millorar els actuals models de negoci, també propicia la aparició de nous models basats en dades i connectivitat dels productes amb IoT. Hi ha una sèrie de tecnologies clau que ajuden al desenvolupament dels nous models que han aparegut a partir de la disrupció de la industria 4.0. Hi ha 3 grans categories que es determinen mitjançant quin es l'objectiu de cada tipus de tecnologia:

- **Tecnologies d'hibridació entre el món físic i el món virtual:** Els millors exemples d'aquests tipus de tecnologia són la robòtica i la realitat virtual. La robòtica col·laborativa és el millor exemple d'aquest apartat ja que directament es basa en la implementació de robòtica que ajuda als treballadors o usuaris a realitzar tasques que abans no podien fer o a fer-les més eficient i eficaçment.
- **Tecnologies de comunicació i tractament de dades:** El cloud computing i la ciberseguretat, elements clau a l'hora de emprar les TIC a les Smart Factories. La ciberseguretat aporta nous mètodes de seguretat per a que les empreses es puguin defensar dels constants ciberatacs. A més és un canvi necessari a l'hora de fer un procés de transformació digital, ja que normalment això implica la introducció de moltes TIC que han de tenir les seves pròpies estratègies de seguretat. El cloud computing ajuda al tractament de dades, no només per part de les empreses si no també per part dels usuaris.
- **Tecnologies de gestió:** La gran majoria de innovacions que venen de la mà de la indústria 4.0 al camp de la gestió en forma de tecnologia tenen que veure amb el Big Data. Les dades que s'analitzen emprant Big Data són de una gran mida, complexitat i varietat. Aquestes característiques es coneixen com les tres V. El volum de les dades és molt gran i no estan estructurades. La velocitat en que es reben dades és molt gran, cosa que fa complicat l'anàlisi. I la varietat de dades que s'analitzen és molt gran, i degut a que les dades no estan estructurades segons tipus per defecte, es recomana combinar-lo amb dades més estructurades.

El IoT és un dels conceptes més importants relacionats amb la indústria 4.0. La idea és fer que diferents dispositius col·laborin mitjançant la transferència de dades en xarxa per aconseguir uns objectius comuns. Per tal d'aconseguir això s'ha de fer que qualsevol element pugui estar connectat a internet sense la intervenció d'un ésser humà. Aquests elements poden ser sensors, actuadors i altres dispositius que puguin afegir valor.

Els impactes directes que té el concepte de IoT són diferents per als usuaris i la indústria. Per als usuaris els majors impactes tenen a veure amb domòtica i la pròpia utilització de tecnologies IoT al món laboral. A la indústria els impactes es veuran reflectits a l'automatització, la producció, la logística i el transport.

Les innovacions en tecnologies mòbils i de sensors permeten crear una representació digital de gairebé qualsevol entitat física i els seus paràmetres al llarg del temps i en qualsevol lloc. Les tecnologies RFID, per exemple, s'utilitzen per connectar a terra representacions digitals, que s'utilitzen per rastrejar i georeferenciar entitats físiques. En general, els mons físics i les representacions digitals queden interconnectats, de manera que les manipulacions de qualsevol dels dos tindrien efecte sobre l'altre.

Els productes intel·ligents són productes que apliquen tractament de dades i IoT per tal de proporcionar un servei idoni a l'usuari. Algunes característiques són:

- Situat: Reconeixement i processament de contextos situacionals.
- Personalitzat: S'adapta a les necessitats del consumidor.
- Adaptatiu: Canvia segons el feedback del consumidor.
- Proactiu: S'anticipa als plans i intencions del consumidor.
- Consciència empresarial: Té en compte les restriccions legals i empresarials.
- Localització conscient: Té en compte el rendiment funcional i l'elecció de ubicació.
- Capacitat de xarxa: capacitat de comunicar i agrupar-se amb un altre producte o conjunt de productes de la mateixa empresa.

El concepte de Smart Product planteja desafiaments rellevants per a diverses àrees d'investigació, com ara màrqueting, enginyeria de productes, informàtica, intel·ligència artificial, economia, ciències de la comunicació, economia de mitjans, ciències cognitives, psicologia del consumidor, gestió de la innovació, etc.

Atès que els productes intel·ligents combinen un producte físic amb serveis addicionals, són una forma de sistema de servei de productes. Els Smart Product es dissenyen amb dos objectius principals:

- Simplicitat: millora de la interacció producte a usuari (PSU). Per tal de millorar la simplicitat d'interacció entre els productes i els seus usuaris durant el cicle de vida, és important aplicar de manera innovadora les tecnologies de la informació. L'objectiu és millorar la interacció entre els productes i els éssers humans, és a dir, convertir els productes en intel·ligents. S'ha de treballar en aspectes com la interfície d'usuari, la qual s'ha d'aconseguir que sigui molt intuïtiva i de fàcil

comprensió i sobretot que sigui adaptable, millorant d'aquesta manera la interacció.

- Obertura: millora de la interacció entre productes (P2P). Tecnologies com el IoT, permeten als productes comunicar-se entre ells. Això implica una millora de la interacció entre aquests

La indústria 4.0 es el futur i el present de la indústria, ja que no només ajuda a millorar la eficiència del procés de producció, també ajuda a la eficiència energètica. La millora a la eficiència energètica tindrà un gran impacte positiu al medi ambient, raó per la qual la indústria 4.0 es una evolució necessària a la indústria.

La indústria 4.0 té un clar impacte positiu, però també presenta desafiaments que implicaran una necessitat d'adaptació com a societat:

- Ocupació: Amb l'augment de la productivitat i la automatització ve un impacte obvi, que es la desaparició de molts llocs de treball. S'haurà de fer una transició cap a noves línies de treball que substitueixin la desaparició dels llocs de treball que tenen que veure amb tasques monòtones. El perfil de treballador canviarà i es requerirà una major formació no només en tecnologia, sinó també en interpersonal skills.
- Formació: La formació serà clau per a l'èxit de la transició a la indústria 4.0. Les empreses hauran de formar no només els enginyers, sinó també la resta de treballadors per tal que la gent sàpiga emprar les noves tecnologies que s'implementaran al lloc de treball. No només les empreses han de formar en la transició a la indústria 4.0, sinó també les escoles universitàries i els cicles de formació professional. El perfil d'enginyer continua evolucionant, i per tant la formació acadèmica ha de fer el salt necessari per a tenir futurs enginyers completament equipats amb el know-how necessari per a afegir valor durant aquesta transició.

### **3. Objectius de detall i especificacions tècniques.**

En aquest projecte es vol aconseguir una metodologia que mesuri bé els conceptes de Indústria 4.0 i Economia Circular. Per tal d'aconseguir-ho, es marca una sèrie d'objectius. Cada objectiu té unes especificacions que fan possible l'assoliment dels mateixos.

#### **1) Elaboració d'una metodologia de mesura que millori la precisió de les metodologies existents per a la Indústria 4.0.**

- Estudi de les metodologies existents mitjançant una recerca extensiva.
- Disseny d'algorisme per al càlcul de les puntuacions i les mesures.
- Utilització d'indicadors de dimensions empresarials, de població, de know-how, energètiques, d'inversió, d'innovació i de país.
- Mètodes estadístics com l'anàlisi factorial i clúster i ús de software SPSS.

#### **2) Elaboració d'una metodologia de mesura que millori la precisió de les metodologies existents per a l'Economia Circular.**

- Estudi de les metodologies existents mitjançant una recerca extensiva.
- Utilització d'indicadors de dimensions empresarials, de reciclatge, de residus, de població, de know-how, energètiques, d'inversió, d'innovació i de país.
- Disseny d'algorisme per al càlcul de les puntuacions i les mesures.
- Mètodes estadístics com l'anàlisi factorial i clúster i ús de software SPSS.

#### **3) Anàlisi de la relació entre la Indústria 4.0 i la Economia circular.**

- Recerca exhaustiva dels dos conceptes i els seus punts en comú.
- Observació de la relació entre les mesures dels dos conceptes emprant els indicadors dels 2 conceptes i fent un anàlisi factorial i clúster junt.

- Comparació dels resultats obtinguts observant quants clústers i factors surten similars.

## **4. Marc Conceptual.**

Actualment ja hi existeixen mètriques emprades per a mesurar el nivell de Indústria 4.0 i economia circular. Per tal de fer la nostra pròpia metodologia s'observa l'estat de les mètriques actuals, es veu el que fan i el que no fan, i s'aprofita la informació disponible. Aquest apartat té aquest objectiu.

### **4.1. Mètriques existents per a la mesura de l'Economia circular.**

L'economia circular es un concepte una mica complicat de mesurar, ja que els indicadors normalment emprats solen tenir una verificació més difícil i una disponibilitat menor. A continuació s'expliquen les mètriques existents més rellevants i les seves característiques més importants.

#### **4.1.1. Circulytics.**

Circulytics [4] pertany a la fundació Ellen MacArthur i proporciona un servei de mesura del nivell de circularitat de la economia de qualsevol empresa. La empresa que vol fer us del seu servei ha de respondre a un qüestionari previ que consta de preguntes relacionades amb els indicadors que Circulytics considera rellevants a l'hora de realitzar la mesura. Aquests indicadors es divideixen en enablers i outcomes.

Els indicadors de tipus enabler son mesurats amb preguntes relacionades amb estratègia i planificació, innovació, capital humà i skills, operacions i relacions externes.

Els indicadors de tipus outcome son mesurats amb preguntes relacionades amb productes i materials, serveis, els assets de l'empresa, aigua, energia i finances.

Grans empreses com CocaCola, HermanMiller, IKEA, etc. han emprat aquesta metodologia per a mesurar la circularitat de la seva economia.

Encara que Circulytics permet que el seu qüestionari sigui de públic accés per a que qualsevol persona pugui utilitzar-lo, l'algorisme emprat per a calcular la valoració no es públic per raons obvies.



### 4.1.2. Forética.

Forética defineix un full de ruta o metodologia per a mesurar l'economia circular. Aquesta metodologia es basa en fer 3 preguntes, que mesurar, com mesurar i per a que mesurar.



Figura 4.1 Esquema d'un full de ruta per a mesurar la economia circular.

Font: [https://foretica.org/wp-content/uploads/informe\\_medida\\_economia\\_circular\\_foretica.pdf](https://foretica.org/wp-content/uploads/informe_medida_economia_circular_foretica.pdf)

El primer pas es avaluar la eficiència operacional mitjançant la mesura dels fluxos físics que es donen a l'empresa (inputs i outputs). També es mesura el potencial circular de l'empresa considerant les operacions actuals. Hi han múltiples indicadors que es poden mesurar per tal de aplicar aquest mètode.

Una vegada s'ha efectuat el primer pas, el següent pas es identificar els fluxos de materials prioritaris durant el cicle de vida del producte, processos o serveis. També es necessari identificar els possibles fluxos de sortida (residus, emissions de gas, etc.).

El següent pas es identificar les prioritats de l'empresa i estudiar a quina part de la cadena de valor seria millor actuar. S'ha d'observar la quantitat de residus i emissions de gas

s'estan generant, la quantitat de recursos que s'estan emprant i quines tecnologies hi ha per a millorar aquestes àrees.

Quan es parla de com mesurar, es parla de metodologies per a mesurar la circularitat de l'economia. Una de les metodologies esmentades es la de Circulytics, explicada al punt anterior. També s'esmenten altres metodologies com el Circular Economy Toolkit i Circle Assessment, les quals seran explicades de manera més detallada als següents punts.

Forética deixa clar que s'ha de saber per a que es vol mesurar l'economia circular, això vol dir que hi ha d'haver una estratègia i uns objectius clars a l'hora de decidir prioritats i prendre la decisió d'adaptar-se a l'economia circular.

### 4.1.3. Circular Economy Toolkit.

Aquesta eina [5] ofereix una via ràpida i senzilla de fer un qüestionari bastant semblant als existents a altres metodologies. A la web hi ha un apartat anomenat Assessment Tool que proporciona un qüestionari bastant simple que ajuda a avaluar quines àrees tenen un major potencial de millora segons les dades proporcionades al qüestionari.

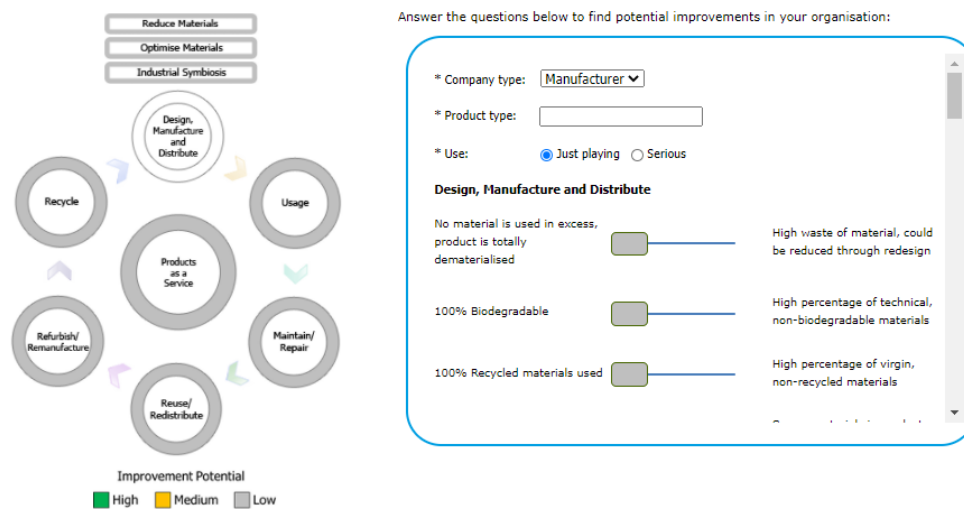


Figura 4.2 Exemple de qüestionari.

Font: Circular Economy Toolkit. Link:  
<http://circulareconomytoolkit.org/Assessmenttool.html>

Com es pot observar a la figura, la eina dona opcions per a escollir quin tipus d'empresa vol mesurar la circularitat de la seva economia. Segons els resultats, la eina donarà consells sobre quines millores es poden fer per a adaptar-se millor.

#### **4.1.4. Circle Assessment.**

Circle Assessment [6] es altra eina online que segueix el mateix principi que Circle Economy Toolkit. Es dona un qüestionari a l'empresa amb preguntes clau per a determinar el grau de circularitat de la seva economia. La empresa rebrà una puntuació del grau de circularitat, una identificació de les estratègies pròpies de la empresa que ajuden a la circularitat, idees de futures oportunitats que l'empresa podria perseguir i els principals desafiaments que s'han de d'adreçar.

## **4.2. Mètriques existents per a la mesura de la Indústria 4.0.**

La indústria 4.0 es un concepte una mica més fàcil de mesurar que l'economia circular. La verificació de les dades es més fàcil i la disponibilitat es molt mes gran. A continuació s'expliquen les mètriques existents mes rellevants i les seves característiques mes importants.

### **4.2.1. Flexis AG.**

Flexis AG [7] presenta 5 indicadors per a mesurar la Indústria 4.0 al sector empresarial. Els indicadors es basen en els punts clau que determinen si la empresa està fent un esforç per a fer una transició cap a la Indústria 4.0, ja que tenir un munt de dispositius IoT instal·lats es un requeriment necessari, però no suficient. Els indicadors son els següents:

- **Puntuació de maduresa digital:** Una efectiva transformació digital es un prerrequisit important a l'hora de treure valor de les tecnologies IoT. Per aquesta raó es recomana definir cada àrea de la empresa i donar una puntuació per àrea. Una alta puntuació es dona a la àrea que adopta noves tecnologies i les integra de manera que ajuden a aconseguir els objectius estratègics. Una baixa puntuació es dona a les àrees que no tenen gaire noves tecnologies i que les tecnologies existents no interactuen amb altres àrees per tal de fer els sistema més eficient.
- **Precisió de la previsió:** Una de les principals metes de la Indústria 4.0 es donar a les empreses el poder de prevenir possibles disruptcions i problemes abans de que passin. Això vol dir que el valor de les dades que es col·leccionen a la empresa es

pot determinar observant el marge d'error en indicadors com demanda, parts, preus i altres previsions relacionades amb la cadena de valor.

- Temps de cicle de comanda: Si les previsions de demanda i parts son molt millors que abans, la empresa hauria de sofrir menys escassetat o excés de matèries primeres, i el temps de cicle de comanda hauria de millorar. Per aquesta raó s'ha d'analitzar quants de temps passa des que el consumidor fa una comanda fins a que la entrega es completa. En el cas de que aquest temps no hagi millorat des de la ultima vegada que es va adquirir nova tecnologia, s'ha de reavaluar la integració de la tecnologia.
- Taxa d'ompliment: Si tots els indicadors anteriors tenen una puntuació elevada, s'hauria de traduir a una millora en la fiabilitat i precisió de el compliment de comandes. La manera de mesurar aquest indicador es fer el % de les comandes que estan completades al 100%. Si el % es alt vol dir que la empresa està mantenint un bon seguiment de les comandes, la producció i la cadena logística. Si el % es baix, vol dir que el seguiment realitzat es pobre i s'ha de redissenyar.
- Satisfacció del consumidor: Un dels principals objectius de la industria 4.0 es augmentar l'agilitat i flexibilitat de las empreses a les demandes del consumidor. Qualsevol millora que es fa al negoci ha de tenir com a objectiu final la satisfacció del consumidor.

#### **4.2.2. Indicadors emprats per a països de la UE i mètode Procedia CS.**

Per a mesurar el nivell de Industria 4.0 dels diferents països de la UE s'empren uns indicadors mols genèrics [8]. Els indicadors s'han obtingut de la base de dades Eurostat i de la base de dades TUIK [20-21]. Els indicadors son els següents:

- Empreses que tenen paquet de programari ERP
- Empreses que utilitzen la gestió de la relació amb el client (CRM)
- Compartir informació de gestió de la cadena de subministrament

- Empreses que proporcionen dispositius portàtils per a una connexió mòbil a Internet
- Empreses que han rebut comandes en línia
- Empreses que utilitzen solucions de programari com Customer Relationship Management (CRM)
- Empreses que tenen paquet de programari ERP per compartir informació entre diferents àrees funcionals
- Empreses amb accés de banda ampla
- Empreses que utilitzen Internet en la comunicació amb institucions públiques
- Empreses que utilitzen aplicacions de Cloud Computing.

Procedia CS utilitza 2 mètodes. Un dels mètodes empra una simple fórmula que calcula la puntuació relativa de països de la UE. La fórmula és la següent:

$$\frac{\text{country value} - \text{sample minimum}}{\text{sample maximum} - \text{sample minimum}}$$

Els resultats finals mostrats pel mètode són els següents:

Country	Secondary Indicators										Industry 4.0 Index	
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	Score
Denmark	0.8043	0.5924	1.0000	0.9623	0.9259	0.6561	0.8043	0.9545	0.8824	0.7576	0.8340	1
Finland	0.5870	0.7554	0.6364	1.0000	0.5556	0.7884	0.5870	1.0000	0.9412	1.0000	0.7851	2
Belgium	0.8696	0.8098	0.7273	0.7358	0.7778	0.8148	0.8696	0.8636	0.7059	0.4545	0.7629	3
Netherlands	0.7609	1.0000	0.5909	0.5283	0.4815	1.0000	0.7609	1.0000	0.7353	0.6667	0.7524	4
Germany	1.0000	0.9457	0.7727	0.4906	0.8519	0.9471	1.0000	0.7727	0.5294	0.1818	0.7492	5
Sweden	0.5000	0.7011	0.2273	0.8302	0.8889	0.6825	0.7174	0.8636	0.8824	0.8182	0.7112	6
Lithuania	0.6522	0.6739	0.7273	0.7547	0.5926	0.6561	0.6522	1.0000	1.0000	0.2727	0.6982	7
Norway	0.2174	0.7283	0.5455	0.8302	0.8889	0.7354	0.4783	0.6818	0.7059	0.8182	0.6630	8
Austria	0.6739	0.9457	0.3182	0.6604	0.4444	0.9206	0.6739	0.9091	0.7941	0.2121	0.6552	9
Ireland	0.3261	0.5380	0.2727	0.5660	1.0000	0.6296	0.3261	0.9091	0.8824	0.5758	0.6026	10
Portugal	0.7391	0.5380	0.4091	0.5660	0.5926	0.5238	0.7391	0.8182	0.7941	0.2727	0.5993	11
Luxembourg	0.6304	0.7011	0.4545	0.7170	0.2222	0.7090	0.6304	0.8636	0.7353	0.2424	0.5906	12
Cyprus	0.7174	0.8098	0.4091	0.3585	0.3704	0.7884	0.7174	0.8182	0.5882	0.1818	0.5759	13
France	0.6304	0.5652	0.2273	0.5849	0.5185	0.6032	0.6304	0.8182	0.9118	0.2121	0.5702	14
Spain	0.5435	0.6467	0.4091	0.6604	0.5926	0.6825	0.5435	0.8636	0.5000	0.2424	0.5684	15
Czech Republic	0.4348	0.2663	0.5909	0.6792	0.8889	0.2857	0.4348	0.9091	0.8529	0.2424	0.5585	16
Slovenia	0.4348	0.5380	0.2727	0.6981	0.4074	0.5238	0.5000	0.9545	0.8235	0.3333	0.5486	17
Croatia	0.4130	0.3207	0.7273	0.7925	0.5926	0.3386	0.4130	0.5455	0.8235	0.3636	0.5330	18
Iceland	0.0217	0.5109	0.3636	0.8679	0.7407	0.2593	0.0217	0.7273	0.7059	0.9091	0.5128	19
Malta	0.4348	0.4565	0.2273	0.6038	0.6296	0.4974	0.4348	0.7727	0.6765	0.3030	0.5036	20
Estonia	0.2609	0.4293	0.3182	0.6415	0.4815	0.4709	0.2609	0.7727	0.8824	0.4242	0.4942	21
Slovakia	0.4348	0.2935	0.5909	0.6226	0.3333	0.3386	0.4348	0.6364	0.7941	0.2727	0.4752	22
UK	0.1522	0.4837	0.1818	0.5094	0.5926	0.5503	0.1522	0.7273	0.7647	0.5455	0.4660	23
Italy	0.5652	0.5109	0.2273	0.4528	0.1852	0.5503	0.5652	0.7273	0.5882	0.1818	0.4554	24
Poland	0.2391	0.4022	0.4091	0.4528	0.2963	0.3915	0.2391	0.6818	0.7353	0.0909	0.3938	25
Macedonia	0.4565	0.5109	0.3636	0.5283	0.0000	0.3386	0.1739	0.7273	0.7059	0.0909	0.3896	26
Serbia	0.0000	0.5109	0.3636	0.5283	0.6667	0.1534	0.0000	0.9545	0.7059	0.0000	0.3883	27
Greece	0.5870	0.2935	0.3182	0.1321	0.2593	0.3386	0.5870	0.3182	0.5588	0.0909	0.3483	28
Latvia	0.1304	0.2391	0.0000	0.4717	0.1852	0.2328	0.1304	0.8636	0.8235	0.0909	0.3168	29
Hungary	0.1304	0.1304	0.0455	0.4717	0.3333	0.1534	0.1304	0.6364	0.5588	0.1515	0.2742	30
Turkey	<b>0.2196</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0455</b>	<b>0.4245</b>	<b>0.2926</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.2196</b>	<b>0.6545</b>	<b>0.4206</b>	<b>0.2818</b>	<b>0.2559</b>	<b>31</b>
Bulgaria	0.3261	0.1848	0.4545	0.0000	0.0741	0.2063	0.3261	0.0000	0.5294	0.0606	0.2162	32
Romania	0.2609	0.2663	0.0909	0.0377	0.1481	0.2857	0.2609	0.0909	0.0000	0.0909	0.1532	33

Figura 4.3 Ranking dels països de la UE i altres

El segon mètode emprà anàlisi clúster (explicat a la viabilitat tècnica) per a fer un ranking entre regions de la UE en comptes de països. Els clústers resultants son els següents:

- Clúster 1: França, Portugal, Malta, Eslovènia, Luxemburg, Àustria, Espanya, Xipre, Itàlia.
- Clúster 2: Bèlgica, Alemanya, Països Baixos, Suècia, Noruega, Dinamarca, Finlàndia, Lituània.
- Clúster 3: Bulgària, Grècia, Romaniaa.
- Clúster 4: Hongria, Turquia, Letònia, Polònia, Macedònia, Sèrbia.
- Clúster 5: Croàcia, Eslovàquia, República Txeca, Estònia, UK, Irlanda, Islàndia.

#### **4.2.3. World Economic Forum report.**

El World Economic Forum [9] es una de les institucions no governamentals més importants al mon econòmic. Al 2018 van realitzar un report amb la col·laboració de A.T. Kearney, una empresa de consultoria de gestió global. L'objectiu era proporcionar un marc d'anàlisi per al nivell de preparació dels països per a la revolució de la Indústria 4.0.

El report identifica una sèrie de tecnologies que seran clau per al futur de la indústria. Aquestes tecnologies son les següents:

- Intel·ligència artificial i robòtica: Desenvolupament de màquines que puguin substituir els humans, cada cop més en tasques associat amb el pensament, la multitasca i la motricitat.
- Internet de les coses: L'ús de sensors en xarxa per connectar, fer el seguiment i gestionar de forma remota productes, sistemes i xarxes.
- Realitat virtual i augmentada: Interfícies del següent pas entre humans i ordinadors que impliquen entorns immersius, lectures hologràfiques i superposicions produïdes digitalment per a experiències de realitat mixta.

- Fabricació additiva: Avenços en la fabricació additiva, utilitzant una gamma cada vegada més àmplia de materials i mètodes. Les innovacions inclouen la bioimpresió 3D de teixits orgànics.
- Blockchain i tecnologia de registre distribuït: Tecnologia de registre distribuït basat en sistemes criptogràfics que gestionen, verifiquen i registren públicament les dades de transaccions. Es la base de les criptomonedes com el bitcoin.
- Nanomaterials i altres materials avançats: Creació de nous materials i nanoestructures per al desenvolupament de material amb propietats beneficioses, com ara l'eficiència termoelèctrica, la retenció de la forma i la nova funcionalitat.
- Captació, emmagatzemant i distribució d'energia: Avenços en l'eficiència de les bateries i les piles de combustible, energies renovables a través de tecnologies solar, eòlica i marítimes, distribució d'energia mitjançant sistemes de xarxa intel·ligent; transferència d'energia sense fil, i més.
- Noves tecnologies de computació: Noves arquitectures per a maquinari informàtic, com ara la informàtica quàntica, la informàtica biològica o processament de xarxes neuronals, així com l'expansió innovadora de les tecnologies informàtiques actuals.
- Biotecnologies: Innovacions en enginyeria genètica, seqüenciació i terapèutica, així com interfícies computacionals biològiques i biologia sintètica.
- Geoenginyeria: Intervenció tecnològica en sistemes planetaris, normalment per mitigar els efectes del clima canvien eliminant el diòxid de carboni o gestionant la radiació solar.
- Neurotecnologia: Innovacions com ara drogues intel·ligents, neuroimatge i interfícies bioelectròniques que permeten llegir, comunicar i influir en l'activitat cerebral humana.
- Tecnologies espacials: Desenvolupaments que permeten un major accés i exploració de l'espai, inclosos els microsatèl·lits, telescopis avançats, coets reutilitzables i motors de reacció de coets integrats.

A més, el report empra els conceptes de **Estructura de producció** i els **Impulsors de la producció**.

La estructura de producció es clau. La producció és un dels diversos catalitzadors de creixement dels països per a perseguir augmentar la prosperitat de les persones i aconseguir altres objectius. L'estructura de producció d'un país depèn de diverses variables, incloses les decisions estratègiques que un país fa per prioritzar el desenvolupament del sector en l'agricultura, mineria, indústria i serveis. Aquesta estructura reflecteix la complexitat i escala de la base de producció d'un país. Països amb un gran, més complexa estructura de producció avui estan més preparats per al futur, ja que ja tenen una base de producció sobre la qual construir.

La estructura de producció es divideix en dos conceptes:

- **Complexitat:** Avalua la barreja i la singularitat de productes que un país pot fer com a resultat de la quantitat de coneixements útils integrats en l'economia i les maneres en què es combinen aquests coneixements.
- **Escala:** Avalua tant el volum total de fabricació de producció dins d'un país (valor afegit de fabricació) com la importància de la indústria manufacturera per a l'economia.

Els impulsors de la producció està dividit en enablers clau que posicionen un país a la posició de treure profit de les tecnologies futures i les oportunitats pel futur de la producció. Es va emprar un procés consultiu per a identificar sis motors principals:

- **Tecnologia i Innovació:** Avalua fins a quin punt un país té una TIC avançada, segura i connectada a infraestructures per donar suport a l'adopció de noves tecnologies en producció. També mesura la capacitat d'un país per fomentar innovar i comercialitzar les innovacions que tenen aplicació potencial en la producció.
- **Capital humà:** Avalua la capacitat de resposta d'un país als canvis en el mercat laboral de producció provocats per la Quarta Revolució Industrial mirant ambdues actuals capacitats de la força de treball així com la capacitat a llarg termini de cultivar les habilitats i el talent adequats en la futura mà d'obra.



- **Comerç i Inversió Global:** Avalua la participació d'un país en el comerç internacional per facilitar l'intercanvi de productes, coneixements, tecnologia, i l'establiment de vincles globals. També mesura la disponibilitat de recursos financers, recursos per invertir en el desenvolupament relacionat amb la producció i la qualitat de les infraestructures relacionades amb les activitats de producció.
- **Marc Institucional:** Avalua l'eficàcia de les institucions governamentals, si les normes i els reglaments contribueixen al desenvolupament tecnològic, les noves empreses i la fabricació avançada.
- **Recursos Sostenibles:** Avalua l'impacte de la producció sobre el medi ambient, inclòs l'ús de recursos naturals i fonts d'energia alternatives.
- **Entorn de la Demanda:** Avalua l'accés d'un país a la demanda estrangera i local per escalar la producció. També mesura la sofisticació de la base de consumidors i com aquesta pot impulsar una activitat industrial diversa i nous productes.

L'avaluació inclou 59 indicadors que recullen pertinents conceptes fonamentals per a la preparació d'un país el futur de la producció. Aquests indicadors son mesurats per organitzacions reconegudes internacionalment com la Agència Internacional de l'Energia (AIE), Organització per a la Cooperació i el Desenvolupament Econòmic (OCDE), Nacions Unides (ONU), Organització Científica i Cultural (UNESCO), Banc Mundial (BM) i altres. La valoració també inclou indicadors del Fòrum Econòmic Mundial Enquesta d'opinió executiva (EOS) que mesura el qualitatiu aspectes de diverses dimensions, o serveix com a substitut on no hi havia dades estadístiques comparables disponibles per a una gran quantitat suficient conjunt de països.

Els indicadors son els següents:

- **Estructura de la producció:** Complexitat de la economia, Valor afegit de la manufactura en la economia, Valor afegit de la manufactura.
- **Impulsors de la producció:** Contractes de telèfons mòbils, Cobertura de xarxa mòbil LTE, usuaris de internet, Transferència de tecnologia, Capacitat de les empreses per a emprar noves tecnologies, Models de negoci que implementen les TIC, Estat del desenvolupament de clústers, Inversió de les empreses en

tecnologies emergents, Implicació del Govern en promoure tecnologies avançades, Empreses que accepten idees disruptives, Col·laboració intraempresarial, Inversió en recerca i desenvolupament, Publicacions tècniques i científiques, aplicacions per a patent, Volum de acords de capital de risc, Volum d'acords de capital de risc depenent del mida de la economia.

- Capital humà: Ocupació al sector de la manufactura, Ocupació a sectors que requereixen un coneixement gran, Participació de la dona en la mà d'obra, Mitjana d'anys d'escolarització, Disponibilitat de científics i enginyers, Habilitat de la població per a emprar aparells digitals, Migració, Capacitat del país per a atraure i mantenir talent, Qualitat de les universitats, Qualitat de l'educació en matemàtiques i ciència, Qualitat de la formació professional, expectativa de vida escolar, Proporció alumne/professor a la educació primària, pensament crític en l'ensenyament, polítiques d'ocupació activa, Entrenament al lloc de treball, Practiques de contractació i acomiadament.
- Comerç i Inversió Global: Comerç, Prevalença de barreres al comerç, Rendiment logístic, Inversions greenfield, Afluència de FDI, Crèdit domèstic al sector privat, Infraestructura de transport, Infraestructura elèctrica.
- Marc Institucional: Eficiència reguladora, Índex de percepció de corrupció, Futura orientació del govern, La llei.
- Recursos Sostenibles: Us de l'energia nuclear i alternatives, Nivells de CO<sub>2</sub>, Nivells de metà, Nivells de òxid de nitrogen, Estrès hídric bàsic, Tractament de l'aigua bruta.
- Entorn de la Demanda: Mida del mercat, Sofisticació del comprador, Extensió de la dominació del mercat.

#### **4.2.4. ScienceDirect maturity model for assessing Industry 4.0.**

El portal web ScienceDirect [10] publica un article on s'ofereix un model de maduresa d'Indústria 4.0. De la mateixa manera que aquest projecte està fent, els autors han cercat i detectat certs models existents que mesuren el nivell d'Indústria 4.0 majoritàriament a nivell de companyia. Aquests models s'explicaran amb més de detall en següents apartats.

Amb aquesta informació, s'han detectat problemes que impedeixen l'avanç de la Indústria 4.0:

- Les empreses no tenen un clar concepte de que es la Indústria 4.0 i per tant tenen masses dubtes dels possibles beneficis que pugui tenir la seva implementació.
- Les empreses no tenen els coneixements per a mesurar el seu propi nivell de Indústria 4.0, fent impossible prendre mesures per a millorar.

Després d'analitzar tots els models actuals, els autors han detectat 9 dimensions clau que poden determinar el nivell d'Indústria 4.0:

- Estratègia: Implementació del full de ruta de I4.0, recursos disponibles per a l'aplicació, adaptació dels models de negoci, etc.
- Lideratge: Que els líders tinguin les competències, mètodes, coordinació i voluntat per a dur a terme la estratègia confeccionada.
- Consumidors: Utilització de les dades dels consumidors, digitalització de les ventes i serveis, competències dels consumidors a l'hora d'emprar eines digitals, etc.
- Productes: Individualització de productes, Digitalització de productes, integració de productes en altres sistemes, etc.
- Operacions: Descentralització de processos, modelització i simulació, disciplina, col·laboració interdepartamental, etc.
- Cultura d'empresa: Compartir coneixement, innovació oberta i col·laboració creuada entre empreses, valor de les TIC a l'empresa, etc.
- Treballadors: Competències TIC dels empleats, obertura de empleats a les noves tecnologies, autonomia dels empleats, etc.
- Governança: Normativa laboral per I4.0, Idoneïtat de estàndards tecnològics, protecció de propietat intel·lectual, etc.
- Tecnologia: Existència de TIC modernes, utilització de dispositius mòbils i de comunicació maquina a maquina, etc.

## 5. Selecció d'indicadors.

Després d'haver observat i trobat un gran nombre de possibles indicadors per a mesurar la Indústria 4.0 i l'economia circular, s'han seleccionat els següents seguint criteris de rellevància.

### 5.1. Possibles indicadors d'Indústria 4.0.

A l'hora de escollir els possibles indicadors per a la indústria 4.0, s'ha focalitzat molt en les dimensions empresarials, de població, de know-how, energètiques, d'inversió, d'innovació i de país. Els indicadors seleccionats son els següents:

- Digital skills de la població
- Precisió de recolliment de dades a les empreses
- Skills amb ordinadors de la població
- Ús de xarxes socials
- Temps de cicle de comanda
- Qualitat de les universitats
- Taxa d'ompliment (comandes completades)
- Ús de la robòtica i impressió 3D
- Entrenament al lloc de treball
- Satisfacció del consumidor
- Empreses que utilitzen CRM
- Empreses que utilitzen IA
- Empreses que proporcionen dispositius portàtils per a connexió mòbil a Internet
- PIB/càpita en PPS
- Densitat de població
- Us de la blockchain
- Rendes familiars
- Consum d'energia
- Us de nanomaterials
- Inversió en R&D al sector d'educació universitària
- Us de neurotecnologia

- Inversió en R&D al sector d'empresa privada
- % de treballadors empleats al sector de R&D

## **5.2. Possibles indicadors d'economia circular.**

A l'hora de escollir els possibles indicadors per a l'economia circular, s'ha focalitzat molt en les dimensions empresarials, de reciclatge, de residus, de població, de know-how, energètiques, d'inversió, d'innovació i de país.

- Taxa de reciclabilitat dels productes
- Vida útil dels productes
- Nombre de materials reciclats emprats a la producció
- Material footprint
- Igualtat social
- Inversió privada en projectes o iniciatives de economia circular
- Llocs de treball generats per la economia circular
- Percentatge de llocs de treball provinents de la reutilització o reparació de productes
- Integració de disseny circular
- Residus generats
- Productivitat dels recursos
- Models de negoci circulars
- Malbaratament de menjar
- Taxa de revenda sense reparació
- Taxa de reciclatge de residus municipals
- Comerç de matèries primeres reciclables
- Conscienciació del consumidor
- Patents relacionades amb reciclatge i materials secundaris reciclables
- Reciclatge de bioresidus
- Nivell de transparència de institucions
- Taxa de reciclatge de residus elèctrics/electrònics
- Nombre d'empreses amb estratègies d'economia circular
- Generació de residus de packaging/càpita

### 5.3. Disponibilitat de dades

En quant a la part d'indicadors d'indústria 4.0 ha sigut relativament fàcil trobar un nombre mínim d'indicadors amb dades disponibles. Hi ha diversos indicadors que o son molt nous o els països simplement no volen publicar per motius estratègics.

L'economia circular, en quant a disponibilitat de dades, ha sigut més complicat. Encara que s'han trobat un bon nombre d'indicadors, molts son de temes de reciclatge, energia i innovació. En quant a les dimensió empresarials, no hi ha gaire informació enlloc.

### 5.4. Indicadors definitius d'Indústria 4.0.

Una vegada es té la llista d'indicadors ideals per a la indústria 4.0, s'han discriminat aquells indicadors que no tenen dades disponibles. La llista final d'indicadors es la següent:

- Digital skills de la població: Mostra el % de la població te un nivell basic o superior de digital skills.
- Skills amb ordinadors de la població: Mostra el % de la població sap com fer u ha fet una tasca tan simple com es copiar o moure un fitxer o carpeta.
- Ús de xarxes socials: Mostra el % de la població ha fet us de xarxes socials, ja sigui crear un perfil d'usuari i/o enviar missatges.
- Qualitat de les universitats (graduats d'universitat/any): Mostra una aproximació del nivell de qualitat de les universitats emprant dades de graduats d'universitat/any.
- Ús de la robòtica i impressió 3D: Mostra el % de empreses amb més de 10 treballadors que fan ús de robots industrials o de servei.
- Entrenament al lloc de treball: Mostra el % de empreses que fan cursos d'entrenament al lloc de treball.
- Empreses que utilitzen CRM(e-commerce): Mostra una aproximació del nombre d'empreses que utilitzen e-commerce emprant dades del % d'empreses que tenen com a mínim un 1% de facturació provinent de l'e-commerce.
- Empreses que utilitzen IA: Mostra el % d'empreses amb més de 10 treballadors que utilitzen al menys un tipus d'IA.

- PIB/càpita en PPS: Mostra el valor de PIB/Càpita en base a PPS (estàndard de RDU poder adquisitiu).
- Densitat de població: Mostra la densitat de població en persones/km<sup>2</sup>.
- Rendes familiars: Mostra els valors de renda familiar mitjana en euros.
- Consum d'energia: Mostra els valors de consum d'energia en equivalent a oli en milers de tones.
- Inversió en R&D al sector d'educació universitària (Despesa interna bruta): Mostra la quantitat d'inversió realitzada al sector educatiu universitari en milions d'euros.
- Inversió en R&D al sector d'empresa privada (Despesa interna bruta): Mostra la quantitat d'inversió realitzada al sector d'empresa privada en milions d'euros.
- % de treballadors empleats al sector de R&D: Mostra el % de treballadors a jornada completa que formen part de grups d'investigació de R&D.

La definició que s'ha donat de la Indústria 4.0 deixa dos conceptes principals molt clars. La revolució industrial que comporta aquests nous models que incorporen la indústria 4.0 necessiten de la incorporació de les TIC a l'entorn de treball, però també es necessita del know-how per a fer un us pràctic i eficient de la tecnologia, no només per part dels treballadors de les fàbriques, sinó també per part de la població general a l'hora de fer us de smart products. Per això no només es crític tenir un bon sistema educatiu, sinó també un bon sistema d'aprenentatge al lloc de treball. D'altra banda, indicadors com el PIB i els residus generats son importants ja que la Indústria 4.0 hauria d'ajudar a incrementar el PIB i reduir els residus generats.

## **5.5. Indicadors definitius d'Economia Circular.**

Una vegada es te la llista d'indicadors ideals per a l'economia circular, s'han discriminat aquells indicadors que no tenen dades disponibles. La llista final d'indicadors es la següent:

- Taxa de reciclabilitat dels productes (circular material use rate): Mostra el % de productes que s'han recuperat i reciclat per a ser convertits en nou productes.
- Nombre de materials reciclats emprats a la producció: Mostra la quantitat total de material reciclat per a la producció en milers de tones.

- Material footprint: Mostra la quantitat de matèria primera consumida en tones/càpita.
- Inversió privada en projectes o iniciatives de economia circular: Mostra la quantitat d'inversió realitzada en projectes o iniciatives d'economia circular en milions d'euros.
- Llocs de treball generats per la economia circular: Mostra el total de persones empleades a sectors relacionats amb la economia circular.
- Percentatge de llocs de treball provinents de la reutilització o reparació de productes: Mostra el % de persones empleades al sector de reutilització o reparació de productes.
- Residus generats: Total en tones de residus generats.
- Productivitat dels recursos: Mostra la productivitat dels recursos en euros/kg.
- Malbaratament de menjar: Mostra la quantitat de menjar malbaratat en kilograms/càpita.
- Taxa de reciclatge de residus municipals: Mostra en % la taxa de reciclatge dels residus municipals.
- Comerç de matèries primeres reciclables: Mostra en tones les importacions fetes per cada país de matèries primeres reciclables.
- Patents relacionades amb reciclatge i materials secundaris reciclables: Nombre total de patents relacionades amb reciclatge i materials secundaris reciclables.
- Reciclatge de bioresidus: Quantitat de bioresidus reciclats en kg/càpita.
- Taxa de reciclatge de residus elèctrics/electrònics: Mostra el % de residus de tipus elèctric/electrònic que s'ha reciclat.
- Generació de residus de packaging/càpita: Mostra el total de residus d'empaquetat que s'ha generat en kg/càpita.

Aquest grup d'indicadors son els escollits com a els més adients per a la mesura de la circularitat de l'economia. Degut a que el pilar bàsic de la economia circular es la reutilització, reparabilitat i vida útil dels productes i serveis, s'ha fet un focus gran en indicadors d'aquesta mena. També hi ha un fort component de sostenibilitat i interès per part del sector privat en fer promoció i us de l'economia circular. Tots aquests indicadors, a més de possibles conseqüències positives com noves línies de negoci i llocs de treball, expliquen molt bé la circularitat de l'economia.



## 5.6. Recopilació i creació de la base de dades.

Una vegada se sap quins són els indicadors disponibles, es troben i tracten les dades relacionades amb cada indicador. Totes les dades s'han extret de les bases de dades de l'Eurostat. L'objectiu ha sigut focalitzar l'estudi en els 3 anys previs a la pandèmia del Covid. No obstant, degut a la manca de algunes dades per a certs períodes de temps, s'ha optat per recollir dades de les més recents possibles quan les dels anys 2017-2018-2019 no eren disponibles. Alguns països de la UE tenen diferents estratègies, i mentre que alguns fan públiques les dades de forma anual, n'hi ha que ho fan cada 2 o 5 anys. Per tant, amb l'objectiu de no recollir informació de poc valor de fa massa temps, les dades s'adapten a la disponibilitat abans de ser tractades.

Com es pot suposar, les dades tenen diferents valors, criteris i unitats. Per tant, a l'hora de preparar les dades pel seu anàlisi, s'han de normalitzar els valors. La manera emprada a aquest projecte per a fer la normalització es emprant el software Microsoft Excel [11] i seguint el mètode clàssic de normalització:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (5.1)$$

On:

- z: Dada normalitzada.
- x: Dada sense normalitzar.
- $\mu$ : Mitjana.
- $\sigma$ : Desviació estàndard.

Realitzant aquesta operació per a tots els conjunts de dades, s'ha obtingut la base de dades final que es pot observar a l'annex. Aquestes són les taules normalitzades finals tenint en compte cada país de la Unió Europea i els indicadors corresponents:

14.0 INDICADORS AMB VALORS NORMALITZATS															
Països	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Belgium	0.38	0.41	1.57	-0.16	1.31	0.81	1.05	0.40	0.40	0.67	0.31	-0.04	0.02	0.16	1.07
Bulgaria	-2.09	-1.67	-0.90	-0.46	-1.01	-1.47	-0.22	-0.92	-1.15	-0.40	-1.29	-0.52	-0.59	-0.47	-0.92
Czechia	0.21	0.33	-0.57	-0.34	-0.19	0.89	0.37	-0.68	-0.21	-0.14	-0.70	-0.22	-0.39	-0.33	0.38
Denmark	1.30	1.73	2.12	-0.32	2.46	0.89	1.03	3.22	0.64	-0.14	1.62	-0.44	0.16	-0.11	1.73
Germany	0.98	1.58	-0.84	2.17	-0.15	0.52	0.40	0.20	0.51	0.19	0.80	3.47	3.99	4.36	0.95
Estonia	0.38	0.22	0.35	-0.68	-0.87	0.63	-0.38	-0.92	-0.47	-0.51	-0.55	-0.66	-0.56	-0.48	-0.60
Ireland	-0.56	-1.54	0.16	-0.32	-0.82	0.37	2.57	0.05	2.01	-0.37	0.99	-0.49	-0.37	-0.29	0.34
Greece	-0.63	0.19	-0.69	-0.38	-1.00	-2.30	-1.33	-0.44	-0.81	-0.33	-0.84	-0.40	-0.43	-0.42	-0.28
Spain	-0.05	0.15	-0.16	1.49	0.48	0.64	0.09	-0.12	-0.22	-0.30	-0.09	0.96	0.40	0.07	-0.49
France	0.07	0.08	-1.91	3.14	0.80	0.58	0.20	-0.46	0.09	-0.25	0.75	2.19	2.06	1.80	0.60
Croatia	-0.47	-0.11	-0.71	-0.56	-0.52	-0.65	0.17	0.03	-0.83	-0.36	-0.37	-0.58	-0.55	-0.47	-1.00
Italy	-1.01	-1.12	-1.72	1.23	0.25	-0.23	-1.36	-0.26	-0.09	0.08	0.15	1.64	0.85	0.57	0.25
Cyprus	-0.74	-0.84	0.95	-0.68	-1.11	0.16	-1.55	-1.07	-0.23	-0.29	-0.01	-0.69	-0.58	-0.49	-1.61
Latvia	-0.66	0.39	0.29	-0.65	-0.89	0.69	-1.03	-0.95	-0.76	-0.51	-0.90	-0.64	-0.57	-0.49	-1.26
Lithuania	-0.12	0.17	-0.23	-0.60	-0.87	-0.53	0.47	-0.53	-0.46	-0.46	-0.95	-0.61	-0.55	-0.48	-0.74
Luxembourg	1.74	1.91	0.60	-0.71	1.06	0.46	-0.69	0.74	3.71	0.19	2.24	-0.65	-0.56	-0.46	1.34
Hungary	-0.45	-0.28	0.77	-0.41	-0.73	-1.19	-0.63	-0.71	-0.70	-0.25	-1.11	-0.35	-0.53	-0.39	-0.32
Malta	-0.14	-0.52	1.21	-0.70	-1.09	-0.66	-0.29	-0.16	0.03	4.66	-0.06	-0.71	-0.59	-0.49	-1.19
Netherlands	1.73	2.09	0.79	0.04	0.99	0.75	-0.11	0.72	0.64	1.11	0.95	0.20	0.58	0.26	0.94
Austria	0.79	1.30	-0.68	-0.31	0.35	0.99	0.02	0.27	0.60	-0.25	1.08	-0.18	0.07	0.07	1.11
Poland	-0.82	-0.58	-1.02	1.61	-0.71	-1.58	-0.52	-1.00	-0.70	-0.19	-0.38	0.76	-0.09	-0.23	-0.58
Portugal	-0.45	-0.82	-0.09	-0.34	0.09	0.30	-0.25	1.83	-0.54	-0.23	-0.66	-0.39	-0.30	-0.39	-0.11
Romania	-2.03	0.85	-0.19	-0.12	-1.38	-2.28	-1.22	-1.18	-0.81	-0.33	-1.35	-0.24	-0.57	-0.45	-1.68
Slovenia	-0.14	0.04	-1.20	-0.64	0.16	0.57	-0.44	0.70	-0.32	-0.26	-0.23	-0.62	-0.57	-0.45	0.68
Slovakia	0.02	0.63	-0.01	-0.50	-0.09	0.00	-0.34	-0.49	-0.71	-0.23	-0.87	-0.51	-0.55	-0.46	-1.02
Finland	1.47	1.41	0.80	-0.44	1.65	0.36	1.08	1.51	0.22	-0.55	1.00	-0.21	-0.18	-0.21	1.36
Sweden	1.29	0.48	1.31	-0.36	1.26	1.30	2.07	0.21	0.45	-0.53	1.07	-0.07	0.39	0.28	1.04

Figura 5.1. Taula normalitzada d'indicadors d'Indústria 4.0

Font: Elaboració pròpia

EC INDICADORS AMB VALORS NORMALITZATS															
Països	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Belgium	1.72	1.40	-0.66	0.27	-0.40	-1.77	0.61	0.88	1.60	1.08	0.04	0.23	0.22	-1.32	0.28
Bulgaria	-0.94	-0.72	0.35	-0.54	-0.45	-0.30	1.39	-1.30	-0.83	-0.34	-0.71	-0.65	-0.93	-0.06	-1.61
Czechia	0.18	-0.44	-0.19	-0.58	-0.11	0.91	0.28	-0.63	-0.76	-0.41	-0.76	-0.27	-0.40	0.38	-0.54
Denmark	-0.18	-0.22	0.84	-0.32	-0.53	-1.13	0.20	0.25	1.17	0.76	0.21	-0.29	1.54	0.09	0.54
Germany	0.49	2.87	-0.35	4.03	2.88	-0.80	3.87	0.69	-0.16	1.95	1.52	3.96	0.80	0.51	1.77
Estonia	0.71	-0.78	1.66	-0.58	-0.64	0.21	0.22	-1.09	-0.25	-0.65	-0.78	-0.66	-1.18	0.21	0.40
Ireland	-1.11	-0.30	-0.75	-0.57	-0.55	-0.42	0.14	0.76	0.19	0.00	0.22	-0.40	-0.36	0.18	1.56
Greece	-0.65	-0.51	-0.88	-0.60	-0.37	-0.94	0.61	-0.39	0.73	-1.27	-0.19	-0.62	-0.95	-0.65	-1.49
Spain	0.01	1.27	-1.20	0.81	1.42	0.39	1.22	0.78	-0.77	-0.15	2.22	0.36	0.22	0.02	0.41
France	1.55	1.19	-0.67	1.08	1.85	-0.58	3.21	1.02	-0.13	0.14	1.33	1.58	0.62	-1.02	1.01
Croatia	-0.59	-0.64	-0.68	-0.55	-0.45	1.49	0.05	-0.58	-1.05	-0.84	-0.62	-0.66	-1.19	1.30	-1.67
Italy	1.46	1.23	-1.07	1.65	2.28	0.48	1.60	1.48	0.06	0.76	1.21	0.33	0.62	0.42	1.50
Cyprus	-0.95	-0.80	0.47	-0.64	-0.67	0.37	0.02	-0.45	3.78	-1.52	-0.73	-0.66	-1.24	0.29	-1.21
Latvia	-0.64	-0.74	-0.16	-0.59	-0.60	1.83	0.02	-0.74	0.04	-0.56	-0.70	-0.64	-0.93	-0.22	-0.32
Lithuania	-0.72	-0.69	0.36	-0.57	-0.53	2.00	0.06	-0.89	-0.07	0.79	-0.65	-0.64	0.85	-0.13	-0.35
Luxembourg	0.23	-0.23	1.72	-0.24	-0.70	1.77	0.08	2.01	0.07	0.71	-0.79	-0.48	1.61	1.07	1.66
Hungary	-0.30	-0.53	-0.53	-0.38	-0.14	0.12	0.16	-0.86	-0.73	-0.17	-0.73	-0.58	-0.77	0.17	-0.19
Malta	-0.24	-0.83	-1.06	-0.63	-0.68	-0.10	0.02	0.22	0.18	-1.33	-0.80	-0.66	-1.43	-2.74	0.08
Netherlands	3.05	2.18	-1.66	0.69	-0.19	-1.54	1.36	2.56	0.28	1.18	2.78	0.33	1.47	-1.39	0.60
Austria	0.34	0.05	1.03	-0.18	-0.47	-0.90	0.59	0.31	-0.09	1.33	-0.60	-0.14	2.26	-0.43	0.30
Poland	0.14	0.26	0.07	0.33	1.41	0.77	1.74	-0.98	-0.53	-0.31	0.85	0.77	-0.91	0.25	0.24
Portugal	-1.03	-0.34	-0.18	-0.33	-0.24	0.03	0.15	-0.60	0.62	-0.65	-0.28	-0.54	0.26	-1.04	0.54
Romania	-1.13	-0.58	0.99	-0.19	-0.28	-0.73	1.81	-1.25	-0.03	-1.81	-0.48	-0.19	-1.17	0.07	-1.30
Slovenia	0.20	-0.40	-0.34	-0.56	-0.62	0.34	0.06	-0.25	-1.10	1.38	-0.17	-0.60	0.13	0.67	-0.66
Slovakia	-0.54	-0.63	-0.62	-0.43	-0.47	-0.19	0.10	-0.52	-0.88	-0.25	-0.76	-0.51	-0.63	1.27	-0.97
Finland	-0.47	-0.67	2.38	-0.41	-0.45	-0.56	1.13	-0.51	-0.39	0.24	-0.60	0.34	0.02	1.19	-0.30
Sweden	-0.37	-0.38	1.13	0.04	-0.31	-0.75	1.45	0.08	-0.82	0.54	-0.04	0.09	-0.09	0.30	-0.28

Figura 5.2. Taula normalitzada d'indicadors d'Economia circular

Font: Elaboració pròpia



## **6. Metodologia i eines aplicades.**

La metodologia emprada a l'elaboració del projecte consistirà en realitzar un desenvolupament teòric dels dos models estadístics que s'utilitzaran més endavant com són l'anàlisi factorial i l'anàlisi clúster. També s'haurà de demostrar que els indicadors tenen associats dades disponibles i que les relacions entre la Indústria 4.0 i la Economia circular son demostrables.

### **6.1. Anàlisi factorial.**

#### **6.1.1. Explicació teòrica.**

Degut a la quantitat d'indicadors que s'han definit en l'apartat anterior, realitzar un tractament directe és massa complicat. L'anàlisi factorial serveix com a primer pas per a processar els indicadors seleccionats.

Es tracta d'un mètode estadístic multivariant el qual pretén definir una estructura a partir d'una matriu de dades. Es una eina que permet reduir dades agrupant els diferents indicadors obtinguts en grups homogenis formats per diversos indicadors. La creació d'aquests grups, es realitza en funció de la correlació existent entre els indicadors. Aquests grups s'anomenen factors. Els indicadors amb una major correlació acabaran al mateix factor.

Aquest model tracta totes les variables de manera simultània, això vol dir que totes les variables estaran relacionades amb la resta. Aplicant un anàlisi factorial es pot reduir el nombre de dimensions necessàries trobant grups de variables que siguin semblants.

Un anàlisi factorial consta de les següents parts:

- Formulació del problema.
- Càlcul d'una matriu que sigui capaç d'expressar la variabilitat conjunta de totes les variables.
- Extracció del número òptim de factors.
- Rotació de la solució per facilitar la interpretació.

- Estimació de les puntuacions dels subjectes en les noves dimensions.
- Validació del model: Càlcul de puntuacions factorials i selecció de les variables representatives.
- Anàlisi posterior clúster (explicat al següent apartat).

En aquest model s'han de realitzar dues suposicions:

- 1) Les variables i els factors estan estandarditzats: La mitjana sempre serà 0 i la variància 1.
- 2) Els indicadors inicials estan relacionats: és a dir, que tots els indicadors estan relacionats en diferents graus. En el cas que hi hagués un indicador que no tingués relació amb la resta, s'hauria de valorar si aquest indicador és suficientment important com per crear un factor exclusivament per ell, o si no és significatiu i d'aquesta manera es pot descartar del model.

L'anàlisi factorial opera sobre  $\rho$  variables  $\{x_1, x_2, \dots, x_{\rho-1}, x_{\rho}\}$ , que en el cas d'aquest projecte són els indicadors, són definides sobre la mateixa població, que comparteixen  $m$  ( $m < \rho$ ) causes comunes. Consisteix a trobar els factors comuns  $\{z_1, z_2, \dots, z_m\}$  i factors únics  $\{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_m\}$  i la seva contribució a les variables originals.

La definició seria la següent:

$$x_{\rho} = a_{\rho 1}z_1 + a_{\rho 2}z_2 + \dots + a_{\rho m}z_m + b_{\rho}\varepsilon_{\rho} \quad (6.1)$$

Les equacions de forma matricial queden així:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{\rho} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{\rho 1} & a_{\rho 2} & \dots & a_{\rho m} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_{\rho} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1\varepsilon_1 \\ b_2\varepsilon_2 \\ \vdots \\ b_{\rho}\varepsilon_{\rho} \end{bmatrix} \quad (6.2)$$

L'expressió final es:

$$X = AZ + \xi \quad (6.3)$$

Amb l'objectiu de confirmar que l'anàlisi s'ha efectuat correctament i, que el resultat és apte, s'hauran de valorar si les correlacions entre les variables són altes. Per aquesta

comprovació s'utilitza la matriu de correlació i l'adequació de la mostra KMO.

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} r_{ji}^2}{\sum_{i \neq j} r_{ji}^2 + \sum_{i \neq j} a_{ji}^2} \quad (6.4)$$

KMO és un índex que pren valors entre 0 i 1. S'utilitza per a avaluar la correlació entre els indicadors. Com es pot observar a la taula 6.1, com més petit es el valor del índex KMO, menys acceptable es la validesa de l'anàlisi. El valor ideal de KMO es superior a 0.75, encara que pot ser acceptable si supera el 0.5.

KMO	Validesa
$\geq 0.75$	Molt acceptable
$\geq 0.5$	Acceptable
$< 0.5$	Inacceptable

Taula 6-1: Validació amb KMO

Font: Adaptació de [10]

Els factors intenten simplificar les correlacions entre les variables a través de matriu de correlacions, per tant les variables originals també es tipificaran:

$$x_1 = \frac{x_1 - \bar{x}}{\sigma_x} \quad (6.5)$$

Segons les propietats de la variància:

$$\begin{aligned} \text{var}(x_1) &= a_{i1}^2 \text{var}(z_1) + a_{i2}^2 \text{var}(z_2) + \dots \\ &+ a_{im}^2 \text{var}(z_m) + b_i^2 \text{var}(\varepsilon_1) \end{aligned} \quad (6.6)$$

La variància indica les diferències que existeixen a cada una de les respostes dels ítems que s'estudien. Existeixen dos tipus de variàncies, la *conjunta* i la *no compartida*.

Es poden definir les correlacions entre dos variables:

$$\text{corr}(X_i X_{i'}) = \frac{\text{cov}(x_i x_{i'})}{\sigma_i \sigma_{i'}} \quad (6.7)$$

Tot el que s'ha comentat fins ara, és per a determinar si l'anàlisi factorial és viable. Si no és viable, s'haurà de començar de nou l'estudi per tal de trobar un millor mètode.

Si és l'anàlisi factorial es viable, els mètodes amb els que es pot realitzar els següent passos són:

- Mètode de les components principals.
- Mètode per eixos principals.
- Mètode per la màxima versemblança

### 6.1.2. Aplicació a software SPSS.

El software escollit per a dur a terme el anàlisi factorial es el SPSS. Aquest software permet realitzar un anàlisi d'una manera eficient per tal de identificar els factors i comprovar si la KMO es valida.

Per tal de realitzar el anàlisi factorial [12], primer s'exporta la base de dades d'Excel a SPSS. Després s'ha d'anar a la opció *Analizar>Reducción de dimensiones>Factor*.

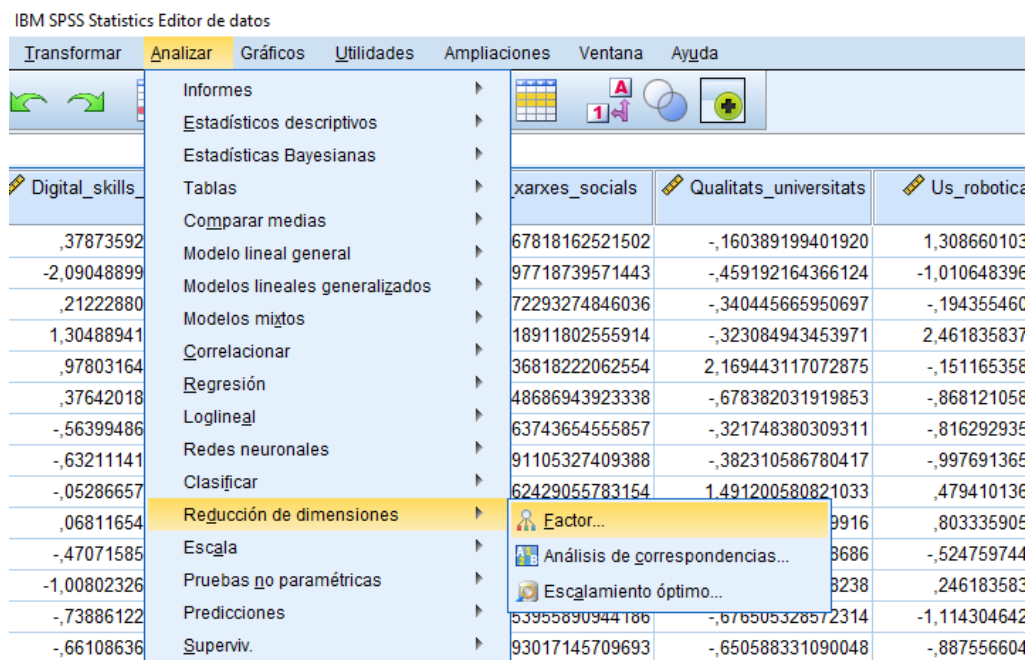


Figura 6.1: Opció SPSS per a anàlisi factorial

Font: Elaboració pròpia

Una vegada obert el menú per a l'anàlisi factorial, tenim diverses opcions interessants per a activar. Una d'elles es el càlcul de la KMO, que com s'ha explicat abans determina la qualitat general de la correlació entre indicadors.

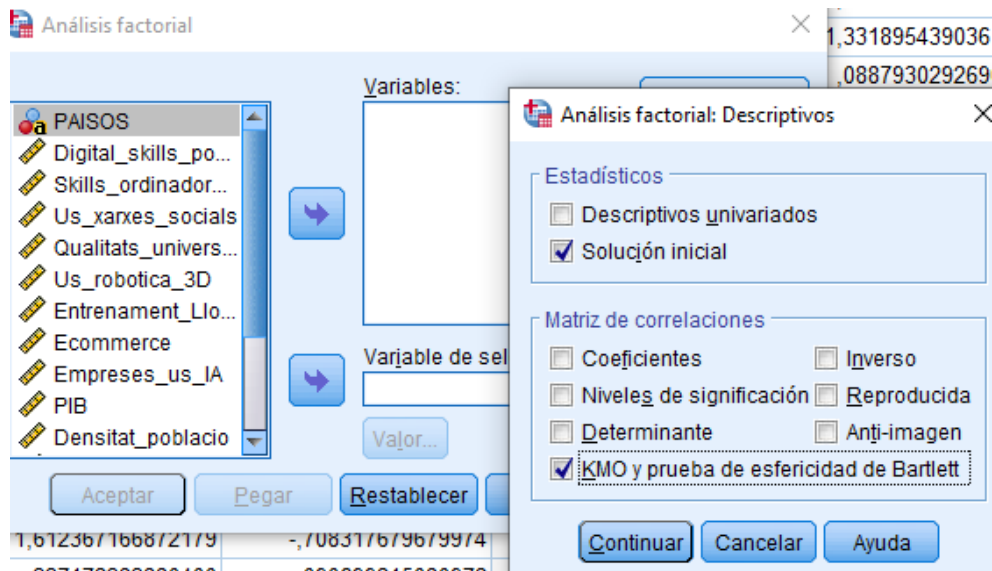


Figura 6.2: Opció per a mostrar KMO a SPSS

Font: Elaboració pròpia

També es important que es mostri la matriu de components rotada per varimax, ja que es un mètode que minimitza el numero de variables que tenen valors alts en cada factor.

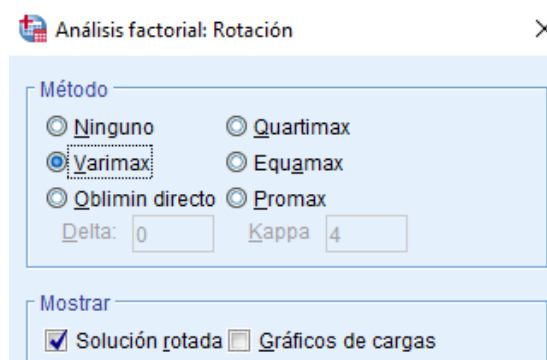


Figura 6.3: Opció per a mostrar la matriu de rotació amb mètode varimax

Font: Elaboració pròpia

Una vegada es tenen totes aquests opcions seleccionades, podem fer click a *Acceptar* i SPSS generarà un informe amb informació rellevant.



La primera dada interessant que apareix a l'informe es la KMO. Com a exemple per a mostrar les característiques de l'anàlisi factorial amb el SPSS s'empraran les taules de l'anàlisi de la EC.

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		,768
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	517,879
	gl	105
	Sig.	,000

Figura 6.4: Exemple de KMO per a Anàlisi de EC

Font: Elaboració pròpia.

Com es pot observar, el valor es superior a 0,75 i per tant es molt acceptable.

La primera taula que ens apareix es la que mostra les comunalitats. La comunalitat mostra si la informació que proporciona la variable en qüestió està ben explicada dins del model. Per norma general, l'estàndard per a que una variable sigui vàlida es que estigui per sobre de 0,5.

	Inicial	Extracción
Taxa_reciclab	1,000	,747
Materials_rec_prod	1,000	,698
Mat_footprint	1,000	,588
Inv_priv_projectes_EC	1,000	,901
Treball_generat_EC	1,000	,810
Treball_provinent_reutilitzacio	1,000	,769
Residus_generats	1,000	,440
Productivitat_recursos	1,000	,688
Malbaratament_menjar	1,000	,322
Taxa_reciclatge_residus_municipals	1,000	,727
Comerç_materies_prime_res_reciclabes	1,000	,796
Patents_reciclatge	1,000	,924
Reciclatge_bioresidus	1,000	,776
Taxa_reciclatge_residus_elec	1,000	,838
Generació_residus_packaging	1,000	,723

Figura 6.5: Taula de comunalitats EC

Font: Elaboració pròpia

Hi ha 2 variables per sota de 0,5, per tant el model s’haurà de revisar de cara a la memòria final.

La variància total explica quina quantitat d’informació inclosa a la base de dades s’explica amb els factors resultants de l’anàlisi. En aquest cas, el de la EC, es pot observar que els 4 factors resultants expliquen un 71,663%.

**Varianza total explicada**

Sumas de cargas al cuadrado de la extracción			Sumas de cargas al cuadrado de la rotación		
Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
5,789	38,596	38,596	4,736	31,574	31,574
2,231	14,871	53,467	2,669	17,796	49,370
1,477	9,848	63,314	1,736	11,572	60,941
1,252	8,349	71,663	1,608	10,722	71,663

Figura 6.6: Taula de variància total

Font: Elaboració pròpia

Per últim, la matriu de components rotats ens mostra amb claredat quins indicadors formen part de cada factor.

**Matriz de componente rotado<sup>a</sup>**

	Componente			
	1	2	3	4
Comerc_materies_prime res_reciclables	,858	,210	,118	,042
Taxa_reciclab	,818	-,009	,278	,001
Treball_generat_EC	,806	,323	-,102	,213
Generació_residus_pack aging	,793	,109	,209	,200
Productivitat_recursos	,775	-,062	,280	-,077
Materials_rec_prod	,740	,261	,267	-,111
Residus_generats	,563	,298	-,145	,114
Malbaratament_menjar	,491	-,283	-,032	,010
Inv_priv_projectes_EC	,270	,875	,215	,129
Patents_reciclatge	,302	,848	,276	,193
Mat_footprint	,089	-,664	,209	,309
Taxa_reciclatge_residus_municipals	,173	-,010	,830	-,088
Reciclatge_bioresidus	,264	,409	,669	,302
Taxa_reciclatge_residus_elec	-,137	,327	,250	,806
Treball_provinent_reutilitz acio	,238	-,262	-,231	,769

Figura 6.7: Matriu de components rotats

Font: Elaboració pròpia

La matriu de components explica de manera numèrica quins són els 4 factors. Cal recalcar que un anàlisi factorial es considera millor si el nombre de factors està entre 3-6, per tant el resultat és òptim.

## **6.2. Anàlisi clúster.**

### **6.2.1. Explicació teòrica.**

L'anàlisi clúster té com a objectiu agrupar els subjectes d'estudi en conglomerats de manera que la similitud entre els subjectes que formen part d'un conglomerat siguin més altes que entre els subjectes que siguin de diferents conglomerats.

Aquest mètode agrupa en diferents grups els objectes. Aquests grups s'anomenen clúster. La característica principal és que entre els elements del mateix grup tenen molta homogeneïtat, en canvi entre els diferents grups existeix una alta heterogeneïtat. Per tant, l'essència de l'anàlisi clúster és analitzar la homogeneïtat entre els conglomerats.

L'anàlisi clúster és l'única tècnica multivariant que no estima el valor teòric empíricament sinó que utilitza el valor teòric mitjançant les especificacions de l'investigador.

Pot rebre també varies nomenclatures a causa de l'ús de mètodes d'agrupació en diferents disciplines.

Ara bé, si es vol dur a terme de manera satisfactòria s'han de tenir en compte els següents aspectes:

- La necessitat de valorar la manera de mesurar la similitud. Serà necessari un mètode d'observacions per comparar de manera simultània dues variables d'aglomeració.
- És de major importància valorar més el procediment que s'ha utilitzat que la manera en que es mesuri la similitud.
- Finalment, també és de gran importància valorar si es busca un nombre alt de conglomerats, que comportarà que siguin més homogenis, o bé un nombre baix que oferirà conglomerats més heterogenis.

Existeixen dos grans grups de mètodes d'anàlisi clúster, els quals són els mètodes

jeràrquics i l'anàlisi de k-mitjanes.

- Mètodes jeràrquics: per tal de formar un nou clúster, uneix o separa un dels ja existents per donar origen a altres dos que maximitzi la similitud. Per tant, tracta d'optimitzar el nombre de clústers.
- Anàlisi de les k-mitjanes: permet assignar a cada observació el clúster més proper.

L'anàlisi clúster consta de diferents etapes:

- 1) Selecció de la mostra de dades
- 2) Selecció i transformació de les variables
- 3) Selecció de distància i estudi.
- 4) Selecció i aplicació del criteri de agrupació dels clústers.
- 5) Selecció de l'estructura adequada.

Determinar la mesura de la similitud es converteix en una tasca complicada, ja que pot arribar a convertir-se en una mesura subjectiva, perquè depèn de les escales de mesura que s'utilitzin. Les observacions obtingudes es poden agrupar segons la similitud en termes de distància. Per això s'utilitzen els coeficients de correlació com a mesura de similitud.

El mètode més utilitzat quan la distància és entre objectes, és el mètode de la distància Euclidià. Relaciona dos objectes  $I_1$  i  $I_2$  amb dues variables  $X_1$  i  $X_2$ .

$$d_{I_1 I_2} = \sqrt{(x_{11} - x_{21})^2 + (x_{12} - x_{22})^2} \quad (6.8)$$

Per definir les distàncies entre variables es poden fer servir varis mètodes. El més destacat és la correlació de Pearson. Defineix  $S_{xy}$  com la covariància mostral entre  $x$  i  $y$  on  $S_x$  i  $S_y$  són les desviacions estàndards de  $x$  i  $y$ .

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \quad (6.9)$$

Una vegada es disposa dels clústers naturals, es pot verificar la seva validesa comprovant

a través d'unes taules d'anàlisi de la variància. L'objectiu és formar un clúster on els centroides estiguin el més separats possible. A la vegada, s'intentarà que les observacions de cada clúster siguin properes al centroide.

Tot això es mesura amb l'estàtic F de Snedecor:

$$F_{n,m} = \frac{X_n^2/n}{X_m^2/m} \quad (6.10)$$

L'equació de l'estàtic de Snedecor equival al quocient de dos distribucions chi-quadrat dividides pels seus graus de llibertat. Per aquest motiu, es calcula com un quocient de les mides quadràtiques que en el mètode estudiat clúster correspon al quocient de les mitjanes de quadrats entre els clúster dividit per les mitjanes de quadrats dins dels clúster.

Per a poder donar com a vàlid l'anàlisi clúster aquest coeficient ha de ser superior a 1, ja que això indicarà que les distàncies entre els centroides del grup seran majors que les distàncies dins dels elements d'un mateix conglomerat.

### 6.2.2. Aplicació a software SPSS.

Com a l'anàlisi factorial, l'anàlisi clúster també es fa emprant l'eina SPSS. Com a exemple es mostrarà l'anàlisi clúster de la I4.0. Per tal de realitzar l'anàlisi clúster [13] s'ha d'anar a l'opció *Analitzar>Clasificar>Clúster Jeràrquico*.

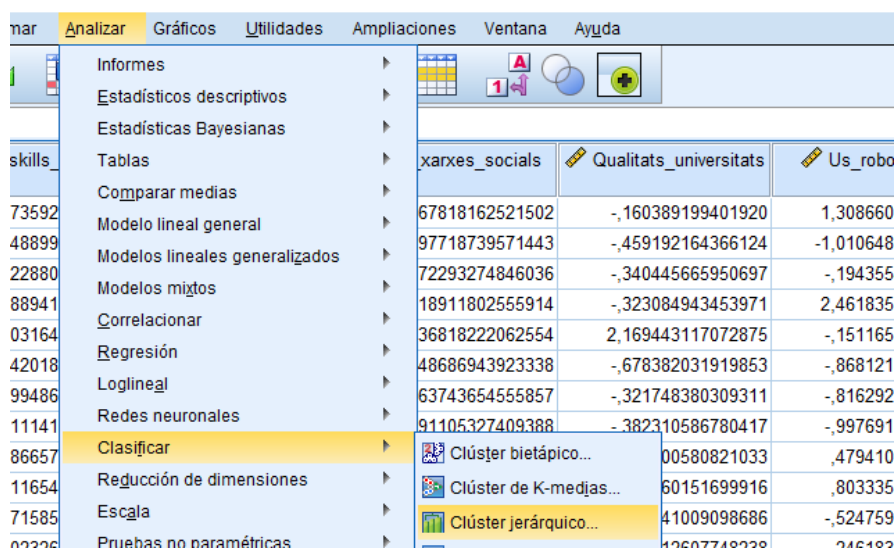


Figura 6.8: Opció SPSS per a anàlisi clúster

Font: Elaboració pròpia

De la mateixa manera que a l’anàlisi factorial, es seleccionen les dades i cliquem a la opció *Método*. Això permetrà escollir el mètode de conglomeració i el interval de distancia.

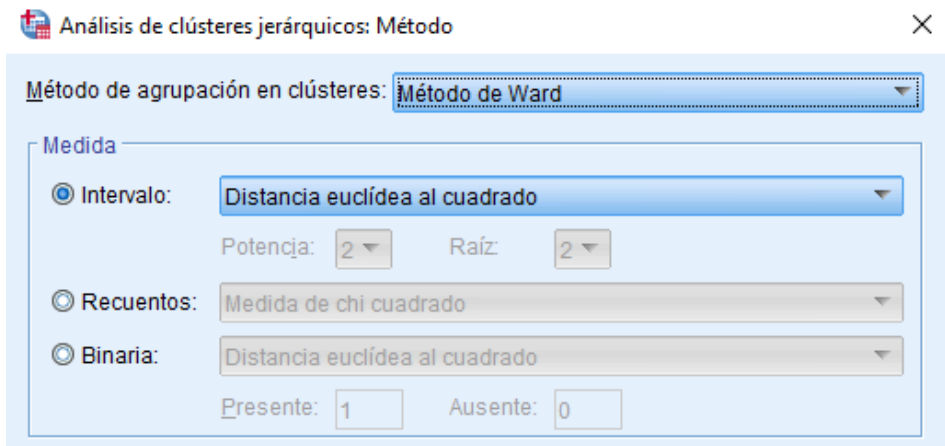


Figura 6.9: Opció per a canviar mètode per anàlisi clúster

Font: Elaboració pròpia

Una vegada executat l’anàlisi, l’informe mostra un resum del processament dels casos, en aquest cas països.

**Resumen de procesamiento de casos<sup>a,b</sup>**

		Casos			
Válido		Perdidos		Total	
N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
27	100,0	0	,0	27	100,0

Figura 6.10: Resum del processament de casos

Font: Elaboració pròpia

Es pot observar que no hi ha hagut cap cas perdut, això vol dir que tots els països es troben compresos dins d’un clúster.

Després, l’informe ens mostra un historial de conglomeració. Amb aquesta taula es pot determinar quin es el nombre de clústers ideal, observant la diferencia entre els coeficients i detectant quan la diferencia es massa gran con comparació amb l’anterior.

**Historial de conglomeración**

Etapa	Clúster combinado		Coeficientes	Primera aparición del clúster de etapa		Etapa siguiente
	Clúster 1	Clúster 2		Clúster 1	Clúster 2	
1	11	15	,592	0	0	9
2	6	25	1,633	0	0	3
3	6	14	2,872	2	0	9
4	1	27	4,815	0	0	7
5	8	17	6,988	0	0	10
6	22	24	9,252	0	0	19
7	1	26	12,540	4	0	16
8	19	20	15,941	0	0	16
9	6	11	19,397	3	1	11
10	8	23	23,524	5	0	14
11	3	6	27,727	0	9	15
12	9	12	32,533	0	0	17
13	2	21	37,381	0	0	14
14	2	8	42,987	13	10	23
15	3	13	49,291	11	0	19
16	1	19	55,885	7	8	18
17	9	10	63,925	12	0	22
18	1	4	73,826	16	0	20
19	3	22	83,876	15	6	21
20	1	16	98,143	18	0	25
21	3	7	116,883	19	0	23
22	5	9	141,329	0	17	25
23	2	3	166,674	14	21	24
24	2	18	193,536	23	0	26
25	1	5	267,931	20	22	26
26	1	2	389,999	25	24	0

Figura 6.11: Historial de coeficients

Font: Elaboració pròpia.

Observant que es a l'etapa 21 on la diferencia es torna molt gran, fem la següent operació:

$$N.\text{ideal} = 26-21 = 5 \text{ conglomerats}$$

Amb el coneixement de que 5 conglomerats es el nombre ideal, es repeteix l'anàlisi clúster per a una solució única.

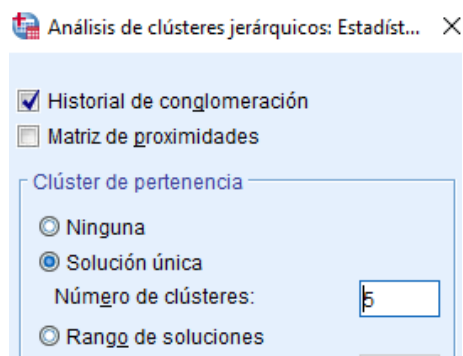


Figura 6.12: Opció per a determinat nombre de clústers

Font: Elaboració pròpia

Això permet obtenir una taula que indica a quin clúster pertany cada país.

<b>Clúster de pertinença</b>	
Caso	5 clústeres
1:Belgium	1
2:Bulgaria	2
3:Czechia	3
4:Denmark	1
5:Germany	4
6:Estonia	3
7:Ireland	3
8:Greece	2
9:Spain	4
10:France	4
11:Croatia	3
12:Italy	4
13:Cyprus	3
14:Latvia	3
15:Lithuania	3
16:Luxembourg	1
17:Hungary	2
18:Malta	5
19:Netherlands	1
20:Austria	1
21:Poland	2
22:Portugal	3
23:Romania	2
24:Slovenia	3
25:Slovakia	3
26:Finland	1
27:Sweden	1

Figura 6.13: Taula de clústers

Font: Elaboració pròpia





## 7. Mostra de resultats.

A aquest apartat es procedeix a determinar quins son els factors clau per a la Indústria 4.0 i la economia circular. També es determinen quins son els clústers resultants, cosa que fa l'anàlisi posterior molt més vàlid. L'anàlisi dels resultats es fa al següent apartat.

### 7.1. Resultats de l'anàlisi factorial.

L'anàlisi factorial consisteix en l'agrupació dels indicadors en diferents factors per a poder fer l'anàlisi general més eficient.

#### 7.1.1. Indústria 4.0.

A l'anàlisi factorial de la Indústria 4.0 s'han obtingut un total de 3 factors, 2 grans factors i un de petit que consisteix en un sol indicador. Idealment es podria retirar l'indicador de densitat de població, però es considera massa rellevant per a l'estudi dels països de la UE.

**Matriz de componente rotado<sup>a</sup>**

	Componente		
	1	2	3
Digital_skills_poblacio	,895	,070	,190
Treballadors_RD	,890	,230	-,117
Us_robotica_3D	,889	,106	-,102
Rendes_familiars	,888	,178	,192
Empreses_us_IA	,783	-,100	-,009
Entrenament_Lloc_Treball	,753	,084	-,102
PIB	,707	,022	,234
Skills_ordinador_poblacio	,638	,107	,220
Ecommerce	,607	-,013	-,253
Consum_Energia	,064	,987	-,014
Inversio_RD_universitats	,261	,939	,052
Qualitats_universitats	-,035	,920	-,094
Inversio_RD_empreses	,218	,919	,079
Us_xarxes_socials	,482	-,544	,398
Densitat_poblacio	-,012	-,015	,902

Figura 7.1: Matriu de components rotats I4.0

Font: Elaboració pròpia

Els factors resultants es defineixen i classifiquen de la següent manera:

<b>1) Habilitadors empresarials i capital humà</b>
Digital skills de la població
% de treballadors empleats al sector de R&D
Ús de la robòtica i impressió 3D
Rendes familiars
Empreses que utilitzen IA
Entrenament al lloc de treball
PIB/càpita en PPS
Skills amb ordinadors de la població
Empreses que utilitzen CRM(e-commerce)

Taula 7-1. Factor 1: Habilitadors empresarials i capital humà

Font: Elaboració pròpia

<b>2) Consum, innovació i educació</b>
Consum d'energia
Inversió en R&D al sector d'educació universitària (Despesa interna bruta)
Qualitat de les universitats (graduats d'universitat/any)
Inversió en R&D al sector d'empresa privada (Despesa interna bruta)
Ús de xarxes socials

Taula 7-2. Factor 2: Consum, innovació i educació

Font: Elaboració pròpia

<b>3) Població per país</b>
Densitat de població

Taula 7-3. Factor 3: Població per país

Font: Elaboració pròpia

**Factor 1: Habilitadors empresarials i capital humà:**

El primer factor està format per 9 indicadors, i tots ells tenen que veure amb dos conceptes ben clars:

- Les accions que fan les empreses per a desenvolupar entorns favorables a la Indústria 4.0: La utilització de la IA, robòtica i CRM son decisions clau a l'entorn tecnològic per a assolir un bon nivell de digitalització. Així també, tenir un nombre alt de treballadors als departaments de R&D i entrenar als mateixos son decisions clau a l'hora de ser competitiu i adaptatiu.
- El capital humà: Encara que l'entrenament al lloc de treball es important, les nacions que tenen una població generalment educada a la digitalització tindran un gran avantatge. El PIB/càpita i la renda familiar son indicadors clau que afecten a les oportunitats educatives i laborals que la població te al seu abast.

**Factor 2: Consum, innovació i educació:**

El segon factor es considerablement mes petit que el primer. Encara així, contempla indicadors clau per a la sostenibilitat d'un model digitalitzat:

- Consum: El consum, entès com un concepte general, es troba tant al observar la quantitat d'energia consumida i la quantitat d'us de xarxes socials. Una població que consumeix molta energia es una població molt digitalitzada, i la població que consumeix molt les xarxes socials te una tendència a estar mes preparada pel mon digital.
- Innovació: Un concepte ben clar, la innovació tant en el àmbit universitari com empresarial comporten clars avenços a la digitalització.
- Educació: La qualitat del sistema universitari, mesurat a traves del nombre de graduats/any, mostra una població en general mes preparada per adaptar-se al canvi que comporta la Indústria 4.0.

**Factor 3: Població per país:**

El tercer factor es manté com a indicador ja que es considera clau per a l'anàlisi conjunt. La densitat de població es un indicador que permet relativitzar la resta de dades.

### 7.1.2. Economia Circular.

A l'anàlisi factorial de la economia circular s'han obtingut un total de 4 factors, un nombre ideal i que permet fer una agrupació òptima.

**Matriz de componente rotado<sup>a</sup>**

	Componente			
	1	2	3	4
Comerç_materies_prime res_reciclables	,858	,210	,118	,042
Taxa_reciclab	,818	-,009	,278	,001
Treball_generat_EC	,806	,323	-,102	,213
Generació_residus_pack aging	,793	,109	,209	,200
Productivitat_recursos	,775	-,062	,280	-,077
Materials_rec_prod	,740	,261	,267	-,111
Residus_generats	,563	,298	-,145	,114
Malbaratament_menjar	,491	-,283	-,032	,010
Inv_priv_projectes_EC	,270	,875	,215	,129
Patents_reciclatge	,302	,848	,276	,193
Mat_footprint	,089	-,664	,209	,309
Taxa_reciclatge_residus _municipals	,173	-,010	,830	-,088
Reciclatge_bioresidus	,264	,409	,669	,302
Taxa_reciclatge_residus _elec	-,137	,327	,250	,806
Treball_provinent_reutilitz acio	,238	-,262	-,231	,769

Figura 7.2: Matriu de components rotats EC

Font: Elaboració pròpia

Els factors resultants es defineixen i classifiquen de la següent manera:

<b>1) Reciclatge i residus</b>
Comerç de matèries primeres reciclables
Taxa de reciclabilitat dels productes (circular material use rate)
Llocs de treball generats per la economia circular

Generació de residus de packaging/càpita
Productivitat dels recursos
Nombre de materials reciclats emprats a la producció
Residus generats
Malbaratament de menjar

Taula 7-4. Factor 1: Reciclatge i residus

Font: Elaboració pròpia

<b>2) Innovació i material footprint</b>
Inversió privada en projectes o iniciatives de economia circular
Patents relacionades amb reciclatge i materials secundaris reciclables
Material footprint

Taula 7-5. Factor 2: Innovació i material footprint

Font: Elaboració pròpia

<b>3) Reciclatge a nivell de població</b>
Taxa de reciclatge de residus municipals
Reciclatge de bioresidus

Taula 7-6. Factor 3: Reciclatge a nivell població

Font: Elaboració pròpia

<b>4) Reutilització i reparació</b>
Taxa de reciclatge de residus elèctrics/electrònics
Percentatge de llocs de treball provinents de la reutilització o reparació de productes

Taula 7-7. Factor 4: Reutilització i reparació

Font: Elaboració pròpia

**Factor 1: Reciclatge i residus:**

Com s'ha mencionat ja, la majoria d'indicadors amb dades disponibles de la economia circular tenen molt a veure amb el reciclatge i residus. Aquesta circumstancia fa que aquest factor sigui molt gran, tenint 8 indicadors que mesuren el reciclatge i la generació de residus. A més d'aquests tipus de indicadors, també hi ha el de treball generat per la economia circular, que òbviament té una relació directa amb el volum de reciclatge a un país, etc.

**Factor 2: Innovació i material footprint:**

Aquest factor està format per dos indicadors que tenen molt a veure amb la innovació. La inversió privada en projectes de economia circular és clau per a la innovació, i el nombre de patents relacionades amb el reciclatge mostra una mesura directa d'innovació.

Per altra banda, també s'inclou el material footprint, que és la quantitat de matèria primera consumida per càpita, indicador clau a l'hora de analitzar la economia circular.

**Factor 3: Reciclatge a nivell de població:**

Aquest factor està format per el reciclatge a nivell municipal i el reciclatge de bioresidus a una escala per càpita.

**Factor 4: Reutilització i reparació:**

El nombre de treballs provinents de la reutilització i reparació està normalment bastant relacionat amb el reciclatge de residus elèctrics i electrònics, i aquests dos indicadors formant part del mateix factor ho corrobora.

**7.1.3. Indústria 4.0 i economia circular.**

També s'ha efectuat un anàlisi factorial per a tots els 30 indicadors de I4.0 i EC junts.

**Matriz de componente<sup>a</sup>**

	Componente					
	1	2	3	4	5	6
Materials_rec_prod	,899	-,262	-,191	,042	-,089	-,104
Inversio_RD_universitats	,876	-,355	,080	-,193	,107	,065
Patents_reciclatge	,867	-,398	,086	-,186	,106	,004
Inv_priv_projectes_EC	,846	-,441	,047	-,074	,139	-,023
Inversio_RD_empreses	,822	-,368	,108	-,225	,165	,081
Consum_Energia	,813	-,551	,097	-,065	,088	,046
Comerç_materies_prime res_reciclables	,763	-,288	-,223	,122	-,236	-,058
Generació_residus_pack aging	,750	,146	-,085	,322	,293	,262
Productivitat_recursos	,748	,271	-,353	,370	,071	-,061
Taxa_reciclatge_residus municipals	,739	,279	,286	,161	-,217	-,060
Treballadors_RD	,713	,565	,173	-,038	-,154	,055
Reciclatge_bioresidus	,700	,443	,119	,199	-,054	-,198
Qualitats_universitats	,700	-,596	,050	,015	,016	,078
Residus_generats	,696	-,554	,133	-,308	,049	-,006
Taxa_reciclab	,691	,033	-,311	,232	-,237	-,321
Treball_generat_EC	,691	-,652	,113	,071	,074	,056
Rendes_familiars	,679	,632	-,060	,006	,242	,103
Us_robotica_3D	,617	,612	,107	-,113	-,232	-,071
Us_xarxes_socials	-,115	,698	-,344	-,360	,131	,049
Digital_skills_poblacio	,581	,680	,080	-,033	,010	-,133
Empreses_us_IA	,384	,663	,016	-,157	-,178	,052
PIB	,461	,599	-,014	,294	,425	,171
Entrenament_Lloc_Treba ll	,498	,543	,092	,140	-,041	,169
Taxa_reciclatge_residus elec	-,121	,015	,848	,138	,085	-,067
Densitat_poblacio	,059	,056	-,764	,048	,086	,084
Mat_footprint	-,166	,449	,550	-,341	,390	-,108
Treball_provinent_reutilitz acio	-,402	-,112	,367	,634	,290	-,027
Malbaratament_menjar	-,020	,189	-,493	-,252	,504	-,108
Ecommerce	,301	,427	,183	-,173	-,284	,687
Skills_ordinador_poblaci o	,462	,463	,159	-,210	,033	-,558

Figura 7.3: Matriu de components rotats I4.0 i EC

Font: Elaboració pròpia

Els factors resultants es classifiquen de la següent manera:

<b>1) Factor 1</b>
Nombre de materials reciclats emprats a la producció
Inversió en R&D al sector d'educació universitària
Patents relacionades amb reciclatge i materials secundaris reciclables



Inversió privada en projectes o iniciatives de economia circular
Inversió en R&D al sector d'empresa privada (Despesa interna bruta)
Consum d'energia
Comerç de matèries primeres reciclables
Generació de residus de packaging/càpita
Productivitat dels recursos
Taxa de reciclatge de residus municipals
% de treballadors empleats al sector de R&D
Reciclatge de bioresidus
Qualitat de les universitats (graduats d'universitat/any)
Residus generats
Taxa de reciclabilitat dels productes (circular material use rate)
Llocs de treball generats per la economia circular
Rendes familiars
Ús de la robòtica i impressió 3D

Taula 7-8. Factor 1

Font: Elaboració pròpia

<b>2) Factor 2</b>
Ús de xarxes socials
Digital skills de la població
Empreses que utilitzen IA
PIB/càpita en PPS
Entrenament al lloc de treball

Taula 7-9. Factor 2

Font: Elaboració pròpia

<b>3) Factor 3</b>
Taxa de reciclatge de residus elèctrics/electrònics
Densitat de població
Material footprint

Taula 7-10. Factor 3

Font: Elaboració pròpia

<b>4) Factor 4</b>
Percentatge de llocs de treball provinents de la reutilització o reparació de productes

Taula 7-11. Factor 4

Font: Elaboració pròpia

<b>5) Factor 5</b>
Malbaratament de menjar

Taula 7-12. Factor 5

Font: Elaboració pròpia

<b>6) Factor 6</b>
Empreses que utilitzen CRM (e-commerce)
Skills amb ordinadors de la població

Taula 7-13. Factor 6

Font: Elaboració pròpia

Els factors resultants son per naturalesa pròpia molt diversos i no tenen una temàtica similar, ja que s'està gent un anàlisi mesclant els conceptes. Per tant no poden tenir una definició tan clara com si tenen els factors propis per a la Indústria 4.0 i la economia circular.

## 7.2. Resultats de l'anàlisi clúster.

L'anàlisi clúster consisteix en agrupar els països en conjunts que tinguin similars nivells d'Indústria 4.0 i economia circular basant-se en el que diuen els indicadors.

### 7.2.1. Indústria 4.0.

Després de realitzar l'anàlisi clúster seguint el mètode descrit a l'apartat 6.2.2., s'ha obtingut un total de 5 clústers:

Clúster de pertinença		5 clústers							
Caso									
1:Belgium	1	17:Hungary	2	11:Croatia	3	10:France	4	18:Malta	5
16:Luxembourg	1	2:Bulgaria	2	13:Cyprus	3	12:Italy	4		
19:Netherlands	1	21:Poland	2	14:Latvia	3	5:Germany	4		
20:Austria	1	23:Romania	2	15:Lithuania	3	9:Spain	4		
26:Finland	1	8:Greece	2	22:Portugal	3				
27:Sweden	1			24:Slovenia	3				
4:Denmark	1			25:Slovakia	3				
				3:Czechia	3				
				6:Estonia	3				
				7:Ireland	3				

Figura 7.4: Matriu de clústers I4.0

Font Elaboració pròpia

### 7.2.2. Economia circular.

Seguint el mètode per a conèixer el nombre ideal de clústers, ens surten 6 clústers.

Clúster de pertinença		6 clústers									
Caso											
1:Belgium	1	2:Bulgaria	2	4:Denmark	3	5:Germany	4	7:Ireland	5	9:Spain	6
19:Netherlands	1	3:Czechia	2	16:Luxembourg	3			13:Cyprus	5	10:France	6
		6:Estonia	2	20:Austria	3			18:Malta	5	12:Italy	6
		8:Greece	2					22:Portugal	5	21:Poland	6
		11:Croatia	2								
		14:Latvia	2								
		15:Lithuania	2								
		17:Hungary	2								
		23:Romania	2								
		24:Slovenia	2								
		25:Slovakia	2								
		26:Finland	2								
		27:Sweden	2								

Figura 7.5: Matriu de clústers EC

Font Elaboració pròpia

### 7.2.3. Indústria 4.0 i economia circular.

Al realitzar l'anàlisi clúster per a tots els 30 indicadors junts, surt un nombre de clústers ideal de 6.

**Clúster de pertinença**

Caso	6 clústers										
1:Belgium	1	2:Bulgaria	2	3:Czechia	3	4:Denmark	4	5:Germany	5	9:Spain	6
19:Netherlands	1	8:Greece	2	6:Estonia	3	16:Luxembourg	4			10:France	6
		13:Cyprus	2	7:Ireland	3	20:Austria	4			12:Italy	6
		18:Malta	2	11:Croatia	3	26:Finland	4			21:Poland	6
		23:Romania	2	14:Latvia	3	27:Sweden	4				
				15:Lithuania	3						
				17:Hungary	3						
				22:Portugal	3						
				24:Slovenia	3						
				25:Slovakia	3						

Figura 7.6: Matriu de clústers I4.0 i EC

Font Elaboració pròpia





Alemanya, un país que te aura de ser superior en l'àmbit industrial, no es el millor país. Tot i això, segueix tenint un bon nivell.

Aquest factor te en compte indicadors del tipus tecnològic, know-how i recursos disponibles. Per tant, no es d'estranyar que els països mes pobres tinguin un nivell baix.

A continuació es mostra quins son els 5 millors i 5 pitjors països:

Denmark	1,62359924
Luxembourg	1,38945269
Finland	1,11772401
Sweden	1,01958607
Netherlands	0,96619724
...	...
Cyprus	-0,77844152
Greece	-0,82636565
Poland	-0,82988632
Bulgaria	-1,19259268
Romania	-1,23029815

Taula 8-1. Ranking F1 I4.0

Font: Elaboració pròpia

## **Factor 2: Consum, innovació i educació:**

A aquest factor te un pes important la innovació i el nivell educatiu. Països tradicionalment rics també solen tenir un millor nivell educatiu, una major inversió i un major consum d'energia, com es pot observar al mapa següent:

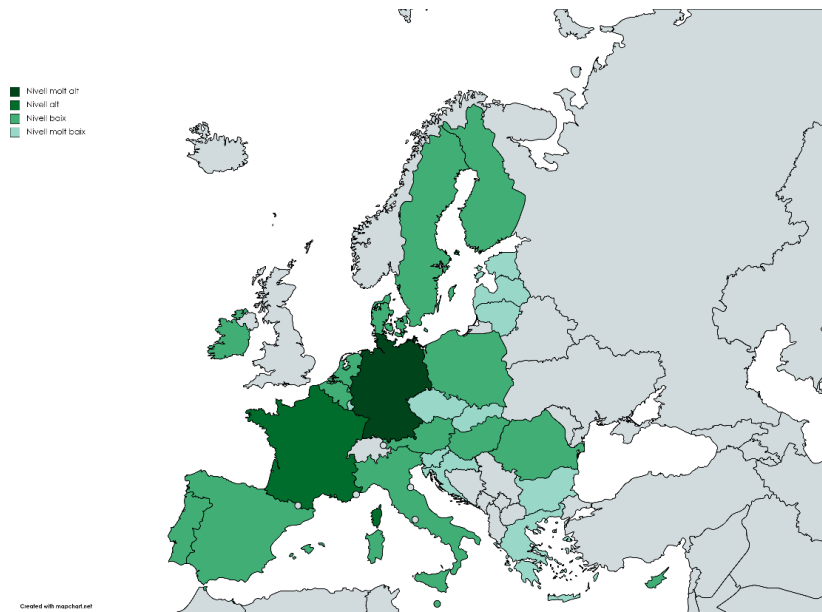


Figura 8.2: Mapa del Factor 2 I4.0

Font: Elaboració pròpia

A la llegenda del mapa es pot observar una curiositat, que es que no hi ha cap país a un nivell mig. La distribució de la riquesa als països europeus fa un gran impacte en el resultat d'aquest. Aquest mapa també demostra una de les grans fortaleces de Alemanya, que es la innovació, la inversió i la qualitat del seu mon universitari. Aquests pilar son els que fan que Alemanya sigui coneguda com un dels millors països en quant a la Indústria 4.0.

A continuació es mostra quins son els 5 millors i 5 pitjors països:

Germany	2,63147662
France	1,45632691
Spain	0,5511538
Italy	0,51358411
Netherlands	0,37331749
...	...
Greece	-0,46597286
Lithuania	-0,49346289
Croatia	-0,57600713
Bulgaria	-0,58663868
Slovenia	-0,69535463

Taula 8-2. Ranking F2 I4.0

Font: Elaboració pròpia





Malta	4,65726361
Netherlands	1,10532266
Belgium	0,66652809
Luxembourg	0,18853514
Germany	0,18671725
...	...
Lithuania	-0,46022639
Latvia	-0,50930957
Estonia	-0,50942319
Sweden	-0,527943
Finland	-0,55123479

Taula 8-3. Ranking F3 I4.0

Font: Elaboració pròpia

## 8.2. Factors determinants per a l'economia circular.

Per a l'economia circular s'han trobat un total de 4 factors determinants. Degut a la naturalesa de la disponibilitat de dades en quant a l'economia circular, la majoria de indicadors tenen a veure amb reciclatge, reutilització i els seus efectes.

### Factor 1: Reciclatge i residus:

Com es pot observar al mapa, hi ha certa correlació entre densitat de població i aquest factor, ja que quant més gent hi ha al país, més quantitat de residus es generen, més malbaratament de menjar, etc.

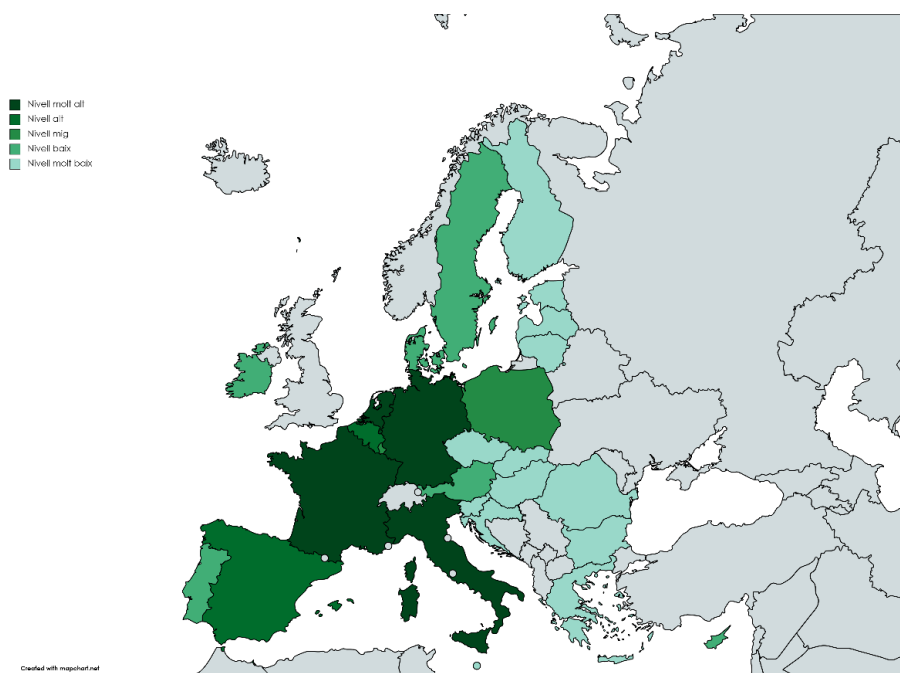


Figura 8.4: Mapa del Factor 1 EC

Font: Elaboració pròpia

Una vegada més, països de l'Europa occidental, especialment Alemanya, lideren el reciclatge i generació de residus a Europa. La circularitat de l'economia depèn en gran manera de el reciclatge i la qualitat del mateix. Ja es pot començar a observar que alguns països que són bons a la Indústria 4.0, també tenen un bon nivell de circularitat econòmica. Tot i això, no es un relació directa com es veu en el cas de Finlàndia.

A continuació es mostra quins són els 5 millors i 5 pitjors països:

Germany	1,7419561
Netherlands	1,5750173
France	1,3792952
Italy	1,3546673
Spain	0,8204239
...	...
Latvia	-0,4587669
Lithuania	-0,4795798
Slovakia	-0,5844683
Bulgaria	-0,6449528
Croatia	-0,6958505

Taula 8-4. Ranking F1 EC

Font: Elaboració pròpia

## Factor 2: Innovació i material footprint:

La innovació es el primer concepte que es veu repetit amb la Indústria 4.0. Si hi ha una cosa que sempre ha de ser present a la circularitat econòmica, es la innovació. Abans s'ha comentat que un dels pilars principals del lideratge de Alemanya es precisament la innovació, i aquest mapa no fa mes que corroborar aquesta informació:

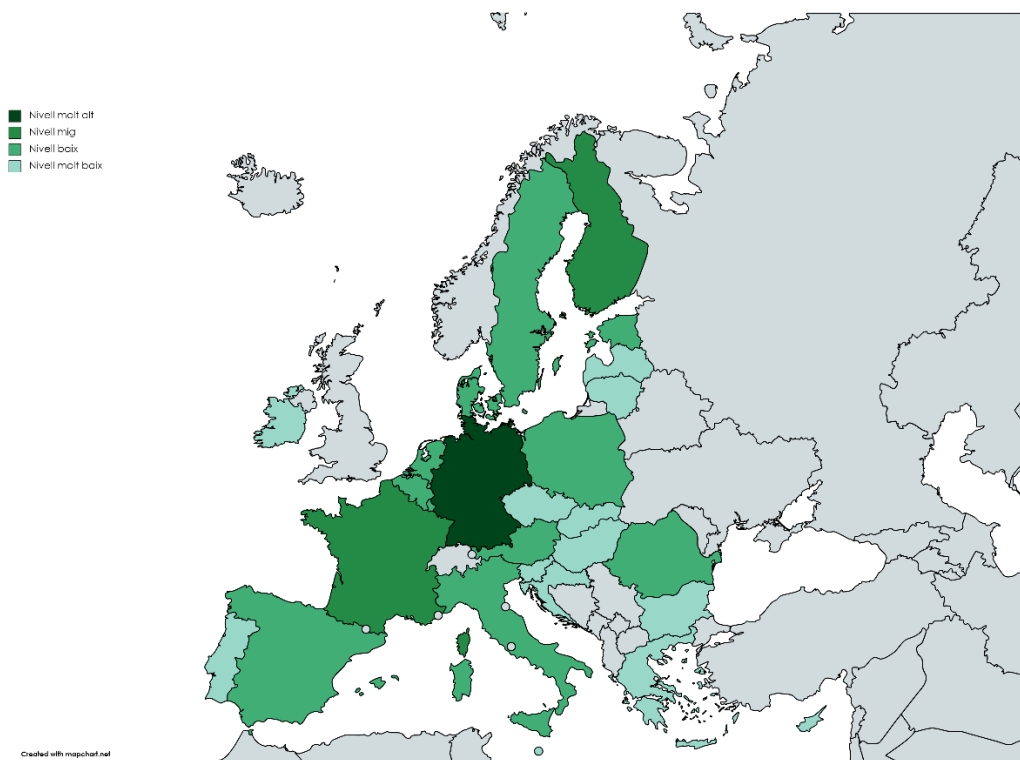


Figura 8.5: Mapa del Factor 2 EC

Font: Elaboració pròpia

Alemanya lidera i per molt aquest factor, tant que no hi ha cap país al nivell inferior. A més de la innovació, aquest factor inclou un indicador que es clau per a la circularitat de la economia, el material footprint. Aquest indicador mostra quin es el consum de matèria primera per càpita.

A continuació es mostra quins son els 5 millors i 5 pitjors països:

Germany	2,54657833
Finland	0,76989824
France	0,66269935
Italy	0,49976446
Sweden	0,42105351
...	...
Slovakia	-0,52079293
Ireland	-0,57361502
Croatia	-0,62890549
Greece	-0,69865998
Malta	-0,78190068

Taula 8-5. Ranking F2 EC

Font: Elaboració pròpia

**Factor 3: Reciclatge a nivell de població:**

Aquest factor tracta el reciclatge a nivell municipal i el tractament dels bioresidus. Es un factor molt específic però que aporta una nova capa d'anàlisi al concepte de reciclatge. Alemanya una vegada més es consolida com un país líder, juntament amb Dinamarca, Àustria, Països Baixos i Luxemburg. Com es pot veure al mapa, els països líders en aquest camp pertanyen a la mateixa zona geogràfica, deixant clar que tots aquests països tenen una organització municipal probablement superior a la resta de la UE:

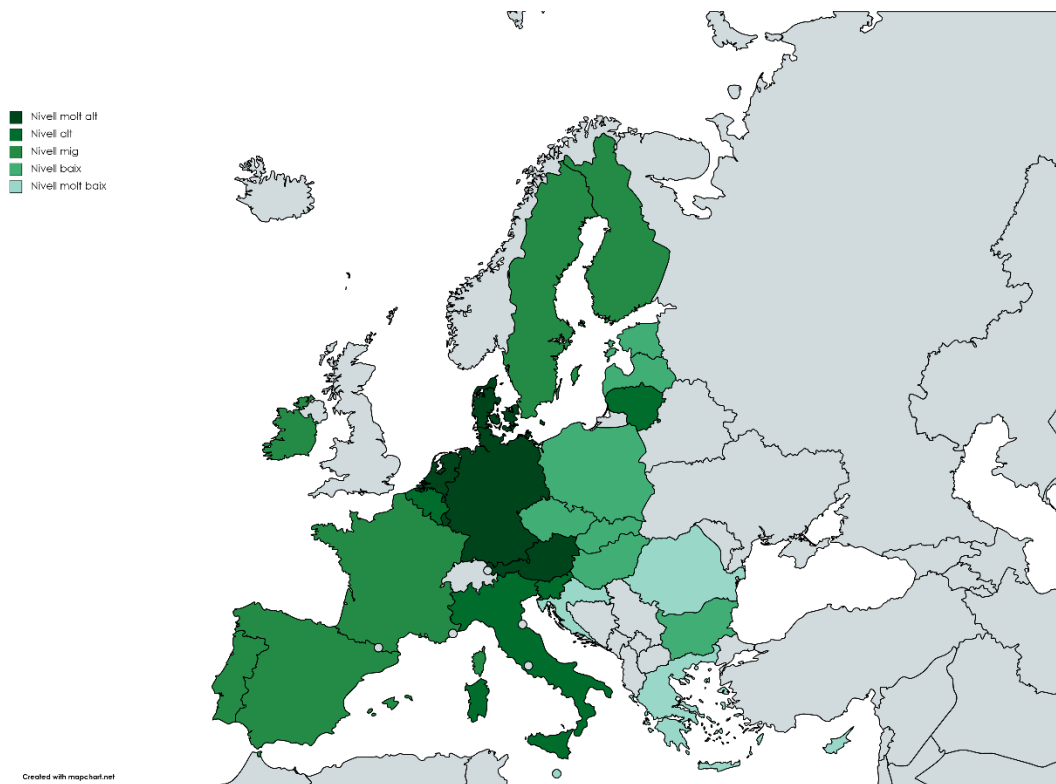


Figura 8.6: Mapa del Factor 3 EC

Font: Elaboració pròpia

La tendència ja esmenada dels països més pobres sempre tenint un nivell baix es un àrea en la que treballar per a la UE, encara que es un resultat esperable.

A continuació es mostra quins son els 5 millors i 5 pitjors països:

Austria	1,79447258
Germany	1,3756553
Netherlands	1,32893992
Luxembourg	1,15963513
Denmark	1,15171005
...	...
Croatia	-1,01297278
Greece	-1,10891531
Cyprus	-1,37671515
Romania	-1,4887979
Malta	-1,68177343

Taula 8-6. Ranking F3 EC

Font: Elaboració pròpia

#### Factor 4: Reutilització i reparació:

La reutilització és un altre aspecte clau de la circularitat de la economia, però que no te gaire dades disponibles. Una manera, però, de mesurar el nivell dels països a la reutilització es veient quants treballs provenen de la reutilització i reparació de productes i matèria. A més, el reciclatge de residus elèctrics/electrònics es normalment una font de matèria per a aquests treballs, de manera que els dos indicadors son perfectes per a formar part del mateix factor. Al següent mapa es veu el nivell dels països de la UE en aquesta matèria:

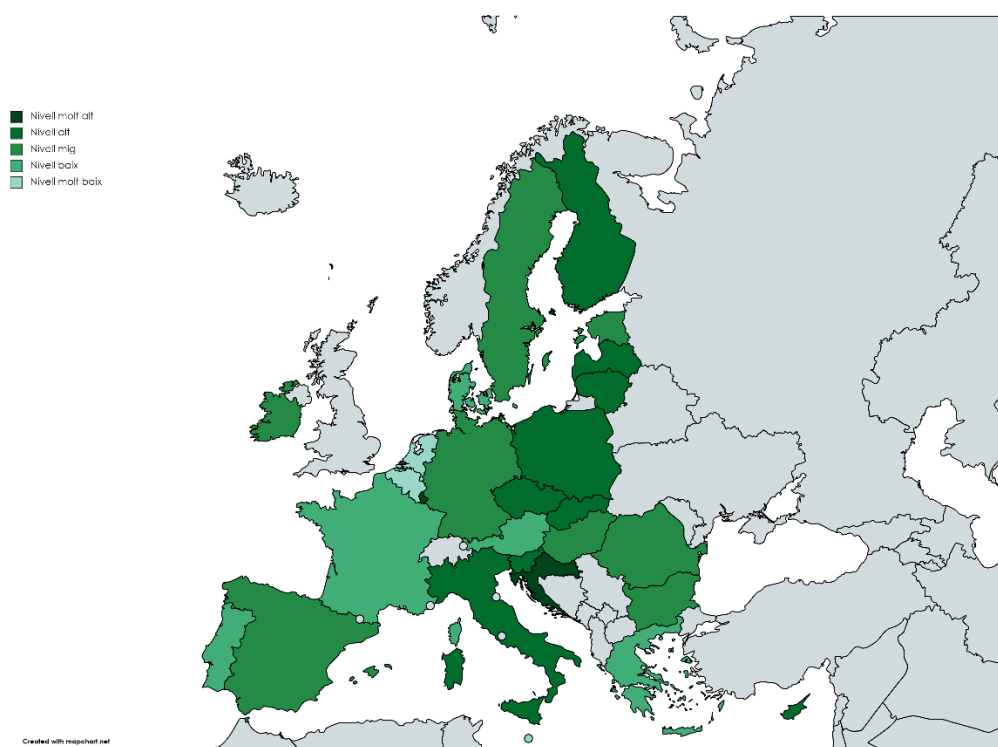


Figura 8.7: Mapa del Factor 4 EC

Font: Elaboració pròpia

Es pot observar que Croàcia té una quantitat important de reciclatge de residus electrònics i nombre de treballs relacionats amb la reutilització i la reparació. S'ha d'entendre que el indicador de treball es percentual, per tant encara que Croàcia tingui un alt %, també hi ha països més grans com Finlàndia que tenen un nivell interessant. Aquest factor es un dels únics que mostra que alguns països de l'est tenen un nivell acceptable.

A continuació es mostra quins son els 5 millors i 5 pitjors països:

Croatia	1,69612321
Luxembourg	1,41958369
Czechia	0,94570207
Lithuania	0,93629611
Latvia	0,80579912
...	...
Greece	-0,79315991
France	-0,7996675
Malta	-1,42275745
Netherlands	-1,46598367
Belgium	-1,84945388

Taula 8-7. Ranking F4 EC

Font: Elaboració pròpia

### 8.3. Factors determinants per a la I4.0 i EC.

Els factors determinants resultants de l'anàlisi factorial per als dos conceptes junts, òbviament no tenen una temàtica similar. Tot i això, permet observar i entendre la relació entre la Indústria 4.0 i la economia circular.

#### **Factor 1:**

El factor 1 consisteix de molts indicadors de tota mena. Es un factor molt gran que compta amb 10 indicadors. El mapa resultant ens dibuixa una realitat. Aquesta realitat es que hi ha una gran relació entre la Indústria 4.0 i la circularitat de la economia. Alemanya es el país líder amb diferencia, seguit de països mediterranis.



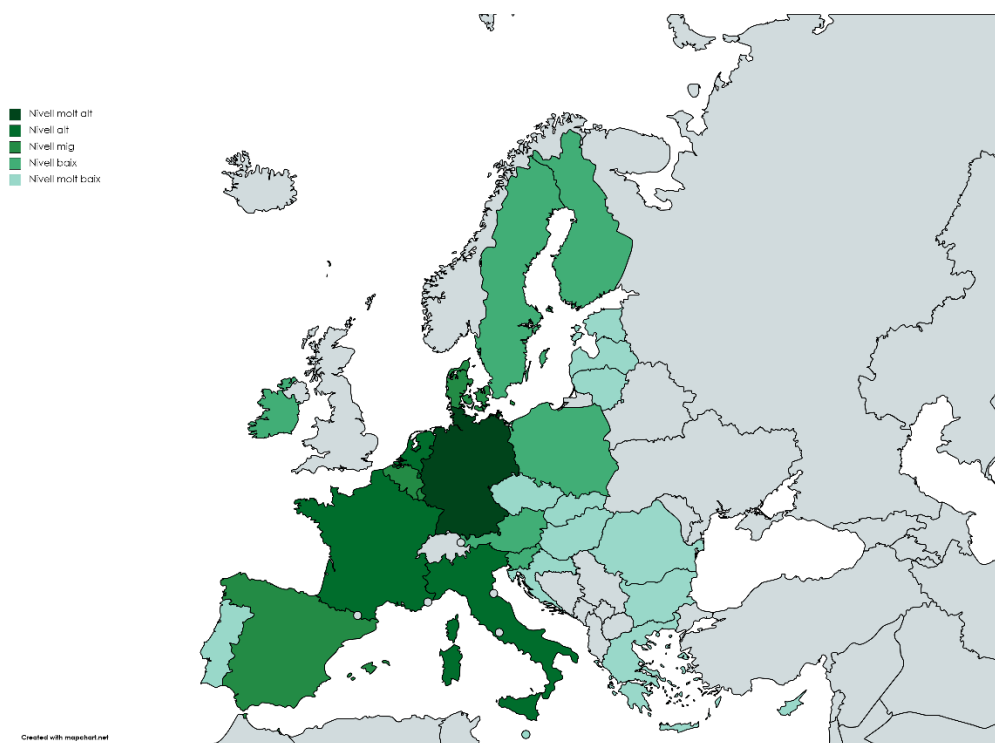


Figura 8.8: Mapa del Factor 1 I4.0 EC

Font: Elaboració pròpia

Una vegada més, els països de l'est de la UE són els que tenen un nivell inferior. Això es degut a polítiques que van en la direcció contrària de l'avenç industrial i manca de recursos.

A continuació es mostra quins són els 5 millors i 5 pitjors països:

Germany	2,1216824
France	1,42041551
Netherlands	1,19427515
Italy	1,1237884
Spain	0,66648059
...	...
Latvia	-0,66645966
Bulgaria	-0,68112358
Romania	-0,70079171
Croatia	-0,70199912
Cyprus	-0,79587905

Taula 8-8. Ranking F1 I4.0 EC

Font: Elaboració pròpia

**Factor 2:**

El factor 2 té un nombre de indicadors molt menor que el factor 1. Té un cert focus en el know-how de la població i els treballadors, a més de la utilització de IA i el PIB. Aquest factor ens ajuda a entendre en quins apartats els països escandinaus són líders, i perquè estan a la conversació de líders de la indústria. Tenen un fort PIB, una població molt qualificada i una forta estructura empresarial relacionada amb la IA.

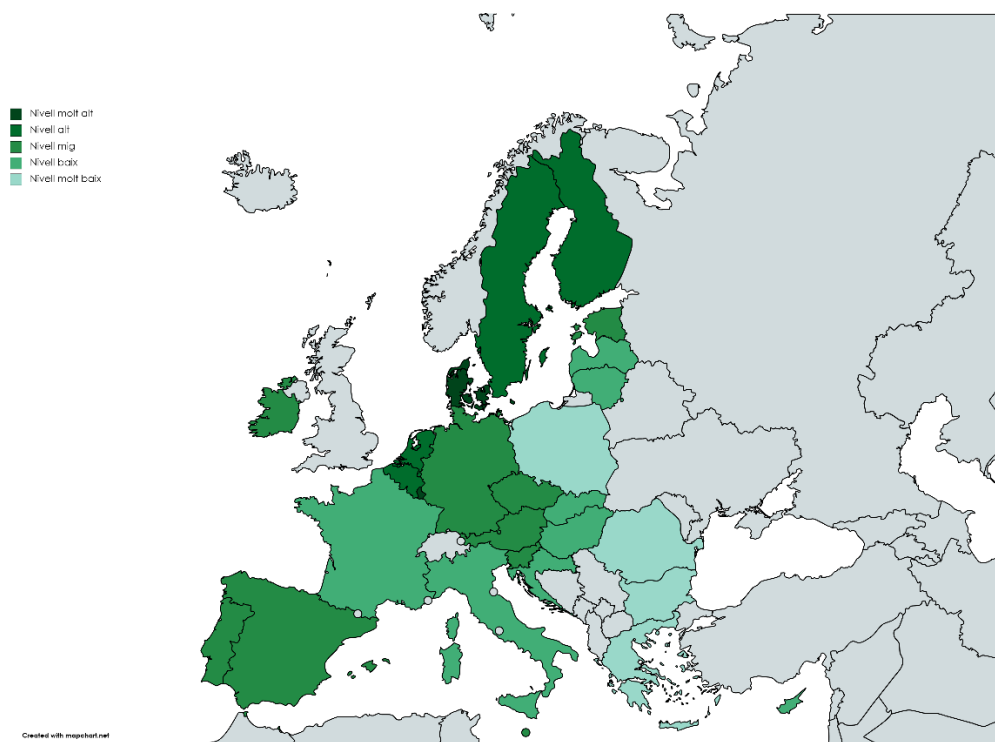


Figura 8.9: Mapa del Factor 2 I4.0 EC

Font: Elaboració pròpia

Els països que pitjor nivell tenen són, una altra vegada, els països més pobres. Aquesta tendència deixa clara una manca de cooperació industrial dins la UE.

A continuació es mostra quins són els 5 millors i 5 pitjors països:

Denmark	1,63357898
Luxembourg	1,44960361
Netherlands	0,92379733
Sweden	0,91351675
Finland	0,87203218
...	...
Italy	-0,66075385
Greece	-0,97441786
Poland	-1,02288971
Romania	-1,29760375
Bulgaria	-1,30421772

Taula 8-9. Ranking F2 I4.0 EC

Font: Elaboració pròpia

**Factor 3:**

Aquest factor esta format nomes per 3 indicadors. Aquest factor ens ajuda a veure que quan afegixes el factor de la densitat de població a el material footprint, el mapa canvia bastant. Finlàndia i Luxemburg son líders per motius diferents, Finlàndia te un fort nivell de material footprint mentre que Luxemburg te una gran densitat de població.

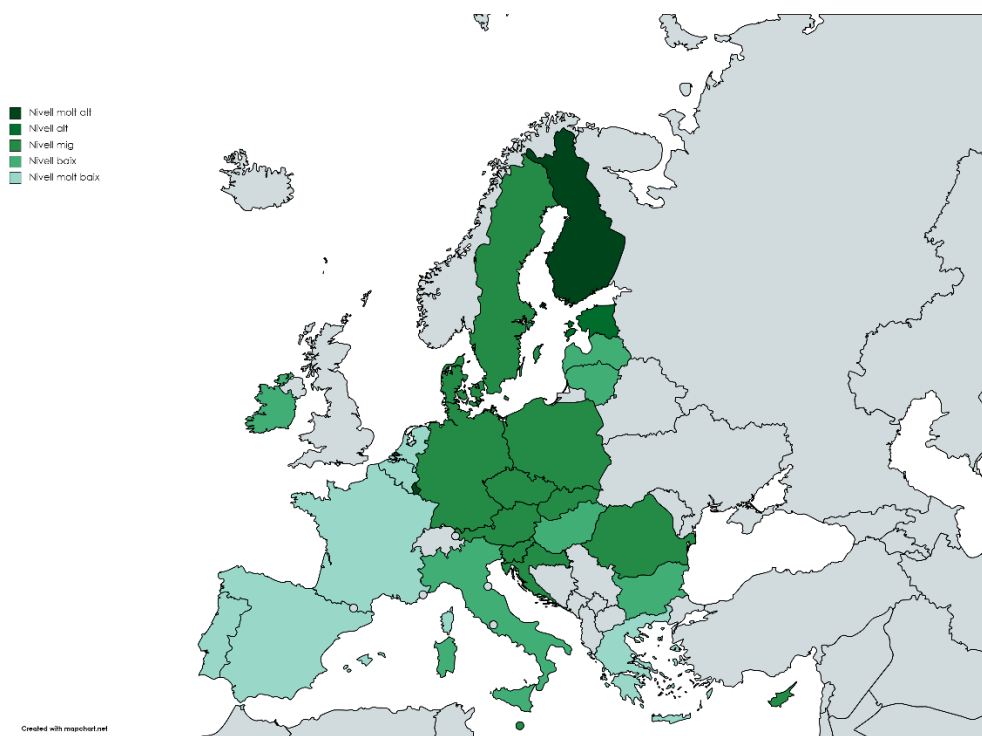


Figura 8.10: Mapa del Factor 3 I4.0 EC

Font: Elaboració pròpia

A continuació es mostra quins són els 5 millors i 5 pitjors països:

Finland	1,00609938
Luxembourg	0,99357933
Estonia	0,45273023
Sweden	0,29900117
Croatia	0,28812361
...	...
Spain	-0,49354004
Greece	-0,61882832
Belgium	-0,63976796
Netherlands	-0,64833399
France	-0,64929325

Taula 8-10. Ranking F3 I4.0 EC

Font: Elaboració pròpia

**Factor 4:**

Aquest factor consta només d'un indicador. És cert que es podria haver exclòs de l'anàlisi, però resulta interessant observar a un mapa quin és el percentatge de treballs provinents de la retutilització o reparació de productes:

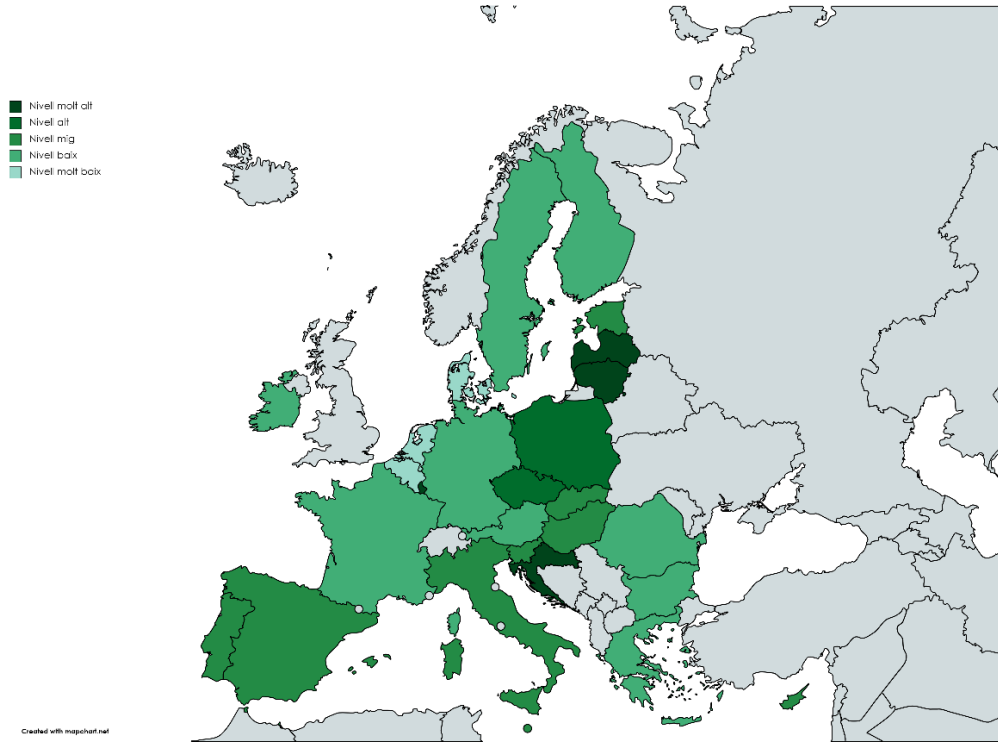


Figura 8.11: Mapa del Factor 4 I4.0 EC

Font: Elaboració pròpia

A continuació es mostra quins són els 5 millors i 5 pitjors països:

Lithuania	2,00053042
Latvia	1,83478455
Luxembourg	1,76697941
Croatia	1,48822498
Czechia	0,90811441
...	...
Austria	-0,90002244
Greece	-0,93769196
Denmark	-1,12603955
Netherlands	-1,54040424
Belgium	-1,77395525

Taula 8-11. Ranking F4 I4.0 EC

Font: Elaboració pròpia

**Factor 5:**

Aquest factor també consta de només d'un indicador, el malbaratament de menjar. També resulta interessant observar quins països de la UE malbaraten més menjar.

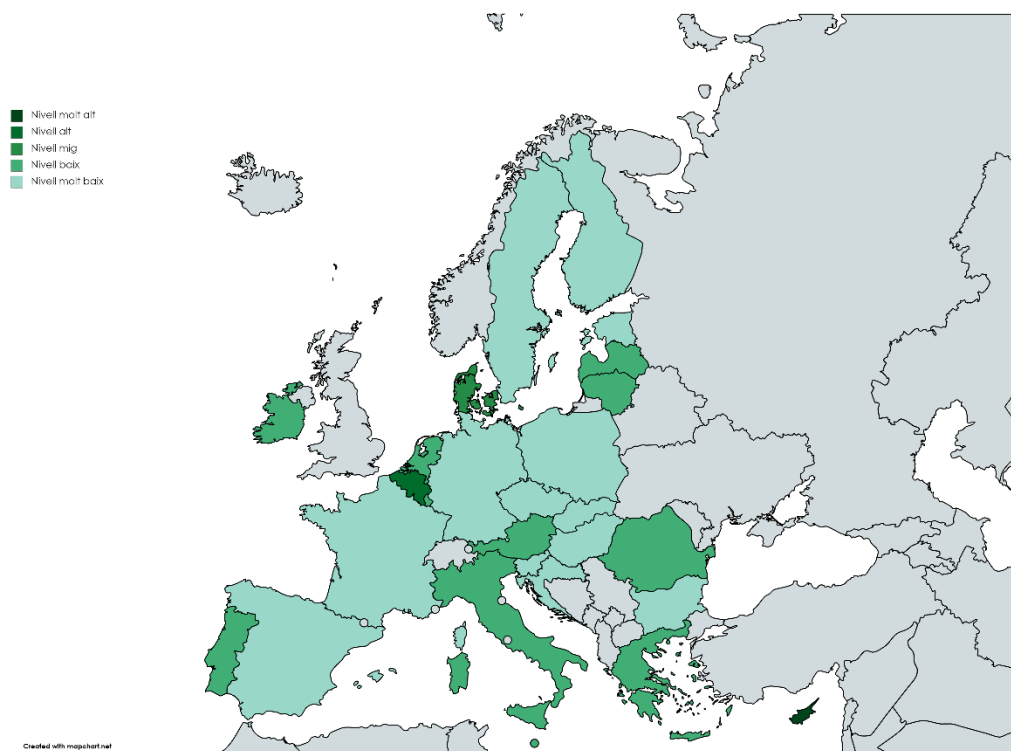


Figura 8.12: Mapa del Factor 5 I4.0 EC

Font: Elaboració pròpia

Resulta que Xipre malbarata molt de menjar, però sorprenentment Bèlgica també ho fa.

A continuació es mostra quins son els 5 millors i 5 pitjors països:

Cyprus	3,78183762
Belgium	1,60171946
Denmark	1,17162813
Greece	0,72670605
Portugal	0,6228909
...	...
Sweden	-0,81569047
Bulgaria	-0,8305212
Slovakia	-0,87501341
Croatia	-1,05298224
Slovenia	-1,09747445

Taula 8-12. Ranking F5 I4.0 EC

Font: Elaboració pròpia

### Factor 6:

El factor 6 resulta molt interessant, ja que combina 2 indicadors que tenen certa relació directa. Les empreses que empren e-commerce i les skills de la població amb l'ordinador. Aquest mapa ens permet observar quins països tenen millor relació empresa-client:

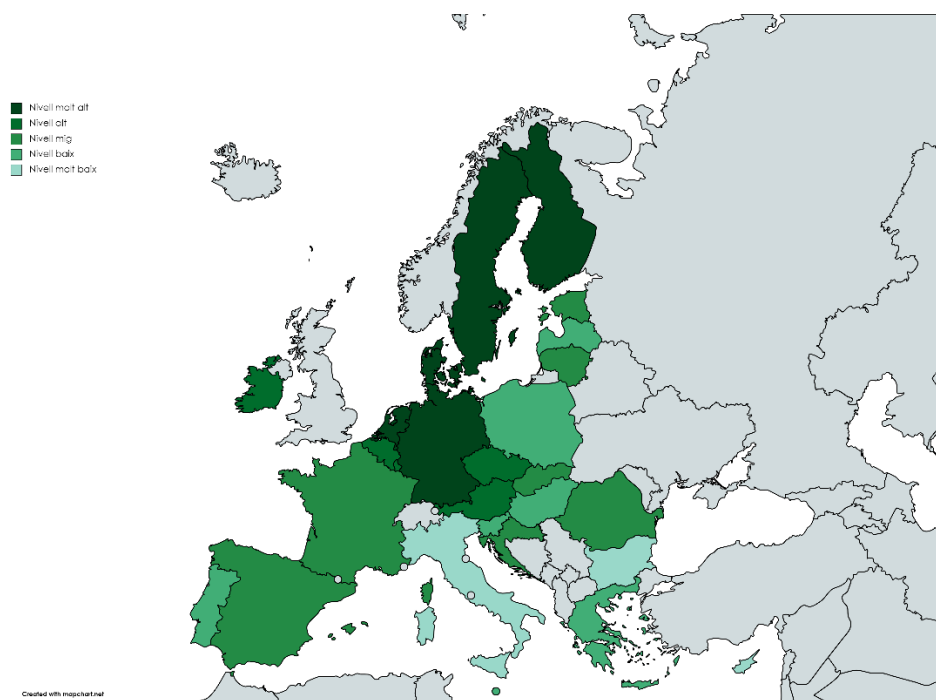


Figura 8.13: Mapa del Factor 6 I4.0 EC

Font: Elaboració pròpia

Els països clàssicament reconeguts com a líders de la indústria són també els països que tenen un bon e-commerce i una població ben digitalitzada. Alemanya i els països escandinaus són els que tenen un major nivell, juntament amb els Països Baixos.

A continuació es mostra quins són els 5 millors i 5 pitjors països:

Denmark	1,37587737
Sweden	1,27508383
Finland	1,24412451
Netherlands	0,98934433
Germany	0,98565181
...	...
Poland	-0,55035673
Greece	-0,57055348
Bulgaria	-0,94228742
Cyprus	-1,19507762
Italy	-1,23846642

Taula 8-13. Ranking F6 I4.0 EC

Font: Elaboració pròpia



## 8.4. Clústers d'Indústria 4.0.

Hi ha un total de 5 clústers dins la UE quan s'analitza la Indústria 4.0.

### Clúster 1:

El primer clúster es conforma en gran part per els països que de manera habitual son anomenats líders de la indústria a la UE.



Figura 8.14: Mapa del Clúster 1 I4.0

Font: Elaboració pròpia

Aquest clúster no destaca res en els 2 factors més petits, però sí destaca en el factor d'habilitadors empresarials i capital humà, que és el factor més gran i important.

Clúster 1	Mitjana
Factor 1: Habilitadors empresarials i capital humà	1,083791
Factor 2: Consum, innovació i educació	0,094934
Factor 3: Població per país	0,070080

Taula 8-14. Mitjana Clúster 1 I4.0

Font: Elaboració pròpia

Son regions amb un important sector industrial, població molt digitalitzada i una forta economia que es preocupa d'impulsar les empreses.

### Clúster 2:

El segon clúster destaca pel contrari que el primer, es un desastre en quant al sector industrial, te una població molt poc digitalitzada i una economia bastant malifeta.



Figura 8.15: Mapa del Clúster 2 I4.0

Font: Elaboració pròpia

Encara que son especialment dolents en el factor 1, tampoc son massa bons en el altres factors. Son un clúster molt poc avançat en quant a la Indústria 4.0.

Clúster 2	Mitjana
Factor 1: Habilitadors empresarials i capital humà	-0,95189
Factor 2: Consum, innovació i educació	-0,26846
Factor 3: Població per país	-0,29900

Taula 8-15. Mitjana Clúster 2 I4.0

Font: Elaboració pròpia

### Clúster 3:

El tercer clúster, de manera similar al segon, esta molt poc preparat per a la Indústria 4.0, encara que no destaca per ser massa dolent a cap factor en concret.

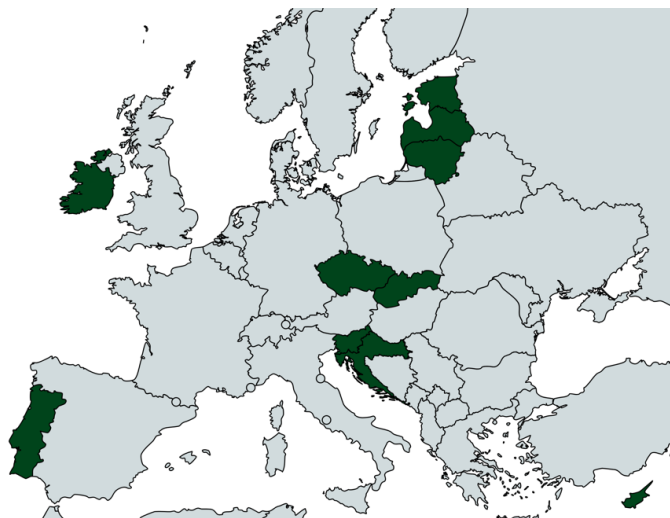


Figura 8.16: Mapa del Clúster 3 I4.0

Font: Elaboració pròpia

Clúster 3	Mitjana
Factor 1: Habilitadors empresarials i capital humà	-0,23209
Factor 2: Consum, innovació i educació	-0,42200
Factor 3: Població per país	-0,33694

Taula 8-16. Mitjana Clúster 3 I4.0

Font: Elaboració pròpia

#### Clúster 4:

El quart clúster te com a curiositat que Alemanya està emparellada amb els països mediterranis, una ocurrència que no es fàcil de imaginar.

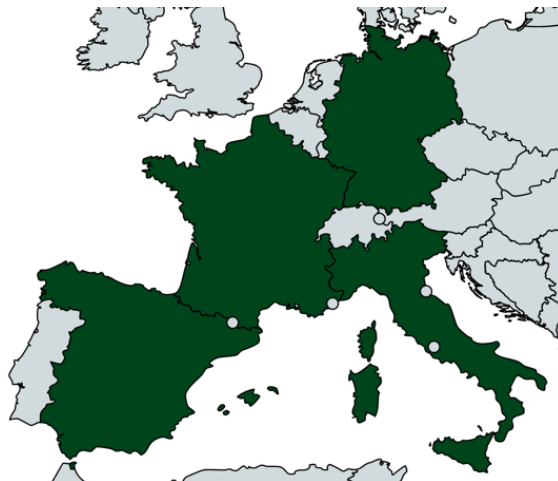


Figura 8.17: Mapa del Clúster 4 I4.0

Font: Elaboració pròpia

Encara que Alemanya té un gran sector industrial, té encara més en comú un fort factor 2 amb els països mediterranis. És un clúster fort en innovació, sistema universitari i consum.

Clúster 4	Mitjana
Factor 1: Habilitadors empresarials i capital humà	0,15200
Factor 2: Consum, innovació i educació	1,28814
Factor 3: Població per país	-0,07086

Taula 8-17. Mitjana Clúster 4 I4.0

Font: Elaboració pròpia

### Clúster 5:

El clúster 5 és Malta, un país massa diferent a la resta com per ser emparellat. Destaca molt en la densitat de població, és a dir, el factor 3.



Figura 8.18: Mapa del Clúster 5 I4.0

Font: Elaboració pròpia

Clúster 5	Mitjana
Factor 1: Habilitadors empresarials i capital humà	-0,45218
Factor 2: Consum, innovació i educació	-0,25485
Factor 3: Població per país	4,65726

Taula 8-18. Mitjana Clúster 5 I4.0

Font: Elaboració pròpia

## 8.5. Clústers d'economia circular.

Hi ha un total de 6 clústers dins la UE quan s'analitza l'economia circular.

### Clúster 1:

Bèlgica i els Països Baixos destaquen per tenir una forta estructura per al reciclatge, però en quant a la reutilització i reparació destaquen per no tenir gaire % de treballadors al sector i no reciclar els residus electrònics massa be.



Figura 8.19: Mapa del Clúster 1 EC

Font: Elaboració pròpia

En quant a la innovació i l'ús de matèries primeres, son bàsicament la mitjana.

Clúster 1	Mitjana
Factor 1: Reciclatge i residus	1,17127
Factor 2: Innovació i material footprint	-0,03285
Factor 3: Reciclatge a nivell de població	0,98963
Factor 4: Reutilització i reparació	-1,65772

Taula 8-19. Mitjana Clúster 1 EC

Font: Elaboració pròpia

### Clúster 2:

El segon clúster, format pels països escandinaus i països de Europa de l'Est, no destaca en res. Sorpren que els països escandinaus que tenen una preparació per a la Indústria 4.0 alta, no tenen res d'especial quan es parla de la circularitat de l'economia.

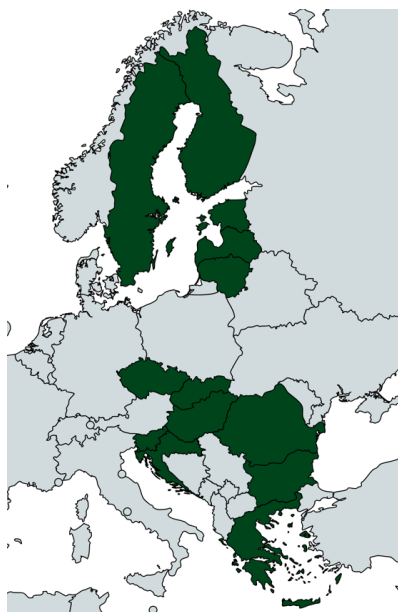


Figura 8.20: Mapa del Clúster 2 EC

Font: Elaboració pròpia

Clúster 2	Mitjana
Factor 1: Reciclatge i residus	-0,41152
Factor 2: Innovació i material footprint	-0,20664
Factor 3: Reciclatge a nivell de població	-0,40653
Factor 4: Reutilització i reparació	0,35119

Taula 8-20. Mitjana Clúster 2 EC

Font: Elaboració pròpia

**Clúster 3:**

Dinamarca, Àustria i Luxemburg destaquen per ser la mitjana en tot menys en el reciclatge a nivell municipal i el tractament de bioresidus.



Figura 8.21: Mapa del Clúster 3 EC

Font: Elaboració pròpia

Clúster 3	Mitjana
Factor 1: Reciclatge i residus	0,17578
Factor 2: Innovació i material footprint	0,21570
Factor 3: Reciclatge a nivell de població	1,36861
Factor 4: Reutilització i reparació	0,07911

Taula 8-21. Mitjana Clúster 3 EC

Font: Elaboració pròpia

**Clúster 4:**

Quan es parla de economia circular, el clúster 4 és únic. Alemanya forma un clúster sol i té un bon nivell de reciclatge a tots els nivells i innovació. A més, destaca per no ser dolent en res.





Figura 8.22: Mapa del Clúster 4 EC

Font: Elaboració pròpia

Clúster 4	Mitjana
Factor 1: Reciclatge i residus	1,74196
Factor 2: Innovació i material footprint	2,54658
Factor 3: Reciclatge a nivell de població	1,37566
Factor 4: Reutilització i reparació	-0,14434

Taula 8-22. Mitjana Clúster 4 EC

Font: Elaboració pròpia

**Clúster 5:**

Aquest clúster destaca per ser generalment dolent, però principalment falla en el reciclatge municipal i el tractament de bioresidus.



Figura 8.23: Mapa del Clúster 5 EC

Font: Elaboració pròpia

Clúster 5	Mitjana
Factor 1: Reciclatge i residus	-0,10402
Factor 2: Innovació i material footprint	-0,49576
Factor 3: Reciclatge a nivell de població	-0,85984
Factor 4: Reutilització i reparació	-0,42774

Taula 8-23. Mitjana Clúster 5 EC

Font: Elaboració pròpia

**Clúster 6:**

El clúster 6 destaca per tenir un bon nivell de reciclatge a nivell general i ser mes o menys la mitjana a tota la resta de factors.

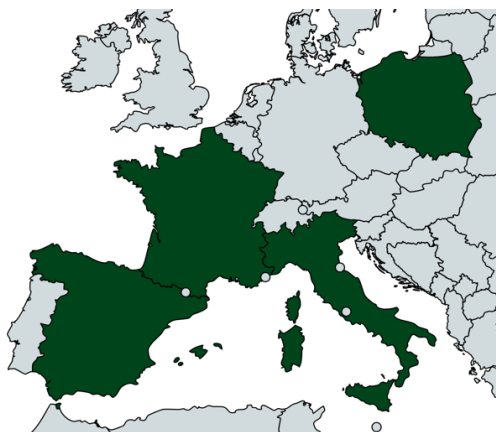


Figura 8.24: Mapa del Clúster 6 EC

Font: Elaboració pròpia

Clúster 6	Mitjana
Factor 1: Reciclatge i residus	0,98651
Factor 2: Innovació i material footprint	0,38535
Factor 3: Reciclatge a nivell de població	0,12573
Factor 4: Reutilització i reparació	0,09197

Taula 8-24. Mitjana Clúster 6 EC

Font: Elaboració pròpia

## 8.6. Clústers de I4.0 i EC.

Hi ha un total de 6 clústers dins la UE quan s'analitzen els dos conceptes junts.

### Clúster 1:

Com a la economia circular, Bèlgica i els Països Baixos tornen a formar un clúster.



Figura 8.25: Mapa del Clúster 1 I4.0 EC

Font: Elaboració pròpia

Clúster 1	Mitjana
Factor 1	0,87487
Factor 2	0,81678
Factor 3	-0,64405
Factor 4	-1,65718
Factor 5	0,94175
Factor 6	0,85847

Taula 8-25. Mitjana Clúster 1 I4.0 EC

Font: Elaboració pròpia

**Clúster 2:**

Els països més pobres de Europa formen un clúster on destaquen per ser dolents en moltes mètriques.



Figura 8.26: Mapa del Clúster 2 I4.0 EC

Font: Elaboració pròpia

Clúster 2	Mitjana
Factor 1	-0,68491
Factor 2	-0,74031
Factor 3	0,00615
Factor 4	-0,34101
Factor 5	0,76527
Factor 6	-0,65956

Taula 8-26. Mitjana Clúster 2 I4.0 EC

Font: Elaboració pròpia

**Clúster 3:**

Aquest clúster tampoc destaca gaire, en general està format per països que no tenen un massa bon nivell per a Indústria 4.0 o economia circular.

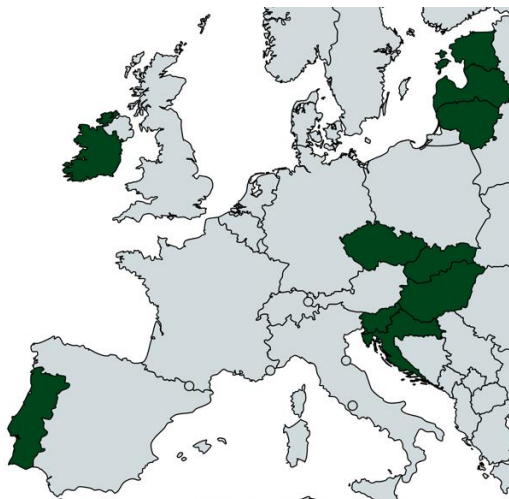


Figura 8.27: Mapa del Clúster 3 I4.0 EC

Font: Elaboració pròpia

Clúster 3	Mitjana
Factor 1	-0,41707
Factor 2	-0,14131
Factor 3	-0,02505
Factor 4	0,63313
Factor 5	-0,39746
Factor 6	0,00703

Taula 8-27. Mitjana Clúster 3 I4.0 EC

Font: Elaboració pròpia

**Clúster 4:**

Aquest clúster destaca per ser el segon millor, darrera de Alemanya. Està format per països que tenen un bon nivell de indústria 4.0 i economia circular, i no són dolents a cap factor.



Figura 8.28: Mapa del Clúster 4 I4.0 EC

Font: Elaboració pròpia

Clúster 4	Mitjana
Factor 1	0,29732
Factor 2	1,05224
Factor 3	0,53584
Factor 4	-0,31464
Factor 5	-0,00890
Factor 6	1,03276

Taula 8-28. Mitjana Clúster 4 I4.0 EC

Font: Elaboració pròpia

**Clúster 5:**

Alemanya torna a formar un clúster. Es excel·lent en quant al factor 1, i només falla al factor 4 que es basa en la reutilització.



Figura 8.29: Mapa del Clúster 5 I4.0 EC

Font: Elaboració pròpia

Clúster 5	Mitjana
Factor 1	2,12168
Factor 2	0,27384
Factor 3	0,11834
Factor 4	-0,80208
Factor 5	-0,16314
Factor 6	0,98565

Taula 8-29. Mitjana Clúster 5 I4.0 EC

Font: Elaboració pròpia

**Clúster 6:**

Aquest clúster també es repeteix en comparació amb l'anàlisi de només l'economia circular. En general un clúster sòlid que te un bon factor 1, però no destaca gaire en res en particular.



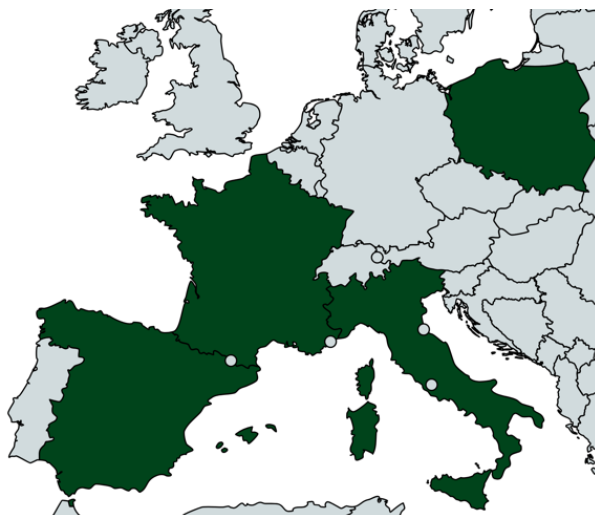


Figura 8.30: Mapa del Clúster 6 I4.0 EC

Font: Elaboració pròpia

Clúster 1	Mitjana
Factor 1	0,85507
Factor 2	-0,49868
Factor 3	-0,32242
Factor 4	0,26585
Factor 5	-0,34481
Factor 6	-0,38249

Taula 8-30. Mitjana Clúster 6 I4.0 EC

Font: Elaboració pròpia

## 8.7. Relació entre Indústria 4.0 i economia circular.

Amb els anàlisis factorial i clúster s'ha pogut observar que els conceptes i dades tenen molt en comú. Molts indicadors d'ambdós anàlisis apunten a que els mateixos països son

els millors, tant en els anàlisis separats com en el conjunt. Aquests països son Alemanya, Dinamarca, Suècia, Finlàndia, Luxemburg, etc.

Al marc conceptual i la recerca d'informació per al projecte també s'observa que els dos conceptes estan clarament relacionats.

A més, el concepte d'Indústria 5.0 esta assentant-se i es basa en una combinació de la Indústria 4.0 i la economia circular que te com a centre les persones.



## 9. Planificació.

La planificació realitzada per a dur a terme el projecte assumeix que la durada total del mateix es d'unes 400 hores. S'inicia el 21 de Novembre i la finalització es preveu per al 14 de Juny. A l'hora de fer la planificació s'han tingut en compte els dies festius, que en aquest cas son les vacances de Nadal (24/12/2022 fins al 06/01/2023).

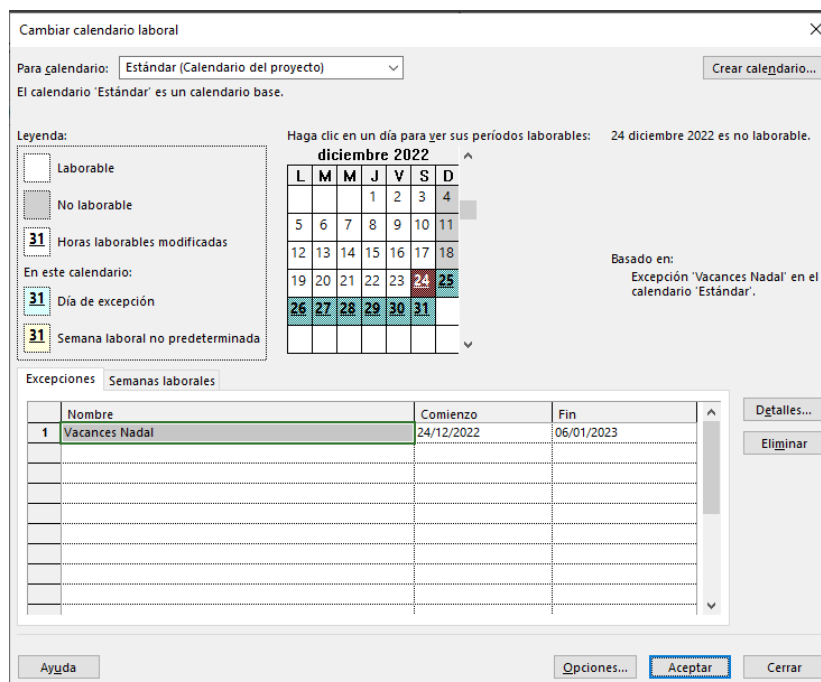


Figura 9.1. Programació de vacances

Font: Elaboració pròpia

Amb l'objectiu de definir correctament els dies i horaris de treball, s'ha estructurat la setmana d'aquesta manera en quant a disponibilitat:

- Dilluns: 16h-19h
- Dimarts: 16h-19h
- Dimecres: 16h-19h
- Dijous: 16h-19h
- Divendres: 16h-19h
- Dissabte: 16h-19h
- Diumenge: Descans

## 9.1. Planificació de l'avantprojecte.

A continuació es defineixen i descriuen les tasques de l'avantprojecte, el qual s'inicia la realització el dia 21 de Novembre i té una duració de 150 hores.

Tasca	Duració	Inici	Final
Lectura de fonts d'informació	25 hores	21/11/2022	30/11/2022
Antecedents i necessitats d'informació	20 hores	30/11/2022	07/12/2022
Objecte	4 hores	08/12/2022	09/12/2022
Abast	3 hores	10/12/2022	10/12/2022
Objectius i Especificacions tècniques	3 hores	12/12/2022	12/12/2022
Proposta d'indicadors	40 hores	13/12/2022	11/01/2023
Anàlisi de viabilitats	30 hores	12/01/2023	23/01/2023
Pressupost	10 hores	24/01/2023	27/01/2023
Documentació general	15 hores	28/01/2023	02/02/2023

Taula 9-1. Tasques AVP

Font: Elaboració pròpia

Descripció de les activitats de l'avantprojecte:

- Lectura fonts d'informació: Lectura de totes les fonts d'informació possibles de valor per a poder redactar uns bons antecedents i necessitats d'informació, així com adquirir coneixement necessari per a la realització del projecte.
- Antecedents i necessitats d'informació: Redacció del apartat d'Antecedents i necessitats d'informació emprant la informació trobada.
- Objecte: Redacció de l'objecte del projecte.
- Abast: Redacció de l'abast del projecte.
- Objectius i especificacions tècniques: Definició dels objectius a complir i les seves especificacions.

- Proposta d'indicadors: Proposta dels indicadors idonis per a la mesura de la Indústria 4.0 i economia circular.
- Anàlisi de viabilitats: Anàlisi de les tres viabilitats, econòmica, tècnica i mediambiental.
- Pressupost: Elaboració del pressupost.
- Documentació general: Tancament del document millorant temes de format, redacció amb més precisió i eliminació de possibles errors gramaticals.

A la figura 9.2 es mostra el diagrama de Gantt del avantprojecte. Es tracta d'una planificació lineal ja que el projecte es fet només per una persona i alguns apartats no es poden realitzar fins que els anteriors estan acabats. De manera que el camí crític conforma totes les tasques.

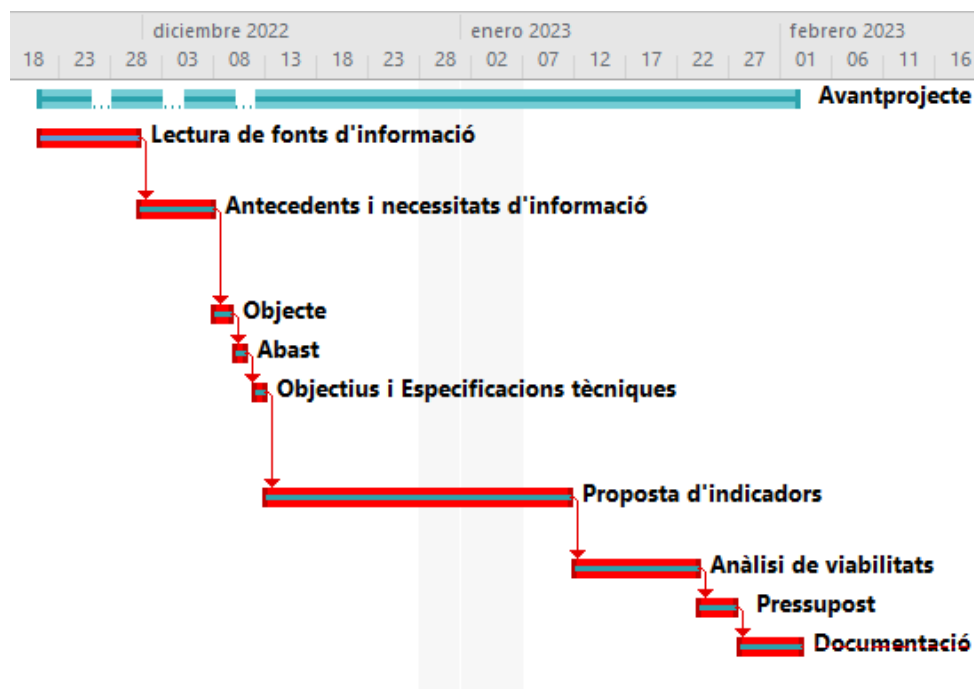


Figura 9.2. Diagrama de Gantt de planificació AVP

Font: Elaboració pròpia.

## 9.2. Planificació del projecte sencer.

Aquesta es la planificació del projecte de detall, el qual s'inicia el 20 de Febrer ja que hi ha una setmana per a fer la avaluació de l'avantprojecte. La entrega del projecte es realitza el dia 16 de Juny, per tant la planificació es fa deixant un temps de marge per a possibles desviacions a l'hora de l'execució. La duració del projecte sencer es de 400 hores, fent que la part de projecte de detall duri 250 hores.

Num	Tasca	Duració	Inici	Final	Precedència
1	Avantprojecte	150 hores	21/11/2022	02/02/2023	-
2	Revisió dels indicadors	30 hores	20/02/2023	02/03/2023	1
3	Creació base de dades	35 hores	02/03/2023	15/03/2023	2
4	Anàlisi factorial	40 hores	15/03/2023	30/03/2023	3
5	Anàlisi clúster	40 hores	30/03/2023	14/04/2023	4
6	Conclusions i anàlisi dels resultats	50 hores	14/04/2023	03/05/2023	5
7	Tancament del projecte	20 hores	03/05/2023	10/05/2023	6
8	Documentació	35 hores	15/03/2023	10/05/2023	3

Taula 9-2. Tasques PDET

Font: Elaboració pròpia

Descripció de les activitats del projecte de detall:

- Revisió dels indicadors: Una vegada a l'avantprojecte es van escollir uns indicadors, al projecte de detall s'analitza si aquells indicadors tenen realment valor i son mesurables per a l'anàlisi factorial i clúster.

- Creació base de dades: La cerca i examen previ de les dades relacionades amb cada indicador. També te en compte el temps de agrupar totes les dades al mateix full excel i normalitzar els valors per al seu anàlisi.
- Anàlisi factorial: Realització de l'anàlisi factorial.
- Anàlisi clúster: Realització de l'anàlisi clúster.
- Conclusions i anàlisi dels resultats: Una vegada es tenen els dos anàlisis realitzats s'ha de fer la tasca mes complicada, que es treure conclusions dels resultats obtinguts i fins i tot valorar si els resultats son vàlids.
- Tancament del projecte: Una vegada acabat la part grossa del projecte, es realitza un balanç i reflexió sobre el mateix.
- Documentació: Fa referencia a la documentació general de tots els anàlisis, conclusions, tancament, etc.

A la figura 9.3 es mostra el diagrama de Gantt del projecte sencer. Es tracta d'una planificació lineal a part de la documentació que es comença a fer en paral·lel quan els primers resultats dels analisis comencen a sortir. Per tant, el camí critic esta conformat per totes les tasques menys la documentació de la memòria intermitja i final.

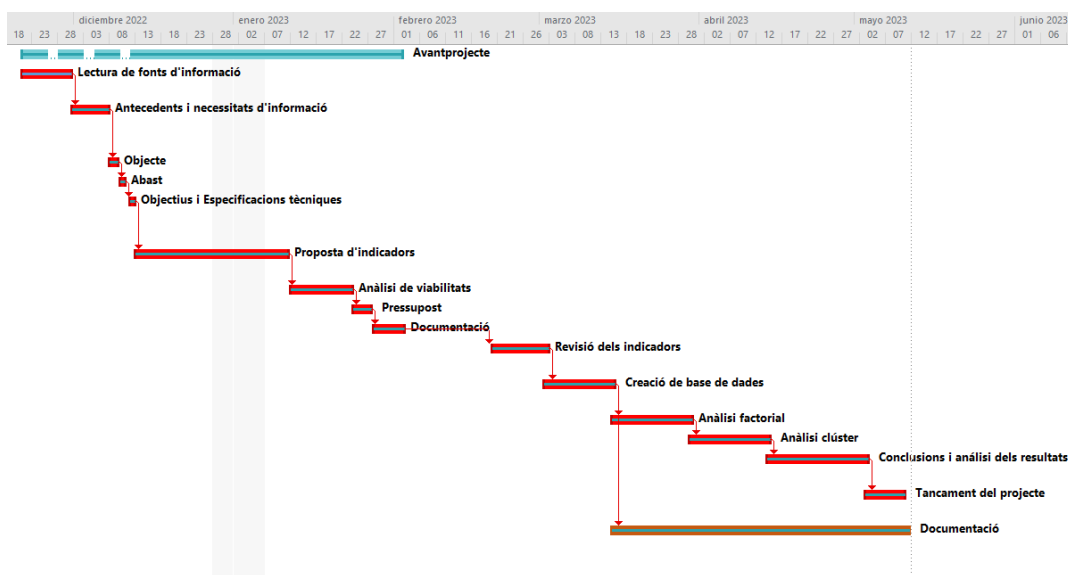


Figura 9.3: Diagrama de Gantt de planificació projecte sencer

Font: Elaboració pròpia.



### 9.3. Execució de la planificació.

La planificació ja preveia un marge d'un mes per a possibles desviacions a l'hora de fer el projecte. Com s'esperava, s'han produït algunes desviacions respecte a la planificació inicial del projecte.

Les desviacions esmentades han sigut causades per problemes personals, errors en la determinació de duracions i problemes amb el software SPSS.

El primer problema es va presentar durant la creació de la base de dades. Encara que es tenien els indicadors ben definits i s'havia verificat que tenien dades disponibles, hi havia alguns que tenien dades de només alguns anys. L'objectiu es valorar els anys 2017, 2018 i 2019. Per tant, la durada de la tasca es va allargar ja que es va d'haver d'adaptar les dades per a fer el càlcul i el tractament necessari. La desviació ha sigut d'un total de 15 hores.

El següent problema ha sorgit amb els anàlisis factorial i clúster. Degut a la naturalesa del treball, no es pot saber quant de temps es trigarà en arribar a un resultat mínimament vàlid. Es va estimar que es trigaria 40 hores a fer cadascun dels anàlisis i s'ha acabat afegint 10 hores a cada tasca relacionada.

Durant el tancament del projecte diversos problemes personals van ocórrer, això va fer que la tasca tingués una desviació de 10 hores.

Sumant les hores pressupostades i les desviacions, el temps de finalització del projecte ha sigut de 445 hores.

A continuació es veuen les tasques i desviacions en detall:

Num	Tasca	Duració	Inici	Final	Precedència
1	Avantprojecte	150 hores	21/11/2022	02/02/2023	-
2	Revisió dels indicadors	30 hores	20/02/2023	02/03/2023	1

3	Creació base de dades	50 hores	02/03/2023	21/03/2023	2
4	Anàlisi factorial	50 hores	21/03/2023	08/04/2023	3
5	Anàlisi clúster	50 hores	08/04/2023	27/04/2023	4
6	Conclusions i anàlisi dels resultats	50 hores	27/04/2023	16/05/2023	5
7	Tancament del projecte	30 hores	16/05/2023	26/05/2023	6
8	Documentació	35 hores	21/03/2023	26/05/2023	3

Taula 9-3. Tasques Exec.

Font: Elaboració pròpia

Al diagrama de Gantt final s'observa com el projecte s'ha atrasat uns 15 dies. De nou, el camí crític son totes les tasques menys la de documentació.

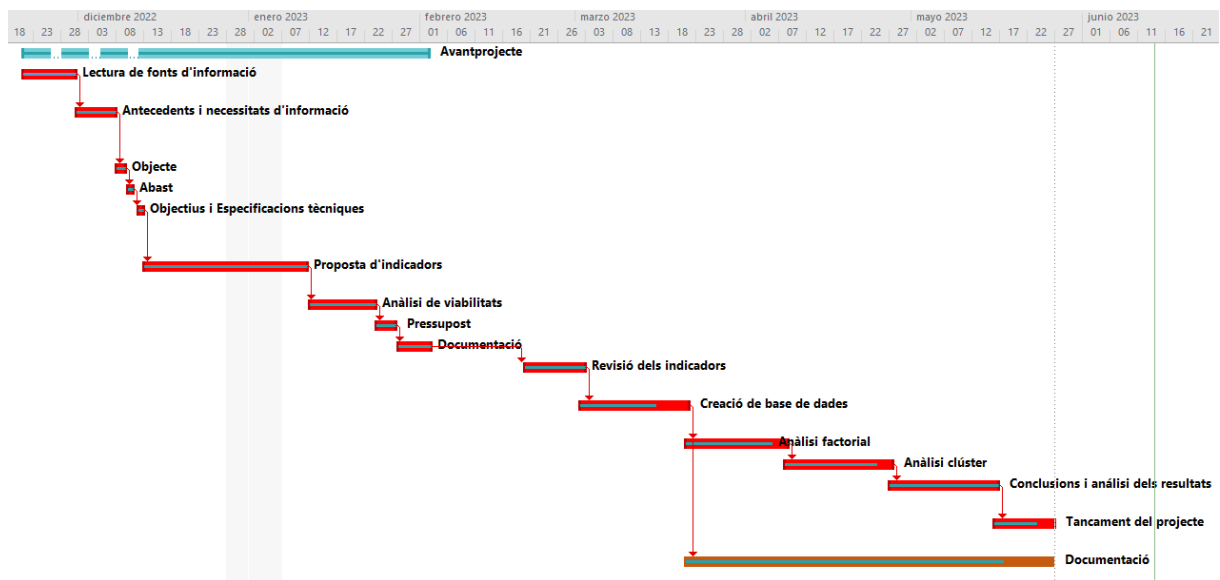


Figura 9.4: Diagrama de Gantt d'execució de projecte sencer

Font: Elaboració pròpia.



## **10. Perspectiva de gènere.**

Aquest projecte es limita a la realització d'una metodologia per a mesurar amb dades la Indústria 4.0 i economia circular. No dissenya cap producte, servei tecnològic o procés de producció.

No obstant, la indústria 4.0 i la economia circular son conceptes que s'apliquen a un sector on les normes i relacions de gènere encara son presents.

La indústria 4.0 ha ajudat a renovar l'àmbit industrial, donant una oportunitat de començar de 0 al sector. L'economia circular ha tingut un efecte similar, proporcionant un nou paradigma a la indústria que permet igualar les condicions i oportunitats.

Amb la propera consolidació del concepte de Indústria 5.0, que es un concepte amb un enfocament central en l'ésser humà, s'espera que continuï el camí cap a la igualtat.



## **11. Impacte mediambiental.**

Degut a la naturalesa teòrica del projecte no hi ha cap impacte mediambiental causat de manera directa. Tot i això, hi ha diversos possibles impactes mediambientals causats per la aplicació de mesures relacionades amb les mètriques de Indústria 4.0 i Economia circular.

La aplicació de mesures per a la millora de la circularitat de l'economia genera un clar impacte positiu al medi ambient. D'aquesta manera mes productes o materials acabaran sent reutilitzats per a la fabricació de nous productes.

Per altra banda, la aplicació de mesures per a la millora de la aplicació d'Indústria 4.0 te impactes mediambientals bons i dolents. Aquestes mesures fan que les empreses tinguin un millor nivell de descentralització i sostenibilitat en la gestió dels recursos. La efectivitat de la implementació fa que es puguin recollir dades de contaminació i donar passes per a la reducció de la mateixa. Encara que l'impacte mediambiental es positiu en general, la implementació de TICs comporta un us d'energia major i una major dificultat per a la gestió energètica.

L'impacte directe d'aquest projecte es veurà reflectit en l'interès de les regions que obtinguin un nivell baix al ranking per a millorar la infraestructura i cultura industrial. L'estudi ofereix una informació de valor que ha de ser correctament emprada per tal que hi hagi un impacte mediambiental positiu. Així com el ranking pot tenir un impacte positiu, també pot tenir un de negatiu en les regions que ja tinguin un bon nivell d'indústria 4.0 i EC ja que es poden relaxar al veure que ja estan en un bon camí i reduir inversions.

Un altre impacte directe positiu es la substitució de l'ús de paper per sistemes de bases de dades al núvol per a gestionar el dia a dia de les empreses.

En conclusió, el projecte no té cap impacte mediambiental directe però ofereix informació de valor que pot ser emprada per a reduir l'impacte mediambiental del sector industrial arreu d'Europa.



## **12. Conclusions.**

El projecte realitzat té com a objectiu aconseguir una metodologia que mesuri bé la Indústria 4.0 i la economia circular, i també analitzar la seva relació.

Durant la realització del marc conceptual s'ha observat com molts conceptes i indicadors són similars o iguals entre els dos conceptes, ja que en termes de innovació, empresa i població són conceptes especialment relacionats.

A l'hora d'escollir els indicadors s'ha tingut molt en compte obtenir un balanç que aconseguix tenir els màxims indicadors possibles mentre es manté fidel a la definició i significat dels conceptes analitzats.

La manca de disponibilitat de dades ha dut a una situació en la que la economia circular s'ha vist reduïda molt a reciclatge i reparabilitat. És clar que al següent any l'anàlisi profund de la economia circular serà més fàcil.

L'anàlisi factorial combinat ha donat un total de 6 factors, que encara que no són molt diferencials, ens ajuden a classificar els indicadors. Per altra banda, l'anàlisi clúster ens diu que hi ha 6 clústers a la UE, un nombre vàlid i que ajuda a entendre en context com es classifica la UE en terminis de Indústria 4.0 i economia circular.

Encara que ja existeixen altres metodologies com es pot veure al marc conceptual, el que fa especial a la metodologia d'aquest projecte és que agafa el millor de les que ja existeixen i afegeix alguns indicadors de recent aparició en quant a disponibilitat de dades.

El projecte aconseguix entendre i explicar la relació existent entre la Indústria 4.0 i la economia circular, però també deixa clar les diferències actuals al context de la UE.

### **12.1. Desviacions.**

Les desviacions esmentades han sigut causades per problemes personals, errors en la determinació de duracions de tasques i problemes amb el software SPSS.

El primer problema es va presentar durant la creació de la base de dades. Encara que es tenien els indicadors ben definits i s'havia verificat que tenien dades disponibles, hi havia



alguns que tenien dades de només alguns anys. L'objectiu es valorar els anys 2017, 2018 i 2019. Per tant, la durada de la tasca es va allargar ja que es va d'haver d'adaptar les dades per a fer el càlcul i el tractament necessari.

El següent problema ha sorgit amb els anàlisis factorial i clúster. Degut a la naturalesa del treball, no es pot saber quant de temps es trigarà en arribar a un resultat mínimament vàlid.

Durant el tancament del projecte diversos problemes personals van ocórrer, això va fer que la tasca tingués un endarreriment considerable.

## **12.2. Possibles millores i futures línies de treball.**

Tot i que el projecte aconsegueix assolir els objectius marcats, hi ha certes situacions que de ser remeiades hauria donat lloc a un resultat molt millor. També hi ha evolucions al camp de la Indústria 4.0 i la Economia circular que poden ser recomanables a valorar:

- La manca disponibilitat de dades per a indicadors estratègics de Economia circular fa que a dia d'avui pràcticament només es pugui analitzar la part més bàsica de reciclatge i reparabilitat. La manera d'arreglar això es deixar passar el temps per a que els països o regions europees puguin recopilar i publicar més dades.
- La pandèmia del Covid ha suposat un problema per a aquest projecte, ja que moltes de les dades disponibles han quedat afectades i alguns països van deixar de publicar dades de manera completa. Aquest problema es fàcilment superable ja que si es continua aquesta línia de recerca, hi hauran mes dades del 2022 i 2023.
- Relacionat amb els anteriors punts, poder tenir una gamma mes amplia de indicadors per a poder arribar a tenir mes factors i clústers.
- Introduir el concepte d'Indústria 5.0, un concepte que tracta d'ajuntar la Indústria 4.0 i la Economia circular en un sol. A aquest projecte ja s'ha pogut observar que la Indústria 4.0 i la Economia circular tenen certes correlacions, però l'objectiu de l'Indústria 5.0 es aconseguir que la circularitat sempre sigui present en un

entorn de Indústria 4.0. El següent projecte hauria d'estar centrat en això, partint de la informació i resultats d'aquest projecte.



## 13. Bibliografía.

- [1] RUIZ, E., CANALES, R., GARCÍA, V. (2019). La medición de la economía circular [ONLINE]. Disponible a: [https://foretica.org/wp-content/uploads/informe\\_medida\\_economia\\_circular\\_foretica.pdf](https://foretica.org/wp-content/uploads/informe_medida_economia_circular_foretica.pdf)
- [2] Parlamento Europeo (2015). Economía circular: definición, importancia y beneficios [ONLINE]. Disponible a: <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>
- [3] ESIC BUSINESS & MARKETING SCHOOL (2018). Qué es la Industria 4.0: transformación digital industrial [ONLINE]. Disponible a: <https://www.esic.edu/rethink/tecnologia/la-industria-4-0-transformacion-digital-industrial>
- [4] Ellen McArthur Foundation. Measure business circularity: Circulytics [ONLINE]. Disponible a: <https://ellenmacarthurfoundation.org/resources/circulytics/overview>
- [5] Circular Economy Toolkit [ONLINE]. Disponible a: <http://circulareconomytoolkit.org/introduction.html>
- [6] Circle Assessment [ONLINE]. Disponible a: <https://circle-lab.com/assessment/>
- [7] HOEY, B. (2020). 5 key metrics to track your Industry 4.0 progress [ONLINE]. Disponible a: <https://blog.flexis.com/5-key-metrics-industry-4.0>
- [8] HAYRIYE, A., ÜNLÜ, F. (2019). The Measurement of Industry 4.0 Performance through Industry 4.0 Index: An Empirical Investigation for Turkey and European Countries [ONLINE]. Disponible a: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050919312931>
- [9] World Economic Forum (2018). Readiness for the Future of Production Report 2018 [ONLINE]. Disponible a: [https://www3.weforum.org/docs/FOP\\_Readiness\\_Report\\_2018.pdf](https://www3.weforum.org/docs/FOP_Readiness_Report_2018.pdf)
- [10] ScienceDirect [ONLINE] Disponible a: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116307909>
- [11] How to Normalize Data in Excel [ONLINE] Disponible a: <https://www.statology.org/normalize-data-excel/>

- [12] LÓPEZ-AGUADO, M., GUTIERREZ-PROVECHO, L. (2018). Cómo realizar e interpretar un análisis factorial exploratorio utilizando SPSS [ONLINE]. Disponible a:  
<https://revistes.ub.edu/index.php/REIRE/article/download/reire2019.12.227057/28912/61418>
- [13] VILÀ-BAÑOS, R., RUBIO-HURTADO, MJ., BERLANGA-SILVENTE, V., TORRADO-FONSECA, M. (2014). Cómo aplicar un clúster jerárquico en SPSS [ONLINE]. Disponible a:  
<https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/65577/1/628893.pdf>