

## **TESIS DOCTORAL**

# **Desarrollo de la guía CircularTRANS para ayudar a las empresas industriales de la CAPV a mejorar su competitividad a través de la Economía Circular**

**IDOIA URAIN DESCARGA**



Directores de Tesis  
Daniel Justel Lozano  
José Alberto Eguren Egiguren

Tesis dirigida a la obtención del título de DOCTOR  
por MONDRAGON UNIBERTSITATEA

Departamento de Mecánica y Producción Industrial  
Mondragon Unibertsitatea

Febrero 2024



**Reconocimiento (by):** Se permite cualquier explotación de la obra, incluyendo una finalidad comercial, así como la creación de obras derivadas cuya distribución está permitida sin ninguna restricción.

# **DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD**

Yo, Idoia Urain Descarga, declaro que esta tesis es fruto de mi trabajo personal, y que no ha sido previamente presentada para obtener otro título o calificación profesional. Las ideas, formulaciones, imágenes e ilustraciones tomadas de fuentes ajenas han sido debidamente citadas y referenciadas.

# AGRADECIMIENTOS

Azkena idatzi eta irakurtzen den lehen atala den arren, lerro hauek garrantzi berezia daukate niretzat, bidaia honetan ondoan izan ditudan pertsoneri nolabait emandako guztia eskertu nahi diedalako.

Lehenik eta behin, eskerrak eman nahi dizkiot Mondragon Goi Eskola Politeknikoari tesi hau egiteko nigan konfiantza izateagatik eta nire burua garatzeko aukera emateagatik. Eskerrak ere Gipuzkoako Foru Aldundiako Ekonomia Sustapen, Turismo eta Landa Inguruneko Departamentu (CircularTRANS I-II-III, INMOIN Circular eta ECSI Circular Training), Basque Circular Hub eta Gasteizko Udalari urte hauetan proiektuak garatzeko aukera emateagatik, eta nola ez, eskerrak baita proiektu hauetan parte hartu duten enpresa, unibertsitate, garapen agentzia eta pertsona guztiei.

**Dani eta Eguren nire tesi zuzendariak**, zuei eskerrak eman hasieratik nigan pentsatu eta lau urte hauetan gauzak lasaitasunez aurrera eramaten laguntzearen, nahiz eta egoera zail batzuk pasa ditugun. Zuen laguntza eta ezagutza oso beharrezkoak izan ditut tesiaren garapen osoan zehar, eta zuengandik jasotako aholku, pazientzia, ulermen eta animoak gaur nagoen lekuan egotera bultzatu naute.

**DBZ eta Antolakuntza** departamentuko kideei ere eskerrak eman, jasotako animo, egindako bazkari eta pasatako momentu on guztiengatik. Horrez gain, eskolako beste lankideen aldetik jasotako babes eta animoak ere itzelak izan dira prozesu guzti honetan; beraz, zuei ere eskerrik asko.

**Doketeroei oro har**, baina, **Aritz, Iker, Maitane eta Aitor**, zuei bereziki eskerrak baino gehiago eman behar dizuet. Lau urte hauetan, momentu txarretan bertan egon zarete, lan orduetako malkoak irribarre bihurtzen eta niri eskutik eusten bidean erortzen ez uzteko. Izandako elkarriketa, postre dastaketa eta barre momentuak ikaragarriak eta oso beharrezkoak izan ditut aurrera egin eta finkatutako helburuak lortu arte amore ez emateko. Beraz, gauzak *“a lo loco”* egiten dituzuenean, *“a tomar por culo egun osoa”* sentsazioa daukazuenean, *“joder que no”* puntura heltzen zaretenean eta *“keep calm and let grandma die”* uste duzuenean, gogoratu *“Mi padre es de chiste”* edo *“Robertototo”* ondoan izango duzuela laguntzeko prest. Beti Doketero izango garelako, eskerrik asko.

**Jone eta Esther**, zuei ere eskerrak eman, urte hauetan ondoan egon eta beti prest izan zaretelako edozertan eta edozerekin laguntzeko.

**AITA, AMA** eta **ANE**, zuei bihotz-bihotzez eskerrik asko. Azken urteotan bizi izan ditudan unerik zailenetan konturatu naiz etxeakoak indartsuak badira, norbera ere indartsu bihurtzen dela, eta zuek erakutsi didazue hori, beti izan baitut zuen eskua gertu erori aurretik altxatzeko. Zuei esker, bizitza osoan nire buruari proposatu dizkiodan helburu guztiak lortzeko gai izan naiz, eta hau adibide bat besterik ez da. Baina, batez ere, eskerrik asko **AMA** eta **AITA**, nigatik egindako esfortzu eta lan gogorrari esker tesi hau egiteko aukera eman didazuelako, beraz, lan hau nirea bezain beste zuena ere bada, zuek gabe ez nintzatekeelako gaur nagoen lekura iritsiko. **Gure moduko familiarik ez dagoelako munduan, jarrai dezagun elkarrekin oroitzapen berriak sortzen eta datozen erronkei aurre egiten.**

**EÑAUT**, zuretzat esker hitzak pentsatzen ari nintzela, abesti bat etorri zait burura, niregatik egin duzuna eta zure ondoan bizi izan dudan guztia hobeto adierazten duen beste ezer ez baitago:

*“Hainbeste gauza esan nahi dizkizut denbora gutxian, azkeneko urteetan niretzat gorde ditudanak. Iluntasunean zu izan zinen nire egunsentia, aireratzeko behar nuen haize bolada. Heldu da garaia eskertzeko eman didazun guztia, irribarre onenak esnatzen ditugu gaudenean. Zurekin batera berriz asmatu nahiko nuke bizia, **Maitxe zaitzudalako nire ondoan!** Ekaitzaren erdian, aterperik onena lortu nuen zure besoetan, momentu zailenetan zein une goxoetan hor zaude zu nire alboan.”* (Heldu da garaia- ETS).

Eskerrik asko triste nengoenean irribarre bat ateratzeagatik, animoak emateagatik, ni ulertzen saiatu eta lortzeagatik (zaila, horrelako uneetan egokiena zer den ez dakizunean), baina batez ere eskerrik asko **BETI** ondoan egoteagatik nire ezinbesteko zutabe bihurtuta eta prozesu guzti honetan zuk ere amore ez emateagatik. Zurekin nire bizitzako unerik politenatarikoak bizi izan ditut, eta argi daukat aurrerantzean ere horrela izango dela. Sortu duguna, sortzen gabiltzana eta sortuko duguna ikaragarria izango delako. **Atzo, gaur, bihar eta beti; Bi indar, Bi argi.**

Esker oneko hitz hauek begietan malkoak ditudala idazten ditudan bitartean, bidaia honetan lagundu didaten beste pertsona asko etortzen zaizkit burura. Zerrendarekin hasiz gero dokumentua bera baino luzeagoa izango litzateke, beraz, oro har eta inor ez ahazteko asmoarekin, eskerrik asko denoi.

**BIHOTZEZ, ESKERRIK ASKO GUZTO!!!**

# RESUMEN

El Pacto Verde Europeo (PV), la estrategia de crecimiento económico con la que Europa quiere impulsar la innovación, la competitividad y el empleo tiene como base una economía respetuosa con el medio ambiente. Entre las principales directrices que marca el PV está la transición hacia una Economía Circular (EC) para el aprovechamiento máximo de los recursos. Desde la Unión Europea (UE) se están realizando a cabo diferentes acciones para impulsar la EC (taxonomía europea para finanzas sostenibles, iniciativa de producto sostenible, etc.), y éstas se están trasladando a nivel estatal y autonómico. Teniendo la UE como referencia tanto España como la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV) están desarrollando sus propias estrategias para que se integre la EC en la sociedad y en las empresas. Por ello, es necesario impulsar el tránsito hacia la EC tanto de empresas como de la sociedad.

Algunas de las soluciones de la EC (reparar, reutilizar, reacondicionar, reciclar) no son nuevas ni para la sociedad ni para las organizaciones, ya que se han aplicado cuando la situación lo ha requerido. Pero actualmente con la fuerza que va a adquirir el PV las actuaciones de la EC no van a ser aisladas, sino que deben integrarse en las sistemáticas de la sociedad y de las empresas.

Por ello, el objetivo de esta tesis doctoral ha sido desarrollar la guía CircularTRANS para ayudar a las empresas industriales de la CAPV a mejorar su competitividad a través de la EC. La metodología seguida consiste en una investigación en acción (IA) para la creación de la guía CircularTRANS y su la aplicación en dos casos de estudio para la validación.

La guía CircularTRANS (<https://circulartrans.mondragon.edu/es/inicio>) consiste en un proceso compuesto por cinco pasos: i) diagnóstico, ii) resultados, iii) selección de oportunidades, iv) plan de acción y, v) hoja de ruta.

El diagnóstico se realiza con el cuestionario *Industrial Circular Economy Questionnaire* (ICEQ) que da respuesta a los *gaps* identificados en el análisis de: i) cuestionarios y encuestas diagnóstico de EC, ii) herramientas de evaluación de la EC y iii) normas armonizadas de sistemas de gestión y EC. La validación del cuestionario se ha llevado a cabo en 30 empresas de 17 sectores industriales y ha permitido identificar necesidades de capacitación de las empresas en este ámbito, indicadores para integrar la EC en la organización y la necesidad de optimizar procesos bajo una visión

de EC. Por ello, tras una revisión del estado del arte y co-creando con empresas de diversos sectores se ha desarrollado el modelo de indicadores INMOIN Circular. El modelo propone 433 indicadores organizados en 12 áreas funcionales para que las organizaciones puedan gestionar el progreso de la EC en base a sus necesidades. Además, se desarrolla la herramienta Eco-productividad Industrial que permite a las empresas medir el nivel de despilfarros productivos, eficiencia productiva y ecoeficiencia (aspectos incluidos dentro de los 433 indicadores) con el fin de identificar áreas de mejora.

La guía CircularTRANS está siendo utilizada por más de 100 empresas y en esta tesis se muestra la validación en dos casos de estudio: Mugafil (sector industrial) y Clínica Dental Urraca (sector servicios). El proceso seguido ha permitido en los dos casos de estudio guiarles en el tránsito a la EC. Por una parte, en el caso de Mugafil, la empresa ha integrado la EC en la estrategia de la organización, han definido indicadores para las estrategias de regenerar, optimizar recursos y cierre de ciclos y han aplicado la herramienta Eco-productividad Industrial. Todo ello ha supuesto una mejora de la competitividad al aumentar la productividad (disminución de tiempos de cambio), la disminución de costes de la energía (uso de energía renovables) y gestión residuos (disminución del residuo gestionado). Por otra parte, la clínica, ha integrado la EC en la estrategia de la organización, ha definido indicadores para todas las estrategias de EC. Todo ello ha supuesto una mejora en la competitividad al disminuir y optimizar el uso de recursos (consumo energético y agua), alargar la vida útil de los productos (minimizando el uso de productos de un solo uso) y cierre de ciclos (disminución del residuo gestionado).

Para finalizar, se concluye que la guía CircularTRANS está ayudando a las empresas a: i) comprender qué hay detrás de la EC y cómo abordarla, ii) integrar la EC en las estrategias de las organizaciones y definir KPIs e iii) incrementar su competitividad al integrar oportunidades identificadas en los pasos de la guía. A su vez, el modelo de indicadores INMOIN Circular permite a las empresas conocer el nivel de integración de la EC en 12 áreas de la organización y su cadena de valor, conocer cuáles son las estrategias de la EC que se trabajan e identificar las oportunidades de mejora para incrementar su competitividad. Asimismo, la herramienta Eco-productividad Industrial, integra todos los aspectos relacionados con la optimización de los recursos productivos a través del cálculo del despilfarro productivo, la eficiencia productiva y la ecoeficiencia; integrando así la EC en el proceso productivo.

# LABURPENA

Europako Itun Berdeak (EIB), Europak berrikuntza, lehiakortasuna eta enplegua bultzatzeko erabili nahi duen hazkunde ekonomikoko estrategiak, ingurumena errespetatzen duen ekonomia du oinarri. EIBak ezartzen dituen jarraibide nagusien artean dago Ekonomia Zirkularerako (EZ) trantsizioa, baliabideak ahalik eta gehien aprobetxatzeko. Europar Batasuna (EB) hainbat ekintza egiten ari da EZ bultzatzeko (finantza jasangarrietarako taxonomia europarra, produktu jasangarriaren ekimena, etab.), eta ekintza horiek estatu eta autonomia mailan egiten ari dira. EB erreferentziatzen hartuta, Espainia eta Euskal Autonomia Erkidegoak (EAE) beren estrategiak garatzen ari dira EZ gizartean eta enpresetan integra dadin. Horregatik, beharrezkoa da enpresen zein gizartearen EZrako trantsizioa bultzatzea.

EZren irtenbideetako batzuk (konpontzea, berrerabiltzea, berregokitzea, birziklatzea) ez dira berriak ez gizartearentzat, ez erakundeentzat, egoerak hala eskatu duenean erabili izan dira-eta. Gaur egun, ordea, Itun Berdeak hartuko duen indarrarekin, EZren jarduerak ez dira kasu solteak izango, baizik eta gizartearen eta enpresen sistematiketan txertatu beharko den zerbitu.

Horregatik, doktorego tesi honen helburua izan da CircularTRANS gida garatzea, zeinarekin EAEko industria enpresei lagunduko zaien EZren bidez lehiakorragoak izaten. Ikerketarako erabilitako metodologia honako hau da: jarduneko saiakuntza CircularTRANS gida sortzeko, eta azterketako bi kasu aplikatzea ikerketa baliozkotzeko.

CircularTRANS gida (<https://circulartrans.mondragon.edu/eu/hasiera>) bost urratsez osatutako prozesu batean datza: i) diagnostikoa, ii) emaitzak, iii) aukeren hautaketa, iv) ekintza plana eta, v) bide orria.

Diagnostikoa *Industrial Circular Economy Questionnaire* (ICEQ) galdetegiarekin egin da. Galdetegi horrek hauek aztertzean identifikatutako *gap*-ei erantzuten die: i) EZren diagnostikoko galdetegiak eta inkestak, ii) EZ ebaluatzeko tresnak, iii) kudeaketa sistemen eta EZren arau bateratuak. Galdetegia 17 industria sektoretako 30 enpresatan baliozkotu da, eta baliozkotzean aukera egon da enpresek arlo horretan dituzten trebakuntza beharrak identifikatzeko, EZ erakundean integrazteko adierazleak zehazteko eta prozesuak EZren ikuspegitik optimizatzeko beharra identifikatzeko. Horregatik, orain arte egindakoa berrikusi ondoren eta hainbat sektoretako enprekin batera sortuz, INMOIN Circular adierazleen ereduak garatu da. Ereduak 433 adierazle

proposatzen ditu, 12 arlo funtzionaletan antolatuta, erakundeek EZren aurrerapena kudeatu ahal izan dezaten, beren premien arabera. Gainera, Eko-produktibitate Industrialak tresna garatu da. Horri esker, enpresek produkzioan xahutzen dena, produkzioaren efizientzia eta ekoefizientzia neurtu ahal izango dituzte, hobetu beharreko arloak identifikatzeko (433 adierazleen barruan sartutako alderdiak).

CircularTRANS gida 100 enpresa baino gehiagok erabiltzen dute, eta tesi honetan azterketako bi kasutan baliozkotzea erakusten da: Mugafil (industria sektorea) eta Urraca Hertz Klinika (zerbitzu sektorea). Jarraitutako prozesuari esker, azterketako bi kasuetan, EZrako bidean gidatu ahal izan dira enpresa biak. Alde batetik, Mugafil kasuan, enpresak EZ erakundearen estrategian txertatu du, baliabide berriztagarriak erabiltzeko, baliabideak optimizatzeko eta zikloak ixteko estrategietarako adierazleak zehaztu ditu eta Eko-produktibitate Industrialak tresna aplikatu dute. Horrek guztiak lehiakortasuna hobetzea ekarri du, produktibitatea handitu (aldaketa-denboren murrizketa) eta energiaren kostuak (energia berriztagarrien erabilera) eta hondakinak kudeaketa (kudeatutako hondakinaren murrizketa) gutxitu egin baitira. Klinikak, berriz, EZ erakundearen estrategian txertatu du, eta EZren estrategia guztietarako adierazleak zehaztu ditu. Horrek guztiak lehiakortasuna hobetzea ekarri du, baliabideen erabilera murriztu eta optimizatu baitu (energia kontsumoa, eta ura), produktuen balio bizitza luzatu baitu (erabilera bakarreko produktuen erabilera minimizatuz) eta zikloak itxi baititu (kudeatutako hondakinaren murrizketa).

Amaitzeko, ondorioztatu da CircularTRANS gida hau egiteko lagungarri izaten ari dela enpresentzat, hau egiten laguntzen dielako: i) EZren atzean zer dagoen ulertzen eta EZri nola heldu jakiten; ii) EZ erakundearen estrategietan txertatzen eta KPlak definitzen; eta iii) lehiakorrak izaten, gidaren urratsetan identifikatutako aukerak integratzean. Era berean, INMOIN Circular adierazleen ereduak enpresei aukera ematen die jakiteko zenbateraino integratuta dagoen EZ erakundearen 12 arlotan eta balio katean eta EZren zer estrategiak lantzen diren erakundearen, eta beren lehiakortasuna areagotzeko dituzten hobekuntza aukerak identifikatzeko. Halaber, Eko-produktibitate Industrialak tresnak produkzio baliabideak optimizatzearekin lotutako alderdi guztiak biltzen ditu, produkzioan xahutzen dena produkzioaren efizientzia eta ekoefizientzia kalkulatzeko; horrela, EZ produkzio prozesuan integratzen da.

# ABSTRACT

The European Green Deal (GD), the economic growth strategy with which Europe aims to boost innovation, competitiveness and employment, is based on an environmentally friendly economy. Among the main guidelines set by the Green Pact is the transition to a Circular Economy (CE) to make maximum use of resources. The European Union (EU) is carrying out different actions to promote the CE (European taxonomy for sustainable finance, sustainable product initiative, etc.), and these are being carried out at state and regional level. Taking the EU as a reference, both Spain and the Autonomous Community of the Basque Country (ACBC) are developing their own strategies to integrate CE into society and companies. Therefore, it is necessary to promote the transition towards CE both for companies and society.

Some of the CE solutions (repair, reuse, refurbish, recondition, recycle) are not new to society or to organizations, as they have been implemented when the situation has required it. But today, with the strength that the European PV is acquiring, CE actions will not be isolated, but must be integrated into the different systems of society and companies.

Therefore, the objective of this doctoral thesis has been to develop the CircularTRANS guide that helps industrial companies in the Basque Autonomous Community to improve their competitiveness through CE. The methodology used for the research consists of an Action Research (AR) for the creation of the CircularTRANS guide and the application of two case studies for validation.

The CircularTRANS guide (<https://circulartrans.mondragon.edu/en/home>) consists of a five-step process: i) diagnosis, ii) results, iii) selection of opportunities, iv) action plan and v) roadmap.

The diagnosis was carried out with the Industrial Circular Economy Questionnaire (ICEQ), which responds to the shortcomings identified in the analysis of: i) diagnostic questionnaires and surveys on CE, ii) CE assessment tools, and iii) harmonized standards for management systems and CE. The validation of the questionnaire has been carried out in 30 companies from 17 industrial sectors and has made it possible to identify training needs of companies in this area, indicators for CE integration in the organization and the need to optimize processes under a CE vision. Therefore, after a review of the state of the art and co-creating with companies from different sectors, the INMOIN Circular indicators model has been developed. The model proposes 433

indicators organized in 12 functional areas so that organizations can manage the progress of their CE based on their needs. In addition, the Industrial Eco-productivity tool has been developed to allow companies to measure the level of production waste, production efficiency and eco-efficiency in order to identify areas for improvement (aspects included in the 433 indicators).

The CircularTRANS guide is being used by more than 100 companies and this thesis shows its validation in two case studies: Mugafil (industrial sector) and Clínica Dental Urraca (service sector). In both cases, the process used has provided valuable guidance, facilitating their transition to the CE. On the one hand, in the case of Mugafil, the company has integrated CE into the organization's strategy, has defined indicators for the strategies of using renewable resources, optimizing resources and closing cycles and has applied the Industrial Eco-productivity tool. All this has led to an improvement in competitiveness by increasing productivity (decreasing changeover times), reducing energy costs (use of renewable energy) and waste management (reduction of managed waste). Moreover, in the case of the clinic, they have integrated CE into the organization's strategy and have defined indicators for all CE strategies. All this has led to improved competitiveness by reducing and optimizing the use of resources (energy consumption and water), extending the lifespan of products (minimizing the use of single-use products) and closing cycles (reduction of managed waste).

Finally, it is concluded that the CircularTRANS guide is helping companies to: i) understand what lies behind CE and how to address it, ii) integrate CE into the strategies of organizations and define KPIs, and iii) increase their competitiveness by integrating opportunities identified in the steps of the guide. In turn, the INMOIN Circular indicators model allows companies to know the level of CE integration across 12 areas of the organization and its value chain, to know which CE strategies are being worked on in the organization, and to identify opportunities for improvement to increase their competitiveness. Likewise, the Industrial Eco-productivity tool integrates all aspects related to the optimization of productive resources through the calculation of productive waste, productive efficiency and eco-efficiency; thus, integrating CE in the productive process.

# PUBLICACIONES VINCULADAS EN LA TESIS DOCTORAL

La presente tesis doctoral ha llevado a cabo a las siguientes publicaciones:

## ARTÍCULOS DE REVISTA

- Urain, I., Eguren, J. A., & Justel, D. (2022). Development and validation of a tool for the integration of the circular economy in industrial companies: Case study of 30 companies. *Journal of Cleaner Production*, 370. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.133318>
- Urain, I., Justel, D., F. Mendoza, J. M. & Eguren, J. A. (2023). Industrial eco-productivity tool: A case study of industrial SMEs. *International Journal of Production Management and Engineering*, 11(1), 43–52. <https://doi.org/10.4995/ijpme.2023.18979>
- Urain, I., Eguren, J. A., F. Mendoza, J. M. & Justel, D. (2024). Analyzing the scope and effectiveness of business-level circularity indicators. *Journal of Industrial Ecology*. (under review)

## CONGRESOS

- Urain, I., Eguren, J. A., González de Herrero, M., F. Mendoza, J. M., & Justel, D., (2024, 4 y 5 de julio). *Application of CircularTRANS model in a service company*. New Business Model, Donostia, Spain. (under review)

# ÍNDICE

1. Introducción.....	1
1.1 Transición de una economía lineal a una economía circular.....	1
1.2 Las empresas de la CAPV y la EC .....	8
1.3 Objetivos e hipótesis de la investigación.....	10
1.4 Estructura del documento .....	11
2. Metodología de investigación .....	15
2.1 Diseño de la investigación .....	15
2.2 Estrategia de la investigación .....	15
2.3 Plan de investigación.....	20
2.4 Resumen de la metodología de investigación.....	23
2.5 Diseño del programa de investigación .....	24
3. Retos de las organizaciones respecto a la EC .....	27
3.1 Marco normativo en EC para la transición hacia la EC .....	27
3.2 Marco operativo de la EC y empresas de la CAPV .....	40
3.3 Conclusiones .....	56
4. Guía CircularTRANS .....	60
4.1 Proceso de la guía CircularTRANS.....	62
4.2 Cuestionario diagnóstico <i>Industrial Circular Economy Questionnaire</i> (ICEQ).....	70
4.3 Modelo de indicadores INMOIN Circular .....	100
4.4 Eco-productividad Industrial.....	130
5. Casos de estudio guía CircularTRANS.....	145
5.1 Caso de estudio 1. Mugafil .....	146
5.2 Caso de estudio 2. Clínica dental Urraca.....	156
6. Conclusiones y líneas futuras.....	167
6.1 Conclusiones .....	167
6.2 Líneas futuras.....	175
Referencias bibliográficas .....	176
Anexos .....	214
A.1 Revisión de la literatura de cuestionarios relacionados con los ítems de las normas armonizadas .....	215
A.2 Preguntas del cuestionario ICEQ .....	220
A.3 Preguntas y valoración de la evaluación de ICEQ .....	224
A.4 Artículos de indicadores identificados en la revisión bibliográfica .....	225
A.5 Indicadores identificados en la revisión de la literatura .....	228
A.6 Indicadores micro Vs. Estrategias y soluciones de la EC .....	233

A.7 Indicadores micro Vs. Etapas del ciclo de vida.....	237
A.8 Indicadores micro Vs. Áreas funcionales de una empresa .....	239
A.9 Listado de las 96 variables .....	243
A.10 Modelo de indicadores INMOIN Circular.....	246

# LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Proceso de la EL.....	2
<b>Figura 2:</b> Fechas de superación de los diferentes países del mundo en 2022. (Global Footprint Network, 2022) .....	4
<b>Figura 3:</b> Diagrama del Sistema de EC (Ellen MacArthur Foundation, 2013) .....	6
<b>Figura 4:</b> Escalas para aplicar la EC .....	7
<b>Figura 5:</b> Estructura general del documento .....	13
<b>Figura 6:</b> Tipos de diseño para estudio de casos (modificado ((Yin, 2013)) .....	19
<b>Figura 7:</b> Principales formas de triangulación (Hanson-DeFusco, 2023).....	21
<b>Figura 8:</b> Programa de investigación.....	25
<b>Figura 9:</b> Línea temporal de las acciones e iniciativas sobre la EC (European Commission, 2023a).....	28
<b>Figura 10:</b> Pacto Verde Europeo (European Commission, 2019).....	30
<b>Figura 11:</b> Drivers normativos europeos (Ihobe, 2023) .....	32
<b>Figura 12:</b> Ejes de actuación y planes de acción de la EEEC (Ministerio de España, 2020b) .....	35
<b>Figura 13:</b> Drivers normativos estatales (Ihobe, 2023).....	36
<b>Figura 14:</b> Políticas del Gobierno Vasco sobre EC (Fernández Gómez, 2020) .....	37
<b>Figura 15:</b> Drivers normativos autonómicos (Ihobe, 2023) .....	39
<b>Figura 16:</b> Tasa de variación interanual del PIB (%) (Eustat, 2022) .....	41
<b>Figura 17:</b> Instrumentos administrativos, colaborativos y de conocimiento en materia de EC (Ihobe, 2018a).....	43
<b>Figura 18:</b> Guía CircularTRANS (Mondragon Unibertsitatea, 2024).....	60
<b>Figura 19:</b> Proceso de creación de ICEQ.....	61
<b>Figura 20:</b> Proceso de creación de INMON Circular .....	61
<b>Figura 21:</b> Proceso de creación de Eco-productividad Industrial.....	62
<b>Figura 22:</b> Proceso de la guía CircularTRANS (Mondragon Unibertsitatea, 2024) .....	62
<b>Figura 23:</b> Número de preguntas relacionadas con cada grupo del cuestionario .....	63
<b>Figura 24:</b> Resultados según; a) nivel de madurez en EC, b) procesos internos, c) estrategias de EC, d) comparativa de las estrategias de EC con otras empresas del sector.....	64
<b>Figura 25:</b> Ejemplo de la selección de oportunidades (Mondragon Unibertsitatea, 2024) .....	64
<b>Figura 26:</b> Criterios de valoración de las oportunidades.....	66
<b>Figura 27:</b> Ejemplo de la hoja de ruta (Mondragon Unibertsitatea, 2024).....	66

<b>Figura 28:</b> Ejemplo del plan de acción (Mondragon Unibertsitatea, 2024).....	67
<b>Figura 29:</b> Uso de los recursos de apoyo (Mondragon Unibertsitatea, 2024) .....	67
<b>Figura 30:</b> Recursos de apoyo (Mondragon Unibertsitatea, 2024) .....	68
<b>Figura 31:</b> Pantalla de formación (Mondragon Unibertsitatea, 2024).....	68
<b>Figura 32:</b> Pantalla de buenas prácticas (Mondragon Unibertsitatea, 2024) .....	69
<b>Figura 33:</b> Pantalla de herramientas (Mondragon Unibertsitatea, 2024).....	69
<b>Figura 34:</b> Pantalla de comunidad (Mondragon Unibertsitatea, 2024).....	70
<b>Figura 35:</b> Publicaciones por año en Scopus .....	71
<b>Figura 36:</b> Publicaciones por año en WoS .....	71
<b>Figura 37:</b> Creación de proyecto en la plataforma CircularTRANS (Mondragon Unibertsitatea, 2024).....	91
<b>Figura 38:</b> Resultados del cuestionario sobre conocimiento de EC: a) Pregunta 1, b) Pregunta 2 .....	96
<b>Figura 39:</b> Metodología de investigación.....	102
<b>Figura 40:</b> Procedimiento y resultados de la revisión sistemática de la literatura .....	103
<b>Figura 41:</b> Indicadores totales según: a) estrategias de EC; b) soluciones de EC....	106
<b>Figura 42:</b> Total de indicadores según las etapas del ciclo de vida .....	108
<b>Figura 43:</b> Indicadores que pueden aplicarse en las áreas funcionales .....	111
<b>Figura 44:</b> Resumen de los ciclos para el desarrollo del modelo de indicadores INMOIN Circular .....	120
<b>Figura 45:</b> Modelo seguido en la co-creación de INMOIN Circular.....	122
<b>Figura 46:</b> Nuevo proyecto de evaluación (Mondragon Unibertsitatea, 2024) .....	126
<b>Figura 47:</b> Listado parcial de las 12 áreas funcionales (Mondragon Unibertsitatea, 2024) .....	126
<b>Figura 48:</b> Ejemplo del listado de indicadores y nivel de integración de EC del área de calidad y medioambiente (Mondragon Unibertsitatea, 2024).....	127
<b>Figura 49:</b> Nivel de integración de EC y recuento de indicadores agrupados en estrategias de EC (Mondragon Unibertsitatea, 2024).....	128
<b>Figura 50:</b> Datos a completar para realizar la evolución de los indicadores (Mondragon Unibertsitatea, 2024).....	128
<b>Figura 51:</b> Ejemplo de resultados incluyendo datos por indicador (Mondragon Unibertsitatea, 2024).....	129
<b>Figura 52:</b> Eficacia General de los Equipos (EGE) (R. Singh et al., 2013) .....	132
<b>Figura 53:</b> Método de evaluación de la Eco-productividad Industrial para pymes (adaptado de Urain et al., (2023)) .....	135
<b>Figura 54:</b> Extracto del cuestionario para calcular los despilfarros de sobreproducción y corrección (adaptado de Urain et al. (2023)).....	135

<b>Figura 55:</b> Extracto del cálculo de la eficiencia productiva (adaptado de Urain et al. (2023)).....	137
<b>Figura 56:</b> Ejemplo de panel de mando de Eco-productividad Industrial .....	139
<b>Figura 57:</b> Clasificación de las mejoras según impacto y esfuerzo (adaptado de Urain et al. (2023)) .....	140
<b>Figura 58:</b> Resultados de Eco-productividad Industrial de la empresa .....	141
<b>Figura 59:</b> Proceso seguido por ambas empresas .....	145
<b>Figura 60:</b> Estructura organizativa general de la empresa .....	146
<b>Figura 61:</b> Resultados obtenidos del cuestionario ICEQ: a) generales; b) procesos internos; c) estrategias de EC.....	148
<b>Figura 62:</b> Nivel de integración EC; a) por área funcional y b) general.....	151
<b>Figura 63:</b> Resultados iniciales .....	152
<b>Figura 64:</b> Resultados finales.....	153
<b>Figura 65:</b> Resultados obtenidos del cuestionario ICEQ: a) generales; b) procesos internos; c) estrategias de EC.....	158
<b>Figura 66:</b> Nivel de integración EC; a) por área funcional y b) general.....	161
<b>Figura 67:</b> Normas ISO 59000 sobre EC.....	175
<b>Figura 68:</b> Respuestas de valoración del cuestionario diagnóstico ICEQ.....	224

# LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Características de los cuatro tipos de investigación (Hernández Sampieri et al., 2014).....	16
<b>Tabla 2:</b> Estrategias de investigación (Robson, 2002).....	17
<b>Tabla 3:</b> Métodos de recogida de datos. Modificado de Yin (2013) .....	20
<b>Tabla 4:</b> Estándares para la Directiva de Ecodiseño (Basque Ecodesign Center, 2019) .....	29
<b>Tabla 5:</b> Directivas de UE relativas a la aplicación de la EC (Diputación Foral de Gipuzkoa, 2022b) .....	33
<b>Tabla 6:</b> Decretos estatales relativos a la aplicación de la EC (Diputación Foral de Gipuzkoa, 2022a) .....	36
<b>Tabla 7:</b> Leyes y decretos de la CAPV relativas a la aplicación de la EC (Diputación Foral de Gipuzkoa, 2022a) .....	39
<b>Tabla 8:</b> Número de pymes según sector por provincias de la CAPV (Eustat, 2023)..	42
<b>Tabla 9:</b> Criterios de evaluación para la creación de la hoja de ruta.....	65
<b>Tabla 10:</b> Términos utilizados para la búsqueda .....	71
<b>Tabla 11:</b> Artículos seleccionados de cuestionarios (adaptado de Urain et al. (2022))	73
<b>Tabla 12:</b> Normas armonizadas seleccionadas y el propósito (adaptado de Urain et al. (2022)).....	77
<b>Tabla 13:</b> Elementos de análisis de las normas armonizadas (adaptado de Urain et al. (2022)).....	79
<b>Tabla 14:</b> Ítems de las normas armonizadas Vs. Preguntas herramientas (adaptado de Urain et al. (2022)).....	87
<b>Tabla 15:</b> Definición de la escala empleada para definir el nivel de madurez .....	91
<b>Tabla 16:</b> Preguntas relacionadas con los procesos operativos (parcial).....	92
<b>Tabla 17:</b> Información de las empresas participantes (adaptado de Urain et al. (2022)) .....	93
<b>Tabla 18:</b> Cuestionario inicial para empresas .....	96
<b>Tabla 19:</b> Resultados obtenidos en la validación por las empresas.....	97
<b>Tabla 20:</b> Términos utilizados para la búsqueda .....	103
<b>Tabla 21:</b> Indicadores según estrategias y soluciones de la EC .....	105
<b>Tabla 22:</b> Relación entre estrategias y soluciones de EC .....	106
<b>Tabla 23:</b> Definición de las etapas del ciclo de vida (Manfredi et al., 2012) .....	107
<b>Tabla 24:</b> Indicadores según etapas del ciclo de vida.....	108
<b>Tabla 25:</b> Funciones de las áreas funcionales definidas para una empresa .....	110

<b>Tabla 26:</b> Indicadores según áreas funcionales.....	111
<b>Tabla 27:</b> Número de empresas participantes por clúster.....	112
<b>Tabla 28:</b> Bloque I Caracterización de la empresa .....	113
<b>Tabla 29:</b> Bloque II Uso de KPIs de EC en la empresa .....	114
<b>Tabla 30:</b> Bloque III Barreras y necesidades para integrar la EC en la empresa .....	114
<b>Tabla 31:</b> Empresas participantes por sectores.....	115
<b>Tabla 32:</b> Resultados del uso de indicadores según cuestionario .....	117
<b>Tabla 33:</b> Resultados académicos Vs. Resultados de las empresas.....	118
<b>Tabla 34:</b> Empresas participantes para la primera validación de INMOIN Circular ...	121
<b>Tabla 35:</b> Modelo de indicadores INMOIN Circular.....	122
<b>Tabla 36:</b> Empresas participantes en los workshops de validación de INMOIN Circular .....	124
<b>Tabla 37:</b> Lean Muda y sus impactos ecológicos (Verrier et al., 2016).....	132
<b>Tabla 38:</b> Ecuaciones para obtener la ecoeficiencia (adaptado de Urain et al. (2023)) .....	138
<b>Tabla 39:</b> Oportunidades seleccionadas para trabajar en profundidad por la empresa .....	149
<b>Tabla 40:</b> Número de indicadores seleccionados por áreas funcional y estrategias de EC .....	150
<b>Tabla 41:</b> Mejoras propuestas después del análisis de los resultados.....	153
<b>Tabla 42:</b> Oportunidades a trabajar para alcanzar objetivos establecidos .....	159
<b>Tabla 43:</b> Número de indicadores seleccionados por áreas funcional y estrategias de EC .....	160
<b>Tabla 44:</b> Tabla resumen del estado de las 108 empresas de la guía CircularTRANS .....	169
<b>Tabla 45:</b> Razones de no transitar hacia la EC por barreras .....	172
<b>Tabla 46:</b> Beneficios de transitar hacia la EC .....	172
<b>Tabla 47:</b> Ítems de las normas armonizadas Vs. Cuestionarios de la revisión de la literatura científica.....	215
<b>Tabla 48:</b> Ítems de las normas armonizadas Vs. Cuestionarios de la revisión de la literatura científica.....	217
<b>Tabla 49:</b> Cuestionario ICEQ.....	220
<b>Tabla 50:</b> Cuestionario de evaluación ICEQ.....	224
<b>Tabla 51:</b> Selección de 18 artículos para analizar los indicadores de EC a nivel micro .....	225
<b>Tabla 52:</b> 11 artículos identificados en la literatura gris .....	225
<b>Tabla 53:</b> 60 artículos identificados mediante el snowball .....	226

<b>Tabla 54:</b> Descripción de indicadores identificados en la revisión bibliográfica.....	228
<b>Tabla 55:</b> Indicadores micro Vs. Estrategias y Soluciones de la EC .....	233
<b>Tabla 56:</b> Indicadores micro Vs. Etapas del ciclo de vida .....	237
<b>Tabla 57:</b> Indicadores micro Vs. Áreas funcionales de una empresa.....	239
<b>Tabla 58:</b> Listado variables iniciales de INMOIN Circular .....	243
<b>Tabla 59:</b> Indicadores definidos para el área funcional de Dirección .....	246
<b>Tabla 60:</b> Indicadores definidos para el área funcional de Comercial .....	246
<b>Tabla 61:</b> Indicadores definidos para el área funcional de Marketing .....	247
<b>Tabla 62:</b> Indicadores definidos para el área funcional de Finanzas.....	247
<b>Tabla 63:</b> Indicadores definidos para el área funcional de I+D .....	248
<b>Tabla 64:</b> Indicadores definidos para el área funcional de Producción .....	249
<b>Tabla 65:</b> Indicadores definidos para el área funcional de Compras y Aprovisionamiento .....	250
<b>Tabla 66:</b> Indicadores definidos para el área funcional de SAT .....	254
<b>Tabla 67:</b> Indicadores definidos para el área funcional de TICs .....	255
<b>Tabla 68:</b> Indicadores definidos para el área funcional de Calidad y Medioambiente	255
<b>Tabla 69:</b> Indicadores definidos para el área funcional de Servicios Generales .....	256
<b>Tabla 70:</b> Indicadores definidos para el área funcional de Recursos Humanos.....	258
<b>Tabla 71:</b> Indicadores definidos para todas las áreas funcionales considerando la operativa.....	258

# LISTA DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1:</b> Nivel del tipo de despilfarro productivo (Urain et al., 2023) .....	136
<b>Ecuación 2:</b> Porcentaje del despilfarro productivo (Urain et al., 2023).....	136
<b>Ecuación 3:</b> Cálculo de la eficiencia productiva (R. Singh et al., 2013).....	137
<b>Ecuación 4:</b> Cálculo del nivel de ecoeficiencia.....	138
<b>Ecuación 5:</b> Cálculo del porcentaje de Eco-productividad Industrial (Urain et al., 2023) .....	138

# ABREVIATURAS

ACV	Análisis Ciclo de Vida
APQC	<i>American Productivity &amp; Quality Center</i>
AR	<i>Action Research</i>
BCI	<i>Building Circularity Indicator</i>
CAM	<i>Circularity Aseesmsent Model</i>
CAPV	Comunidad Autónoma del País Vasco
CAT	<i>Circularity Aseessment Tool</i>
CE	Comisión Europea
CEIP	<i>Circular Economy Indicator Prototype</i>
CEMS	<i>CE Measurement Scale</i>
CEN	Comité Europeo de Normalización
Cenelec	Comité Europeo de Normalización Electrónica
CET	<i>Circular Economy Toolkit</i>
Check	<i>Circularity Check</i>
CMT	<i>Circularity Measurement Toolkit</i>
CP	<i>Circular Pathfinder</i>
CPI	<i>Circular Potencial Indicator</i>
CTI	<i>Circular Transition Indicator</i>
C2C	<i>Cradle to Cradle</i>
DEI	<i>Dissassembly Effort Index</i>
eDiM	<i>Ease of Dissassembly Metric</i>
EEC 2030	Estrategia de Economía Circular de Euskadi 2030
EEEC	Estrategia Española de Economía Circular
EC	Economía Circular
EGE	Eficacia General de los Equipos
EL	Economía Lineal
EMGE	Eficiencia Medioambiental General de los Equipos
ETSI	Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación
FRI	<i>Functional Range Index</i>
FVI	<i>Functional Variety Index</i>
HAP	Huella Ambiental de Producto
IA	Investigación en Acción
ICEQ	<i>Industrial Circular Economy Questionnaire</i>
ICT	<i>Circular Indicator Project</i>

IHOBE	Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco
IOBS	<i>Input-Output Business Sheet</i>
ISO	<i>International Standardization Organization</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
LI	<i>Longevity Indicator</i>
MATChE	<i>Making the Transition to Circular Economy</i>
MCI	<i>Material Circularity Indicator</i>
MCI-BB	<i>MCI for bio-based and Biodegradable Products</i>
MESCS	<i>Material Efficiency Indicator Prototype</i>
MH	Máquina Herramienta
MITERD	Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
OE	Objetivos Específicos
PERTE	Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica
PIB	Producto Interior Bruto
PV	Pacto Verde
pymes	Pequeñas y Medianas Empresas
RAEE	Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos
RAP	Responsabilidad Ampliada del Productor
RCR	<i>Recycled Content Rate</i>
RecycDI	<i>Recycling Desirability Index</i>
REG	Rendimiento Ecológico General
RGS	Rendimiento General Sostenible
RI	<i>Reconfiguration Index</i>
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
SAT	Servicio de Asistencia Técnica
SERI	<i>Specific Energy and Resource Indicator</i>
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i>
TICs	Tecnología de la Información y la Comunicación
UA	Unidad de Análisis
UE	Unión Europea
VAB	Valor Añadido Bruto
VFU	Vehículos al Final de su Uso
WCI	<i>Water Circularity Index</i>
WoS	<i>Web of Science</i>



CAPÍTULO 1  
**Introducción**

# 1. Introducción

En el apartado 1.1 de este primer capítulo se expone la transición de una economía lineal a una economía circular. Seguidamente, en el apartado 1.2 se describen las necesidades de las empresas de la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV) para transitar hacia la EC. Posteriormente, en el punto 1.3 se exponen los objetivos y las hipótesis de esta investigación. Por último, en el apartado 1.4 se muestra la estructura del documento.

## 1.1 Transición de una economía lineal a una economía circular

Desde la década de 1950 se ha producido un fenómeno global conocido como la “Gran Aceleración” (Steffen et al., 2011), en él predominan dos características (Verburg et al., 2015): i) la velocidad y ii) la escala global en la que se dan los cambios. Como consecuencia de este fenómeno, la huella ecológica también presenta un incremento considerable a partir de la segunda mitad del siglo XX (World Bank, 2023). Como resultado de estas alteraciones, aspectos como el medioambiente pasan a formar parte de dominio público (Valdivieso, 2008), lo que lleva a una escalada de demandas de restricciones ambientales. Así, si las presiones sobre el medioambiente continúan aumentando, el sistema natural ya no podrá garantizar las mismas condiciones de las que depende el sistema socioeconómico (Steffen et al., 2011).

Las acciones realizadas por los seres humanos dentro del sistema social tienen un impacto significativo en el sistema natural (C.-C. Wu & Tsai, 2015). Estas actividades incluyen, entre otras, la extracción de recursos y la generación de residuos durante los procesos de producción. Según la investigación publicada por *Global Material Resources Outlook* (OECD, 2019) los recursos finitos del planeta se han consumido rápidamente en los últimos años. Esto hace que el consumo de materia prima se haya duplicado. Si se continúa consumiendo al ritmo actual se prevé que se alcancen los 167.000 millones de toneladas en el año 2060 (OECD, 2019).

Existen varias razones para esta sobreexplotación de materias primas (LEAD Sostenibilidad, 2020): i) el crecimiento de la población, la cual, requiere de más recursos para satisfacer sus necesidades y ii) la actividad económica humana. Para evitar este agotamiento, es necesario reducir la cantidad de materias primas puras extraídas, lo que significa promover el uso de materias primas recicladas, recursos

renovables y procesos más eficientes (LEAD Sostenibilidad, 2020). En otras palabras, intentar cambiar la forma de producir y consumir.

Desde los años 70 han surgido múltiples áreas de estudio y campos en respuesta a las crisis ecológicas. Uno de esos campos hoy en día es la Economía Circular (EC), que se centra en el diseño de un modelo de consumo-producción que sea ecológicamente sostenible (Daly, 1997; Sauvé et al., 2016). Esto requiere establecer objetivos que apunten a minimizar los impactos negativos y a crear un plan de acción. No obstante, es necesario desarrollar sistemas regenerativos para poder alcanzar plenamente este modelo. Al hacerlo, podemos cosechar beneficios sociales y ambientales (Raworth, 2022).

La EC puede ser una estrategia adecuada para minimizar el problema crítico del agotamiento de los recursos. En lo que respecta a la producción, las empresas industriales están en el punto de mira. Por lo tanto, es necesario comenzar a transformar la producción adoptando medidas para lograr una producción más sostenible, lo que requiere la introducción de la EC en las empresas industriales. Reducir costes, abrir nuevas áreas de negocio, crear productos y flujos de ingresos más duraderos o mejorar la gestión de riesgos son algunos de los beneficios que las empresas pueden lograr al implementar la EC (The circular campus, 2022).

El cambio de paradigma de una Economía Lineal (EL) a una EC es crucial para reducir la presión sobre el medioambiente y mejorar la seguridad del suministro de materias primas primarias (Neves & Marques, 2022). La EL se caracteriza por principios, finales y direcciones definidas, y se condensa en fórmulas como "hacer-usar-eliminar", "extraer-producir-consumir-desechar" o "de la cuna a la tumba" (Figura 1), la cual, es perjudicial para el medioambiente y está llegando al límite de sus capacidades. La transición de la EL a una EC se está desplegando en base a una estrategia para desarrollar una economía sostenible, baja en carbono, eficiente en el uso de los recursos y competitiva (Hartley et al., 2023). Con frecuencia, la EL se representa como la economía actual, mientras que la EC es aquella que hay que lograr y, por ello, ha suscitado un interés creciente entre académicos y profesionales (Hartley et al., 2023).

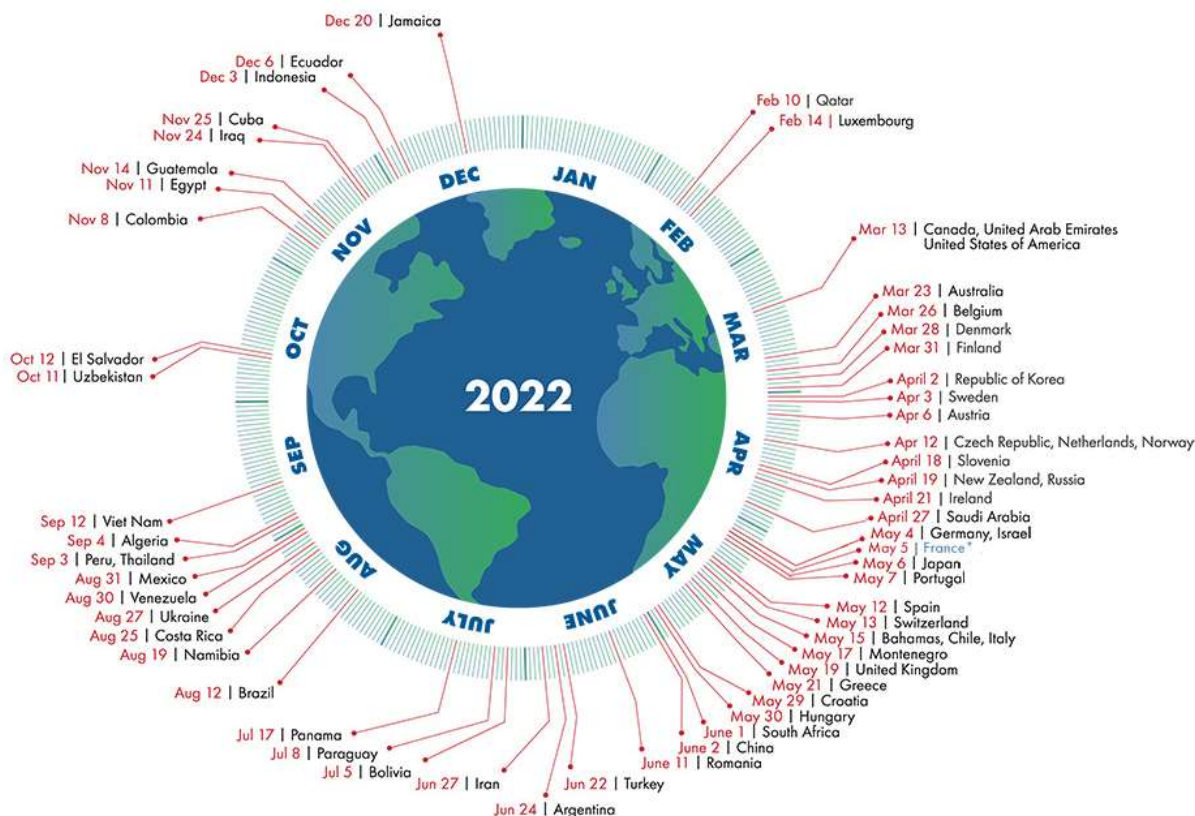


**Figura 1:** Proceso de la EL

El proceso de extracción de recursos de la tierra culmina con la creación de diversos productos para el consumo. Los residuos que se generan en la producción y después del uso terminan en vertederos o se incineran (Upadhayay & Alqassimi, 2018). El plástico es un ejemplo de una consecuencia externa y desfavorable de la linealidad, como mencionan Upadhayay & Alqassimi (2018). Sólo el 14% del plástico se recicla anualmente, lo que genera una preocupación puesto que, si se continua a este ritmo, para 2050 habrá más plástico que peces en el océano (Kaplan, 2016). A pesar de ser conscientes del impacto negativo de la EL, las empresas continúan operando bajo este paradigma debido a los precios competitivos de las materias primas, como lo señalan Upadhayay & Alqassimi (2018).

La aceleración de la carga ambiental desde la industrialización es un hecho conocido. Sin embargo, tal y como muestra el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, 2022) en sus estudios, resulta alarmante que la humanidad requiera de 1,75 planetas de media para satisfacer sus demandas de recursos naturales. Este modelo de consumo y producción es uno de los principales contribuyentes tanto de la crisis climática como de la destrucción del medioambiente (WWF, 2022).

La Figura 2 ilustra las fechas en las que los diferentes países del mundo han consumido sus recursos; en ella se puede observar que la mayoría de los países llega a consumir dichos recursos antes de finalizar el año natural al que corresponde, lo que supone un problema global. Como ejemplo tenemos la deuda de España con el planeta, la cual, comenzó el 12 de mayo de 2022, al agotarse todos los recursos disponibles para ese año. Esta fecha marca un adelanto de 13 días en comparación con el año anterior, 2021, lo que significa que la fecha de exceso de capacidad avanza anualmente (Global Footprint Network, 2022).



**Figura 2:** Fechas de superación de los diferentes países del mundo en 2022. (Global Footprint Network, 2022)

Uno de los casos más impactantes y que se aprecia de manera clara, es Qatar, que consumió los recursos de todo el año para comienzos de febrero. Por el contrario, se observa que Jamaica terminó con todos sus recursos disponibles el 20 de diciembre, a once días de terminar el año. Aunque este último caso es el más favorable, sigue sin ser adecuado.

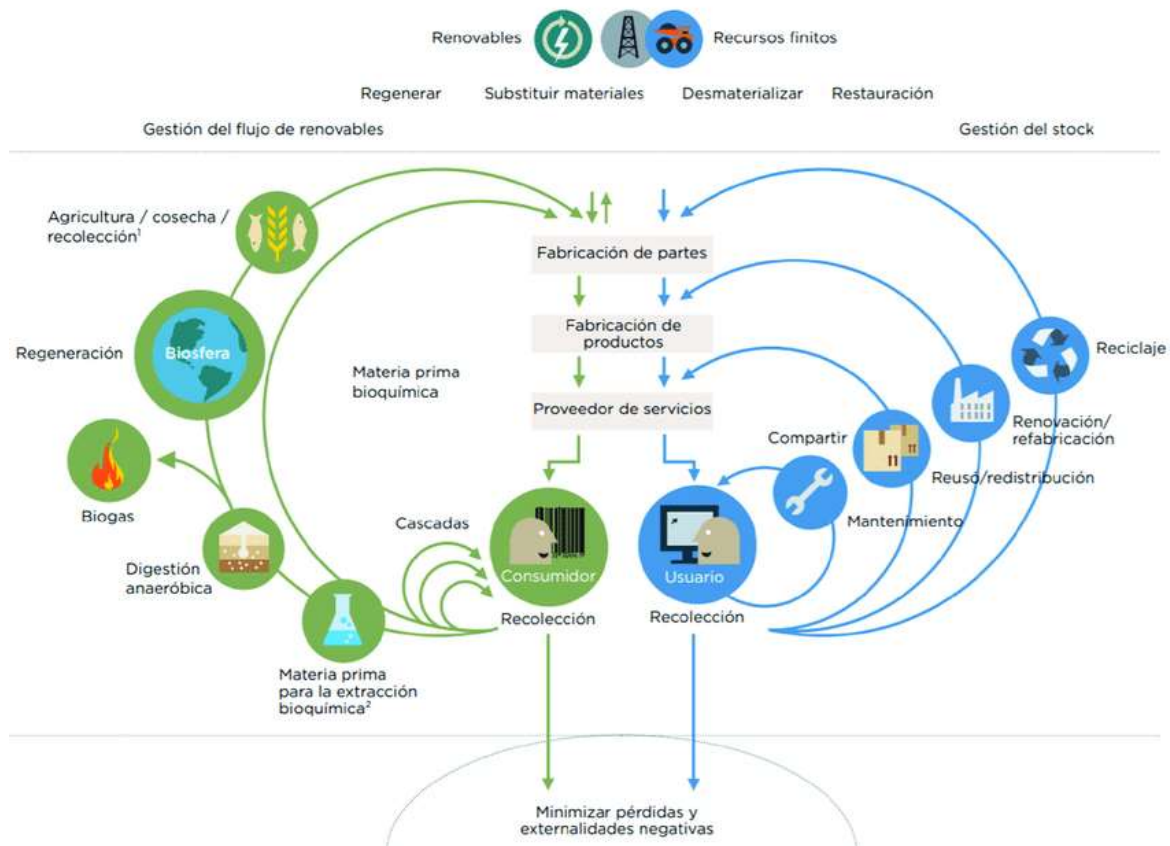
A pesar de dicho interés y apoyo a la EC, los sistemas de producción mundiales siguen siendo principalmente lineales con un deterioro medioambiental incorporado en ambos extremos (Morsetto, 2023). Esta perpetuación de la linealidad se debe en parte a las barreras (culturales, de mercado, tecnológicas y normativas) que impiden la transición a la EC (Hartley et al., 2023). Las consecuencias son medibles: a escala mundial, la circularidad en los sistemas de producción ha disminuido del 9,1 % en 2018 al 8,6 % en 2021 (Circle Economy, 2021a) y al 7,2 % en 2023 (Circle Economy, 2023). Según Fraser et al. (2023) y Hartley et al. (2023) este descenso se debe al aumento de la extracción de materiales y a la dependencia de materiales vírgenes. Asimismo, esta tendencia no puede abastecer a la creciente población del planeta con servicios esenciales y, por lo tanto, conduce a una rentabilidad limitada (Sariatli, 2017).

Por otra parte, según la Ellen MacArthur Foundation (2013), la EL tiene sus raíces en la distribución desigual de la riqueza entre regiones geográficas, ya que los consumidores de recursos se concentran en las regiones más desarrolladas (Sariatli, 2017). Se observan también unos índices bajos de aprovechamiento de los materiales ya que según el informe del Instituto de Investigación para una Europa Sostenible (SERI), se conoce que 21 mil millones de toneladas de materiales utilizados en la producción no se integran en el producto final generando ineficiencias (Sariatli, 2017). Por otro lado, los insumos materiales ascendieron a 65 mil millones de toneladas, de las cuales 2,7 mil millones se eliminaron como residuos. Sólo el 40% de estos materiales han sido reutilizados mediante reciclaje, reutilización o compostaje (Eurostat 2011). Además, se ha constatado que el bajo precio de los materiales y la mano de obra tienen como consecuencia la falta de reciclaje y reutilización (Sariatli, 2017).

Hay que tener en cuenta que la EL ha logrado crear prosperidad en cuanto al material en el siglo XX, pero sus debilidades se han hecho evidentes en el nuevo milenio, haciendo necesario el replanteamiento del modelo de EL y transitar hacia la EC (Drljača, 2015). Esta no es solo una respuesta a la crisis económica, sino que los cambios generados en la transición hacia la EC brindan una visión en el campo de la responsabilidad social, incluido el desarrollo sostenible (Drljača, 2015).

Hay muchas definiciones sobre qué es la EC. Blomsma & Brennan (2017) la definen como: *“un marco emergente en torno a la gestión de residuos y recursos que pretende ofrecer una alternativa a las prácticas lineales predominantes “tomar- hacer- desechar” promoviendo la noción de residuos y recursos”*. Ellen MacArthur Foundation (2017) en cambio, la define como: *“un enfoque sistémico del desarrollo económico diseñado para beneficiar a las empresas, la sociedad y el medioambiente. En contraste con el modelo lineal de “tomar- hacer- desechar” una EC es regenerativa por diseño y pretende desvincular gradualmente el crecimiento del consumo de recursos finitos”*.

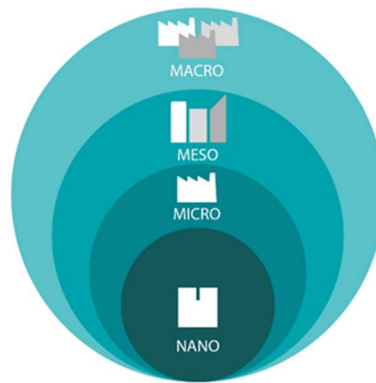
El objetivo de la EC es reestructurar el capital financiero, productivo, humano, social o natural garantizando mejores flujos de bienes y servicios de consumo (Ellen MacArthur Foundation, 2018). En el diagrama de sistema de EC creada por Ellen MacArthur Foundation (2013) que se muestra en la Figura 3, destacan las diferentes estrategias reflejadas: i) ciclo biológico (izquierda) y ii) ciclo tecnológico (derecha). Estos ciclos representan un flujo continuo de materiales biológicos y de ingeniería a lo largo del ciclo de valor.



**Figura 3:** Diagrama del Sistema de EC (Ellen MacArthur Foundation, 2013)

La plena implementación de la EC requiere pasar por la difusión de soluciones circulares y la desarticulación de los impulsores de la EL (Morseletto, 2023). Como expone la Ellen MacArthur Foundation (2013) las soluciones hacia la EC se basan en los siguientes tres principios: i) preservar y mejorar el capital natural mediante el control de las existencias finitas y el equilibrio de los flujos de recursos renovables, ii) optimizar el rendimiento de los recursos mediante la circulación de productos, componentes y materiales con la máxima utilidad en todo momento, tanto en los ciclos técnicos como en los biológicos, y iii) fomentar la eficacia del sistema. Además, estas soluciones de EC pueden aplicarse a cuatro escalas diferentes (Saidani et al., 2017b) (Figura 4):

1. Macro: referida a regiones, países y ciudades.
2. Meso: a sectores económicos y parques industriales.
3. Micro: abarca modelos de negocio y organizaciones.
4. Nano: a producto, servicio o unidad de negocio.



**Figura 4:** Escalas para aplicar la EC

Con la EC se quiere mantener siempre el máximo beneficio y valor de los productos, componentes y materiales. Este valor se mantiene extendiendo la vida útil de los productos mediante la reutilización, renovación y remanufactura, y poniendo fin a los ciclos de los recursos mediante el reciclaje. Una estrategia alternativa para prolongar la vida útil es utilizar los productos de manera más eficiente haciéndolos multifuncionales o compartiéndolos (Bocken et al., 2017). La EC enfatiza la sostenibilidad del uso de los recursos naturales (Goulielmos, 2018).

Según Bocken et al. (2016) para abordar la transición hacia la EC es necesario desarrollar las siguientes cuatro estrategias: i) reducir el uso de recursos, que implica optimizar el uso de recursos por unidad de producto/servicio (Bocken et al., 2017), ii) ralentizar los bucles de recursos, que se refiere a intensificar su uso a lo largo de su ciclo de vida, iii) cerrar los bucles de recursos, que involucra cerrar el ciclo de vida de los materiales a través de sistemas eficientes de recogida, recuperación y reciclaje de materiales y, iv) regenerar los bucles de recursos, que connota el uso de materiales no tóxicos, energía renovable (Konietzko et al., 2020) y regeneración de ecosistemas naturales (Geissdoerfer et al., 2017; McDonough & Braungart, 2002). El despliegue de las citadas estrategias se puede realizar mediante la aplicación de las denominadas 9Rs (Blomsma et al., 2019, Potting et al., 2017):

0. Rechazar: crear un producto que sea redundante abandonando su función u ofreciendo la misma función con un producto radicalmente diferente.
1. Repensar: hacer más intensivo el uso del producto (por ejemplo, compartiendo productos o poniendo en el mercado productos funcionales).
2. Reducir: aumentar la eficiencia en la fabricación o uso del producto consumiendo menos recursos naturales y materiales.
3. Reutilizar: reutilización por parte de otro consumidor de un producto desechado que todavía está en buenas condiciones y cumple con su función.

4. Reparar: reparación y mantenimiento de un producto deficiente para que pueda ser utilizado con su función original.
5. Reacondicionar: restaurar un producto antiguo y ponerlo al día.
6. Remanufacturar: utilizar partes de un producto desechado en un nuevo producto con la misma función.
7. Readaptar: usar un producto desechado o sus partes en un nuevo producto con una función diferente.
8. Reciclar: recuperar materiales para obtener la misma calidad (alta calidad) o una calidad inferior (baja calidad).
9. Recuperar: incineración de materiales para la recuperación de energía.

Como menciona Morseletto (2023), Berry et al. (2022), Centobelli et al. (2021) y Haas et al. (2020) en los últimos años, la EC ha generado una atención creciente entre académicos, profesionales y responsables de la toma de decisiones. Probablemente hasta ahora, ningún otro marco económico relacionado con la sostenibilidad ha recibido una atención equivalente. Asimismo, según Morseletto (2023) la aplicación de la EC puede producir cambios sociales, tecnológicos, institucionales y económicos relevantes que se cruzan con múltiples aspectos de la transición hacia la sostenibilidad, como la innovación de los modelos de negocio, el papel de las instituciones, las normas y los instrumentos de gobernanza (Hansen et al., 2021; Henrysson & Nuur, 2021; Schöggel et al., 2020).

A pesar de avanzar en la transición hacia la EC, los estudios sobre política de la EC no han proporcionado una base teórica sólida para abordar dicha transición a nivel microeconómico (Hartley et al., 2023). Esas estrategias y soluciones se deben abordar más allá de las empresas o industrias individuales e implican interacciones entre productores, consumidores y responsables políticos en diversas condiciones de mercado y normativas (Hartley et al., 2023) con el fin de permitir una transición sostenible de las empresas de la EL hacia la EC.

## **1.2 Las empresas de la CAPV y la EC**

Actualmente, la CAPV se enfrenta a retos relacionados con la economía, entre los que destacan la falta de competitividad y la extrema dependencia de la exportación (Ihobe, 2022). Por lo tanto, es necesario transitar hacia una EC que se caracterice por una mayor inversión en la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías, así como, el establecimiento de estructuras de comercialización más flexibles para permitir a las Pequeñas y Medianas Empresas (pymes) industriales innovar y diversificar su oferta.

Con el objetivo de aportar una solución para un futuro sostenible, la EC busca adaptarse a los ciclos económicos y disminuir el impacto ambiental. La CAPV es un ejemplo de los esfuerzos de algunas de las principales economías de Europa en el camino hacia una EC, abordando la sostenibilidad mediante la adopción de nuevos enfoques, instrumentos y políticas relacionadas junto a los retos a alcanzar propuestos por Ithobe (2020). Igualmente, se conoce que las pymes tienen un rol importante en la economía vasca (Ormazabal et al., 2018) y son agentes clave en la realización de la agenda de la EC ya que éstas pueden influir en (Geissdoerfer et al., 2017): i) la forma en la que se consume, a través de la innovación de producto, ii) la reorientación de la estrategia empresarial, iii) el rediseño del modelo empresarial y, iv) la reconfiguración de la cadena de valor.

Cada vez hay más empresas industriales que buscan adoptar enfoques más circulares dentro de su modelo de negocio. Esto puede darse por el aumento de beneficios que consiguen a largo plazo por (Kirchherr et al., 2023): i) el diseño de productos duraderos, ii) la reutilización de materias primas, iii) la reducción del consumo de energía y, iv) la mejor comprensión de los procesos industriales. Esta transición permitirá a las pymes desarrollar procesos de producción de bajo impacto, mayor eficiencia y mejor aprovechamiento de los recursos naturales (Kirchherr et al., 2023).

Según el análisis realizado por Ormazabal et al. (2018) se conoce que las pymes están centradas en cumplir la ley, sin comprometerse con el cumplimiento de aspectos medioambientales ya que creen que no aumentarían sus beneficios y su competitividad. En consecuencia, se puede afirmar que la EC ofrece una oportunidad para mejorar su competitividad frente a la industria internacional y mejorar la sostenibilidad de sus negocios.

La CAPV lleva años trabajando para dar impulso a la transición hacia un modelo circular de producción, así como, para cumplir con la normativa europea. A medida que el mundo se mueve hacia la EC, la industria vasca se prepara para aprovechar los recursos que ofrece el modelo. Las empresas vascas tienen todo lo necesario para adoptar la EC (Gobierno Vasco, 2019): i) una cultura empresarial sostenible, ii) una amplia experiencia en eficiencia energética y iii) un cambio de mentalidad hacia una producción responsable. Al dar el paso, las pymes pueden convertirse en verdaderos líderes en la sostenibilidad, mejorar la productividad y aportar beneficios para el medioambiente.

Sin embargo, las empresas tienen que superar barreras tanto internas como externas (Kirchherr et al., 2018), para poder completar dicha transición. No obstante, para que las empresas industriales empiecen a implantar la EC, es importante integrar los principios a nivel operativo (nivel micro), lo que incluye (Rocha et al., 2019): i) la reconfiguración de los modelos de negocio y ii) el rediseño de productos y servicios.

### 1.3 Objetivos e hipótesis de la investigación

El objetivo principal de esta investigación es, **desarrollar la guía CircularTRANS que ayuda a las empresas industriales de la CAPV a mejorar su competitividad a través de la EC.**

Para poder cumplir dicho objetivo es necesario realizar un despliegue donde se especifiquen los subobjetivos a cumplir. Con esa finalidad se han planteado los siguientes Objetivos Específicos (OE):

- OE1: definir y desarrollar la guía CircularTRANS que facilita la integración de la EC en las empresas industriales de la CAPV.
  - OE1.1: desarrollar el cuestionario diagnóstico *Industrial Circular Economy Questionnaire* (ICEQ) para evaluar el nivel de madurez en EC de una organización teniendo en cuenta los procesos de la empresa, las estrategias y las soluciones de EC para las empresas industriales de la CAPV.
  - OE1.2: desarrollar nuevas herramientas que ayuden al despliegue y seguimiento de las actividades de la EC.
- OE2: validar la guía CircularTRANS y su proceso metodológico en dos casos de estudio.

Partiendo del objetivo principal y de los objetivos específicos se plantean las siguientes hipótesis de investigación:

- H1: entre las empresas que utilizan la guía CircularTRANS, existe una carencia de conocimiento entorno a cómo abordar de manera integral la EC en la industria de la CAPV.

- H2: el uso del cuestionario diagnóstico ICEQ permite identificar oportunidades para comenzar a trabajar la EC a las empresas de la CAPV que usan la guía CircularTRANS.
- H3: el uso de la guía CircularTRANS permite a las empresas de la CAPV avanzar en EC, mejorar su competitividad mediante el uso de las estrategias de EC y la mejora ambiental.

## 1.4 Estructura del documento

La Figura 5 muestra los seis capítulos que componen la presente tesis doctoral de los cuales a continuación se realiza una breve descripción de cada uno de ellos.

### *Capítulo 1. Introducción*

Consta de cuatro apartados, donde primeramente se expone la transición de una EL a una EC. Posteriormente, se justifica la necesidad de transitar hacia la EC por las empresas industriales de la CAPV, a continuación, se describen los objetivos e hipótesis planteados para el trabajo y, por último, se muestra la estructura utilizada en el documento con el fin de facilitar su comprensión.

### *Capítulo 2. Metodología de la investigación*

Capítulo compuesto por cinco puntos, se describe la metodología de investigación aplicada, comenzando con el diseño general de la investigación, siguiendo con la justificación de la estrategia y la táctica seguida, para realizar después un resumen donde se describe brevemente la metodología concreta, finalizando con el diseño del programa de investigación.

### *Capítulo 3. Retos de las organizaciones respecto a la EC*

Capítulo dividido en tres apartados, donde se presenta, en primer lugar, los marcos normativos de EC europeos, estatales y autonómicos. Después, se desarrolla el marco operativo de la EC y las empresas de la CAPV y el capítulo finaliza con un apartado de conclusiones.

*Capítulo 4. Guía CircularTRANS*

Este capítulo expone los desarrollos, las aplicaciones y las validaciones de: i) el proceso de la guía CircularTRANS, ii) el cuestionario diagnóstico ICEQ, iii) el modelo de indicadores INMOIN Circular y iv) la herramienta Eco-productividad Industrial.

*Capítulo 5. Casos de estudio guía CircularTRANS*

Este capítulo compuesto por dos apartados muestra de manera independiente los dos casos de estudio realizados para la validación de la guía CircularTRANS. El primer caso se realiza en la empresa Mugafil perteneciente al sector industrial y el segundo caso se lleva a cabo en la Clínica Dental Urraca, empresa del sector servicios.

*Capítulo 6. Conclusiones y líneas futuras*

El último capítulo describe, por un lado, las conclusiones obtenidas de la presente investigación y por otro lado las líneas futuras.

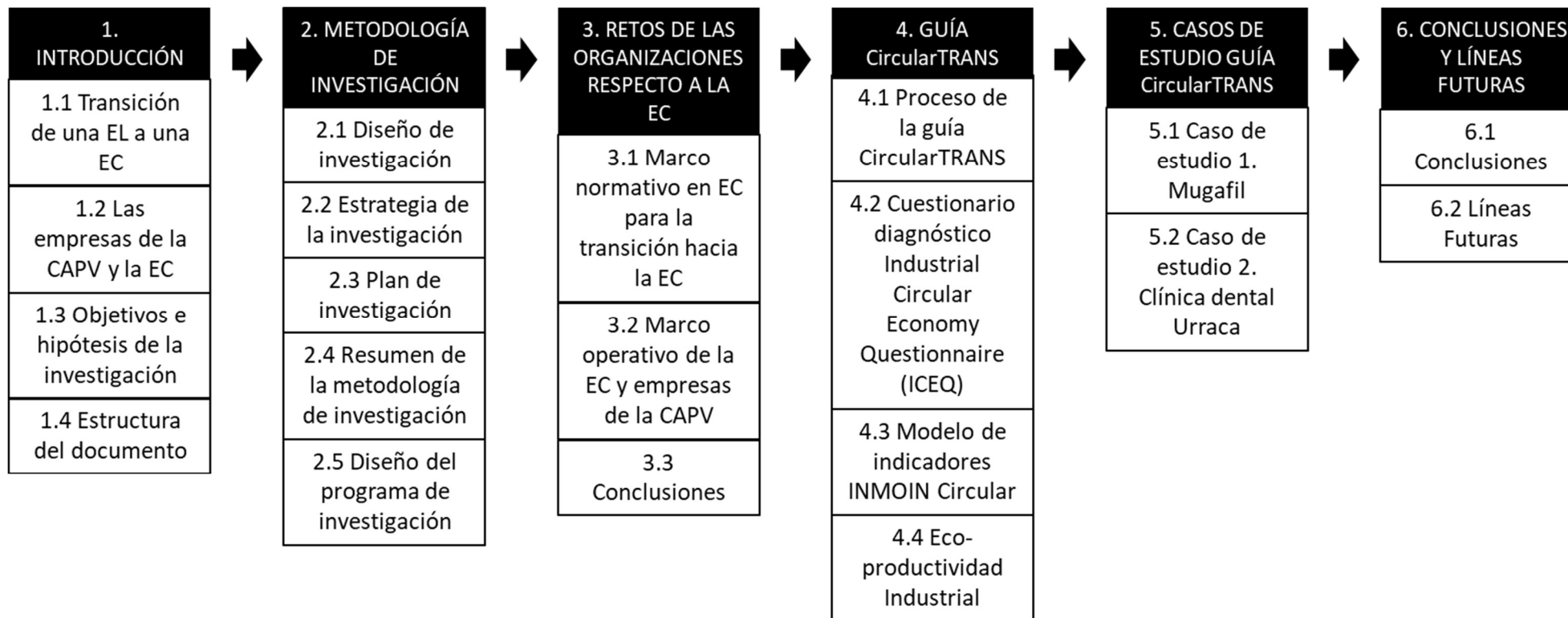


Figura 5: Estructura general del documento

CAPÍTULO 2

# Metodología de investigación

## 2. Metodología de investigación

En este capítulo se describe la metodología de investigación utilizada para llevar a cabo la investigación de la tesis. En el apartado 2.1 se presenta el diseño de la investigación; en los apartados 2.2 y 2.3 se describen la estrategia y el plan de investigación respectivamente. En el apartado 2.4 se resume la metodología de investigación y, por último, en el apartado 2.5 se expone y muestra el diseño del programa de investigación.

### 2.1 Diseño de la investigación

Como mencionan Hernández Sampieri et al. (2014) existen distintos puntos de vista sobre cómo realizar una investigación, pero todos coinciden en que es necesario realizar un plan en el que se definan los objetivos y las hipótesis tanto de la investigación cualitativa como cuantitativa. Una vez establecidos y definidos los objetivos de la investigación, y al tratarse de una investigación cualitativa, Hernández Sampieri et al. (2014) afirman que para realizar un diseño adecuado se deben tener en cuenta dos principios básicos que se exponen a continuación:

1. Determinar la estrategia: establecer la hoja de ruta general para responder las preguntas de investigación.
  - a. Definir el propósito de la investigación.
  - b. Elegir la estrategia que se utilizará durante la investigación.
  - c. Seleccionar la Unidad de Análisis (UA) del estudio.
2. Definición del método de trabajo: precisar los métodos específicos utilizados en el estudio para recopilar y analizar los datos que se van a utilizar.
  - a. Método de recogida de datos.
  - b. Cómo se analizarán y evaluarán los datos.

### 2.2 Estrategia de la investigación

En este punto primero se exponen los tipos de investigación (2.2.1) que existen para conocer las diferencias y seleccionar el adecuado para la investigación. Seguidamente, en el apartado 2.2.2 se definen las estrategias de investigación utilizadas durante todo el proceso y, por último, en el apartado 2.2.3 se expone el tipo de unidad de análisis llevado a cabo en la presente investigación.

## 2.2.1 Tipos de investigación

Según Hernández Sampieri et al. (2014) los métodos de investigación pueden ser: i) exploratorios, ii) descriptivos, iii) correlacionales o, iv) explicativos. El exploratorio ocurre cuando el objetivo es analizar un tema o problema de investigación poco estudiado o previamente no resuelto (Hernández Sampieri et al., 2014). La investigación descriptiva tiene como objetivo identificar las características de personas, grupos, comunidades u otros fenómenos que necesitan análisis (Hernández Sampieri et al., 2014). Por otro lado, la investigación correlacional tiene como objetivo medir el grado de relación que puede existir entre dos o más variables (Hernández Sampieri et al., 2014). Por último, la investigación explicativa tiene como objetivo explicar por qué y bajo qué condiciones ocurre un determinado fenómeno (Hernández Sampieri et al., 2014). La Tabla 1 presenta las características de cada uno de los tipos de investigación mencionados.

**Tabla 1:** Características de los cuatro tipos de investigación (Hernández Sampieri et al., 2014)

Tipo de investigación	Características
Exploratoria	Proporciona información sobre fenómenos desconocidos o poco conocidos, que permite una investigación más exhaustiva en un contexto particular o establecer prioridades para futuras investigaciones.
Descriptiva	Es útil para describir con precisión el alcance de un fenómeno, evento, comunidad, contexto o situación.
Correlacional	Aunque parcial, tiene valor explicativo. La información explicativa la proporciona el hecho de que dos o más variables están relacionadas entre sí.
Explicativa	Es un estudio más estructurado en comparación con otros campos de estudio. Esto significa un objetivo que es descriptivo y relacional. Da una sensación de comprensión del fenómeno.

## 2.2.2 Selección de la estrategia de investigación

Las estrategias de investigación pueden ser cualitativas o cuantitativas (Coughlan & Coughlan, 2002). En cuanto a la investigación de casos cualitativos utiliza la recopilación de datos para responder preguntas de investigación (Hernández Sampieri et al., 2014; Robson, 2002). Por lo que se refiere a la investigación cuantitativa, que incluye análisis de encuestas y experimentación (Coughlan & Coughlan, 2002), se utiliza la recopilación de datos para probar hipótesis numéricas y análisis estadísticos (Hernández Sampieri et al., 2014). Además, según Robson (2002), las estrategias de investigación se pueden dividir en tres grupos:

1. Experimentación: resultados obtenidos midiendo una variable frente a otra. Las principales características de esta estrategia son:
  - Seleccionar una muestra de una población específica.

- Controlar otras variables.
  - Medir una gama limitada de variables.
  - Asignar muestras a diferentes condiciones experimentales.
2. Encuesta: información recogida en un formato estándar de un grupo de personas. Se caracteriza por:
- Seleccionar una muestra de la población conocida.
  - Recoger datos de cada persona.
  - Utilizar cuestionarios.
3. Estudio de caso: desarrollar conocimientos específicos sobre un caso concreto. Características de esta estrategia:
- Seleccionar un caso específico.
  - Investigar el contexto del incidente anterior.
  - Recopilar información a través de entrevistas, documentos, etc.

En la Tabla 2 se muestran las características y diferencias principales de las tres estrategias mencionadas en líneas anteriores.

**Tabla 2:** Estrategias de investigación (Robson, 2002)

<b>Estrategias</b>	<b>Tipo de preguntas en la investigación</b>	<b>¿Se necesita un control?</b>	<b>¿Se tiene en cuenta la actualidad?</b>
Experimentación	Cómo, Por qué	Sí	Sí
Encuestas	Quién, Qué, Dónde, Cuánto	No	Sí
Estudio de caso	Cómo, Por qué	No	Sí

Puede darse el caso de que el propósito de la investigación no se pueda llevar a cabo utilizando solo una de las estrategias. En estos casos, hay autores como Hernández Sampieri et al. (2014) y Robson (2002) que definen el uso de estrategias híbridas donde se aplican simultáneamente varias de las estrategias mencionadas. Para concretar el uso de una estrategia u otra hay que considerar tres aspectos (Robson, 2002; Yin, 2013):

1. Las preguntas que se plantean en la investigación.
2. El grado de control que se tiene sobre los acontecimientos.
3. El enfoque que se le da a la investigación, esto es, si son acontecimientos pasados o presentes.

Según Stake (1995) y Yin (2013), el caso de estudio se puede definir como *“el proceso de aprendizaje sobre el caso como el producto de nuestro aprendizaje, siendo una investigación empírica que investiga un fenómeno contemporáneo en profundidad y dentro de su contexto real, especialmente cuando los límites entre fenómeno y contexto no son claramente evidentes”*.

Como señalan Coughlan & Coughlan (2002) y Sanchez & Blanco (2014), el método de estudio de casos se utiliza principalmente en ciencias sociales, pero cada vez es más utilizado en el campo de la gestión. En el presente estudio, los estudios de caso se han realizado utilizando el *Action Research* (AR) o la Investigación en Acción (IA). Según Coughlan & Coughlan (2002), la IA está determinada por las siguientes características:

1. La idea principal consiste en qué se centra en la acción, en el análisis de cómo se han realizado los cambios.
2. Es participativa. El personal investigador es conocedor de los cambios que se están dando en la organización y el mismo analiza esos cambios.
3. Es específica en cada situación. Esto es, el objetivo no es crear un conocimiento general.
4. El objetivo es llevar a cabo la acción de manera efectiva consiguiendo alcanzar el conocimiento.
5. Puede tener más de un proceso de reflexión a medida que se están ejecutando los cambios, haciendo que el conocimiento cambie y haya que reflexionar sobre posibles variaciones.

La IA pretende lograr una visión integral tanto de la organización como del proceso de cambio durante la implementación del proyecto. Las empresas cambian con el tiempo y según el contexto. Por ello, el investigador debe tener en cuenta la estructura de la empresa, los grupos de trabajo existentes, el equipo directivo, los empleados, etc. e informarles sobre las relaciones individuales que ocurren en diferentes niveles de la estructura para comprender cómo y por qué ocurre el cambio (Coughlan & Coughlan, 2002; Hernández Sampieri et al., 2014).

Además, los datos se generan no sólo a través de la participación y la observación de los responsables del trabajo, los problemas resueltos, las decisiones tomadas, etc., sino gracias a una variedad de medidas diferentes de intervención con las que el proyecto avanzará. Esta interacción se da tanto en entornos formales a través de entrevistas y reuniones, como en entornos informales; en el café o durante las

comidas (Coughlan & Coughlan, 2002). Por otro lado, Coughlan & Coughlan (2002) señalan que la dinámica de grupo en el lugar de trabajo puede considerarse una base para investigaciones que consideren el comportamiento observado como una fuente importante de información.

En este trabajo, donde se han utilizado métodos de la IA en múltiples organizaciones, el equipo investigador ha tenido contacto directo con miembros de ambas organizaciones durante todo el proceso. Esto ha permitido la recopilación directa de datos, además de tener en cuenta las experiencias de los participantes durante el proyecto. Martinez-Costa & Jimenez- Jimenez (2009) y Norohna (2003) señalan que el enfoque fenomenológico hermenéutico puede utilizarse para estudiar las organizaciones con mayor profundidad. Cuando se utiliza este método, se pueden utilizar métodos de recopilación de información en forma de entrevistas escritas y orales, lo que hace que la recopilación de datos sea más directa y factible (Langdrige, 2018), aunque esto significa que se necesitará más tiempo para recopilar información (Johnson & Christensen, 2019).

### 2.2.3 Unidad de análisis (UA)

Para concretar la Unidad de Análisis (UA) se ha seguido el método definido por Yin (2013) (Figura 6). El autor propone cuatro diseños diferentes para las investigaciones de estudio de caso. La diferencia entre los cuatro diseños es el número de casos que se analizan en contextos diferentes y la cantidad de unidades de análisis que se investigan en cada contexto. En la presente investigación, el estudio de caso realizado entra dentro de unidad de análisis única y de múltiples contextos.

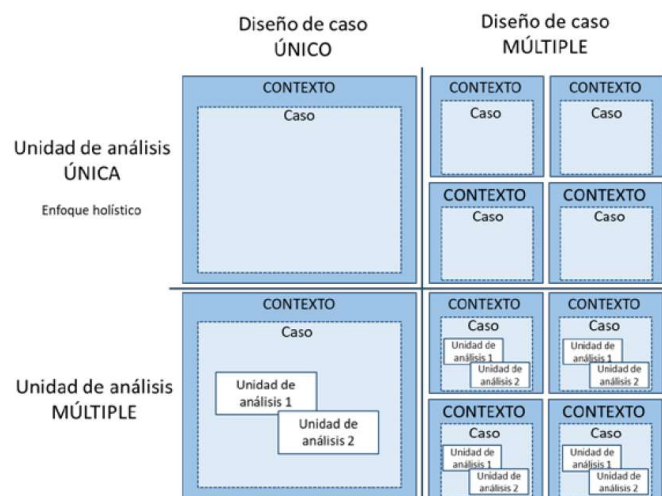


Figura 6: Tipos de diseño para estudio de casos (modificado ((Yin, 2013))

Yin (2013) sugiere un enfoque basado en dos factores de muestreo: i) número de organizaciones a estudiar (casos únicos o múltiples) y ii) tipo de conocimiento a estudiar (holístico). El conocimiento holístico es aquel en el que se alcanza el conocimiento completo de un caso particular. También se menciona que los estudios de casos múltiples suelen ser más convincentes porque la investigación y los hallazgos se consideran más confiables (Yin, 2013).

## 2.3 Plan de investigación

En los siguientes apartados se exponen, por un lado, como se ha llevado a cabo la recogida de todos los datos del trabajo realizado (2.3.1) y, por otro lado, cómo se van a analizar y evaluar los datos (2.3.2).

### 2.3.1 Recogida de datos

Según el tipo de investigación que se lleva a cabo, exploratoria, existen diferentes métodos para la recogida de datos. En la Tabla 3 se muestran los diferentes métodos de recogida de datos.

**Tabla 3:** Métodos de recogida de datos. Modificado de Yin (2013)

Recurso para la recogida de datos	Características
Documentación	Correspondencia, e-mail, documentos administrativos, procedimientos, instrucciones. Documentos Excel para la recogida de datos de la empresa.
Entrevistas	Estructuradas, semiestructuradas, abiertas.
Observación participativa	Tipo de observación donde el investigador toma parte activa en los modelos de negocio que se analizan.
Cuestionarios	Estructurados, abiertos.

A continuación, se explican con detalle los métodos de recogida de datos que se han utilizado en ambos casos de estudio:

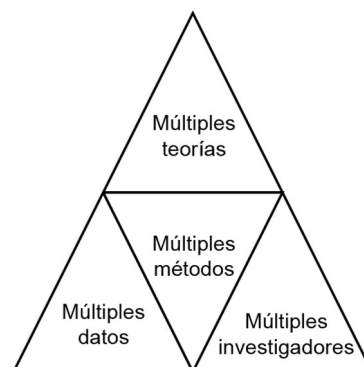
1. Documentación: se utilizan todo tipo de registros tanto en papel como informáticos para recoger datos y presentar los resultados obtenidos.
2. Entrevistas: se realizan entrevistas semiestructuradas y abiertas a los responsables. El objetivo principal es realizar un diagnóstico preliminar de la empresa para el diseño del posterior trabajo que se realiza junto a ella.
3. Observación participativa: la recopilación de datos por parte del equipo investigador se considera observación directa. Por otro lado, si los investigadores asumen un papel activo, se convierten en observadores participantes. Este segundo tipo de observación es el más común en la IA. A

través de este tipo de observación, los investigadores logran una comprensión más profunda del tema de investigación (Yin, 2013).

4. Cuestionarios: se han utilizado varios cuestionarios para evaluar el trabajo desarrollado. Se han completado varios cuestionarios a lo largo del estudio para recopilar comentarios sobre las propuestas, lo que ha permitido realizar mejoras y responder a necesidades más específicas que han tenido las empresas.

Las reuniones con las empresas se han registrado, con la previa autorización de los participantes, por diversas razones: i) para evitar pérdida de información y ii) debido a la rapidez con la que se proporcionan respuestas, lo que dificulta su transcripción inmediata. Este enfoque asegura la captura integral de la información en cada encuentro.

Por último, cabe destacar que la triangulación se ha convertido en una técnica aceptada y relevante en investigaciones cuantitativas, cualitativas y mixtas para dar mayor validez y fiabilidad a la calidad de los resultados obtenidos (Hanson-DeFusco, 2023). Asimismo, ayuda a reducir falsificaciones de los resultados. La definición de triangulación dada por Denzin (2013) es sólida ya que entrecruza diferentes interpretaciones conceptuales. La Figura 7 representa las diferentes formas que Denzin (2013) describe que puede incluir la triangulación (Hanson-DeFusco, 2023). Por ello, en la presente investigación se han utilizado diferentes métodos de recogida de información, mencionados en párrafos anteriores y se ha realizado una triangulación de la información recopilada para obtener una mayor validez de los resultados.



**Figura 7:** Principales formas de triangulación (Hanson-DeFusco, 2023)

### 2.3.2 Análisis y evaluación de los datos

Considerando que el propósito de la investigación es “Desarrollar la guía CircularTRANS que ayuda a las empresas industriales de la CAPV a mejorar su competitividad a través de la EC” el trabajo se adecua a una investigación exploratoria ya que consiste en diseñar y desarrollar aplicaciones concretas y no muy trabajadas actualmente para un territorio específico (McLean & Antony, 2017). Para ello, se ha tenido que explorar sobre los siguientes aspectos:

- Conocer el marco normativo en EC tanto europeo, estatal como el autonómico.
- Conocer el marco operativo de la EC y empresas de la CAPV.
- Conocer las barreras, necesidades y oportunidades de las empresas industriales de la CAPV para transitar hacia la EC.
- Recopilar información sobre cuestionarios y encuestas de EC y herramientas de diagnóstico actuales de la EC.
- Identificar indicadores micro de EC actuales.
- Identificar los indicadores de EC que actualmente utilizan las empresas.
- Investigar sobre las áreas funcionales definidas en una empresa y conocer sus funciones.
- Entender el proceso productivo de las empresas.

Los aspectos mencionados han sido examinados durante la investigación de campo, teniendo en cuenta las necesidades y características de las empresas, así como, la información recopilada durante las entrevistas. Esto ha ayudado en el diseño, desarrollo y validación de la guía CircularTRANS, el cuestionario diagnóstico *Industrial Circular Economy Questionnaire* (ICEQ), el modelo de indicadores INMOIN Circular y la herramienta Eco-productividad Industrial, así como, en la extracción de las conclusiones del estudio.

La validez externa del método se ha logrado gracias a las mejoras conseguidas por las empresas. La guía CircularTRANS ha sido aplicado dentro de un modelo de negocio específico, donde se han identificado oportunidades de mejora y, con la ayuda del equipo investigador, las empresas han logrado avances en menos de un año. Además, el modelo de indicadores INMOIN Circular les ha permitido conocer el nivel de integración de la EC en varias áreas funcionales. En cuanto a la aplicación de la herramienta Eco-productividad Industrial, les ha permitido mejorar la eficiencia productiva y reducir despilfarros productivos. Todo esto, permite a las empresas tener

una perspectiva global sobre el impacto de la EC en sus negocios, además de ser capaces de cuantificar sobre las mejoras obtenidas.

La validación interna trata de evitar un sesgo en las conclusiones del equipo investigador. Para determinar la credibilidad de los resultados obtenidos, los datos recogidos y las conclusiones extraídas se ha realizado una publicación de impacto internacional donde se presenta el cuestionario diagnóstico ICEQ y la guía CircularTRANS. Mediante este hecho la validez de que el cuestionario y el proceso sea correcto no solo es cuestión interna, sino que se ha aceptado internacionalmente. En cuanto a la eficacia del modelo de indicadores INMOIN Circular, hay un artículo previo donde se concluye la necesidad de crear dicho modelo, enviado a una revista internacional a la espera de ser publicada. Esto hace que la siguiente evidencia sea presentar el modelo completo. Mientras tanto, se ha desarrollado un *workshop* donde los directores de empresas han dado su punto de vista, y han comprobado que las herramientas se adecúan perfectamente a sus necesidades. La validación de la herramienta Eco-productividad Industrial se ha obtenido gracias a la publicación en una revista internacional de gestión e ingeniería de la producción. Estas validaciones externas e internas han ayudado a autenticar que la guía desarrollada en la investigación se considera necesaria para que las empresas de la CAPV empiecen a transitar hacia una EC.

En cuanto a la objetividad, para garantizar que la interpretación de los resultados de la investigación se basa en fenómenos observables y no está influenciada por sesgos personales, el investigador ha presentado los resultados de la investigación para las publicaciones de diversos artículos, como se indica en el párrafo anterior.

### **2.4 Resumen de la metodología de investigación**

En la presente investigación, el trabajo se adecúa a una investigación exploratoria ya que se diseña y desarrolla una guía denominada CircularTRANS que ayuda al despliegue de la EC a las empresas de la CAPV en el cual se integran: i) un cuestionario diagnóstico ICEQ, que permite conocer el nivel de madurez de EC en las empresas, ii) el modelo de indicadores INMOIN Circular que permite a las empresas conocer el nivel de integración de la EC tanto por área funcional como en general y iii) la herramienta de Eco-productividad Industrial que ayuda a mejorar el proceso productivo analizando los despilfarros productivos, la eficiencia productiva y la ecoeficiencia. Además, todo ello ha sido integrado en la plataforma web CircularTRANS (<https://circulartrans.mondragon.edu/es/inicio>).

Como se ha mencionado anteriormente, en la presente investigación se ha considerado la estrategia de estudio de caso. Teniendo en cuenta la definición de dicha estrategia se ha desarrollado una investigación tanto cualitativa y cuantitativa ya que en los aspectos analizados se consideran ambas opciones. La razón exploratoria de la tesis ha requerido un análisis y un diseño profundo y detallado de la implementación de la guía CircularTRANS, el cuestionario diagnóstico ICEQ, el modelo de indicadores INMOIN Circular y la herramienta Eco-productividad Industrial. El análisis se ha llevado a cabo en dos estudios de caso, uno del sector industrial y otros del sector servicios, donde se ha analizado la evolución de la organización durante y después de la aplicación de la guía CircularTRANS.

## **2.5 Diseño del programa de investigación**

La Figura 8 muestra el programa diseñado y desarrollado para realizar la presente tesis doctoral. Primeramente, se han analizado los retos de las organizaciones respecto a la EC donde se han diferenciado el marco normativo en EC para la transición hacia la EC y el marco operativo de la EC y empresas de la CAPV.

Posteriormente, se ha comenzado con el desarrollo de la guía CircularTRANS donde se han ejecutado cuatro ciclos completos para: i) cuestionario diagnóstico ICEQ, INMOIN Circular, iii) Eco-productividad industrial y iv) plataforma web CircularTARNS. En cada ciclo, se fundamenta por una IA y se hace una retroalimentación para mejorar las partes de la guía CircularTRANS. Para finalizar, se extraen tanto las conclusiones y las líneas futuras de la investigación al completo.

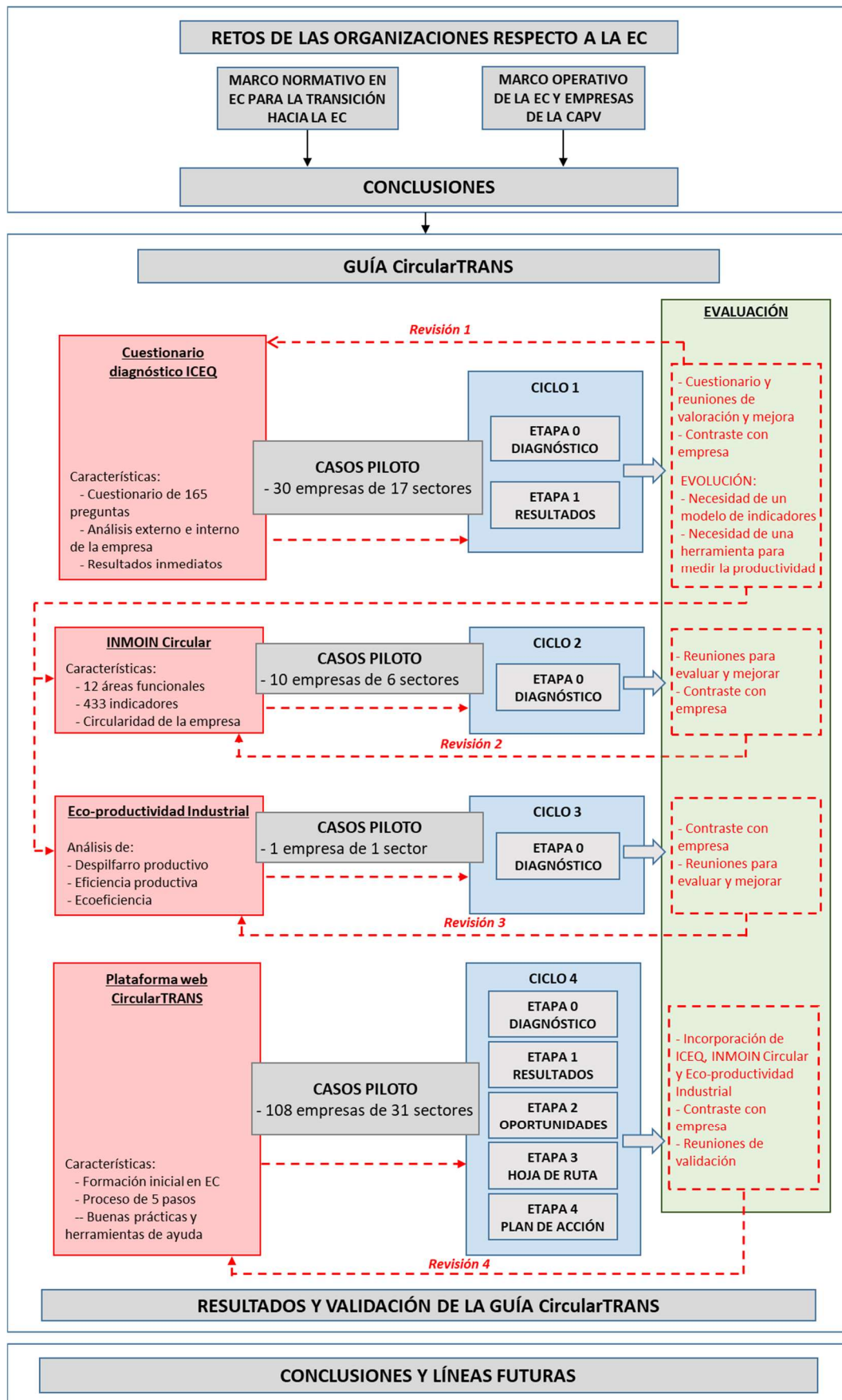


Figura 8: Programa de investigación

CAPÍTULO 3

# **Retos de las organizaciones respecto a la EC**

## **3. Retos de las organizaciones respecto a la EC**

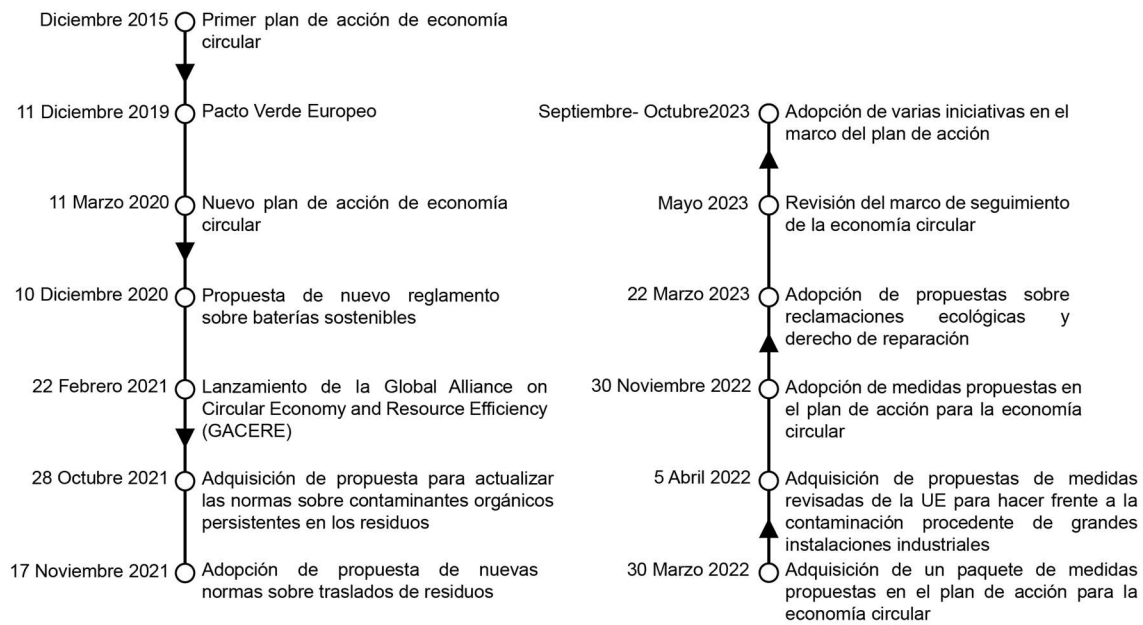
Este capítulo se compone de tres apartados donde primeramente se expone el marco normativo regulador en EC de la Unión Europea, España y la CAPV para la transición hacia la EC (3.1). Posteriormente, en el punto 3.2 se desarrolla el marco operativo de la EC y las empresas de la CAPV donde se analiza la situación de las industrias, la EC en las empresas, las barreras para integrar la EC y las oportunidades y beneficios que se obtienen con la integración de la EC. Por último, en el apartado 3.3 se presentan las conclusiones.

### **3.1 Marco normativo en EC para la transición hacia la EC**

La transición hacia una EC pasa necesariamente por el cambio cultural, que implica cambios en los valores, las normas sociales y las visiones económicas. El análisis del marco normativo que genere ese cambio de valores y normas sociales se considera un elemento clave para abordar la presente investigación. A continuación, se hace un análisis del marco normativo a nivel europeo, estatal y de la CAPV.

#### **3.1.1 Marco normativo europeo**

Para englobar todas las medidas implementadas por la Comisión Europea (CE), a la Figura 9, muestra una línea temporal donde se especifican las acciones e iniciativas tomadas sobre la EC (European Commission, 2023a).



**Figura 9:** Línea temporal de las acciones e iniciativas sobre la EC (European Commission, 2023a)

Con el fin de abordar la transición de una EL hacia una EC y promover una estrategia para desarrollar una economía sostenible, baja en carbono, eficiente en el uso de los recursos y competitiva a nivel europeo (Hartley et al., 2023) en diciembre de 2014, se desarrolló el primer plan de acción de la CE (Catelles Viciano et al., 2022). En el citado plan denominado “*Hacia una economía circular: un programa de cero residuos para Europa*” la CE planteaba acciones enfocadas a la prevención de residuos, diseño ecológico y la reutilización (Catelles Viciano et al., 2022). Un año después, en 2015 se realizó una modificación del plan anterior presentando uno nuevo que abarcaba todo el ciclo económico (Comisión Europea, 2015). El nuevo plan contiene un total de 54 medidas a implementar en cinco años con el fin de avanzar en la transición hacia la EC (Comisión Europea, 2015). Estas medidas están agrupadas en las diferentes categorías (Comisión Europea, 2015): i) producción, ii) consumo, iii) gestión de residuos, iv) mercado de materias primas secundarias, v) medidas sectoriales, vi) innovación e inversiones y, vii) seguimiento.

En el año 2015 la CE requirió al Comité Europeo de Normalización (CEN), al Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC) y al Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI), a través del mandato M/543 (Bruselas, 17.12.2015 C (2015) 9096 final) (Basque Ecodesign Center, 2019) el desarrollo de estándares (Tabla 4) para soportar la implementación de la Directiva de Ecodiseño (2009/125/EC) y contribuir en la transición hacia una EC. Asimismo, se cubren las siguientes temáticas relacionadas con la eficiencias de material (Basque Ecodesign

Center, 2019): i) extender la vida útil del producto, ii) reutilización de componentes o reciclado de materiales y iii) uso de componentes reutilizados o materiales reciclados.

**Tabla 4:** Estándares para la Directiva de Ecodiseño (Basque Ecodesign Center, 2019)

<b>Estándares</b>	<b>Fuente</b>
UNE-EN 45552:2021 -Método general para la evaluación de la durabilidad de los productos relacionados con la energía.	UNE EN, (2021a)
UNE-EN 45553:2021- Método general para la evaluación de la capacidad de refabricación de los productos relacionados con la energía.	UNE EN, (2021b)
UNE-EN 45554:2020 -Métodos generales para la evaluación de la capacidad de reparación, reutilización y actualización de productos relacionados con la energía.	UNE EN, (2020a)
UNE-EN 45555:2020- Métodos generales para la evaluación de la reciclabilidad y la valorizabilidad de los productos relacionados con la energía.	UNE EN, (2020b)
UNE-EN 45556:2020 -Método general para la evaluación de la proporción de componentes reutilizados en los productos relacionados con la energía.	UNE EN, (2020c)
UNE-EN 45557:2021 -Método general para la evaluación de la proporción de contenido de material reciclado en los productos relacionados con la energía.	UNE EN, (2021c)
UNE-EN 45558:2019 - Método general para la declaración del uso de materias primas críticas en productos relacionados con la energía.	UNE EN, (2019a)
UNE-EN 45559:2019 - Métodos para proporcionar información relacionada con aspectos de eficiencia de materiales de productos relacionados con la energía	UNE EN, (2019b)

En diciembre de 2019, la CE presentó un plan llamado Pacto Verde Europeo (PV) (European Commission, 2019). Dicho plan establece compromisos para abordar los retos del cambio climático y medioambientales. El PV, es la estrategia de crecimiento económico con la que la CE quiere impulsar la innovación, la competitividad y el empleo sobre la base de una economía respetuosa con el medioambiente (European Commission, 2019). Entre las principales directrices establecidas se encuentra la transición hacia una EC para el aprovechamiento máximo de los recursos, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero con el objetivo de alcanzar la neutralidad climática en el 2050, la tolerancia cero a la contaminación ambiental para prevenir la salud y revertir la pérdida de biodiversidad (European Commission, 2023a). Al mismo tiempo, promete proteger a los ciudadanos de los daños e impactos medioambientales y ser justa e integradora (Fetting, 2020). Todo esto supone una acción transversal que implica tanto a los diferentes sectores económicos como a los agentes públicos y privados europeos.

Para la aplicación del PV (Figura 10), en los años posteriores a su presentación se revisaron los reglamentos y normas existente y se elaboraron y aplicaron nuevas leyes y directivas las cuales se conforman en ocho áreas de actuación (Fetting, 2020):

1. Aumentar la ambición climática de la Unión Europea (UE) para el 2030 y 2050.
2. Suministrar energía limpia, asequible y segura.
3. Movilizar a la industria en favor de una economía limpia y circular.

4. Construir y renovar de forma eficiente desde el punto de vista energético y de recursos.
5. Contaminación cero para un medioambiente libre de tóxicos.
6. Preservar y restaurar los ecosistemas y la biodiversidad.
7. De la granja a la mesa: un sistema alimentario justo, sano y respetuoso con el medioambiente.
8. Acelerar el cambio hacia una movilidad sostenible e inteligente.



Figura 10: Pacto Verde Europeo (European Commission, 2019)

En marzo del 2020, la CE lanzó uno de los hitos más importantes de cara a la implementación de la EC, el llamado Plan de Acción de Economía Circular (European Commission, 2023a). Este nuevo plan incluye iniciativas que impactan en todo el ciclo de vida de los productos, comenzando desde el diseño y con el que se pretende (European Commission, 2023a):

- Hacer que los productos sostenibles sean norma en la UE.
- Empoderar a los consumidores y compradores.
- Centrarse en sectores que utilizan más recursos.
- Garantizar que se genere menos cantidad de residuo.
- Hacer que la circularidad funcione para personas, ciudades y regiones.
- Dirigir los esfuerzos mundiales en materia de EC.

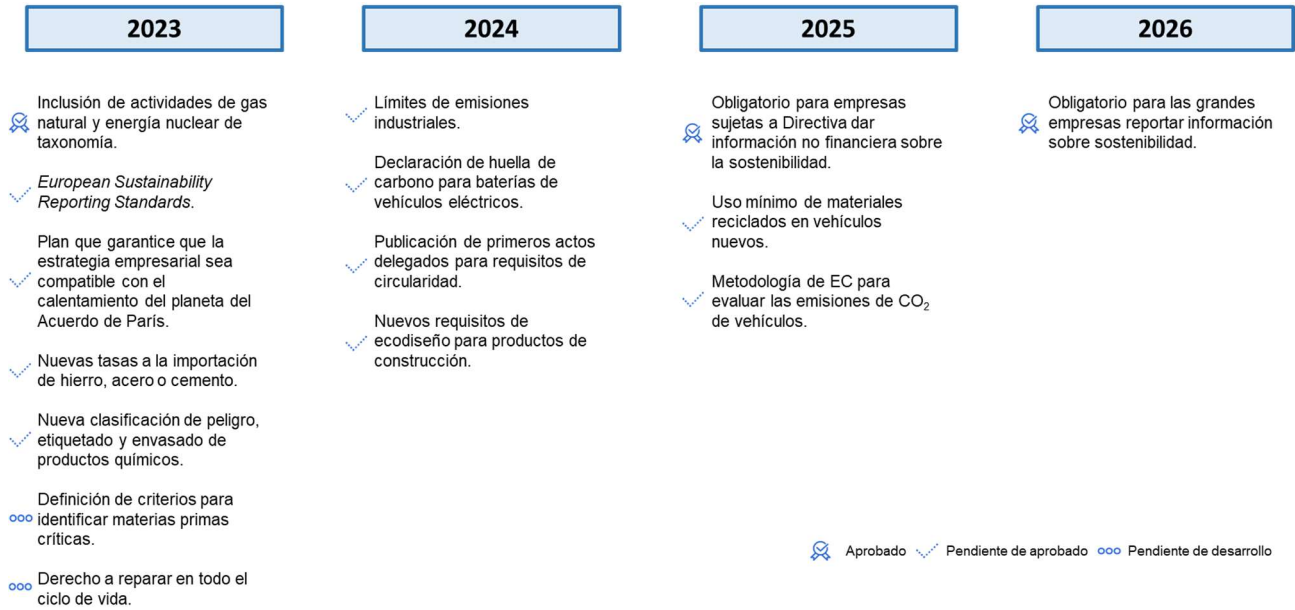
Se conoce que los europeos disfrutaban de unas normas medioambientales estrictas. Sin embargo, ni siquiera una sólida legislación medioambiental en la UE basta para hacer frente a la degradación medioambiental transfronteriza y mundial, ni para reducir el impacto de la actividad económica de la UE. Hacer frente a la triple crisis del cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la contaminación exige compromiso y una cooperación eficaz a escala internacional. Por ello, en febrero del 2021 se lanzó el *Global Alliance on Circular Economy and Resource Efficiency* (European Commission, 2021b). Además, durante los meses consecutivos, la CE publicó varias nuevas propuestas: i) actualizar las normas de contaminantes orgánicos persistentes en los residuos (European Commission, 2021c) y ii) la adopción de propuestas de nuevas normas sobre traslados de residuos (European Commission, 2021a).

Durante el 2022, la CE adoptó diferentes propuestas entre las que se encuentra la aprobación de las nuevas medidas para el plan de acción de EC donde se introducen iniciativas sobre (European Commission, 2022b): i) productos sostenibles (European Commission, 2022g), ii) estrategia de la UE para textiles sostenibles y circulares (European Commission, 2022h), iii) reglamento sobre productos de construcción (European Commission, 2022e) y, iv) propuesta para empoderar a los consumidores en la transición verde (European Commission, 2022f). Por otro lado, también se adoptaron medidas para abordar la contaminación procedente de grandes instalaciones industriales (European Commission, 2022c) y propuestas sobre: i) las normas de la UE sobre envases y residuos de envases (European Commission, 2022c) y ii) el comunicado político para los plásticos de origen biológico, biodegradables y compostables (European Commission, 2022a).

Asimismo, durante el 2023, la CE adoptó una propuesta sobre reclamaciones verdes con el objetivo de (European Commission, 2023b): i) hacer que las alegaciones ecológicas sean fiables, comparables y verificables en toda la UE, ii) proteger a los consumidores del “*greenwashing*”, iii) contribuir a la creación de una economía ecológica en la UE y, iv) ayudar a establecer condiciones equitativas considerando el comportamiento medioambiental y el derecho a reparar de los productos (European Commission, 2023b). Es destacable que, en mayo del 2023, revisaron también el marco de seguimiento de la EC. Se conoce que, en la segunda mitad del año 2023, en los meses de septiembre y octubre, la CE ha estado trabajando en varias iniciativas sobre microplásticos (European Commission, 2023a).

La Figura 11 muestra los *drivers* normativos a nivel europeo donde se diferencian los que actualmente están: i) aprobados, ii) pendientes de aprobación y iii) pendientes de

desarrollo según el Informe de vigilancia ambiental estratégica creado por Ihobe (2023).



**Figura 11:** Drivers normativos europeos (Ihobe, 2023)

A su vez la Tabla 5 muestra las directivas europeas específicas relativas a la aplicación de la EC.

**Tabla 5:** Directivas de UE relativas a la aplicación de la EC (Diputación Foral de Gipuzkoa, 2022b)

Directiva	Objetivo	Fuente
Directiva 94/62/CE Envases.	Armonizar las medidas nacionales sobre la gestión de los envases y de los residuos de envases y mejorar la calidad del medioambiente mediante la prevención y la reducción del impacto de los envases y residuos de envase sobre el entorno.	European Union (2018b)
Directiva 1999/31/CE Vertido de residuos.	Prevenir o reducir los efectos negativos del vertido en aguas superficiales, aguas subterráneas, en el suelo, el aire o la salud humana mediante la introducción de requisitos técnicos estrictos.	European Union (2018c)
Directiva 2000/53/CE Vehículos fuera de uso.	Estipular medidas para evitar y limitar los residuos de los vehículos al final de su vida útil y de sus componentes al garantizar que se reutilicen, reciclen o valoricen. Además, tienen por objeto mejorar la eficacia en la protección medioambiental de todos los agentes económicos que intervengan en el ciclo de vida de los vehículos.	European Union (2023)
Directiva 2006/66/CE pilas y acumuladores.	Prohibir la puesta en el mercado de determinadas pilas que contengan mercurio o cadmio por encima de un umbral establecido. Reducir la cantidad de sustancias peligrosas (mercurio, cadmio, plomo) liberadas al medioambiente, gracias a la reducción de la cantidad de dichas sustancias en las pilas. Promover un alto nivel de recogida y reciclado de residuos de pilas y una mejor actuación medioambiental de todos los operadores que participen en el ciclo de vida de las pilas, incluso en el reciclado y la eliminación.	European Union (2018a)
Directiva 2008/96/CE Directiva Marco de Residuos.	Establecer medidas destinadas a proteger el medio ambiente y la salud humana mediante la prevención o la reducción de la generación de residuos y de los impactos negativos de la generación y gestión de los residuos, mediante la reducción del impacto global del uso de los recursos y mediante la mejora de la eficiencia de dicho uso.	European Union (2018d)
Directiva 2012/19/CE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.	Establecer medidas destinadas a proteger el medioambiente y la salud humana, mediante la prevención o la reducción de los impactos adversos derivados de la generación y gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.	European Union (2019)
Reglamento 2020/852 del 18 de junio de 2020 relativo al establecimiento de un marco para facilitar las inversiones sostenibles	Los objetivos medioambientales del reglamento son: i) mitigación del cambio climático, ii) adaptación al cambio climático, iii) uso sostenible y protección de los recursos hídricos y marinos, iv) transición hacia una EC, v) prevención y control de la contaminación y, vi) protección y recuperación de la biodiversidad y los ecosistemas.	European Union (2020)

### 3.1.2 Marco normativo del estado español

Considerando el camino que la UE sigue para transitar hacia una EC es importante identificar lo que a nivel estatal se está haciendo. El gobierno de España es consciente de la importancia y la necesidad de incorporar la EC para favorecer el cambio hacia un modelo más sostenible que permita maximizar los recursos disponibles, tanto energéticos como materiales, reduciendo la generación de residuos (Ministerio de España, 2020b).

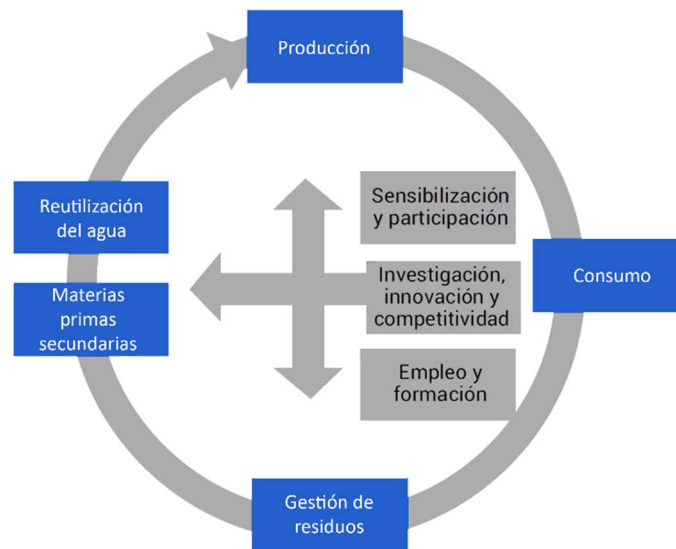
Por ello, desde el Ministerio de España (2020a) han visto necesario desarrollar e implementar una estrategia denominada como Estrategia Española de Economía Circular (EEEC) o España Circular 2030, la cual, está alineada con el PV propuesto por la UE. La estrategia EEEC marca objetivos como:

- Reducir en un 30% el consumo nacional de materiales.
- Disminuir en un 15% la generación de residuos respecto al año 2010.
- Reducir la generación de residuos alimentarios en toda la cadena.
- Incrementar la reutilización y la preparación para la reutilización hasta llegar al 10% de residuos municipales generados.
- Mejorar un 10% la eficiencia en el uso del agua.
- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero por debajo de los 10 millones de toneladas.

La Figura 12 muestra los ocho ejes de actuación que el gobierno ha implementado en la EEEC (Ministerio de España, 2020b) teniendo como referencia el primer plan de acción de la CE (Comisión Europea, 2015):

- Producción: considerar la reparación desde la ideación, diseño y fabricación del producto hace que sean más duraderos y se puedan reciclar fácilmente.
- Consumo: cambiar la manera de consumir para reducir el desperdicio y promover el reciclaje.
- Gestión de residuos: valorizar el reciclaje de residuos considerando la escasez de materias primas.
- Materias primas secundarias: utilizar materias primas recicladas permitirá un uso más sostenible de los recursos naturales.
- Reutilización del agua: se considera un eje importante por el impacto en la economía española.
- Sensibilización y participación: promover la adopción de una EC es importante. Esto implica facilitar la coordinación entre las administraciones y el intercambio de información con los agentes económicos, sociales, la comunidad científica y tecnológica.
- por la importancia de las tomas de decisiones que tiene las personas respecto al consumo de productos y servicios ya que con un consumo consciente y responsable de toda la sociedad es posible avanzar hacia la EC.
- Investigación, innovación y competitividad: se les asigna un apartado propio ya que tienen peso en la estrategia.

- Empleo y formación: la capacitación en nuevas competencias es necesario para transitar hacia la EC.



**Figura 12:** Ejes de actuación y planes de acción de la EEEC (Ministerio de España, 2020b)

Para comenzar con la implementación de los cambios y alcanzar los objetivos marcados, la EEEC identifica seis sectores prioritarios: i) construcción, ii) agroalimentación, iii) pesca y forestal, iv) bienes de consumo, v) turismo y sector textil y, vi) confección. El reto en estos sectores es preparar el mercado laboral, haciendo que las empresas sean más eficientes y aumenten la productividad (Ministerio de España, 2020b).

Para la mejora de la sostenibilidad y circularidad de los procesos, en marzo de 2022, se aprobó el Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica (PERTE) de EC, consolidando un tejido industrial innovador, sostenible y competitivo (Gobierno de España, 2022b). El PERTE de EC apuesta por impulsar el desarrollo de la EC en la industria española con el fin de alcanzar tres objetivos (Gobierno de España, 2022b): i) acelerar la transición hacia un sistema productivo más eficiente y sostenible en el uso de materias primas, ii) generar empleo y iii) disminuir la dependencia de la economía española del exterior.

Por otro lado, desde el año 2020 el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD) tiene un boletín de EC que pretende constituirse como herramienta de comunicación y dinamización de la EC en España (Ministerio de España, 2020a). El objetivo de este boletín consiste en recoger las diferentes acciones que se emprenden desde el MITERD ya que consideran que para lograr una

verdadera EC es necesario el esfuerzo y colaboración de todos los agentes implicados en el ciclo económico (Ministerio de España, 2020a).

Teniendo en cuenta el Informe de vigilancia ambiental estratégica creado por Ihobe (2023), la Figura 13 muestra los *drivers* normativos estatales aprobados para los años 2023, 2024 y 2025.

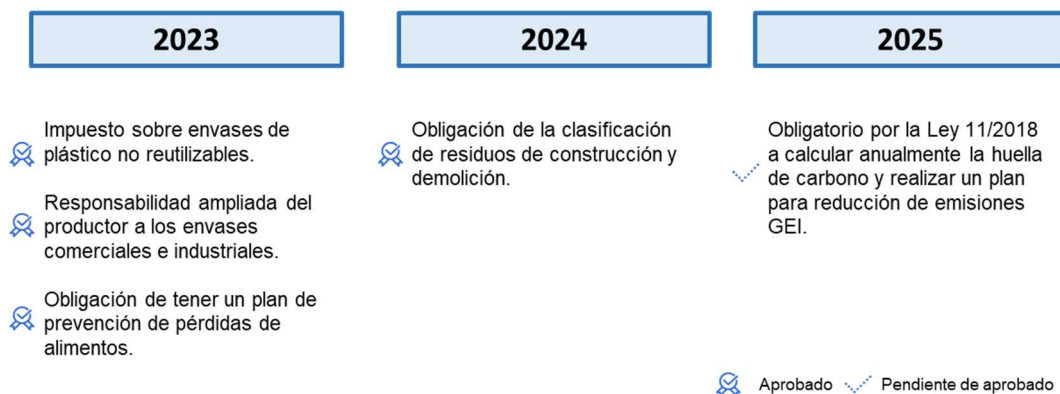


Figura 13: Drivers normativos estatales (Ihobe, 2023)

La Tabla 6 muestra los reales decretos relativos a la aplicación de la EC divididos en cuatro grupos: i) residuos domésticos y comerciales, ii) envases y residuos de envases, iii) residuos de aparatos eléctricos y electrónicos y iv) residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Tabla 6: Decretos estatales relativos a la aplicación de la EC (Diputación Foral de Gipuzkoa, 2022a)

	Directiva	Objetivo	Fuente
<b>Residuos domésticos y comerciales</b>	Ley 7/2002 de 8 de abril, de residuos y suelos para una EC.	Prevención y reducción de la generación de residuos y los impactos adversos de su generación y gestión, la reducción del impacto global del uso de recursos y la mejora de la eficiencia.	Gobierno de España (2022)
	Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos.	Reducir los efectos negativos de la generación y gestión de los residuos en la salud humana y el medioambiente.	Gobierno de España (2022c)
	Real Decreto 646/2020, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.	Impulsar el tránsito hacia una EC, dando prioridad a la prevención de residuos, la preparación para la reutilización y el reciclado.	Gobierno de España (2018)
<b>Envases y residuos de envases</b>	Real Decreto 1055/2022, de 27 de diciembre, de envases y residuos de envases.	Establecer el régimen jurídico aplicable a los envases y residuos de envases con el objetivo de prevenir y reducir su impacto en el medioambiente a lo largo de todo su ciclo de vida.	Gobierno de España (2022d)
<b>Residuos de</b>	Real Decreto 110/2015,	Regular la prevención y reducción de los	Gobierno de España

	Directiva	Objetivo	Fuente
<b>aparatos eléctricos y electrónicos</b>	de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.	impactos adversos causados por la generación y la gestión de los residuos de los aparatos eléctricos y electrónicos sobre la salud humana y el medioambiente, determinar los objetivos de recogida y tratamiento de estos residuos.	(2015a)
<b>Residuos de pilas y acumuladores</b>	Real Decreto 106/2008, de 1 de febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos.	Prevenir la generación de pilas y acumuladores, facilitar su recogida selectiva y su correcto tratamiento y reciclaje. Establecer normas relativas a la puesta en el mercado de pilas, acumuladores y baterías. Establecer normas específicas para la recogida, tratamiento, reciclaje y eliminación de los residuos de pilas y acumuladores.	(Gobierno de España, 2008)
	Real Decreto 710/2015, de 24 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 106/2008, de 1 de febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos.	La norma establece que cualquier operador que recoja, transporte y gestione baterías debe cumplir con la legislación de residuos y ser gestor autorizado, como garantía de minimización del impacto ambiental de estos productos.	Gobierno de España (2015b)

### 3.1.3 Marco normativo de la CAPV

Como último eslabón a analizar son los aspectos legales o estrategias que se están desarrollando en la CAPV para la transición hacia una EC. La Figura 14 ilustra sobre el desarrollo y la implementación de políticas públicas y programas, instituciones, foros y colaboraciones hasta culminar el proceso con la Estrategia de Economía Circular del País Vasco 2030 (EEC 2030) (Fernández Gómez, 2020).

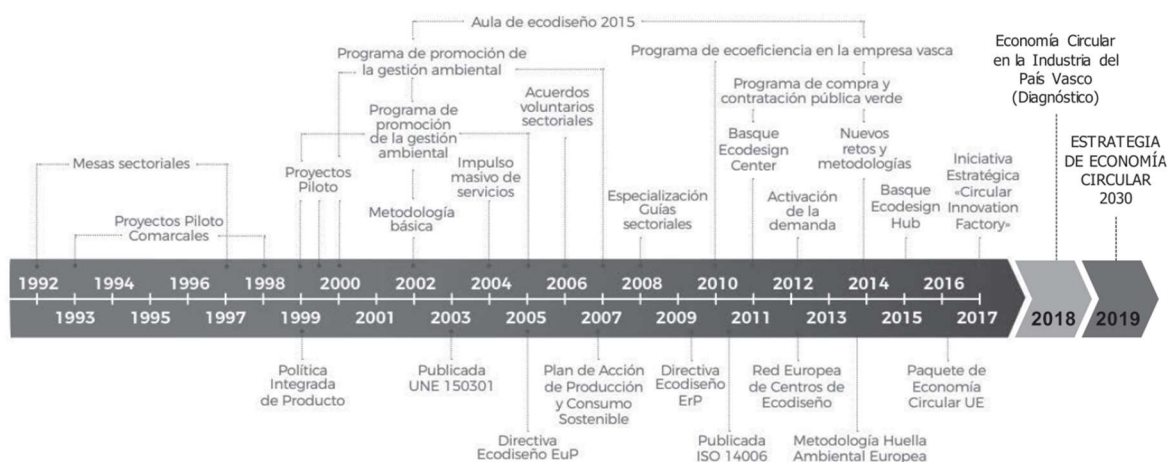


Figura 14: Políticas del Gobierno Vasco sobre EC (Fernández Gómez, 2020)

Como hito a destacar, en 2018, siguiendo las directrices marcadas por Europa, la CAPV con la ayuda de la Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco (Ihobe) definieron un panel de seguimiento, el cual, permite evaluar el progreso hacia una EC midiendo indicadores (Ihobe, 2018b). Este panel permite (Ihobe, 2018b): i) evaluar la eficacia de las acciones a escala europea y estatal, ii) identificar las mejores prácticas y iii) detectar las necesidades de tomar nuevas medidas.

A principios de 2020, el Gobierno Vasco aprobó la estrategia EEC 2030 (Gobierno Vasco, 2019), la cual busca transitar hacia una EC a través de la innovación, emprendimiento y un modelo de colaboración público-privada (Gobierno Vasco, 2019). El principal objetivo de la EEC 2030 es impulsar la transición de la economía vasca a una economía más circular para convertir la CAPV en un referente europeo. A su vez, busca actuar en la demanda y oferta de productos y servicios de EC, centrándose en todo el ciclo de vida y teniendo en cuenta flujos de materiales (Gobierno Vasco, 2019). Además, la EEC 2030 prevé la utilización de diversos medios para la implantación de los distintos planes de acción. Estos instrumentos se clasifican en cuatro grupos (Fernández Gómez, 2020): i) legislación y normativa, ii) económico, iii) fomento de mercado y, iv) desarrollo de la EC.

Otro aspecto importante es el desarrollo de indicadores ambientales, en 2021, (Ihobe, 2021) publicó el informe “Indicadores de Economía Circular de Euskadi 2021” donde se recogen los 14 indicadores que Europa marca como esenciales para medir la circularidad. Estos indicadores listados a continuación, se estructuran en dos grupos (Ihobe, 2021): i) indicadores clave de EC fijadas por la CE e ii) indicadores auxiliares, que complementan el análisis de circularidad de Euskadi.

#### **Indicadores clave de la EC fijados por la CE**

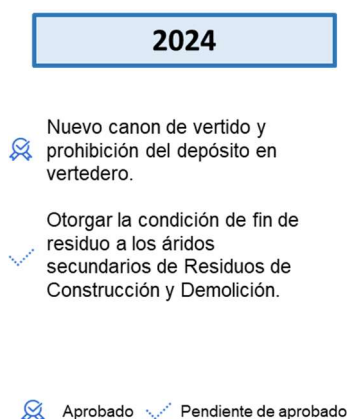
1. Nivel de autosuficiencia para materias primas.
2. Compra pública verde.
3. Generación de residuo.
4. Residuos alimentarios.
5. Tasas de reciclaje.
6. Tasas de reciclaje de flujos específicos.
7. Contribución de materiales reciclados a la demanda de materias primas.
8. Comercio de materias primas reciclables.
9. Inversiones privadas, empleo y valor agregado bruto.

10. Número de patentes relacionadas con el reciclaje y las materias primas secundarias.

### **Indicadores auxiliares**

11. Consumo doméstico de materiales.  
 12. Productividad material.  
 13. Flujos de materiales per cápita.  
 14. Tratamiento de residuos per cápita.

Al igual que en los marcos normativos europeos y estatales Ihobe (2023) publica los *drivers* normativos autonómicos para el año 2024 (Figura 15).



**Figura 15:** *Drivers* normativos autonómicos (Ihobe, 2023)

Además, en la Tabla 7 se muestran las leyes y decretos que aplican en la CAPV relacionadas con la implementación de la EC.

**Tabla 7:** Leyes y decretos de la CAPV relativas a la aplicación de la EC (Diputación Foral de Gipuzkoa, 2022a)

<b>Leyes y decretos</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Fuente</b>
Ley 10/2021, de 9 de diciembre, de Administración ambiental de Euskadi.	Establecer un marco normativo para la protección, conservación y mejora del medioambiente en la CAPV, determinando los derechos y deberes de las personas físicas y jurídicas.	Legegunea (2019c)
Decreto 112/2012, de 26 de junio, por el que se regula la producción y gestión de residuos de construcción y demolición.	Establecer el régimen jurídico de la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición, con el fin de fomentar, su prevención, reutilización, reciclado y otras formas de valorización.	Legegunea (2012)
Decreto 21/2015, de 3 de marzo, sobre gestión de los residuos sanitarios en la CAPV.	Regular la producción y gestión de los residuos sanitarios en la CAPV, con el fin de proteger la salud pública y el medioambiente.	Legegunea (2015)
Decreto 453/2013, de 26 de noviembre, sobre la aplicación de lodos en suelos agrarios de	Regular la aplicación, en los suelos agrarios de la CAPV, de los lodos resultantes del tratamiento de las aguas residuales.	Legegunea (2013)

Leyes y decretos	Objetivo	Fuente
la CAPV.		
Decreto 49/2009, de 24 de febrero, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero y la ejecución de los rellenos.	Establecer el régimen jurídico aplicable a las actividades de eliminación de residuos mediante depósito en vertedero en el ámbito de la CAPV, regulando para ello las clases de vertederos, los criterios y procedimientos relativos a la admisión de residuos en los mismos.	Legegunea (2009)
Decreto 63/2019, de 9 de abril, por el que se establece el régimen jurídico y las condiciones técnicas de las instalaciones y actividades de compostaje comunitario.	Establecer el régimen jurídico y las condiciones técnicas de las instalaciones y actividades de compostaje comunitario en la CAPV con el fin último de proteger el medio ambiente y la salud de las personas.	Legegunea (2019b)

## 3.2 Marco operativo de la EC y empresas de la CAPV

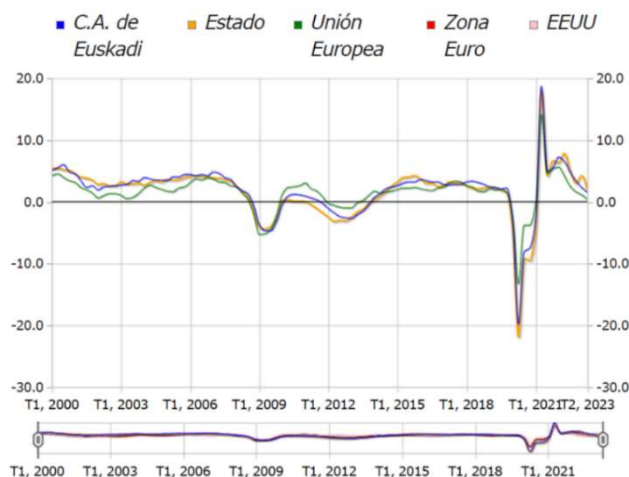
Una vez analizado el marco normativo tanto europeo, estatal, como autonómico y teniendo en cuenta que la presente investigación se centra en las empresas industriales de la CAPV, se realiza un análisis sobre la situación actual. Primero, se ha analizado la situación de las industrias que hay actualmente en la CAPV, en su gran mayoría pymes, donde se incluye un aporte sobre la estructura económica empresarial. Después, se examina la situación de la EC en la CAPV. Posteriormente, se identifican tanto barreras como oportunidades que las pymes deben afrontar y obtienen a la hora de transitar hacia la EC. Por último, se han analizado los beneficios sociales, medioambientales y económicos.

### 3.2.1 Situación de las industrias en la CAPV

La CAPV es un país con historia, pasado, presente y futuro industrial, la cual, se considera la base para el desarrollo económico y social (Ihobe, 2018a). Además, según el Centro de Predicción Económica (Ceprede, 2019), la CAPV ha sido reconocida como líder español en competitividad regional mediante un estudio de distintos aspectos macroeconómicos como: i) mercado laboral, ii) desarrollo empresarial, iii) red de infraestructuras y, iv) apuesta por la innovación.

La pandemia del Covid-19 sufrida en el año 2020 ha afectado negativamente a las empresas de la CAPV provocando una perturbación económica y una pérdida de puestos de trabajo sin precedentes (Aranguren et al., 2022). Según el Informe anual de la Economía Vasca de la Dirección de Economía y Planificación (2020), la economía vasca registró en el primer trimestre del 2020 su mayor caída en más de dos décadas con un descenso del Producto Interior Bruto (PIB) del 12,5% respecto al mismo periodo del año anterior siendo los sectores más afectados: i) el comercio

mayorista y minorista, ii) la hostelería, iii) la industria manufacturera y, iv) los servicios sociales y personales. Sin embargo, como se muestra en la Figura 16, durante el año 2021 el PIB vasco ha recuperado las posiciones de antes de la pandemia, con un incremento del 5,6% (Departamento de Economía y Hacienda, 2023).



**Figura 16:** Tasa de variación interanual del PIB (%) (Eustat, 2022)

Según el Departamento de Economía y Hacienda (2023), el crecimiento de la economía vasca en 2022 se considera sólido ya que no ha dependido de un único sector, sino que ha sido gracias a la industria y los servicios. La industria ha crecido un 4,6% con un total de 142.904 empresas y los servicios un 4,7%, superando el nivel registrado en 2019. Por el contrario, el número de empresas registradas en 2022 ha sido un 18,5% menos que las registradas en 2008 (INE, 2022).

Por otro lado, hay que destacar que las empresas vascas son relativamente jóvenes, es decir, el 32,8% de esas empresas tienen cinco o menos años de antigüedad y el 16% dos o menos (Eustat, 2021). Asimismo, el 98% de las empresas registradas en la CAPV son pymes (Ministerio de Economía Industrial y Competitividad, 2022). La Tabla 8 muestra los sectores y el número de empresas participantes de cada provincia de la CAPV en el año 2023, donde se observa que Bizkaia es la provincia con el mayor número de pymes con un 51,8% (86.338 pymes), seguido de Gipuzkoa y Álava con un 33,8% (56.241 pymes) y 14,4% (24.008 pymes) respectivamente.

**Tabla 8:** Número de pymes según sector por provincias de la CAPV (Eustat, 2023)

Sectores	Provincias de la CAPV			TOTAL
	Álava	Bizkaia	Gipuzkoa	
Agricultura, ganadería y pesca	1.961	1.566	1.495	5.022
Industria, energía y saneamiento	1.902	4.549	4.300	10.751
Construcción	2.421	10.637	6.587	19.645
Comercio, transporte y hostelería	8.121	31.414	19.416	58.951
Información y comunicaciones	475	2.084	1.110	3.669
Actividades financieras y seguros	568	2.153	1.378	4.099
Actividades inmobiliarias	248	1.648	1.013	2.909
Actividades profesionales y auxiliares	3.661	14.279	9.188	27.128
Administración pública, educación y sanidad	2.588	10.382	6.715	19.685
Actividades artísticas y otros servicios	2.063	7.626	5.039	14.728
<b>TOTAL</b>	<b>24.008</b>	<b>86.338</b>	<b>56.241</b>	<b>166.587</b>

### 3.2.2 La EC en las empresas industriales de la CAPV

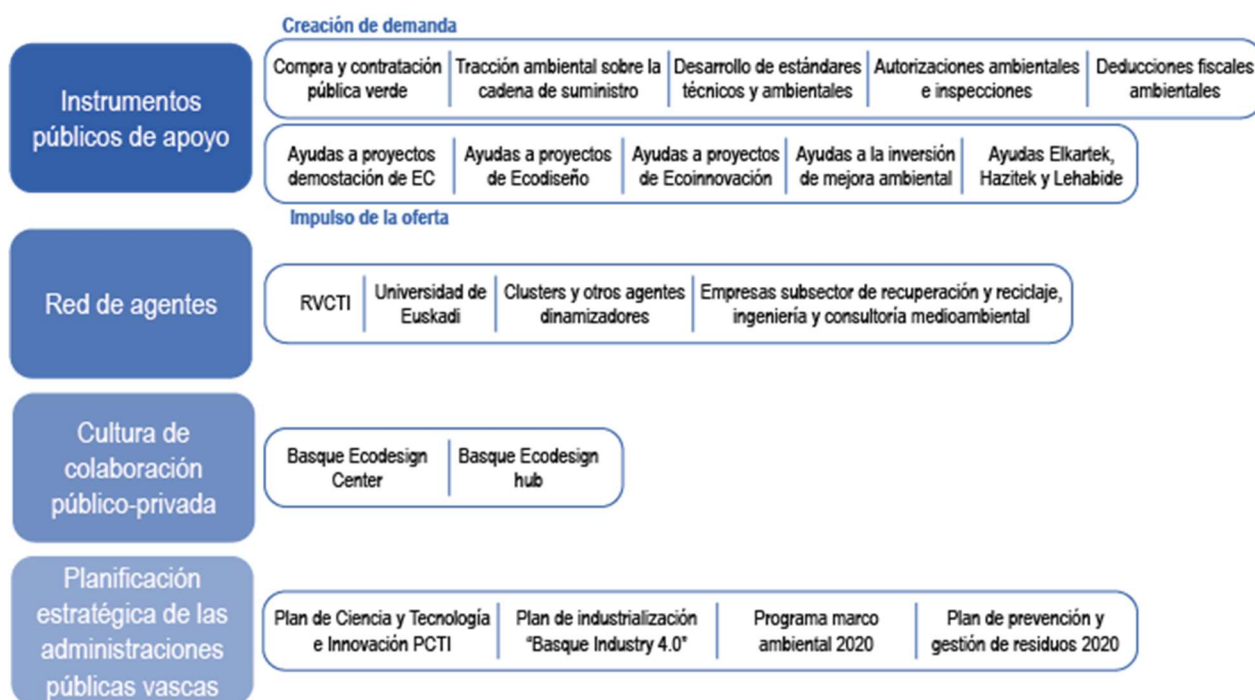
La CAPV se sitúa en una posición destacada considerando la visión circular, principalmente en el ámbito industrial, teniendo en cuenta el camino recorrido hasta el momento (Ihobe, 2018a). Gracias a la colaboración activa tanto de entidades públicas como privadas se ha conseguido (Ihobe, 2018a): i) una evolución positiva de indicadores de EC, ii) experiencias empresariales de aplicaciones prácticas con un enfoque de EC mejorando la rentabilidad y competitividad industrial y iii) aumentar las capacidades multidisciplinares para apoyar a las empresas que quieran trabajar la EC.

Actualmente, las principales empresas de la CAPV están adoptando estrategias más circulares lo que les ha llevado a conseguir (Ihobe, 2018a): i) mayor facturación por incorporar criterios de EC, ii) conseguir que la CAPV se encuentre entre las regiones europeas líderes en ecodiseño, iii) mayor facturación en empresa participantes en convocatorias del programa de proyectos en EC por la aplicación de nuevas soluciones y, iv) certificar que la EC ayuda a diferenciarse en mercados internacionales.

Los sectores que representan más del 50% del Valor Añadido Bruto (VAB) y que destacan en la incorporación de criterios de la EC son (Ihobe, 2018a): i) automoción, ii) transporte (aeronáutico, ferroviario y marítimo), iii) equipos eléctricos y electrónicos, iv) máquina herramienta y, v) metal.

Para que las empresas puedan implementar la EC es necesario crear un ecosistema donde se disponga del apoyo tanto de entidades públicas como de privadas (Figura 17). A menudo, la falta de familiaridad con los procedimientos para solicitar subsidios públicos destinados a pymes industriales puede resultar en la pérdida de oportunidades para la integración de prácticas de EC. Asimismo, es importante que las

instituciones académicas investiguen estrategias para ayudar a las pymes de la CAPV, de modo que sus esfuerzos estén alineados con las iniciativas gubernamentales. Además, es importante que las empresas dispongan de instrumentos administrativos, colaborativos y de innovación para garantizar buenas condiciones en cuanto a nuevos proyectos y empresas circulares (Ihobe, 2018a).



**Figura 17:** Instrumentos administrativos, colaborativos y de conocimiento en materia de EC (Ihobe, 2018a)

Por último, es importante destacar que, si bien algunas empresas industriales están actualmente adoptando prácticas de EC, aún queda camino por recorrer para incrementar significativamente dicho número y fomentar una mayor conciencia entre las empresas.

### 3.2.3 Barreras ante la integración de la EC

Las empresas son actores clave en la ejecución de la EC y pueden influir en la forma de consumir y gestionar los recursos, a través de (Geissdoerfer et al., 2017): i) la innovación de producto, ii) la reorientación de la estrategia empresarial, iii) el rediseño del modelo de negocio y, iv) la reconfiguración de la cadena de valor.

Pero, a su vez, las empresas son reacias a los cambios. Así, diferentes autores (Agyemang et al., 2019; Caldera et al., 2019; de Jesus & Mendonça, 2018; Garcés Ayerbe et al., 2019; Kirchherr et al., 2018; Malik et al., 2022; Ormazabal et al., 2020)

han identificado barreras para la adopción de prácticas de EC por parte de las empresas:

- Falta de conocimiento y capacidades
- Recursos financieros
- Cultura organizativa
- Institucionales
- De mercado
- Tecnológicas

### **3.2.3.1 Falta de conocimiento y capacidades**

La escasez de comprensión respecto a los beneficios inherentes a la EC ha sido identificada como uno de los desafíos principales para la implementación de esta práctica entre las pymes. Se ha observado que las pymes no solo carecen de conciencia acerca de los potenciales beneficios financieros que podrían derivarse de la mejora en la eficiencia, sino que también perciben las prácticas de eficiencia de recursos como costosas para sus operaciones comerciales (AMEC and Bio Intelligence Service, 2013; Rademaekers et al., 2011). Esta percepción se atribuye en parte a la persistencia de conceptos convencionales como el principio de "quien contamina paga", los cuales han contribuido a que las empresas consideren los residuos como una carga (Rizos et al., 2015).

Según un estudio llevado a cabo por FUSION (2014), cofinanciado por la CE, se proporciona una visión sobre la comprensión de las pymes acerca del concepto de EC. La mayoría de los participantes nunca habían oído hablar de la EC o no entendían su significado (Rizos et al., 2015). No obstante, una vez presentado una definición clara y concisa de la EC, que abarca aspectos como la reutilización y recuperación de materiales, la mayoría expresó estar dispuesta a emprender esfuerzos para adoptar esta filosofía. Sin embargo, la falta de conocimiento también incide en cómo se abordan las diversas etapas de la cadena de valor o la implementación de estrategias para la recuperación de productos tras su uso por parte del cliente (Takacs et al., 2022). En el estudio realizado por Hartley et al. (2023) también se habla de la falta de conocimiento para saber cómo abordar las diversas estrategias y soluciones de la EC.

### **3.2.3.2 Recursos financieros**

El coste de la innovación y los modelos empresariales verdes se exponen como otro obstáculo para la adopción de prácticas de sostenibilidad por parte de las pymes (Lawrence et al., 2006; Trianni & Cagno, 2012; Vasilenko & Arbačiauskas, 2012). Los

costes iniciales de cualquier tipo de inversión y el periodo de amortización previsto son especialmente importantes para las pymes (Hollins, 2011; Rademaekers et al., 2011).

Un estudio realizado por Eunomia Research & Consulting (2011) ha demostrado que las pymes carecen de recursos financieros necesarios para poder realizar un plan estratégico sobre el reciclaje. Además, de los costes financieros directos, también existen los costes indirectos como el tiempo y los recursos, los cuales, también son un obstáculo a superar (Revell & Blackburn, 2005; Yacob et al., 2013). En muchos casos, estos costes indirectos constituyen una dificultad crítica para la aplicación de la innovación verde debido a la escasez de tiempo y capital humano (Hollins, 2011; Iraldo et al., 2010; Seidel et al., 2008).

Por lo tanto, dada la importancia de la barrera financiera, el acceso a la financiación adecuada podría ser esencial para las pymes que deseen mejorar sus resultados en materia de sostenibilidad y/o introducir una innovación (Rizos et al., 2015). Sin embargo, los estudios indican que cuanto más pequeña es una empresa, más difícil resulta comprender y evaluar las diferentes opciones de financiación, como los programas de apoyo de la UE y las subvenciones públicas, debido principalmente a las restricciones de personal y de gestión (Hoevenagel et al., 2007; Rademaekers et al., 2011).

Asimismo, cabe mencionar que cuando se trata de financiación bancaria, las pymes se enfrentan a dificultades para obtener las garantías o avales exigidos por los bancos (Hyz, 2011; Rizos et al., 2015).

#### **3.2.3.3 Cultura organizativa**

Aunque existe una considerable heterogeneidad entre las pymes de distintos sectores, sus respuestas y capacidades para adoptar una solución verde suelen ser similares en cuanto a régimen organizativo y de gestión (Bradford & Fraser, 2008). El gerente suele ser el propietario de la empresa y, por tanto, tiene un poder significativo sobre las decisiones estratégicas. Es por ello, que algunos directores de pymes pueden tener una actitud positiva hacia las empresas ecológicas, mientras que otros no (Bradford & Fraser, 2008).

Las categorías de barreras sociales y culturales a la adopción de la EC son (Grafström & Aasma, 2021): i) la cultura empresarial resistente, ii) la falta de concienciación de los consumidores y iii) la escasa cooperación a lo largo de la cadena de suministro. Asimismo, la cultura de empresa resistente a la EC se manifiesta en tres niveles

(Grafström & Aasma, 2021): i) resistencia de los directores, ii) iniciativas de EC aisladas de las operaciones principales y iii) escaso compromiso con las estrategias de gestión.

La alta dirección y los mandos intermedios se resisten a las iniciativas de la economía colaborativa, ya que el cambio puede no estar en consonancia con los planes de incentivos (Agyemang et al., 2019; Mangla et al., 2018). Mangla et al. (2018) descubrieron que, si bien las iniciativas de EC pueden estar ocurriendo dentro de una empresa más grande, todas las áreas funcionales no son conscientes de los cambios, lo que hace que la EC no se trabaje de manera holística. Algunas empresas informan de que la EC no forma parte de su estrategia de innovación y, por lo tanto, no tienen ningún objetivo medible relacionado, lo que indica un bajo compromiso estratégico (Grafström & Aasma, 2021).

Singh & Giacosa (2019) proporcionaron un marco para explicar la escasa concienciación e interés por la EC de los consumidores y llegaron a la conclusión de que la propiedad psicológica de los productos, el fuerte sesgo hacia el *statu quo* y la cultura consumista son factores clave que explican las actitudes negativas hacia los bienes de la EC.

#### **3.2.3.4 Institucionales**

Las barreras institucionales y normativas incluyen mensajes políticos incoherentes e infraestructuras institucionales deficientes. Un obstáculo citado a menudo es que la infraestructura institucional depende de la trayectoria y favorece una EL (Grafström & Aasma, 2021).

Dado que muchas cadenas de suministro están muy integradas internacionalmente, la coherencia de las políticas entre países es crucial para la adopción de la economía colaborativa en las grandes empresas. La heterogeneidad de las políticas entre países es uno de los principales obstáculos (Grafström & Aasma, 2021). de Jesus & Mendonça (2018), Milios et al. (2019) y Tura et al. (2019) mencionan como obstáculos: i) los elevados costes administrativos de la notificación de los flujos de residuos, ii) las complejas legislaciones en materia de residuos y, iii) la deficiente aplicación de las políticas de EC existentes. Asimismo, los impactos no previstos derivados de las políticas implementadas también generan dificultades (de Jesus & Mendonça, 2018).

La falta de apoyo y el estímulo gubernamental está ampliamente reconocida como una barrera significativa en la adopción de inversiones medioambientales (Constantinos et

al., 2010; Studer et al., 2006). Al mismo tiempo, la falta de un marco legislativo estricto influye a menudo en la integración de soluciones ecológicas en sus operaciones por parte de las pymes (Hillay, 2004). Esto se ve reforzado por que las pymes se ven más influidas por las normativas y autoridades locales en lo que respecta a la mejora del comportamiento medioambiental (Hillay, 2004).

Tal y como señalan Miller et al. (2011), la primera evaluación de la normativa medioambiental de la UE para las pymes ha puesto en relieve la necesidad de una mejor agenda normativa en cuanto al diseño y la aplicación de políticas medioambientales. En el caso de los residuos, la UE ha realizado esfuerzos considerables en los últimos años para mejorar la gestión de los distintos flujos de residuos (Rizos et al., 2015). Sin embargo, a pesar de los avances en una serie de objetivos de gestión de residuos, existe un margen considerable de mejora en el diseño y la aplicación de la legislación de residuos de la UE (Rizos et al., 2015).

La transición de las pymes hacia prácticas empresariales ecológicas suele acarrear cargas administrativas derivadas de la legislación medioambiental (Rizos et al., 2015), las cuales, exigen recursos financieros y de tiempo inasequibles (OECD, 2010). Según un estudio elaborado por Constantinos et al. (2010) sobre la EC, las pymes suelen conocer la legislación medioambiental nacional, pero carecen de los conocimientos específicos y la capacidad para cumplir los requisitos necesarios. Asimismo, la ausencia de estructuras institucionalizadas, como los sistemas de recolección y logística inversa, constituyen obstáculos, dado que las pymes suelen carecer del alcance requerido para asumir internamente dichas operaciones (Takacs et al., 2022).

En consecuencia, las pymes a menudo recurren a consultores externos para cumplir sus obligaciones (Rizos et al., 2015), lo que a su vez supone un coste adicional, que puede ser significativo. Igualmente, el seguimiento y la notificación de los datos medioambientales suele ser un proceso complejo, ya que las pymes deben presentar los mismos datos a varias autoridades y en diferentes formatos (Rizos et al., 2015). Otro factor es la desviación de las estimaciones de costes que puede inducir incertidumbre y perjudicar potencialmente la competitividad de las empresas (Oosterhuis et al., 2006).

#### **3.2.3.5 De mercado**

Las barreras de mercado son obstáculos a la adopción de una EC debidos a mercados inexistentes o que funcionan mal (Grafström & Aasma, 2021) e incluyen

dificultades para financiar los modelos de negocio de la EC, altos costes de inversión inicial y bajos precios de los materiales vírgenes.

Como mencionan Tura et al. (2019), el mecanismo de mercado para la recuperación de productos no existe y, por tanto, el fracaso puede ser debido a una combinación de factores entre los que se incluyen (Tura et al., 2019): i) las normas de calidad, ii) la percepción de la calidad, iii) la incertidumbre de la oferta y, iv) la falta de incentivos económicos.

La calidad percibida de los materiales reciclados hace que la relación precio-rendimiento no sea lo suficientemente beneficiosa para cambiar a operaciones de EC (Kinnunen & Kaksonen, 2019). Una razón citada a menudo en la literatura para la baja percepción de beneficios es el bajo precio de los materiales vírgenes (Kirchherr et al., 2018). Los bajos precios de las materias primas se deben a efectos de bloqueo en infraestructura lineal actual y al hecho de que las externalidades no se internalizan a través de impuestos o incentivos económicos (Masi et al., 2018; Preston, 2012).

En cambio, la oferta de materiales vírgenes se adapta más fácilmente a los cambios de precios que la oferta de material reciclado. Los materiales reciclados dependen de patrones de consumo anteriores y, por lo tanto, tienen una oferta inelástica (Grafström & Aasma, 2021). Así, la volatilidad de los precios de los materiales reciclados es mayor, lo que crea incertidumbre disminuyendo las inversiones en mercados de materiales reciclados (Blomberg & Söderholm, 2009).

En una encuesta realizada a gerentes empresariales por Masi et al. (2018) concluye que los altos costes de inversión inicial se consideran como la segunda barrera más importante. Cualquier cambio importante en una sociedad requiere costes. Invertir en la cadena de suministro, renegociar contratos, adaptar la tecnología para adecuarla a los nuevos insumos o los elevados costes de desarrollo para el diseño de nuevos productos son solo algunos ejemplos (Masi et al., 2018). Rizos et al. (2015) identifican que la financiación es especialmente difícil para las pymes cuando faltan datos sobre los beneficios.

Por otro lado, la falta de concienciación medioambiental de proveedores y clientes está ampliamente reconocida como un factor desalentador (Meqdadi et al., 2012; Wooi & Zailani, 2010). Aunque las decisiones de compra de los clientes se ven influenciadas por criterios de sostenibilidad, su cumplimiento no suele considerarse prioritario (Wycherley, 1999). Las iniciativas de "cadena de suministro ecológica" que requieren

la participación de partes interesadas externas (como "compras ecológicas") suelen tener un bajo nivel de adopción (Rizos et al., 2015).

Además, debido a su pequeño tamaño y poder de negociación, las pymes tienen poca influencia en el compromiso de sus proveedores con las actividades sostenibles (Eltayeb & Zailani, 2014; Wooi & Zailani, 2010; Zhu et al., 2008).

### **3.2.3.6 Tecnológicas**

El diseño para la extensión de la vida útil del producto o el diseño para las oportunidades de reparación son cruciales, a diferencia de la moda rápida (Ellen MacArthur Foundation, 2017a). Algunos diseños de productos actuales son un obstáculo importante para la refabricación, la reutilización y el reciclaje (Masi et al., 2018; Vanner et al., 2014). El análisis del coste del ciclo de vida sugiere que una gran parte de las oportunidades de reducción de costes de un producto corresponde a las primeras fases de su desarrollo (Grafström & Aasma, 2021).

En muchos países, la separación de residuos es limitada, lo que causa problemas reales con la calidad de los bienes y materiales reciclados. Milios et al. (2018) describen que los bienes reciclados pueden ser de menor calidad o menos fiables que el material virgen y, por ello, muchos productores prefieran el material virgen (Kinnunen & Kaksonen, 2019). Según Ranta et al. (2018) en muchos lugares faltan infraestructuras para una gestión eficaz de los residuos ya que muchos materiales reciclables no se recogen por separado, por ejemplo, los residuos de alimentos. Además, no siempre hay capacidad para gestionar todos los bienes reciclados que, en su lugar, se depositan en vertederos (Milios et al., 2018).

Históricamente, la literatura sobre tecnologías para EC se ha centrado en la disponibilidad de tecnologías (de Jesus & Mendonça, 2018) y aunque se han desarrollado varias tecnologías, diversos estudios citan la falta de conocimientos técnicos entre los practicantes de estas soluciones (Agyemang et al., 2019; Tura et al., 2019). Igualmente, las tecnologías de EC pueden implicar tecnologías de nicho que difieren de la experiencia dentro de la empresa, especialmente en las pymes (Rizos et al., 2015).

### **3.2.4 Oportunidades ante la integración de la EC**

Tal como se han examinado las barreras en el punto anterior, resulta crucial identificar las oportunidades que las pymes podrían obtener al adoptar la EC. La explotación de

estas oportunidades conlleva cambios en las estructuras organizativas, algunas de las cuales pueden surgir como resultado del cumplimiento de requisitos legales o demandas de los clientes, mientras que otras pueden ser impulsadas por iniciativas internas de las propias empresas.

La UE, direcciona a las empresas hacia la EC, destacando: i) la directiva sobre Vehículos al Final de su Uso (VFU), ii) la directiva sobre Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), iii) la directiva sobre pilas y acumuladores 2006/66, iv) la directiva de Ecodiseño 2009/125/CE, v) el reglamento (CE) N° 595/2009 homologación de vehículos de motor y motores, vi) el plan de acción de la UE para la EC (COM 2015: 614), vii) los sistemas de Responsabilidad Ampliada del Productor (RAP), viii) las normas y, ix) leyes específicas de remanufactura por países.

Siguiendo las propuestas de Bocken et al. (2017), Ellen Macathur Foundation (2010) e Ihobe (2015) se detectan oportunidades de negocio en distintos ámbitos relacionados con las soluciones de EC como: i) repensar el modelo de negocio, ii) reutilización, iii) reparación, iv) reacondicionamiento, v) dar otro uso, vi) remanufactura, vii) recuperación y, viii) optimizar recursos.

Existen diferentes estudios (Eguren et al. (2018); Ellen MacArthur Foundation (2018); Parker et al. (2015); REMACOMPIND (2017) y Treat et al. (2012)) que muestran o cuantifican las oportunidades de la EC. Por ejemplo, en el proyecto REMACOMPIND (2017) se analiza la contribución de la remanufactura al PIB industrial de las diferentes regiones de referencia industrial y se observa que en los países donde la remanufactura está más desarrollada; EE. UU. (1,28), Reino Unido (0,91) Alemania (0,9) y Francia (0,88), la contribución al PIB es aproximadamente el 7 ÷ 10 veces más que la aportación en la CAPV (0,48). Según Parker et al. (2015), el mercado de la remanufactura para el año 2030 podría crecer hasta los 100 millones de euros anuales empleando entre 450.000 y 600.000 personas.

El estudio llevado a cabo por Ihobe & Orkestra (2020) reflejó que el 59% de empresas consideraban la ecoinnovación y la oferta de productos más verdes primordiales para ser más competitivos en los mercados. Por ello, partiendo de los datos de Ihobe (2020), los ingresos a nivel europeo aplicando principios de ecodiseño podrían llegar a los 57.000 millones de euros para el 2030. En cambio, aplicando los principios de EC se podría llegar a ahorrar hasta 630.000 millones de euros en los procesos productivos (Ihobe, 2020). Según Ihobe (2020) el sector industrial debe ser más circular y empezar a transitar hacia un modelo más circular. Para ello propone:

- Aumentar en un 30% la productividad material.
- Duplicar la tasa de uso de material circular.
- Reducir en un 40% la tasa de generación de residuos por unidad de PIB.
- Crear más de 3.000 empleos en el ámbito de la EC.

La CAPV lleva años trabajando con éxito en materia de EC. Según el informe de Ihobe & Orkestra (2020), desde el año 2000 la economía vasca ha crecido un 26%, mientras que el consumo de materiales se ha reducido un 25% y el volumen de residuos urbanos que termina en vertedero se ha reducido en un 56%. Asimismo, en la CAPV se está desacoplando el consumo de materiales y generación de residuos teniendo como objetivo y avanzar hacia una mayor circularidad involucrando a los sectores económicos con mayor potencial.

Si se implantan soluciones innovadoras más circulares se estima un ahorro del 6% del consumo de materias primas en la industria vasca (Ihobe & Orkestra, 2020). Los sectores del metal (siderurgia, fundición, productos metálicos) y movilidad (automoción, aeronáutico) acumularían la mitad del potencial de ahorro (Ihobe & Orkestra, 2020). Para esta finalidad, es necesario optimizar el volumen de material procesado, a través de: i) mejorar la productividad del material, ii) mejorar la eficiencia de los procesos, iii) reducir los residuos y, iv) volver a introducir los residuos en el ciclo productivo. El sector industrial es la base para poder comenzar con la transición, en la cual, se presentan interesantes oportunidades de mejora unida al ecodiseño, remanufactura, reparación, servitización y recuperación de metales y plásticos (Ihobe & Orkestra, 2020).

Las principales conclusiones obtenidas del diagnóstico de EC en la industria por Ihobe & Orkestra (2020) son:

- El sector industrial en la CAPV consume anualmente 21 millones de toneladas de materias primas.
- La industria vasca importa el 77% de las materias primas que consume.
- Anualmente se generan en la industria de la CAPV 3,5 millones de toneladas de residuos.
- Los costes de las empresas en materias primas representan un 61%.
- Se ha estimado un ahorro potencial medio alcanzable de un 65% en el consumo de materias primas.
- Más de 150 empresas industriales de la CAPV están aplicando prácticas o modelos circulares.

Para conseguir un modelo más circular Ihobe & Orkestra (2020) numeran 12 retos: i) impulsar la creación de nuevos modelos de negocio más circulares, ii) innovar en materiales, procesos y productos, iii) anticipar los cambios normativos y las tendencias de mercado, iv) prolongar la vida útil de los productos, v) promover una segunda vida de los productos, vi) reducir el consumo de materias primas y sustituir por materiales renovables, vii) reducir la generación de residuos, viii) fomentar un modelo de consumo más circular, ix) reducir el despilfarro alimentario, x) limitar el uso de plásticos, xi) aumentar la reutilización, reciclaje y recuperación de residuos y, xii) incrementar el uso de materias primas secundarias para conseguir los objetivos y posicionar a la CAPV como referente en la transición hacia la EC.

### **3.2.5 Beneficios para las pymes al integrar la EC**

Tras examinar la situación industrial, de la EC en las empresas de la CAPV, así como, las barreras que enfrentan las pymes para integrar la EC y las oportunidades que esta integración les brinda, se ha llevado a cabo un análisis de los diversos beneficios que la EC ofrece. Estos beneficios se han clasificado en tres grupos: sociales, medioambientales y económicos.

#### **3.2.5.1 Beneficios sociales**

Según Trias Pintó et al. (2019) una buena implementación de la EC supondría múltiples beneficios para la sociedad como ofrecer un trabajo inclusivo y digno. A través de su participación en las cadenas de valor circulares, también refuerzan la inclusión social ofreciendo oportunidades de formación a grupos vulnerables, y contribuyen a modelos de negocio circulares basados en la proximidad, la colaboración y creación de empleo (European Commission & OECD, 2022).

El cambio hacia actividades de reparar, reutilizar y reciclar hará que se obtengan beneficios en materia de recursos y se creen nuevas perspectivas de empleo (Clube, 2022). Sin embargo, faltan investigaciones y pruebas sobre si existen las aptitudes necesarias o voluntad de realizar trabajos circulares (European Commission, 2023a). Por consiguiente, es esencial que se siga investigando sobre cómo integrar la EC en los sistemas educativos y profesionales (Clube, 2022). Es por ello, que las actitudes proambientales de la sociedad y la educación desempeñan un papel fundamental en la formación de los ciudadanos (Voukkali et al., 2023).

Tal y como sugieren Voukkali et al. (2023), los patrones de consumo de los ciudadanos, el comportamiento en la eliminación de residuos y otras actividades

cotidianas están impulsados por preocupaciones medioambientales individuales, la influencia social y el comportamiento comunitario.

### 3.2.5.2 Beneficios medioambientales

Conociendo que el principal objetivo es solventar la grave situación ambiental en la que nos encontramos, la EC aporta beneficios para el cuidado del planeta, el medioambiente y el bienestar social. Entre las principales ventajas se encuentran (Briones-Peñalver et al., 2021):

- Reducción de emisiones de dióxido de carbono: Europa ha llegado a la conclusión de que una implantación plena de la circularidad podría reducir a la mitad las emisiones de dióxido de carbono de aquí a los próximos diez años. Esto significaría una reducción aproximada del 48% relacionada con la movilidad, los sistemas de alimentación y la edificación. Esta cifra podría elevarse hasta valores superiores al 80% si funciona correctamente hacia el 2050 (Briones-Peñalver et al., 2021).
- Reducción del consumo de materias primas: estudios llevados a cabo en los últimos años, estiman que, si se empieza a adoptar la EC, sería posible reducir el consumo de materias primas en torno a un 32% en 2030 (Briones-Peñalver et al., 2021).
- Mejora de la productividad y calidad del suelo: el deterioro del suelo actualmente es un problema que supone alrededor de 40.000 millones de dólares anuales. Espaliat Canu (2018) afirma que *“si se actúa de acuerdo con un enfoque de EC y de “regeneración dinámica” en los sistemas de alimentación, el consumo de fertilizantes sintéticos en Europa puede llegar a reducirse hasta en un 80% de aquí al año 2050”*. Aplicando los principios de la EC es posible incrementar la productividad de la tierra y recuperar el valor del suelo como activo, al devolverle los nutrientes mediante la acción espontánea de los mecanismos naturales y provenientes de los ciclos biológicos. En general, la EC proporciona una gestión óptima de las externalidades negativas de la economía como pueden ser el mal uso del suelo, la contaminación del aire y del agua, el vertido de sustancias tóxicas y la mala gestión de los desechos (Molina Moreno et al., 2019).

Además, la supervisión del consumo de materiales y del impacto ambiental, así como, la definición de objetivos, son fundamentales para el éxito de la implantación de una EC (Haupt & Hellweg, 2019). Para poder controlar el impacto de la EC en el medioambiente es necesario disponer de indicadores armonizados, medibles, pertinentes y de diagnóstico (Oswald, 2013). Estos deberían evaluar no solo la circularidad, sino también el rendimiento medioambiental, ya que la circularidad no es

necesariamente equivalente a la sostenibilidad medioambiental (Haupt & Hellweg, 2019).

Por ejemplo, la demanda de energía en el reciclaje puede ser muy elevada y puede contrarrestar las ganancias ambientales obtenidas mediante la recuperación de material secundario (Haupt et al., 2018). El uso de diferentes recursos tiene diferentes impactos ambientales y los cambios en los patrones de consumo pueden conducir a impactos globales más altos o bajos dependiendo del cambio de material (Voet et al., 2004). Por lo tanto, se necesitan indicadores y objetivos medioambientales para garantizar que la economía no solo sea circular, sino también sostenible.

Aun así, y sin olvidar el ejemplo que se ha mencionado en el párrafo anterior, hay que recordar que el objetivo inicial de la EC es tener un impacto positivo en los sistemas ecológicos, que no los agote ni los sobrecargue. Por tanto, existe una oportunidad en el desarrollo de herramientas de diagnóstico que integren aspectos medioambientales.

### **3.2.5.3 Beneficios económicos**

Pieron et al. (2019) establecen que existen modelos de negocio que surgen y se desarrollan a partir de innovación en EC. Aunque sea difícil su implementación debido a que al principio las prácticas pueden resultar de un nivel económico más elevado, la EC es totalmente eficiente a largo plazo y los inconvenientes que al principio conlleva se convierten en beneficios de carácter económico (Briones-Peñalver et al., 2021):

- Crecimiento económico: las actividades circulares emergentes suponen la reducción de los costes de producción debido a una utilización eficiente de los materiales y esto resulta beneficioso para el crecimiento económico. Incrementar el valor de los materiales y de los productos afecta a la oferta, la demanda, a los precios y en general, a todos los elementos de la actividad económica. De esta forma la EC causa efectos indirectos que conducen a incrementar el crecimiento económico. Estudios afirman que el PIB europeo, en el caso de que se aplicasen las prácticas circulares, podría crecer hasta un 11% hacia el 2030, y un 27% en el año 2050 (Briones-Peñalver et al., 2021). Estos datos contrastan bastante si se comparan con los resultados que se obtendrían si se mantuviese el modelo económico vigente: 4% en 2030 y 15% en 2050 (Briones-Peñalver et al., 2021).
- Ahorro de costes de materias primas: los costes en materias primas se verán reducidos si se aplica la EC ya que uno de los principios consiste en la reutilización de materias primas una vez que los productos han perdido su vida

útil. Además, utilizando estrategias circulares, es posible reducir costes en vertederos, facilitar la restauración de los suelos y procesar los subproductos y residuos orgánicos para su compostaje y posterior empleo.

- Creación de empleo: el desarrollo de nuevas áreas de trabajo asociadas con el desarrollo sostenible generará la creación de empleo tanto de baja, media o alta cualificación Ilobe (2020). Transformar los productos en servicios y la formación y educación en estos ámbitos también darán lugar a nuevos empleos. Esto permite afrontar tres de los problemas vigentes que afectan a la economía: el desempleo, el empleo precario y el empleo de baja calidad.
- Innovación: la iniciativa de sustituir los productos producidos de manera lineal por los que se basan en un previo diseño ecológico incita a crear nuevas ideas de producción y a invertir en I+D+I. La EC impulsa hacia un mayor desarrollo tecnológico basado en el ecodiseño y en la ecoinnovación. Además, la EC es una oportunidad para optimizar la competitividad y la rentabilidad entre empresas.

### **3.3 Conclusiones**

Después de realizar el análisis sobre el marco normativo en EC y el marco operativo de la EC en empresas de la CAPV para la transición hacia la EC se concluye que:

- La apuesta de Europa por la transición ecológica es una realidad y se refleja en todo el marco normativo que impulsa. Este proceso será paulatino y requiere de una adecuación por parte de los organismos públicos, de los entes privados y de la sociedad en general. Por ello, es importante que todas las entidades (europeas, estatales, autonómicas) y todos los agentes (tanto públicos como privados) empiecen a transitar hacia la EC frenando así el incremento global de recursos y consiguiendo una sociedad más consciente de los daños medioambientales causados hasta el momento.
- Los indicadores marcados por Europa y recogidos por Ilobe (2021) se pueden considerar como generales además de no tener en cuenta las cuatro estrategias de EC ya que tres de los 14 mencionados (12,13 y 14) se pueden integrar dentro de la estrategia de optimizar de recursos, pero esto será según la manera de interpretar el indicador.
- Se destaca la necesidad de adoptar estándares como la Directiva de Ecodiseño (2009/125/EC), derogada por el Reglamento de Iniciativa

- Sostenible, con el fin de fomentar la durabilidad de los productos, la reutilización de materiales y la incorporación de componentes reciclados.
- Se subraya la necesidad de reducir la generación de residuos, mejorar la eficiencia en el uso del agua y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero como parte de los objetivos de la EC.
  - Las acciones, normas, decretos, legislaciones que se están implementando tanto en Europa, España como en la CAPV están alineadas con un mismo objetivo: implementar la EC. Asimismo, la implicación de todos los agentes, la sensibilización y la formación en nuevas competencias son claves para avanzar hacia una EC y un modelo económico más sostenible.
  - Aunque la CAPV se sitúe en una posición destacada considerando la visión circular (Ihobe, 2018a), queda trabajo por hacer para la adopción de las estrategias y soluciones de la E en las áreas de la organización.
  - Las pymes representan un 99,8% del tejido empresarial de la CAPV (Ministerio de industria, 2023), lo que resalta la importancia de su participación en la adopción de prácticas sostenibles y circulares. Dicha adopción no solo contribuye al desarrollo económico regional, sino que también fomenta la innovación y competitividad en el mercado. Como indican Constantinos et al. (2010) y Studer et al. (2006) las herramientas de gestión medioambiental están pensadas para grandes empresas y por tanto no se consideran las necesidades de las pymes, lo que obstaculiza la transición hacia la EC.
  - Se identifican barreras que dificultan a las pymes el camino hacia la EC entre ellas se encuentran: i) la dificultad de conseguir involucración de la dirección, ii) la falta de infraestructura, iii) la falta de conocimiento, iv) los recursos financieros y, v) la alta rotación de trabajadores.
  - C. M. Parker et al. (2009), Rutherford et al. (2000) y Seidel et al. (2008) señalan que las mejoras ambientales dependen del compromiso de los/las gerentes de las empresas y al no existir un mecanismo de aplicación, no lo consideran como parte de la estrategia.
  - Como apuntan Rizos et al. (2015), muchas pymes desconocen los fundamentos y la aplicabilidad de la EC, lo que destaca la necesidad de formación para las pymes.
  - La financiación es clave para que las pymes mejoren su desempeño en sostenibilidad e innovación y puedan transitar hacia la EC, según Rizos et al. (2015).

- Los enfoques circulares ofrecen beneficios a las pymes y pueden considerarse como un punto de partida para iniciar la transición hacia la EC como destacan Kirchherr et al. (2023).
- Es esencial considerar las necesidades y oportunidades de las pymes para desarrollar guías que faciliten su transición hacia la EC.
- La aplicación de las cuatro estrategias y nueve soluciones de la EC en los modelos de negocio empresariales puede generar beneficios a nivel social, ambiental y económicos.

CAPÍTULO 4  
**Guía CircularTRANS**

## 4. Guía CircularTRANS

El objetivo de este capítulo es exponer el desarrollo de la guía CircularTRANS que se fundamenta en el enfoque propuesto por Deming (2000) y Shewart (1931) de mejora continua conocido como PDCA (*Plan- Do- Check- Act*) con el propósito de integrar la EC en las pymes de la CAPV.

En primer lugar, en el punto 4.1, se presenta el proceso de la guía ya implementada en la plataforma web CircularTRANS (<https://circulartrans.mondragon.edu/es/inicio>) que consta de 5 pasos (diagnóstico, resultados, selección de oportunidades, hoja de ruta y plan de acción) y dispone de recursos de apoyo (formación, buenas prácticas, herramientas, comunidad y expertos) (Figura 18).

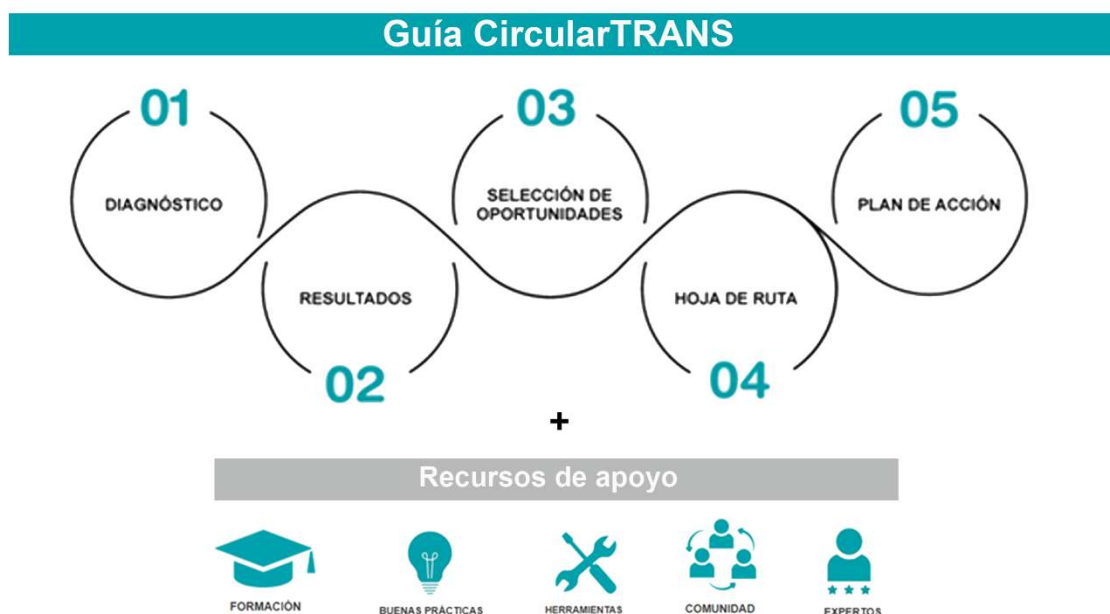
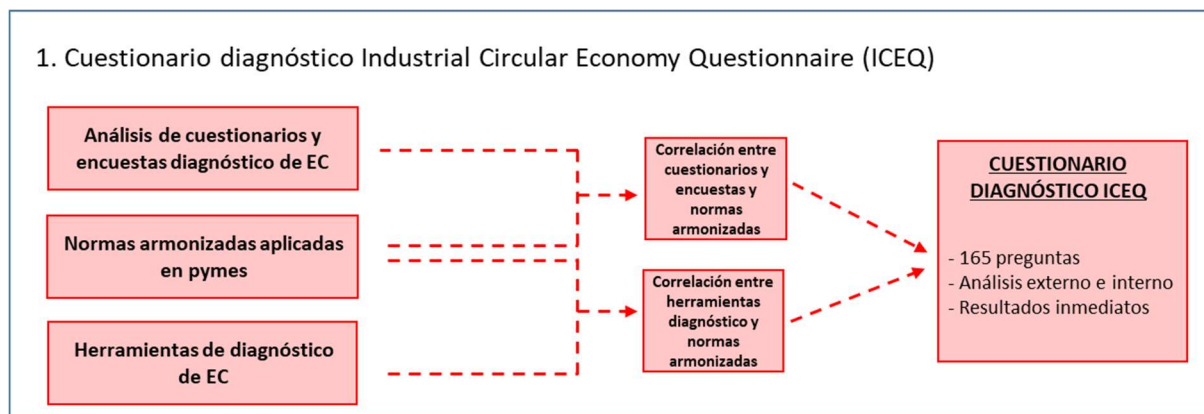


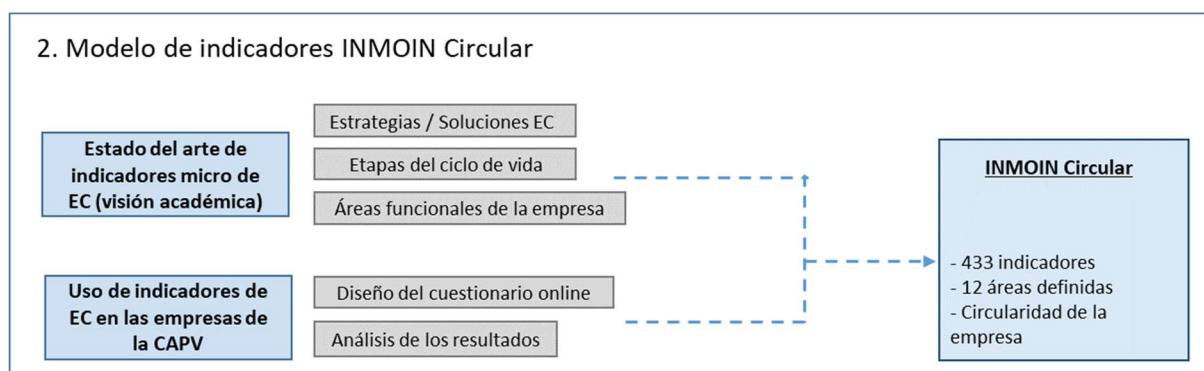
Figura 18: Guía CircularTRANS (Mondragon Unibertsitatea, 2024)

La guía CircularTRANS comienza con el diagnóstico, etapa en la cual se ha desarrollado el cuestionario denominado *Industrial Circular Economy Questionnaire* (ICEQ), cuyo proceso de creación se detalla en la Figura 19 y se aborda en la sección 4.2 del documento. Este cuestionario tiene como finalidad evaluar el nivel de madurez en EC de la empresa, considerando tanto aspectos internos como externos de una organización.



**Figura 19:** Proceso de creación de ICEQ

A partir de la validación del cuestionario ICEQ se han identificado necesidades específicas que han conducido al desarrollo de dos recursos fundamentales. Por un lado, se ha identificado la necesidad de establecer un modelo de *Key Performance Indicator* (KPI) que facilite la integración de la EC en las distintas áreas funcionales de la organización, orientando así las estrategias en este ámbito. Así, se ha concebido el modelo de indicadores denominado INMOIN Circular, cuyo proceso de desarrollo se presenta en la sección 4.3 y se esquematiza en la Figura 20.



**Figura 20:** Proceso de creación de INMON Circular

Por otro lado, la validación de ICEQ ha revelado la necesidad de desarrollar una herramienta que ayude a las empresas alcanzar la excelencia productiva de forma sencilla minimizando los impactos ambientales. En respuesta a esta necesidad se ha diseñado la herramienta denominada Eco-productividad Industrial, cuyo proceso de creación se detalla en la sección 4.4 y se representa gráficamente en la Figura 21.

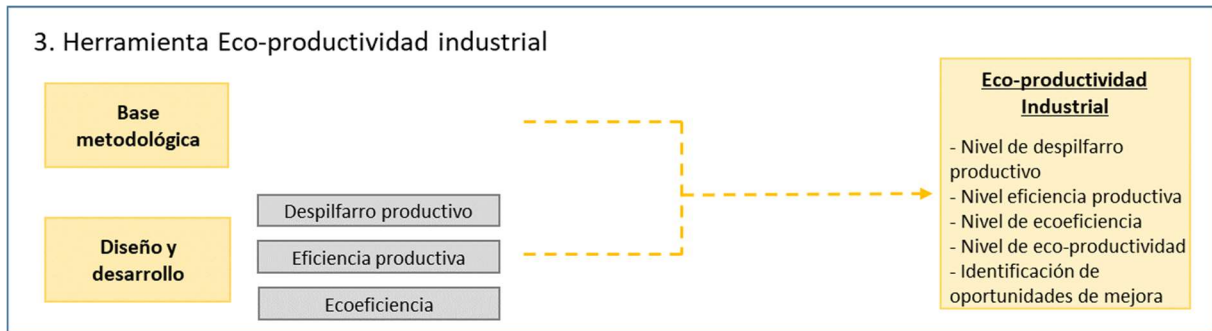


Figura 21: Proceso de creación de Eco-productividad Industrial

## 4.1 Proceso de la guía CircularTRANS

La plataforma web CircularTRANS es el resultado conjunto de la guía CircularTRANS. Consiste en una aplicación web gratuita que introduce las tres herramientas desarrolladas: i) el cuestionario diagnóstico ICEQ, ii) el modelo de indicadores INMOIN Circular y iii) la herramienta Eco-productividad Industrial. Además, se completa con un proceso de cinco pasos (Figura 22), y unos recursos de apoyo para utilizarlos tanto al comienzo como al final del proceso.



Figura 22: Proceso de la guía CircularTRANS (Mondragon Unibertsitatea, 2024)

Asimismo, es importante saber que los usuarios de la plataforma dispondrán de descargables de cada uno de los pasos del proceso. A continuación, se exponen brevemente y en orden los cinco pasos del proceso y los recursos de apoyo disponibles en la guía CircularTRANS.

### 4.1.1 Diagnóstico

Un paso previo al diagnóstico es crear un equipo de trabajo interno con una visión holística de la organización para integrar la EC.

Después, en función del conocimiento del equipo en el ámbito de la EC será necesario o no una formación/capacitación mínima antes de completar el cuestionario

diagnóstico ICEQ. Por último, el equipo completa el cuestionario diagnóstico ICEQ compuesto por 165 preguntas (Figura 23).

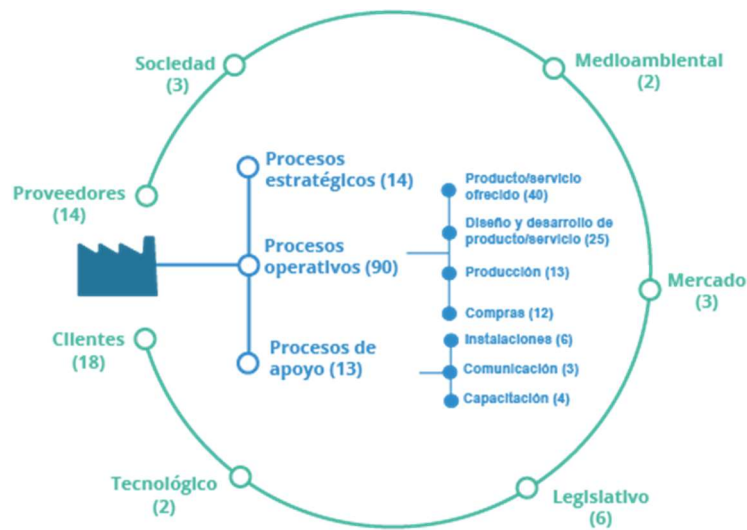
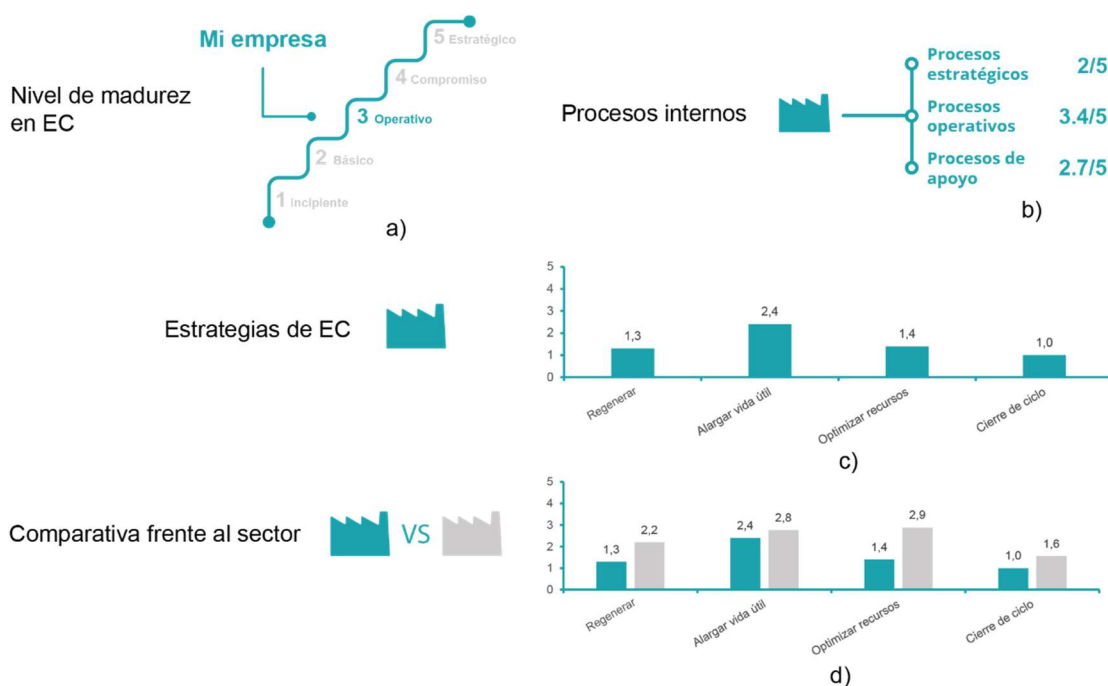


Figura 23: Número de preguntas relacionadas con cada grupo del cuestionario

### 4.1.2 Resultados

Una vez completado el cuestionario diagnóstico el equipo de trabajo obtiene los diferentes resultados en cuanto a nivel de madurez en EC de la organización (incipiente, básico, operativo, compromiso y estratégico) (Figura 24a). Así como, en los procesos internos (procesos estratégicos, procesos operativos y procesos de apoyo) (Figura 24b), las estrategias de EC (regenerar, alargar la vida útil, optimizar recursos y cierre de ciclos) (Figura 24c) y la comparativa frente al sector en cuanto a la implementación de las estrategias de EC (Figura 24d).



**Figura 24:** Resultados según; a) nivel de madurez en EC, b) procesos internos, c) estrategias de EC, d) comparativa de las estrategias de EC con otras empresas del sector

### 4.1.3 Selección de oportunidades

En base a los resultados obtenidos del cuestionario la plataforma identifica una lista de oportunidades y de fortalezas que tiene la organización (Figura 25) agrupadas en los procesos estratégicos, procesos operativos y procesos de apoyo.

El equipo de trabajo creado en la empresa debe de seleccionar aquellas oportunidades y fortalezas que quieran incluir en la hoja de ruta de cara a la implementación/ mejora/ integración de la EC en la organización. Asimismo, cada oportunidad y fortaleza se correlaciona con qué estrategias de EC está relacionada.

Oportunidades			
SELECCIONAR	OPORTUNIDAD	ESTRATEGIA	NOTAS
<input type="checkbox"/>	Valorar incorporar criterios que prioricen la compra de componentes reutilizados y/o reutilizables.	Alargar la vida útil	
<input checked="" type="checkbox"/>	Valorar incorporar criterios en los lotes de compra que minimice el impacto ambiental.	Optimizar recursos	

Fortalezas que quieres mejorar			
SELECCIONAR	OPORTUNIDAD	ESTRATEGIA	NOTAS
<input checked="" type="checkbox"/>	El proceso de compras emplea criterios de sostenibilidad en la selección de proveedores.	Optimizar recursos	

**Figura 25:** Ejemplo de la selección de oportunidades (Mondragon Unibertsitatea, 2024)

### 4.1.4 Hoja de ruta

Una vez seleccionadas las oportunidades y fortalezas a trabajar, comienza el cuarto paso, la hoja de ruta. En primer lugar, el equipo debe de evaluar cada oportunidad o fortaleza según tres criterios (Tabla 9): i) la factibilidad técnica (F), responde a la capacidad de la empresa para llevar a cabo las acciones descritas y las posibilidades de que dichas acciones tengan éxito, ii) los beneficios esperados tras la implementación de la acción (B) que pueden ser tanto en ahorro de costes, como nuevos ingresos o aumento de los ingresos actuales e incluso la mejora de la imagen de la empresa, y iii) los recursos (R) necesarios para llevar a cabo las acciones pertinentes donde se tendrán en cuenta los conocimientos o la inversión requerida. Este sistema de evaluación se inspira en la ISO 12100:2010. Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo (ISO, 2012).

**Tabla 9:** Criterios de evaluación para la creación de la hoja de ruta

	1	2	3
<b>F: Factibilidad técnica</b>	Se desconoce la factibilidad técnica	Puede ser necesario un apoyo externo que permita la implantación de la acción	La empresa tiene la capacidad técnica suficiente para la implantación de la acción
<b>B: Beneficio esperado</b>	La acción no genera beneficio o se desconoce si lo hará	Genera beneficio a medio plazo	Los beneficios conseguidos son significativos o a corto plazo
<b>R: Recursos necesarios</b>	La empresa no cuenta con los recursos necesarios	Dispone parcialmente de los recursos necesarios	Dispone de los recursos necesarios
<b>Rojo</b>	No se recomienda actuar sobre esta acción		
<b>Amarillo</b>	Se podría actuar sobre el aspecto descrito, pero habría que valorar las capacidades de poder hacerlo mediante un análisis más profundo o identificar aquellas razones que dificultan la puesta en marcha del plan de acción		
<b>Verde</b>	La situación es favorable para diseñar un plan de acción que aborde el aspecto descrito		

Para cada criterio se emplean tres niveles de actuación (Figura 26): i) 1 (mayor dificultad), ii) 2 (dificultad media) y iii) 3 (menor dificultad). Como resultado de los tres criterios se obtiene un color: i) rojo (poco favorable), ii) amarillo (valor medio) y iii) verde (situación favorable).

		F								
		1			2			3		
		B			B			B		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
R	1									
	2									
	3									

Figura 26: Criterios de valoración de las oportunidades

La Figura 27 muestra el resultado obtenido después de aplicar los criterios de evaluación en cada oportunidad.

OPORTUNIDAD	ESTRATEGIA	CRITERIO	OBSERVACIONES	RESULTADO	SELECCIÓN
Valorar ofrecer productos o componentes remanufacturados.	Alargar la vida útil	F B R		 Poco viable	<input type="checkbox"/>
Valorar ofrecer materiales reciclados.	Cierre de ciclo/fin de vida	F B R		 Viable	<input type="checkbox"/>
Valorar cómo aumentar la eficiencia de los recursos y consumibles del producto.	Optimizar recursos	F B R		 No viable	<input type="checkbox"/>

Figura 27: Ejemplo de la hoja de ruta (Mondragon Unibertsitatea, 2024)

En segundo lugar, una vez conocidos los resultados de todas las oportunidades y fortalezas el equipo selecciona aquellas que quiere implementar en el plan de acción. Finalmente, las empresas deben concretar el tiempo de maduración para cada una de las oportunidades y fortalezas agrupadas en: i) corto plazo, ii) medio plazo y iii) largo plazo.

Además, una organización puede utilizar sus propios métodos de evaluación sin necesidad de utilizar el que se propone, aunque para el uso de la plataforma debe de seleccionar las oportunidades y fortalezas.

### 4.1.5 Plan de acción

En el último paso del proceso, plan de acción, el grupo de trabajo define las siguientes especificaciones (Figura 28): i) el responsable, ii) la fecha de inicio, iii) la fecha fin, iv) el estado de la oportunidad o la fortaleza, v) recursos necesarios de la organización, vi) objetivos y, vii) indicadores.

OPORTUNIDAD	ESTRATEGIA	PERIODO DE MADURACIÓN	RESULTADO	RESPONSABLE	FECHA INICIO	FECHA FIN	ESTADO
Valorar ofrecer productos o componentes remanufacturados.	Alargar la vida útil	Corto		<input type="text"/>	dd/mm/aaaa	dd/mm/aaaa	No iniciado
Valorar ofrecer materiales reciclados.	Cierre de ciclo/fin de vida	Medio		<input type="text"/>	dd/mm/aaaa	dd/mm/aaaa	No iniciado
Valorar cómo aumentar la eficiencia de los recursos y consumibles del producto.	Optimizar recursos	Largo		<input type="text"/>	dd/mm/aaaa	dd/mm/aaaa	No iniciado

**Más información:** ×

Recursos necesarios de la organización	Objetivos	Indicadores
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Figura 28: Ejemplo del plan de acción (Mondragon Unibertsitatea, 2024)

Además, en el plan de acción (Figura 29), las empresas disponen la opción de utilizar los recursos de apoyo que les servirán de ayuda para trabajar las oportunidades y fortalezas seleccionadas.

### Plan de acción Gestión del plan de acción

De cara a realizar un seguimiento de las oportunidades seleccionadas, os recomendamos concretar los diferentes apartados que se muestran a continuación.

Recordar que en los apartados de la plataforma: Formación, Herramientas y Buenas Prácticas disponéis de material soporte que os ayudará a trabajar las oportunidades.

En caso necesario, podéis contar con la colaboración y el apoyo del equipo.

OPORTUNIDAD	ESTRATEGIA	PERIODO DE MADURACIÓN	RESULTADO	RESPONSABLE	FECHA INICIO	FECHA FIN	ESTADO
Valorar ofrecer productos o componentes remanufacturados.	Alargar la vida útil	Corto		<input type="text"/>	dd/mm/aaaa	dd/mm/aaaa	No iniciado

Figura 29: Uso de los recursos de apoyo (Mondragon Unibertsitatea, 2024)

### 4.1.6 Recursos de apoyo

La plataforma CircularTRANS, ofrece a las personas usuarias varios recursos de apoyo (Figura 30) con el objetivo de facilitar la comprensión de los términos, conocer los conceptos básicos sobre la EC y disponer de ejemplos de buenas prácticas y herramientas aplicables en sus proyectos.



Figura 30: Recursos de apoyo (Mondragon Unibertsitatea, 2024)

Primero, analizando el recurso de apoyo de formación, esta se divide en cuatro grupos (Figura 31): i) introducción, donde se expone en qué consiste este recurso, ii) módulo 1 ofrece una presentación con información sobre los conceptos básicos de EC, iii) módulo 2, ofrece cuatro formaciones en ecodiseño, remanufactura, servitización y eco-productividad y iv) módulo 3 donde se muestran todos los programas de ayudas relacionadas con la EC.

#### Formación



Figura 31: Pantalla de formación (Mondragon Unibertsitatea, 2024)

En segundo lugar, el recurso de buenas prácticas consiste en un repositorio de 164 ejemplos de empresas tanto nacionales como internacionales que están aplicando actualmente la EC y pueden servir de ejemplo a las nuevas empresas. Este repositorio ofrece la posibilidad de filtrar dichas fichas según: i) los procesos internos, ii) las soluciones de EC, iii) los sectores o, iv) escribiendo el nombre de la empresa (Figura 32), facilitando el uso a los usuarios.

## Buenas prácticas

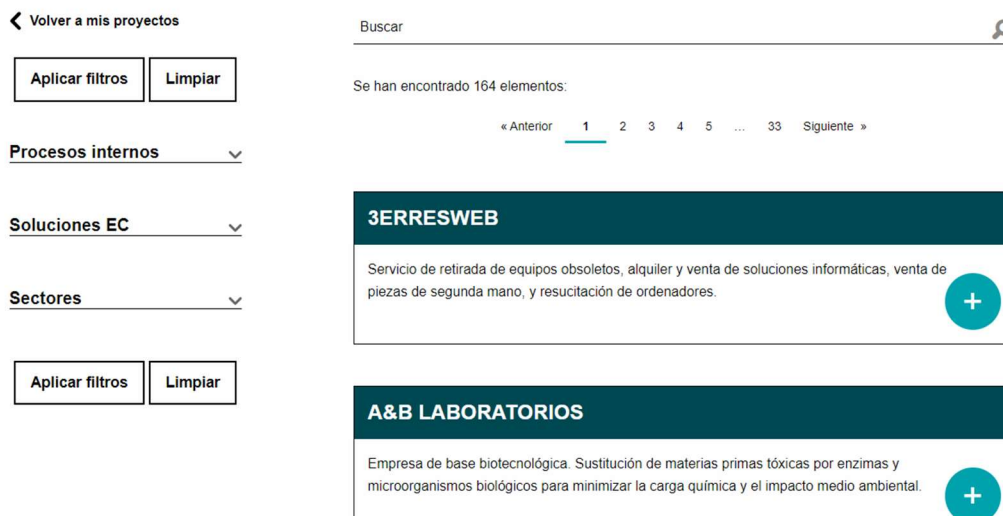


Figura 32: Pantalla de buenas prácticas (Mondragon Unibertsitatea, 2024)

En tercer lugar, el recurso de herramientas con un total de 39 herramientas para avanzar en EC según la necesidad de cada empresa. Estas se pueden filtrar por (Figura 33): i) los procesos internos, ii) las estrategias de EC y iii) escribiendo el nombre de la herramienta. En este grupo de fichas se pueden tanto el modelo de indicadores INMOIN Circular (4.3) como la herramienta de Eco-productividad Industrial (4.4) desarrolladas.

## Herramientas

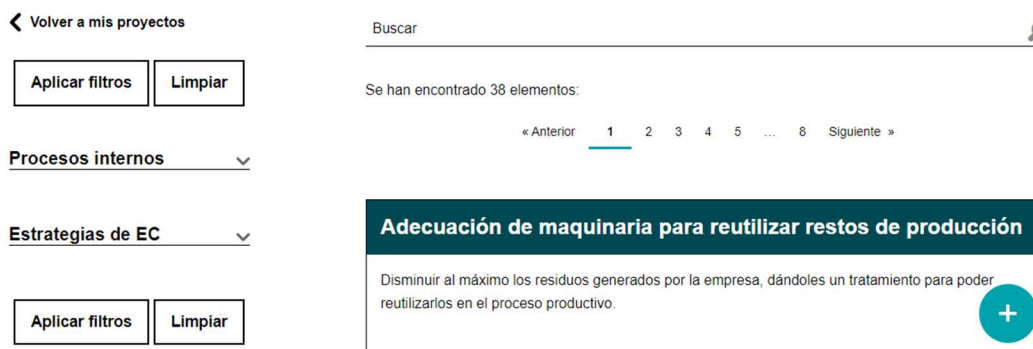


Figura 33: Pantalla de herramientas (Mondragon Unibertsitatea, 2024)

Por último, el recurso de comunidad (Figura 34) por un lado, ofrece la posibilidad de conocer noticias relacionadas con la EC y, por otro lado, el foro sirve para que las empresas usuarias puedan interactuar entre ellas conversando sobre temas relacionados con la EC. En cuanto al recurso expertos, ofrece la oportunidad de establecer contacto con el equipo investigador.

## Comunidad



---

### Formación: Diseño para la Economía Circular

27.04.2023

Europa aboga por un crecimiento económico basado en la Economía Circular y en los cursos ECSI Circular training se enseñan herramientas prácticas que ayudan a innovar con esta perspectiva.

[Más información](#)

**Figura 34:** Pantalla de comunidad (Mondragon Unibertsitatea, 2024)

Estos recursos complementan la estructura y funcionalidad de la guía CircularTRANS, fortaleciendo así su utilidad y aplicabilidad en el contexto de las pymes en la CAPV.

## 4.2 Cuestionario diagnóstico *Industrial Circular Economy Questionnaire (ICEQ)*

El objetivo de este apartado es diseñar, desarrollar y validar el cuestionario diagnóstico ICEQ. Para ello, en primer lugar, se realiza un análisis de cuestionarios y encuestas de diagnóstico identificadas en la literatura científica sobre EC. Posteriormente, se analizan las normas armonizadas utilizadas en las pymes y las normas relativas a la EC. Después, se correlacionan dichas normas con los cuestionarios y encuestas identificadas en la literatura científica para identificar los aspectos que se evalúan. Seguidamente, se identifican y analizan las herramientas diagnóstico de EC y se correlacionan también con las normas armonizadas. Posteriormente, se diseña, desarrolla y valida en 30 empresas de 17 sectores el cuestionario diagnóstico ICEQ. Finalmente, se extraen conclusiones de la aplicación de cuestionario ICEQ y se identifican las oportunidades de mejora.

### 4.2.1 Análisis de cuestionarios y encuestas diagnóstico de EC

La revisión de cuestionarios y encuestas diagnóstico de EC se realiza de manera sistemática con el objetivo de hallar cuestionarios diagnósticos que faciliten la aplicación de los principios de la EC. Para ello, se han seguido los siguientes pasos: i) localización de los estudios y ii) selección y evaluación de los trabajos.

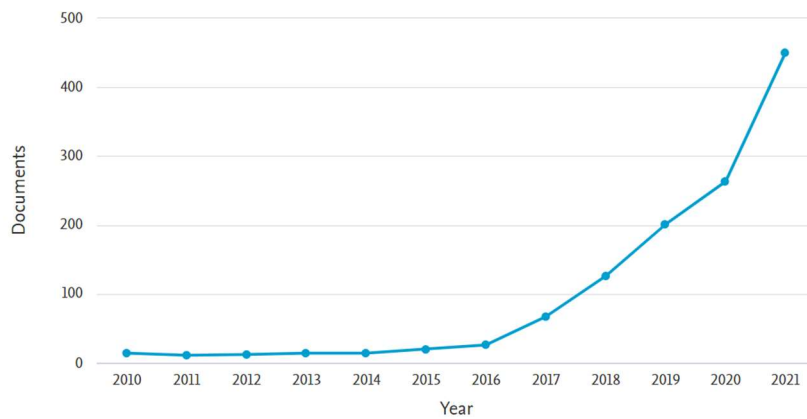
Para esta revisión se han seleccionado como motores de búsqueda Scopus y Web of Science (WoS), por considerarse las bases de datos científicas más completas

(Aghaei Chadegani et al., 2013). La Tabla 10 muestra la cadena de búsqueda utilizada “términos primarios” AND “términos secundarios”.

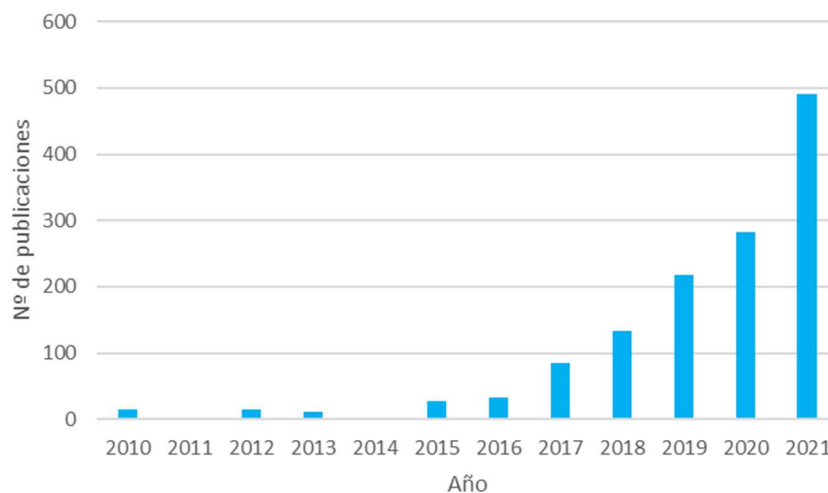
**Tabla 10:** Términos utilizados para la búsqueda

Términos primarios	AND	Términos secundarios
“Circular economy” OR “Circularity”		“Surve*” OR “Questionnair*” OR “Interview*”

Como resultado de esta búsqueda se han obtenido un total de 1.218 artículos en Scopus y 1.333 en WoS. Para la selección final de publicaciones se han descartado los artículos duplicados, logrando un total de 771. En la Figura 35 y Figura 36 presentan el número de publicaciones identificadas según los términos en cada una de las bases de datos respectivamente. Las mismas muestran que con el paso de los años el número de publicaciones ha ido incrementando a gran velocidad.



**Figura 35:** Publicaciones por año en Scopus



**Figura 36:** Publicaciones por año en WoS

La búsqueda se filtra analizando los títulos, palabras clave y resúmenes y se descartan aquellas que no cumplen con el ámbito de estudio. Tras este análisis se seleccionan un total de 63 artículos, que tras su lectura completa permite descartar 20, obteniendo un total de 43 artículos. La Tabla 11 recoge la siguiente información de los 43 artículos: i) autores del artículo, ii) título del artículo y iii) ámbitos considerados en cada uno de los artículos.

**Tabla 11:** Artículos seleccionados de cuestionarios (adaptado de Urain et al. (2022))

<b>Autores</b>	<b>Título del Artículo</b>	<b>Ámbitos considerados</b>
Kumar et al. (2019)	<i>Circular economy in the manufacturing sector: benefits, opportunities and barriers.</i>	Concienciación, Marketing, Sociocultural, Económico
Masi et al. (2018)	<i>Towards a more circular economy: exploring the awareness, practices, and barriers from a focal firm perspective.</i>	Marketing, Diseño y desarrollo, Logística/Logística inversa, Tecnología, Mercado, Sociocultura, Clientes, Proveedores
Jakhar et al. (2019)	<i>When stakeholder pressure drives the circular economy: Measuring the mediating role of innovation capabilities.</i>	Legislativo, Competidor, Concienciación, Materiales, Diseño y desarrollo, Mercado, Sociocultural, Clientes, Proveedores
Bassi & Dias (2019)	<i>The use of circular economy practices in SMEs across the EU.</i>	Diseño y desarrollo
Piyathanavong et al. (2019)	<i>The adoption of operational environmental sustainability approaches in the Thai manufacturing sector.</i>	Logística/Logística inversa
Milios et al. (2019)	<i>Sailing towards a circular economy: Conditions for increased reuse and remanufacturing in the Scandinavian maritime sector.</i>	Legislativo, Concienciación, Diseño y desarrollo, Logística/Logística inversa, Mercado, Clientes
Cristoni & Tonelli (2018)	<i>Perceptions of Firms Participating in a Circular Economy.</i>	Materiales, Diseño y desarrollo, Logística/Logística inversa, Mercado, Proveedores
Ceptureanu et al. (2018)	<i>Perceptions of circular business models in SMEs.</i>	Marketing, Materiales, Logística/Logística inversa, Mercado
Hopff et al. (2019)	<i>New dimensions for circularity on campus-framework for the application of circular principles in campus development.</i>	Marketing, Diseño y desarrollo
Katz-Gerro & López Sintas (2019)	<i>Mapping circular economy activities in the European Union: Patterns of implementation and their correlates in small and medium-sized enterprises.</i>	Diseño y desarrollo
Zeng et al. (2017)	<i>Institutional pressures, sustainable supply chain management, and circular economy capability: Empirical evidence from Chinese eco-industrial park firms.</i>	Materiales, Diseño y desarrollo, Logística/Logística inversa, Clientes, Proveedores
Hojnik et al. (2017)	<i>Eco-innovation and firm efficiency: Empirical evidence from Slovenia.</i>	Marketing, Materiales, Diseño y desarrollo
Fonseca et al. (2018)	<i>Assessment of circular economy within Portuguese organizations.</i>	Legislativo, Concienciación, Sociocultural
Zhu et al. (2010)	<i>Circular economy practices among Chinese manufacturers varying in environmental-oriented supply chain cooperation and the performance implications.</i>	Concienciación, Marketing, Materiales, Diseño y desarrollo, Logística/Logística inversa, Clientes, Proveedores
Ormazabal et al. (2018)	<i>Circular Economy in Spanish SMEs: Challenges and opportunities.</i>	Concienciación, Materiales, Logística/Logística inversa, Proveedores
Zhu, Geng, & Lai (2011)	<i>Environmental supply chain cooperation and its effect on the circular economy practice-performance relationship among Chinese manufacturers.</i>	Materiales, Diseño y desarrollo, Clientes, Proveedores
Agyemang et al. (2019)	<i>Drivers and barriers to circular economy implementation: An explorative study in Pakistan's automobile industry.</i>	Legislativo, Concienciación, Tecnología, Mercado, Clientes
Bag et al. (2019)	<i>Examining the role of dynamic remanufacturing capability on supply chain resilience in circular economy.</i>	Marketing, Diseño y desarrollo, Mercado, Económico, Clientes

<b>Autores</b>	<b>Título del Artículo</b>	<b>Ámbitos considerados</b>
Zhu, Geng, Sarkis, et al. (2011)	<i>Evaluating green supply chain management among Chinese manufacturers from the ecological modernization perspective.</i>	Legislativo, Competidor, Logística/Logística inversa, Clientes, Proveedores
Caldera et al., (2019)	<i>Evaluating the enablers and barriers for successful implementation of sustainable business practice in 'lean' SMEs.</i>	Marketing
Cayzer et al., (2017)	<i>Design of indicators for measuring product performance in the circular economy.</i>	Materiales, Diseño y desarrollo
Long et al. (2016)	<i>A sustainability assessment system for Chinese iron and steel firms.</i>	Marketing
Sihvonen & Partanen (2016)	<i>Implementing environmental considerations within product development practices: A survey on employees' perspectives.</i>	Diseño y desarrollo, Clientes, Proveedores
Y. Liu & Bai (2014)	<i>An exploration of firms' awareness and behavior of developing circular economy: An empirical research in China.</i>	Competidor, Concienciación, Clientes
Abreu & Ceglia (2018)	<i>On the implementation of a circular economy: The role of institutional capacity-building through industrial symbiosis.</i>	Legislativo, Económico, Clientes, Proveedores
Xue et al. (2010)	<i>Survey of officials' awareness on circular economy development in China: Based on municipal and county level.</i>	Concienciación, Mercado, Clientes
Gaur et al. (2019)	<i>Towards building circular economy: A cross-cultural study of consumers' purchase intentions for reconstructed products.</i>	Mercado, Clientes
Lakatos et al. (2016)	<i>How supportive are Romanian consumers of the circular economy concept: A survey.</i>	Mercado, Sociocultural, Clientes
Smol et al. (2018)	<i>Public awareness of circular economy in southern Poland: Case of the Malopolska region.</i>	Mercado, Sociocultural, Clientes
Atlason et al. (2017)	<i>Product design in the circular economy: Users' perception of end-of-life scenarios for electrical and electronic appliances.</i>	Clientes
Bovea et al. (2018)	<i>Incorporation of circular aspects into product design and labelling: Consumer preferences.</i>	Materiales, Diseño y desarrollo, Logística/Logística inversa, Sociocultural
Borrello et al. (2017)	<i>Consumers' perspective on circular economy strategy for reducing food waste.</i>	Tecnología, Mercado, Sociocultural, Económico, Proveedores
Q. Liu et al., (2009)	<i>A survey and analysis on public awareness and performance for promoting circular economy in China: A case study from Tianjin.</i>	Mercado, Sociocultural, Clientes
Wang & Kuah (2018)	<i>Green marketing cradle-to-cradle: Remanufactured products in Asian markets.</i>	Concienciación, Mercado, Sociocultural
Tam et al. (2019)	<i>Managing complex products to support the circular economy.</i>	Materiales, Diseño y desarrollo
Ünal et al. (2019)	<i>Managerial practices for designing circular economy business models: The case of an Italian SME in the office supply industry.</i>	Materiales, Diseño y desarrollo, Clientes, Proveedores
Sihvonen & Partanen (2018)	<i>A survey of perceived prevalence of selected environmental topics in product development, and their relationships with employee's ecological concern.</i>	Materiales, Diseño y desarrollo
Dalhammar (2016)	<i>Industry attitudes towards ecodesign standards for improved resource efficiency.</i>	Marketing, Materiales, Diseño y desarrollo

Autores	Título del Artículo	Ámbitos considerados
Bovea & Pérez-Belis (2018)	<i>Identifying design guidelines to meet the circular economy principles: A case study on electric and electronic equipment.</i>	Materiales, Diseño y desarrollo
Tura et al. (2019)	<i>Unlocking circular business: A framework of barriers and drivers.</i>	Legislativo, Marketing, Tecnología, Mercado, Sociocultural, Económico
Dubey et al. (2019)	<i>Supplier relationship management for circular economy: Influence of external pressures and top management commitment.</i>	Legislativo, Marketing, Tecnología, Mercado, Sociocultural, Económico, Clientes, Proveedores
de Jesus & Mendonça (2018)	<i>Lost in Transition? Drivers and Barriers in the Eco-innovation Road to the Circular Economy.</i>	Legislativo, Tecnología, Sociocultural, Económico
Merli & Preziosi (2018)	<i>The EMAS impasse: Factors influencing Italian organizations to withdraw or renew the registration.</i>	Mercado

De los 43 artículos se identifican un total de 750 preguntas. A continuación, se muestran unos ejemplos de algunas de ellas:

- ¿Las empresas del sector que no cumplen las normas legales de control de la contaminación se enfrentan a una importante amenaza de persecución judicial? (Dubey et al., 2019).
- ¿Su empresa aplica el enfoque de la EC? (Piyathanavong et al., 2019).
- ¿Los clientes prefieren componentes nuevos en lugar de reutilizados o remanufacturados? (Milios et al., 2019).
- ¿La empresa permite a los clientes devolver productos usados por un valor preestablecido? (Ceptureanu et al., 2018).
- ¿Cómo elimina su empresa los residuos? (Y. Liu & Bai, 2014).
- ¿Coopera con el proveedor para reducir los envases? (Zhu et al., 2010).
- ¿Qué importancia tiene la emisión CO<sub>2</sub>? (Long et al., 2016).
- ¿Cómo se eliminan los envases de los productos? (Q. Liu et al., 2009).
- ¿Clasificas la basura en tu vida diaria? (Xue et al., 2010).
- ¿Los materiales reciclados suelen ser más caros que las materias primas vírgenes? (Masi et al., 2018).

Después de analizar las 750 preguntas se observa que abordan diferentes ámbitos, utilizan diferentes estilos y formas de redactar.

#### **4.2.2 Normas armonizadas aplicadas en pymes**

Los sistemas de gestión se centran en la mejora continua y obtienen una visión global de la empresa. Para la integración de la EC en las empresas industriales se identifican como principales siete normas armonizadas, cinco sobre sistemas de gestión y dos sobre EC (Tabla 12). La selección se fundamenta en dos aspectos: i) son las más populares y las más utilizadas por las empresas industriales (Horielikova, 2020) y ii) son las más alineadas con la EC (Gabarró Sust, 2021).

La mayoría de las empresas utilizan sistemas de gestión de calidad para poder estructurar la empresa. Según Mintzberg (1988), la estructura organizativa es el conjunto de todas las formas en que se divide el trabajo en diferentes tareas, consiguiendo así la coordinación entre todas ellas. Por lo tanto, el enfoque ISO permite a las empresas industriales estructurar el conjunto de la empresa.

**Tabla 12:** Normas armonizadas seleccionadas y el propósito (adaptado de Urain et al. (2022))

	<b>Normas armonizadas</b>	<b>Objetivos</b>
<b>Sistemas de gestión</b>	ISO 9001:2015- Sistemas de gestión de la calidad	Garantizar que una organización logre la satisfacción del cliente mediante el establecimiento de procesos de mejora continua (AENOR, 2015).
	ISO 14001:2015- Sistemas de gestión ambiental	Proporcionar a las empresas un marco para la protección del medioambiente y responder a las condiciones climáticas, equilibrándolo con las necesidades socioeconómicas (ISO 14001:2015, 2016).
	EMAS- Sistema comunitario de gestión y auditoría medioambientales	Promover la mejora medioambiental continua de las organizaciones (EMAS, 2014).
	ISO 14006:2020- Sistemas de gestión ambiental	Promover la mejora medioambiental centrada en productos y servicios, integrándola en los sistemas de gestión (Normas ISO, 2022).
	ISO 56002:2019- Sistemas de gestión de la innovación	Guía a la organización en la determinación de su visión, estrategia, política y objetivos de innovación (AENOR, 2020).
<b>EC</b>	BSI 8001:2017- Marco para la aplicación de los principios de la EC en las organizaciones	Implicar a los principales agentes económicos y sociales en la transición hacia una EC (BS 8001, 2017).
	XP X30-901:2018- Sistema de gestión de proyectos de EC	Facilitar diálogos para reflexionar sobre los modos de producción y consumo y proporcionar una herramienta de gestión para planificar, aplicar, evaluar y mejorar un proyecto de EC. (AFNOR, 2020).

De estas normas mencionadas se descarta para su análisis la EMAS porque las empresas suelen optar por la *International Standardization Organization (ISO) ISO 14001:2015* (Merli & Preziosi, 2018). Así, a continuación, se presenta una descripción de cada norma seleccionada:

- ISO 9001:2015- Sistemas de gestión de la calidad (AENOR, 2015): está enfocada a la consecución de la calidad en una organización mediante la implementación de un sistema de gestión de la calidad. Esta norma se ha convertido en referente a nivel mundial. Permite a la empresa demostrar su capacidad de satisfacer los requisitos del cliente y acreditar esta capacidad ante cualquier parte interesada. Esta norma es genérica y aplicable a todas las organizaciones sin tener en cuenta el tipo y tamaño. La empresa deberá definir y gestionar los procesos necesarios para asegurar que los productos/servicios que ofrecen cumplen con los requisitos del cliente.
- ISO 14001:2015- Sistemas de gestión ambiental (ISO 14001:2015, 2016): esta norma nace como respuesta a la preocupación mundial por el medioambiente y la proliferación de normativas ambientales regionales. Además, surge la necesidad de un indicador universal para evaluar los esfuerzos de una organización por alcanzar una protección ambiental confiables y adecuada. Dicha norma no fija metas ambientales para la prevención de la contaminación y la protección del medioambiente, ni tampoco se involucra en el desempeño ambiental a nivel mundial, sino que, establece herramientas y sistemas enfocados en los procesos de producción de una empresa para ayudar a reducir los riesgos ambientales.

- ISO 14006:2020- Sistemas de gestión ambiental (Normas ISO, 2022): herramienta que ayuda a través del ecodiseño a apostar por la innovación de los productos para ajustarse a las necesidades de la empresa y sus clientes. Asimismo, ayuda a la mejora del comportamiento ambiental de los productos, desde el origen de las materias primas pasando por la fabricación y comercialización, uso en la vida útil y fin de vida.
- ISO 56002:2019- Sistemas de gestión de la innovación (AENOR, 2020): conjunto de elementos interrelacionados que interactúan con el propósito de crear valor. Facilita un marco de referencia para que toda la organización desarrolle y despliegue capacidades de innovación. Para la implementación de este sistema de gestión se necesita el compromiso de la alta dirección y el liderazgo de los mandos intermedios.
- BSI 8001:2017- Marco para la aplicación de los principios de la EC en las organizaciones (BS 8001, 2017): es el primer marco práctico y guía para que las organizaciones implanten los principios de la EC. Su aplicación se puede dar en cualquier organización, independientemente de la ubicación, tamaño y sector. Es de utilidad para aquellos con diferentes niveles de conocimiento y comprensión de la EC. Proporciona formas prácticas de asegurar ganancias rápidas, ayudando a las organizaciones a reconsiderar de manera integral cómo se gestionan sus recursos para mejorar los beneficios financieros, ambientales y sociales.
- XP X30-901:2018- Sistema de gestión de proyectos de EC (AFNOR, 2020): es una norma relativa al desarrollo de buenas prácticas hacia un paradigma de EC. Tiene dos grandes objetivos:
  - Facilitar diálogos para reflexionar tanto sobre los modos de producción como de los de consumo a través de un lenguaje común y definiciones compartidas. Esto impacta en la eficacia de las organizaciones implantando la optimización del uso de recursos y limitando los residuos generados.
  - Facilitar una herramienta que permita planificar, poner en marcha, evaluar y mejorar un proyecto de EC. Esta norma no está pensada solamente para la gestión de empresas privadas, sino que también puede utilizarse por agentes socioeconómicos.

Una vez expuestas las características de las normas se ha realizado un análisis donde se relacionan diferentes ítems considerados en dichas normas con las normas armonizadas. La Tabla 13 muestra la agrupación de todos los ítems que cada norma armonizada cita en relación con la empresa y se marca con una "X" aquellos a los que cada norma hace referencia. Con el fin de integrar la EC en las empresas sin necesidad de nuevas certificaciones, se contrasta cuáles de los ítems son utilizados en las normas de gestión y de EC. Para identificar todos los ítems, se ha llevado a cabo la lectura de cada norma y se han identificado los aspectos que

valoran, dividiéndolos en tres grandes grupos: i) contexto externo, ii) contexto interno y iii) partes interesadas.

Además, en la Tabla 13 se observa que la visión de la EC puede integrarse en las normas de gestión utilizadas por las empresas industriales ya que, al existir elementos que ambas normas consideran (diseño y desarrollo, medioambiente, clientes, etc.), las empresas no tendrán que realizar cambios muy significativos. Sin embargo, tendrán que considerar aspectos de la EC que actualmente no trabajan e introducirlos en su gestión.

**Tabla 13:** Elementos de análisis de las normas armonizadas (adaptado de Urain et al. (2022))

Ítems de Normas Armonizadas		Sistemas de Gestión				EC		
		9001	14001	14006	56002	BSI 8001	XP X 30-901	
Contexto externo	Legislativo	X	X	X	X	X	X	
	Liderazgo	Política	X	X	X	X		X
Compromiso		X	X	X	X		X	
Contexto interno	Apoyo	Responsabilidades	X	X	X	X		X
		Recursos	X	X		X	X	X
	Competidor	X	X	X	X		X	
	Concienciación	X	X		X		X	
	Comunicación	X	X		X		X	
	Marketing			X	X	X		
	Información documentada	X	X	X	X	X	X	
	Requisitos del producto/servicio	X		X			X	
	Operativo	Materiales					X	
		Diseño y desarrollo	X		X	X	X	X
Procesos, productos y servicios suministrados externamente		X			X	X	X	
Producción y prestación de servicios		X	X				X	
Liberación de productos/servicios		X					X	
Control de productos no conformes		X		X	X		X	
Respuesta de emergencia			X					
Logística / Logística inversa						X		
Partes interesadas	Tecnología	X				X	X	
	Mercado	X			X		X	
	Sociocultural	X			X		X	
	Económico	X			X	X	X	
	Ambiental		X	X	X	X	X	
	Clientes	X		X	X		X	
	Consumidores			X		X		
	Proveedores	X		X	X		X	
	Socios	X			X		X	
	Personal interno	X			X		X	
Competidores	X		X			X		

Ítems de Normas Armonizadas	Sistemas de Gestión				EC	
	9001	14001	14006	56002	BSI 8001	XP X 30-901
Administración	X					X

Según Legegunea (2019) las normas más utilizadas por las empresas de la CAPV son la ISO 9001:2015 y la ISO 14001:2015, de ahí que puedan ser un punto de partida para analizar cómo integrar la EC.

Es una buena estrategia abordar la EC en las organizaciones desde la estructura de las dos ISO mencionadas anteriormente. Considerando que las empresas de la CAPV tienen una estructura fija sabrán en todo momento cómo avanzar y adaptar aquellos cambios que la EC proponga a sus actividades empresariales sin demasiados inconvenientes. Además, esta estructura ayudará a superar barreras como (Agyemang et al., 2019; Caldera et al., 2019; de Jesus & Mendonça, 2018; Kirchherr et al., 2018; Malik et al., 2022; Garcés Ayerbe et al., 2019; Ormazabal et al., 2020): i) falta de conocimientos y capacidades, ii) recursos financieros, iii) cultura organizativa, iv) institucionales, v) de mercado y, vi) tecnológicas, entre otras integrando los principios de la EC en los niveles operativos de las empresas.

El resto de las normas han sido descartadas a la hora de realizar este proyecto. Esto no significa que en un futuro éstas no se integren para mejorar el proceso.

### 4.2.3 Correlación entre cuestionarios e ítems de las normas armonizadas

Después de realizar el análisis de las normas e identificar los cuestionarios existentes en la literatura, se ha llevado a cabo una relación entre ambos aspectos mostrada en el anexo A.1 del presente documento. En dicha tabla se identifica qué ítems de las normas se consideran en los cuestionarios, concluyendo lo siguiente:

- La mayoría de los cuestionarios recogidos en la literatura, no dan importancia a los contextos internos de la empresa, se centran en aspectos como el mercado, los clientes, los proveedores, etc. que, aunque son aceptables, no consideran los procesos que se siguen, la prestación de los productos/servicios, y las no conformidades que el cliente pueda tener con el producto/servicio entre otros.
- En cuanto al liderazgo, faltan preguntas relacionadas con el compromiso y las responsabilidades, que son importantes para la correcta gestión de la empresa.
- En cuanto a los procesos de apoyo, faltan recursos.
- En cuanto a los procesos operativos, los cuestionarios apenas hacen referencia a los aspectos operativos de las empresas. Los ítems de materiales y diseño y desarrollo de productos/servicios son los más mencionados en la mayoría de los cuestionarios.

- En cuanto a las partes interesadas, no se mencionan los aspectos medioambientales, ni la dirección, los socios y el personal interno. Estos puntos son importantes para la toma de decisiones que las empresas podrían tener que emprender a la hora de definir los cambios.
- El resultado de los cuestionarios no visualiza un valor global del diagnóstico realizado ni los relaciona con las estrategias de EC.
- La información proporcionada por los cuestionarios de los artículos identificados en la revisión bibliográfica muestra la variedad de tipos de preguntas: i) escala de valores, ii) preguntas abiertas y iii) respuesta sí/no.

#### **4.2.4 Herramientas de diagnóstico de EC**

A partir de una revisión de la literatura gris (Cooper et al., 2019), literatura publicada fuera de las publicaciones comerciales o académicas, y del conocimiento del equipo investigador se identifican 9 principales herramientas diagnóstico:

- *CIRCelligence* de Boston Consulting Group (BCG) (Rubel et al., 2020).
- *Circularity Gap Metric* de Haigh et al. (2019).
- *Circulytics* de Ellen MacArthur Foundation (2020).
- *Circular Transition Indicators* (CTI) de World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, 2020).
- *Circularity Check* de Ecopreneur (2019).
- *Circular Economy Indicator Prototype* (CEIP) desarrollado por Cayzer et al. (2017).
- CIRCit de Kravchenko et al. (2010).
- *Making the Transition to Circular Economy* (MATChE) de Technical University of Denmark (2019).
- *Circular Economy Toolkit* (CET) de Evans et al. (2019).

A continuación, se describe cada una de las herramientas diagnóstico.

##### **4.2.4.1 CIRCelligence**

Esta herramienta creada por el Boston Consulting Group (BCG), tiene por objetivo mostrar a las organizaciones cómo convertir los conceptos de la EC en una parte integral de la estrategia corporativa general. Ofrece a las empresas un enfoque estratégico que permite integrar la estrategia circular en su estrategia de negocio principal de una manera que ofrece importantes beneficios económicos y también maximiza el valor total para la sociedad (Rubel et al., 2020). CIRCelligence ofrece múltiples beneficios a las empresas (Rubel et al., 2020):

- Una calculadora propia que genera conocimientos cuantitativos y cualitativos sobre los niveles de circularidad en todas las fases de la cadena de valor. En cada paso, CIRCelligence evalúa el flujo y el valor de los recursos que entran en la empresa “conocido como flujo de entrada”, la duración del uso de los recursos “flujo lento” y los tipos de recursos que salen de los límites de la empresa “flujo de salida”, así como, aspectos cualitativos.
- Desarrolla una hoja de ruta mediante el establecimiento de objetivos de circularidad y, proporciona recomendaciones para alcanzar esos objetivos e integrar el pensamiento circular en toda la empresa.
- Poner en marcha iniciativas clave para alcanzar los objetivos de circularidad. Al mismo tiempo, define los KPIs para hacer un seguimiento del éxito de las iniciativas de circularidad de alta prioridad y comunicar su progreso a partes interesadas como inversores, consumidores y gobiernos.
- Aumento del crecimiento. Identifica actividades circulares con casos de negocio positivos que pueden ayudar a las empresas a alcanzar nuevos mercados, llegar a nuevos segmentos de mercado y aumentar la cuota de mercado.
- Relaciones más sólidas con el cliente. Sugiere formas para que las empresas hagan que sus modelos de negocio sean más circulares. Esta circularidad suele implicar una mayor interacción con el cliente, lo que genera una gran cantidad de datos que las empresas pueden utilizar para fortalecer sus relaciones con los clientes.
- Mejorar la eficiencia interna y reducir riesgos. Al identificar oportunidades para utilizar menos recursos, así como, estrategias para hacer circular esos recursos varias veces, CIRCelligence, ayuda a las empresas a mejorar la eficiencia operativa y a reducir su exposición a las largas y frágiles cadenas de suministro.

CIRCelligence analiza todo el ciclo de vida, por lo que ayuda a transformar las cadenas de valor y evalúa oportunidades para situar el pensamiento circular en el centro del negocio y del ecosistema. La herramienta se puede utilizar como primer paso en el desarrollo de una estrategia circular. Además, permite a los usuarios/as una autoevaluación que pueden repetir en los años siguientes para supervisar el progreso (Rubel et al., 2020).

Para evaluar la circularidad de la empresa, CIRCelligence se centra en el análisis de diferentes recursos. Dispone de una calculadora en una plataforma online. La misma, tiene una base de datos de más de 90 materiales para los cuales se puede analizar su circularidad a través de una encuesta personalizable donde se recogen aproximadamente 50 preguntas cuantitativas y 100 cualitativas (Rubel et al., 2020).

Los resultados cuantitativos se muestran utilizando una escala del 0% al 100%, siendo el 100% el ideal. En cuanto a los resultados cualitativos, se exponen utilizando calificaciones (Rubel et al., 2020) desde la A “*se hace todo lo posible para establecer y proteger la circularidad. Esto significa que la puntuación cuantitativa es el resultado de una dirección eficaz*” siendo la puntuación más alta, hasta la F “*los esfuerzos y las herramientas para establecer la circularidad no están maduros. Eso significa que la puntuación cuantitativa es coincidente y está en riesgo*” puntuación más baja.

#### **4.2.4.2 Circularity GAP**

Circle Economy (2019) ofrece una visión anual de la circularidad global mediante su *report Circularity Gap Metric*. El mismo, mide el estado de la economía mundial e identifica las palancas clave para la transición a la circularidad global. También proporciona información sobre la brecha de circularidad de distintos países y sectores (Circle Economy, 2021b).

El uso principal de *Circularity Gap Metric* es para la sensibilización al poner en relieve la necesidad de transitar a una EC. También es útil en el seguimiento y la presentación de informes de los progresos y éxitos de una empresa. No es una herramienta de autodiagnóstico para las empresas, sino que ofrece una visión de circularidad global. Consiste en un informe anual disponible desde el año 2018.

#### **4.2.4.3 Circulytics**

Ellen MacArthur Foundation (2020) en colaboración con más de 30 empresas y organizaciones académicas desarrolla la herramienta Circulytics para apoyar la transición de la empresa hacia la EC. Esta herramienta sirve para conocer la circularidad. La herramienta Circulytics dispone de una plataforma online en la cual, cada empresa realiza una evaluación y la plataforma evalúa su circularidad mediante preguntas cuantitativas (Ellen MacArthur Foundation, 2020).

Así:

- Mide la circularidad de una empresa, considerando la política, la concienciación, la comunicación, evidencias, requisitos del producto/servicio y materiales empleados.
- Apoya la toma de decisiones y el desarrollo estratégico para la adopción de la EC.
- Demuestra fortalezas y destaca las áreas de mejora.
- Proporciona transparencia opcional a inversores y clientes sobre la adopción de la EC de una empresa.
- Ofrece una claridad sin precedentes sobre el desempeño de la EC, lo que abre nuevas oportunidades para generar valor de marca con las partes interesadas clave.

#### 4.2.4.4 CTI

CTI es una herramienta creada por *World Business Council of Sustainable Development* (WBCSD, 2020) para la autoevaluación del rendimiento circular de una empresa, en la que los modelos de diseño, adquisición y recuperación son cruciales para el rendimiento. Es aplicable a todas las industrias y cadenas de valor y es exhaustiva pero flexible. El objetivo es desarrollar un marco objetivo, cuantitativo y flexible, que identifique los riesgos y oportunidades para determinar las prioridades circulares y establecer objetivos (WBCSD, 2020).

CTI proporciona información sobre la optimización general del uso de los recursos y el vínculo entre los flujos de materiales circulares de la empresa y su rendimiento empresarial. No evalúa los impactos ambientales y sociales de las actividades circulares de la empresa.

Es una herramienta con plataforma online ([www.app.ctitool.com](http://www.app.ctitool.com)) que ayuda a las empresas preparar la evaluación e interpretar sus resultados, a comprender sus riesgos y oportunidades, a priorizar acciones y establecer objetivos SMART “*Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Timely*” para supervisar el progreso. Es de uso interno y se basa en datos demostrables. Esta herramienta proporciona resultados cuantitativos dejando que la empresa sea la que determine si los resultados se ajustan a sus ambiciones (WBCSD, 2020). La misma, evalúa aspectos como los materiales, el agua y las fuentes de energía mediante siete pasos: i) definir el alcance, ii) seleccionar indicadores, iii) recolectar datos, iv) calcular, v) analizar, vi) priorizar y, vii) aplicar.

#### 4.2.4.5 Circularity Check

*Circularity Check* es una herramienta de autoevaluación desarrollada por el grupo Ecopreneur (2019). Consiste en un cuestionario de 60 preguntas en una plataforma digital ([www.system.wesustain-esm.com](http://www.system.wesustain-esm.com)). Su objetivo es evaluar si un determinado producto/servicio es circular. La herramienta ofrece unos resultados cualitativos en los siguientes cinco grupos de análisis (Ecopreneur, 2019): i) diseño, adquisición y fabricación, ii) entrega, iii) uso, iv) recuperación y, v) sostenibilidad. Las preguntas de este cuestionario son cualitativas y no requieren de una información exacta.

La persona usuaria responde a las preguntas para puntuar la circularidad de un determinado producto y/o servicio. El resultado es la puntuación total de la circularidad (0-100%) y las puntuaciones parciales se dividen en 5 indicadores (0-100%): i) diseño, adquisición y fabricación, ii) entrega, iii) uso, iv) recuperación y, v) sostenibilidad que muestran los puntos fuertes y débiles de este producto/servicio. La herramienta calcula su puntuación y la presenta en diagramas de barra y de araña (Ecopreneur, 2019).

#### **4.2.4.6 CEIP**

La herramienta CEIP creada por Cayzer et al. (2017) tiene como objetivo evaluar el rendimiento de los productos en el contexto de la EC. Está disponible en una hoja de cálculo Excel. Utiliza un cuestionario de 15 ítems cualitativos divididos en 5 etapas del ciclo de vida: i) diseño o rediseño, ii) fabricación, iii) comercialización, iv) uso y, v) fin de vida. Una vez completado el cuestionario se obtiene una puntuación global del rendimiento de circularidad del producto, además de un diagrama de araña que muestra el rendimiento de la circularidad en las cinco etapas del ciclo de vida (Cayzer et al., 2017).

#### **4.2.4.7 CIRCit**

CIRCit, es una herramienta creada por un consorcio de instituciones líderes clave en investigación, innovación y redes industriales en los cinco países nórdicos (CIRCit Nord, 2019). CIRCit Nord (2019) tiene como objetivo ayudar a la industria nórdica a descubrir e implementar las oportunidades de la EC, a través del desarrollo, prueba e implementación de herramientas basadas en la ciencia.

El proyecto abarca seis áreas de enfoque de EC: i) evaluación de la sostenibilidad de la EC, ii) modelado de negocios de EC, iii) diseño y desarrollo de productos circulares, iv) EC inteligente, v) cerrar el círculo para una EC y, vi) colaboración y creación de redes para una EC (CIRCit Nord, 2019). La herramienta está accesible en un archivo Excel, y considera aspectos relacionados con: i) el compromiso de la empresa, ii) materiales, iii) diseño y desarrollo, iv) logística /logística inversa, v) mercado y, vi) clientes.

#### **4.2.4.8 MATChE**

MATChE consiste en una herramienta creada por la Technical University of Denmark en (2019) con el objetivo de ayudar a las empresas a entender dónde se encuentra su potencial, explorar qué oportunidades e iniciativas circulares tiene y establecer los pasos necesarios para ejecutar y ampliar dichas iniciativas (MATChE, 2019).

La metodología MATChE se basa en la investigación y los estudios científicos realizados por la Technical University of Denmark y considera ocho dimensiones de las operaciones empresariales para la transición a una empresa circular (MATChE, 2019):

- Política y mercado: mide la preparación externa de los marcos legislativos y los mercados para el desarrollo y la provisión de soluciones circulares.
- Estrategia e innovación del modelo de negocio: mide las capacidades para permitir el desarrollo de una estrategia a largo plazo, que está vinculada al desarrollo de nuevos modelos de negocio que pueden ofrecer una mayor competitividad y crecimiento.

- Innovación de productos/servicios: mide las capacidades necesarias para desarrollar nuevas soluciones que sean adecuadas en un contexto de EC.
- Fabricación y cadena de valor: mide las capacidades que le ayudarán a crear nuevos compromisos y asociaciones en la cadena de valor.
- Tecnología y datos: mide las capacidades de creación de valor, a través de la mejora de la gestión de datos y el intercambio de las soluciones.
- Uso, soporte y mantenimiento: mide la necesidad de capacidades para proporcionar servicios mejorados de mantenimiento y reparación, con el objetivo de ampliar la creación de valor a partir de las soluciones.
- Estrategias de recuperación y fin de vida útil: mide las capacidades que garantizarán el máximo valor de los productos al final de su vida útil.
- Organización: mide las capacidades empresariales internas de su empresa para poder aplicar nuevos conceptos.

MATChE, consiste en un cuestionario de 30 preguntas cualitativas divididas en las ocho dimensiones, donde una vez respondidas las preguntas, se obtienen unos resultados cuantitativos con una puntuación del 1 (el más bajo) al 5 (el más alto), en 9 áreas diferentes: i) mantenimiento y posventa, ii) sostenibilidad, iii) inteligencia de mercado y desarrollo empresarial, iv) ventas y marketing, v) innovación de productos y servicios, vi) logística inversa y gestión de residuos, vii) gestión de la cadena de suministro y operaciones, viii) gestión del cambio y, ix) cumplimiento, normalización y presión política. La herramienta dispone de una plataforma online ([www.ready2loop.org](http://www.ready2loop.org)).

### **4.2.4.9 CET**

CET es una herramienta de evaluación para identificar la mejora potencial de la circularidad de productos desarrollada por Evans et al. (2019). Consiste en responder, en un formato trinario (sí/parcialmente/no o alto/medio/bajo) a 33 preguntas divididas en 7 subcategorías similares a las etapas del ciclo de vida consideradas en una evaluación cualitativa medioambiental:

- 7 preguntas relacionadas con diseño, fabricación y distribución.
- 3 relacionadas con el uso.
- 6 relacionadas con el mantenimiento y reparación del producto.
- 3 relacionadas con la reutilización y redistribución del producto.
- 10 relacionado con el reacondicionamiento y la refabricación.
- 2 relacionados con el producto como servicio.
- 2 relacionados con el reciclaje del producto al final de su vida útil.

CET dispone de plataforma online ([www. http://circulareconomytoolkit.org/](http://circulareconomytoolkit.org/)) para responder a las preguntas del cuestionario. Los resultados los envían a través del correo electrónico.

### 4.2.5 Correlación entre herramientas diagnóstico y normas armonizadas

Una vez identificadas y analizadas las nueve herramientas de diagnóstico de EC se ha llevado a cabo el mismo procedimiento que con la revisión de la literatura académica (A.1). La Tabla 14 presenta la relación de las preguntas de las herramientas diagnóstico con los ítems recogidas en la estructura de las normas armonizadas.

**Tabla 14:** Ítems de las normas armonizadas Vs. Preguntas herramientas (adaptado de Urain et al. (2022))

Ítems de las Normas Armonizadas		Herramientas de diagnóstico								
		CIRCelligence	Circularity Gap Metric	Circulytics	CTI	Circularity Check	CEIP	CIRCit	MATChE	CET
Contexto externo	Legislativo									X
Liderazgo	Política			X						
	Compromiso								X	
Apoyo	Responsabilidades									
	Recursos									X
	Competidor			X						X
	Concienciación			X						
	Comunicación									
	Marketing			X					X	
Contexto interno	Requisitos del producto/servicio			X						X
	Materiales	X	X	X	X			X		
	Diseño y desarrollo					X	X	X		X
	Procesos, productos y servicios suministrados externamente									
	Operativo					X	X			X
	Producción y prestación de servicios									
	Liberación de productos/servicios									
	Control de productos no conformes									X
	Respuesta de emergencia									
	Logística / Logística inversa					X		X		X
Partes interesadas	Tecnología									X
	Mercado							X	X	
	Sociocultural									
	Económico									
	Ambiental			X		X				
	Clientes			X		X		X		

Ítems de las Normas Armonizadas	Herramientas de diagnóstico								
	CIRCelligence	Circularity Gap Metric	Circulytics	CTI	Circularity Check	CEIP	CIRCit	MATChE	CET
Consumidores					X				
Proveedores			X						
Socios			X				X		
Personal interno									
Competidores									
Administración									

Llama la atención la poca relación que hay entre las preguntas que abordan las 9 herramientas y los ítems. Esto puede indicar que los grupos desarrolladores no han considerado las normas armonizadas a la hora de diseñar los cuestionarios, sino que se han centrado en dar un enfoque de EC. Como se puede apreciar en la Tabla 14, ninguna de las herramientas tiene en consideración la estructura de las ISO 9001:2015 e ISO 14001: 2015. Además, faltan por considerar aspectos como: i) en el liderazgo, las responsabilidades, ii) en los procesos operativos, procesos, productos y servicios suministrados externamente, liberación de productos/servicios y respuesta de emergencia y iii) en partes interesadas, sociocultural, económico, personal interno, competidores y administración.

De todas las herramientas, la más completa es Circulytics (10 de 19 ítems), seguida por CIRCit, *Circularity Check* y MATChE.

En cuanto a los ítems, por un lado, se observa que los más mencionados son: i) materiales (5 de 9 herramientas) y ii) diseño y desarrollo del producto (4 de 9 herramientas). Estos mencionan los productos y servicios que las empresas ofrecen y, por tanto, se infiere que las herramientas los tienen en cuenta para medir la circularidad. Por otro lado, destaca el poco interés de incorporar aspectos legislativos en los cuestionarios. Además, tampoco mencionan nada sobre la comunicación, marketing e información documentada, siendo aspectos de valor para dar a conocer la herramienta y demostrar a las empresas que todo lo que hacen se queda registrado para utilizarlo cuando sea necesario.

Circulytics utiliza datos cuantitativos, el resto, utiliza información cualitativa. El resultado de los cuestionarios no visualiza un valor general del diagnóstico realizado y tampoco relaciona el resultado con las estrategias y soluciones de la EC (Potting et al. 2017). La información proporcionada en los cuestionarios puede agruparse de la siguiente manera: i) escala de valores, ii) preguntas abiertas y iii) respuesta sí/no.

Por último, las herramientas disponen de una plataforma web o hoja Excel para realizar el diagnóstico. En las que son plataforma web es necesario registrarse para hacer uso de la herramienta y una vez realizado el análisis, los resultados no se obtienen de forma inmediata. Igualmente, no todas las plataformas web son intuitivas y fáciles de utilizar, por lo que es otro aspecto a tener en cuenta, ya que la facilidad de acceso y de utilización hace que el usuario tenga una experiencia agradable.

## **4.2.6 ICEQ**

El desarrollo del cuestionario ICEQ comienza con la definición de las especificaciones que debe de cumplir. Posteriormente, se diseña y desarrolla el mismo. Después se valida en 30 empresas de 17 sectores y finalmente se obtienen conclusiones y oportunidades de mejora.

### **4.2.6.1 Especificaciones**

Las especificaciones que el cuestionario diagnóstico ICEQ debe cumplir se muestran a continuación:

- Debe dar respuesta a los 19 ítems de las normas ISO 9001:2015 e ISO 14001:2015 (Tabla 13). Es decir, contexto externo, contexto interno y partes interesadas.
- Debe preguntar aspectos relacionados con las cuatro estrategias (Bocken et al., 2016) y nueve soluciones (Blomsma et al., 2019, Potting et al., 2017) de la EC.
- Debe disponer de diferentes opciones de respuesta como: i) opción múltiple, ii) abierta, iii) respuesta a desarrollar y, iv) escala Likert en función del nivel de aplicación (Hill et al., 2006). La escala Likert se ha definido en 5 puntos, 1 (Totalmente en desacuerdo) y 5 (Totalmente de acuerdo), con la opción adicional, No aplicable. Este sistema de medición permite el análisis descriptivo y pone de manifiesto las correlaciones entre los distintos campos y temas.
- La obtención de resultados del cuestionario se realizara de la siguiente manera:
  - Las preguntas relacionadas con el contexto externo sirven para contextualizar y sensibilizar a la empresa en el ámbito de la EC. Según Topaloğlu & Er, (2017) la literatura destaca el diseño a la hora de liderar y dar forma a las estrategias de las empresas, concebir nuevos modelos de negocio e impulsar cambios y renovaciones organizativas. Las investigaciones revelan que el diseño también puede ser un recurso valioso en la formación de la estrategia por ayudar a definir los objetivos corporativos y aportar ideas sobre posibilidades de negocio, nuevas direcciones y oportunidades que pueden inspirar y dar forma a la estrategia (Bruce & Bessant, 2002; R. Sanchez, 2006; Weiss, 2002). Por ello, a la hora de definir los porcentajes tanto de los grupos principales para obtener la valoración

global, como de los contextos internos, se han enfatizado los aspectos relacionados con el diseño, dando mayor importancia a los procesos operativos de la empresa. El resultado del nivel de madurez de la empresa se obtiene considerando los siguientes porcentajes de los grupos de preguntas:

- 30% del resultado obtenido con las preguntas de liderazgo o procesos estratégicos (de ahora en adelante).
  - 50% del resultado obtenido con las preguntas de procesos operativos.
  - 20% del resultado de las preguntas de procesos de apoyo.
- Los ítems correspondientes al análisis de los procesos operativos tienen mayor peso. Teniendo en cuenta que el 80% del impacto total del producto se determina en la fase de diseño (Charter & Tischner, 2017; European Commission et al., 2014) y que definir la especificación desde el inicio del diseño permite optimizarlo bajo esa característica (Chakrabarti et al., 2004), es importante considerar los requisitos del producto/servicio ofrecido para reducir su impacto en el medioambiente (Casamayor & Su, 2013). Asimismo, el cálculo de los tres bloques del contexto interno se estructura de la siguiente forma:
- Procesos estratégicos: promedio de las respuestas pertenecientes a este grupo de preguntas.
  - Proceso operativo: 50% de la media de las respuestas obtenidas en el grupo de preguntas de requisitos del producto/servicio, 30% de la media de las preguntas de desarrollo del producto/servicio, 10% de la media de las respuestas del grupo de producción y 10% de la media de las respuestas del grupo de compras.
  - Proceso de apoyo: media de las respuestas pertenecientes a este grupo de preguntas.
- Obtener resultados relacionados con las cuatro estrategias de la EC (regenerar, optimizar recursos, alargar la vida útil y cierre de ciclos).
- El cuestionario debe ser intuitivo y fácil de completar.
- La/s persona/s que completa/n el cuestionario debe de tener una visión holística del funcionamiento de la empresa y en caso contrario crear un equipo multidisciplinar. Además, Requiere de conocer cuáles son las cuatro estrategias y nueve soluciones de la EC.
- Al comienzo se debe caracterizar la empresa (Figura 37): i) nombre del proyecto, ii) unidad de negocio a la que pertenece, iii) descripción de la unidad de negocio, iv) bloques de análisis que no aplican a la unidad de negocio, v) las actividades clave, vi) sector al que pertenece, vii) posicionamiento tecnológico de la empresa y, viii) posición que ocupa la unidad de negocio en la cadena de valor.

**Nombre del proyecto:**

**Unidad de negocio a la que pertenece:**

**Descripción de la unidad de negocio:**

**Alguno de los siguientes bloques de análisis no aplica a la unidad de negocio:**

Diseño / desarrollo de producto / servicio

Producción

**Entre las siguientes actividades/procesos, ¿Cuáles son las actividades clave?**

Proceso de diseño

Proceso de compras

Proceso productivo

Servicios asociados

**Figura 37:** Creación de proyecto en la plataforma CircularTRANS (Mondragon Unibertsitatea, 2024)

- Una vez completado el cuestionario, la empresa obtiene los resultados generales en una escala del 1 al 5 (Tabla 15) considerando como base principal los niveles de madurez definidos en BSI 8001:2017 (The British Standards Institutions, 2017). El nivel de madurez se calcula teniendo en cuenta los valores obtenidos en los distintos apartados del cuestionario diagnóstico: procesos estratégicos, procesos operativos y procesos de apoyo que a su vez están relacionados con las estrategias de la EC.

**Tabla 15:** Definición de la escala empleada para definir el nivel de madurez

Nivel	Valores	Descripción
5	4,2-5	ESTRATÉGICO: Formas organizativas, el modelo de negocio y la creación de valor totalmente alineadas con la EC. Se destaca por la innovación en el modelo de negocio.
4	3,4-4,2	COMPROMISO: La propuesta de valor de la organización está alineada con las estrategias de la EC. Se destaca por la innovación en producto/servicio/producción.
3	2,6-3,4	OPERATIVO: Las formas de trabajar se alinean con la economía circular, aunque el trabajar sobre la EC no esté estructurada.
2	1,8-2,6	BÁSICO: Hay indicios de que la organización desea alinear su actividad a la EC.
1	1-1,8	INCIPIENTE: Se caracteriza con acciones limitadas y acciones legalmente exigidas.

### 4.2.6.2 Diseño y desarrollo

El objetivo de ICEQ es evaluar el grado de implementación de la EC en las empresas. Para cumplir con las especificaciones mencionadas en el apartado anterior se ha desarrollado un cuestionario diagnóstico compuesto por 165 preguntas (anexo A.2). Se han examinado las 750 preguntas recopiladas de la revisión bibliográfica (Tabla 11), así como, las preguntas de las nueve herramientas diagnóstico de EC con el fin de seleccionar y reformular las mismas para que puedan dar respuesta a los ítems de las normas y asegurar que las preguntas están relacionadas con las estrategias y soluciones de la EC. La Figura 23 muestra el número de preguntas relacionadas con cada uno de los 10 grupos (proveedores, sociedad, medioambiente, mercado, legislativo, tecnológico, clientes, procesos estratégicos, procesos operativos y procesos de apoyo).

Para poder cuantificar el nivel de EC de la organización y poder determinar el impacto en cada una de las estrategias de la EC, los investigadores de la tesis doctoral han realizado una correlación entre las preguntas y las estrategias y soluciones de la EC mostradas parcialmente en la Tabla 16.

**Tabla 16:** Preguntas relacionadas con los procesos operativos (parcial)

Proceso operativo - Producto/servicio ofrecido	Estrategias y Soluciones de EC									
	Alargar la vida útil					Cierre de ciclos		Optimizar recursos	Regenerar	
	Reutilizar	Reparar	Reacondicionar	Readaptar	Remanufacturar	Reciclar	Recuperar	Reducir	Repensar	Rechazar
La compra del producto o servicio requiere una inversión importante por parte del cliente.	X	X	X		X		X			
El ciclo tecnológico de la propuesta de valor se sitúa (1: Ciclo tecnológico corto; 5: Ciclo tecnológico alto)	X	X	X		X	X			X	
La vida útil esperada del producto se sitúa en el siguiente rango (1: Un solo uso; 5: Uso de por vida)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Tras la venta, se mantiene el contacto con el cliente o usuario final.		X					X		X	
La propiedad del producto sigue siendo de la empresa y se ofrece el servicio.	X	X	X	X	X			X	X	
Una vez que el producto o parte de él deja de utilizarse, sigue teniendo valor.	X	X	X	X	X		X	X	X	

Proceso operativo - Producto/servicio ofrecido	Estrategias y Soluciones de EC									
	Alargar la vida útil					Cierre de ciclos	Optimizar recursos	Regenerar		
	Reutilizar	Reparar	Reacondicionar	Readaptar	Remanufacturar	Reciclar	Recuperar	Reducir	Repensar	Rechazar
Una vez que deja de utilizarse, la empresa recupera el producto.	X	X	X		X		X			
La fidelidad y el apego de los clientes al producto es primordial.	X	X	X	X	X					
Se ofrecen facilidades para el uso compartido del producto.								X	X	
Se ofrecen recambios y accesorios para los productos	X	X	X		X			X		

Finalmente, el cuestionario se ha integrado en una plataforma tecnológica web CircularTRANS para lograr que sea intuitivo y fácil de usar. Así una vez completado el cuestionario la plataforma calcula los resultados y se comunican agrupándolos (Figura 24) en: i) nivel de madurez en EC, ii) procesos internos, iii) estrategias de EC y, iv) comparativa de las estrategias de EC frente a otras empresas del sector.

#### 4.2.6.3 Validación

Para validar el cuestionario ICEQ se ha hecho un llamamiento para la participación de empresas de la CAPV. El método de captación ha consistido en celebrar jornadas abiertas dirigidas a empresas industriales. De todas las convocatorias realizadas, 30 empresas de 17 sectores diferentes han mostrado interés (Tabla 17).

**Tabla 17:** Información de las empresas participantes (adaptado de Urain et al. (2022))

Empresa	Descripción	Sector	Tamaño	Contacto
A	Empresa de distribución de máquina herramienta para el sector del mecanizado de la madera y aluminio. Ofrece servicios asociados como el mantenimiento a sus clientes.	Máquina herramienta (MH)	11-49 trabajadores (empresa pequeña)	Gerente y Comercial
B	Empresa dedicada al diseño y construcción de procesos hidráulicos, líneas de estampación en caliente y líneas de prensado en automatización/integración de prensas.	MH	50-249 trabajadores (empresa mediana)	Director de producto
C	Fabricante de máquinas herramientas especiales, principalmente para el sector de la automoción.	MH	11-49 trabajadores (empresa pequeña)	Gerente
D	Fabricante de máquina herramienta especializado en máquinas laser, fresadoras y tornos verticales.	MH	50-249 trabajadores (empresa	Calidad y Diseño

## Capítulo 4. Guía CircularTRANS

Empresa	Descripción	Sector	Tamaño	Contacto
			mediana)	
E	Diseño y fabricación de máquinas e instalaciones para el embalaje. Servicio a lo largo del ciclo de vida.	MH	50-249 trabajadores (empresa mediana)	Director de I+D
F	Empresa especializada en el diseño y fabricación de sistemas de seguridad para la detección de gases.	Bienes equipo	de 11-49 trabajadores (empresa pequeña)	Gerente
G	Empresa fabricante de frenos de motor, embragues y unidades de giro intermitente para el sector de la MH.	Bienes equipo	de 50-249 trabajadores (empresa mediana)	Calidad, I+D
H	Diseño y construcción de sistemas automáticos.	Bienes equipo	de 11-49 trabajadores (empresa pequeña)	Director de I+D
I	Reparación y mantenimiento de máquinas eléctricas rotativas, servomotores y servosistemas electrónicos.	Bienes equipo	de >250 trabajadores (empresa grande)	Gerente
J	Especializada en la fabricación de piezas unitarias y pequeñas series de cualquier tipo de mecanizado.	Mecanizado y transformación metalmecánica	11-49 trabajadores (empresa pequeña)	Gerente
K	Empresa especializada en la fabricación de tuercas autoblocantes, fabricación de piezas, mecanizado en tornos multi husillo y control numérico.	Mecanizado y transformación metalmecánica	11-49 trabajadores (empresa pequeña)	Director General
L	Especializada en mecanizados de precisión y geometrías complejas en todo tipo de materiales.	Mecanizado y transformación metalmecánica	11-49 trabajadores (empresa pequeña)	Gerente
M	Fabricante de máquinas para el sector sanitario. Máquinas para operaciones de columna.	Salud	11-49 trabajadores (empresa pequeña)	Gerente
N	Empresa especializada en servicios innovadores en el sector de la salud y el bienestar.	Salud- Biotecnología	1-10 trabajadores (micro empresa)	Director de I+D, director de Marketing y director de Producción
O	Empresa que se dedica a la fabricación de piezas y moldes de composites y piezas de poliéster.	Gestión residuos	de 1-10 trabajadores (micro empresa)	Gerente
P	Empresa integradora cuyo objetivo es la recuperación y comercialización de todo tipo de residuos, a través de cuya actividad se pretende la integración social y laboral de colectivos desfavorecidos.	Gestión residuos	de >250 trabajadores (empresa grande)	Director de I+D
Q	Empresa dedicada al embalaje de grandes dimensiones para el transporte marítimo. Suele utilizar embalajes de madera.	Envases embalajes	y 11-49 trabajadores (empresa pequeña)	Gerente
R	Fabricante de envases y moldes de plástico para el sector alimentario y no alimentario.	Envases embalajes	y 50-249 trabajadores	Director de I+D

## Capítulo 4. Guía CircularTRANS

Empresa	Descripción	Sector	Tamaño	Contacto
			(empresa mediana)	
S	Empresa fabricante de componentes para el sector de la automoción.	Automoción	>250 trabajadores (empresa grande)	Responsable de medioambiente
T	Grupo empresarial que concentra su actividad en los sectores de transporte de pasajeros, electromovilidad, electrónica, motores y generadores eléctricos, conectividad y energía.	Automoción	>250 trabajadores (empresa grande)	Responsable de medioambiente
U	Diseño y fabricación de componentes para electrodomésticos.	Bienes de consumo	>250 trabajadores (empresa grande)	Director de unidad de negocio
V	Empresa especializada en el reciclaje de PET para fabricar productos útiles para la industria.	Textil	50-249 trabajadores (empresa mediana)	Gerente
W	Fabricante de pulverizadores utilizados en el sector agrícola e industrial.	Agroalimentación	50-249 trabajadores (empresa mediana)	Calidad I+D
X	Empresa dedicada a la fabricación y venta de muebles para el hogar.	Mobiliario	50-249 trabajadores (empresa mediana)	Gerente
Y	Empresa de referencia en Europa en la producción y elaboración de productos de chocolate y cacao.	Alimentación	>250 trabajadores (empresa grande)	Director de operaciones
Z	Especialista en el diseño, fabricación, mantenimiento e innovación de ascensores, escaleras mecánicas, rampas y pasillos.	Transporte vertical	>250 trabajadores (empresa grande)	Director de innovación y estrategia
AA	Empresa innovadora de diseño, ingeniería, fabricación e instalación.	Metal	50-249 trabajadores (empresa mediana)	Director de producto
AB	Empresa de transformación de elastómeros de silicona.	Industria Química	11-49 trabajadores (empresa pequeña)	Calidad
AC	Fabricante y proveedor de encofrados, cimbras y andamios.	Construcción	>250 trabajadores (empresa grande)	Responsable de medioambiente y calidad
AD	Empresa que ofrece un servicio público, basado en la calidad, la eficiencia y la seguridad, satisface las necesidades de movilidad de los ciudadanos y garantiza una mayor libertad en el tránsito de mercancías.	Ferroviario	>250 trabajadores (empresa grande)	Responsable de medioambiente

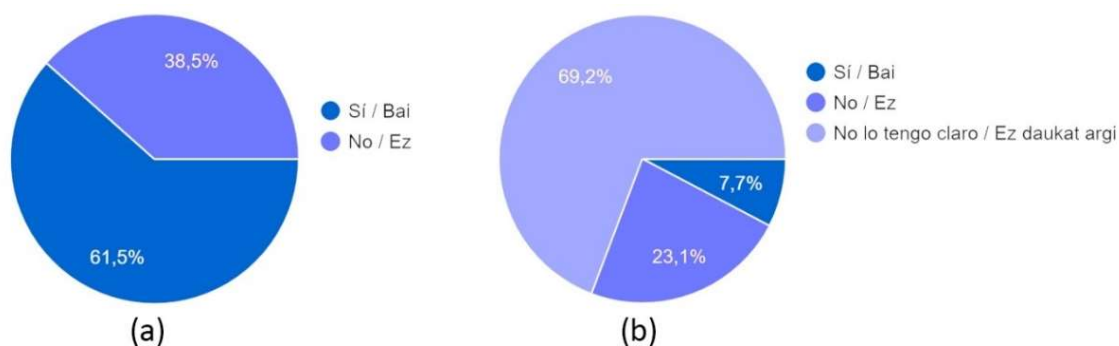
Para llevar a cabo la experimentación, el equipo investigador compuesto por 2÷3 personas han visitado cada una de las empresas, donde antes de iniciar el cuestionario diagnóstico, la/s

persona/s de la empresa han tenido que responder a tres preguntas (Tabla 18) para asegurar un conocimiento mínimo sobre la EC.

**Tabla 18:** Cuestionario inicial para empresas

Preguntas	Tipo de respuesta
¿Conoces qué es la EC?	Sí / No
¿Sabes en qué consiste la EC?	Sí / No / No lo tengo claro
¿Dónde has oído hablar sobre la EC?	En la calle / Medios de comunicación / En artículos / En el trabajo / Otros

La Figura 38 muestra los resultados de ese primer cuestionario inicial. En él se aprecia que el 92,3% no sabe o no tiene claro en qué consiste la EC por lo que necesitan de una formación básica, siendo este el primer paso que se realiza.



**Figura 38:** Resultados del cuestionario sobre conocimiento de EC: a) Pregunta 1, b) Pregunta 2

Las sesiones, con una duración de alrededor de dos horas, han sido grabadas con el permiso de los presentes, para no perder información sobre lo que se estaba discutiendo y las opiniones que se han ido dando acerca de ICEQ. Asimismo, mientras las personas responsables de la empresa completaban el cuestionario, el equipo ha ido anotando fallos y cambios propuestos en relación a las preguntas por las personas participantes, ya que, por la redacción de algunas de ellas, no eran fáciles de comprender y, por tanto, daba pie a confusiones. Además, durante el proceso, se ha ayudado a los participantes resolviendo dudas que han ido surgiendo a medida que han completado el cuestionario.

Al finalizar la reunión y después de complimentar ICEQ se ha entregado a las empresas un breve cuestionario de evaluación para valorar la utilidad, facilidad de uso y validez de ICEQ, cuyos resultados han sido positivos. El cuestionario y los resultados pueden verse en el apartado de anexo A.3. De las 30 empresas participantes, el 93,3% mencionan que ICEQ les ha ayudado a empezar a trabajar la EC. Además, el 56,7% afirma que el cuestionario es completo y fácil de rellenar. Finalmente, a la pregunta "¿Recomendaría ICEQ a otras empresas?" el 100% de las respuestas han sido afirmativas.

Los resultados obtenidos en la validación en las 30 empresas se han dividido en tres grupos (Tabla 19): i) la evaluación global de las empresas, ii) la evaluación del contexto interno y iii) la evaluación de las estrategias de EC de las empresas.

**Tabla 19:** Resultados obtenidos en la validación por las empresas

Sectores	Empresa	Evaluación global	Evaluación del contexto interno			Evaluación de las estrategias de EC			
			Procesos estratégicos	Procesos operativos	Procesos de apoyo	Regenerar	Alargar la vida útil	Optimizar recursos	Cierre de ciclo
MH	A	1,7	1,7	1,6	2,2	1,3	2,4	1,4	1
	B	2,8	2,6	3,2	2,1	2,2	2,8	3,7	1,8
	C	2,2	1,7	2,9	1,6	1,7	2,8	3,1	1,5
	D	2,7	2,5	3,1	2,6	2,3	2,9	3	1,5
	E	3,4	3,7	3,1	3,1	3,5	2,9	3,2	2
Bienes de equipo	F	3	2,8	3,2	3,1	2,4	2,9	3,8	2
	G	3	3,1	3,1	2,6	2,4	3,3	3,8	2
	H	2	1,5	2,7	1,8	1,8	2,3	2,8	1,3
	I	3,4	4,1	2,8	2,5	2,9	3,9	3,3	3
Mecanizado y transformación metalmecánica	J	1,8	2,1	1,3	2	1,5	2,1	2,7	1
	K	1,8	1,6	1,9	1,7	1,2	2,2	3,1	1,1
	L	1,6	1,4	1,7	2	1,2	1,7	2,6	1,1
Salud	M	2,6	2,4	3	1,8	2,2	3,1	3,1	1,4
	N	2,4	1,9	3,2	1,7	1,8	2,3	3,8	2,1
Gestión de residuos	O	3,3	4,5	2	2	2,3	3,3	1,6	3,6
	P	3,1	4,5	1,3	3,8	3,1	3,2	2,1	2,8
Envases y embalajes	Q	2,8	3,3	2,2	2,8	2,5	2,5	3,4	2,6
	R	3,3	4,1	2,5	2,7	3,5	2	3,2	2,7
Automoción	S	3,3	4	3,7	3,4	2,9	3,1	4,3	3,1
	T	3,6	3,7	3,3	3,6	3,1	3,5	3,3	2,2
Bienes de consumo	U	2,5	2,5	2,7	1,9	2,1	2,1	3,7	1,9
Textil	V	3,2	3,5	2,9	3,3	2,9	1,9	3,1	3,7
Agroalimentación	W	3	3,1	3,1	2,6	2,5	3,2	3,7	2
Mobiliario	X	2,5	2,4	2,6	2,5	2,1	2,6	2,9	2,1
Alimentación	Y	2,7	3,1	2,1	3,6	2,8	1,5	2,4	2,3
Transporte vertical	Z	3,1	2,8	3,4	3,4	2,4	3,6	4,2	2
Metal	AA	2,9	2,8	3,5	2,7	2,4	3,2	3,9	1,9
Industria Química	AB	2,4	2,6	2,1	2,6	2,2	2,6	3,2	1,9
Construcción	AC	3,1	3,2	3,2	2,2	3,2	3,4	3	2
Ferrovial	AD	2,3	2,9	1,9	2,9	2,6	1,2	2,3	2,2

En cuanto a la evaluación global de las 30 empresas, el 63,4% obtiene un resultado entre 2,6-3,6 sobre 5 situándose en el nivel operativo (Tabla 15), esto es, la forma de trabajar de las empresas esta alineada con la EC. De estos sectores, el más destacado es el de automoción. Por el contrario, el 36,6% de las empresas (11/30) no alcanzan el nivel operativo (>2,6) situándose en un nivel incipiente (Tabla 15).

Por otro lado, analizando los resultados del contexto interno y comenzando con los resultados del proceso estratégico, el sector de gestión de residuos destaca indiscutiblemente con una puntuación media de 4,5 sobre 5. Por el contrario, el sector de mecanizado y transformación metalmecánica obtiene la puntuación más baja con una media de 1,7 sobre 5. Siguiendo con los resultados obtenidos en los procesos operativos, el sector más destacado es el de automoción con una puntuación media de 3,5. Esto puede atribuirse al hecho de que las empresas de automoción deben cumplir la legislación sobre VFU. Por el contrario, una vez más, mecanizado y transformación metalmecánica es el sector con el resultado menor con una media de 1,6 sobre 5. Por último, comprobando los resultados del proceso de apoyo, el sector mejor posicionado es automoción con una media de 3,5 sobre 5. Por el contrario, salud, es el sector con el resultado más bajo (1,75 sobre 5).

Asimismo, si se analizan los resultados obtenidos de las estrategias de la EC, en cuanto a la estrategia regenerar, los sectores con la media más alta son los de envases y embalajes y automoción, ambos con una puntuación media de 3 sobre 5. Esto se debe a que dichos sectores tienen cambios en la legislación. No obstante, el sector de mecanizado y transformación metalmecánica es el peor, con una puntuación media de 1,3 sobre 5. Los resultados más elevados en cuanto a la estrategia alargar la vida útil corresponden al sector transporte vertical (3,6 sobre 5). Por el contrario, el sector ferroviario es el peor clasificado con una puntuación de 1,2 sobre 5. En cuanto a la estrategia optimización de recursos, el sector con mayor puntuación es el de transporte vertical, con un 4,2 sobre 5. Por el contrario, la gestión de residuos, con una puntuación media de 1,85 sobre 5, es el peor posicionado. Por último, cierre de ciclos está liderado por el sector textil con una puntuación de 3,7 sobre 5, en comparación, el sector de mecanizado y transformación metalmecánica es el peor posicionado (1 sobre 5) una vez más.

### **4.2.7 Conclusiones y oportunidades de mejora**

Del análisis realizado en cuanto a los cuestionarios, encuestas y herramientas de diagnóstico de EC se deduce que:

- No ofrecen un resultado que integren las estrategias y soluciones de la EC.
- De cara a la integración de la EC en las organizaciones, se observa que se podrían incluir aspectos de la EC con un enfoque ISO
- Los cuestionarios y encuestas (anexo A.1) tienen una visión sesgada de la integración de la EC en la organización ya que no consideran los ítems principales de las normas ISO 9001:2015 e ISO 14001:2015.

- Las herramientas diagnósticas identificadas tampoco tienen en cuenta los ítems de las normas ISO 9001:2015 e ISO 14001:2015 (Tabla 14).

En cuanto al cuestionario diagnóstico ICEQ y su validación se concluye lo siguiente:

- Tras la validación, se identifica que existe una carencia formativa en las organizaciones en lo relativo a la EC por lo que se detecta la necesidad de ofrecer una formación básica inicial sobre EC.
- La gran mayoría de las empresas mencionan que ICEQ ha sido de ayuda para conocer en qué consiste la EC y saber por dónde mejorar. El proceso les permite reflexionar e identificar aspectos de la EC que podrían implementar en los procesos estratégicos, procesos operativos y procesos de apoyo.
- La validación de ICEQ ha permitido identificar la necesidad de KPIs para el seguimiento de la EC en las diferentes áreas funcionales de la organización, ya que las empresas carecen de indicadores para realizar dicho seguimiento.
- Por otra parte, las empresas fabriles mencionan la necesidad de una herramienta que les permita introducir aspectos medioambientales en los procesos productivos.
- Es importante que la persona que completa el cuestionario tenga una visión holística del funcionamiento de la empresa, ya que de lo contrario sería necesario crear un equipo multidisciplinar para poder obtener resultados más específicos.
- Es importante al completar el cuestionario centrarse en un único modelo de negocio o producto que ofrezca la empresa.
- Según las empresas, ICEQ es intuitivo y fácil de completar ya que se integran los ítems de las normas armonizadas.
- El cuestionario diagnóstico ICEQ integra las cuatro estrategias y nueve soluciones de la EC.

### 4.3 Modelo de indicadores INMOIN Circular

En la validación del nivel de madurez de una organización en EC obtenido mediante ICEQ se ha identificado la carencia de indicadores de EC en las empresas de la CAPV. Corona et al. (2019) y Iacovidou et al. (2017) consideran que la ausencia de indicadores es un obstáculo para realizar el seguimiento de las actividades, por ello, no se implementa ni evalúa de forma exhaustiva la información relativa a las estrategias de EC (Saidani, Kendall, et al., 2019; Smol et al., 2017; Tecchio et al., 2017). En consecuencia, todavía no se ha adoptado un marco de indicadores estandarizado para impulsar y mejorar las acciones en las empresas (M. De Wit et al., 2018).

La utilidad de los indicadores para evaluar el rendimiento de la circularidad es fundamental para mejorar y medir la viabilidad de los sistemas de producción de la EC y los modelos de negocio (Smol et al., 2017). Además, debido a la falta de coherencia entre los conceptos de EC y los indicadores, las empresas pueden tener dificultades durante su transición de un modelo de negocio lineal a uno de economía colaborativa (European Commission, 2015; Rincón-Moreno et al., 2021; Smol et al., 2017). En sus estudios, Trollman et al. (2021) indican que las empresas necesitan indicadores para mejorar su información, su confianza y su capacidad de transición a una EC.

Bonacorsi (2020), Moraga et al. (2019) y Sánchez-Ortiz et al. (2020) mencionan que las empresas usan indicadores ambientales para medir flujos de recursos como: eficiencia energética, pérdida de agua y generación de residuos. No obstante, Moraga et al. (2019) concluyen que los indicadores de EC desarrollados hasta el momento no miden todas las estrategias de EC ni todas las etapas del ciclo de vida. Además, Rincón-Moreno et al. (2021) consideran que la mayoría de los indicadores de circularidad no representan la naturaleza sistémica de la EC.

Es sabido que la UE ha realizado grandes esfuerzos para establecer un marco de seguimiento de los avances en materia de EC (Pacurariu et al., 2021). Estos servirán para ayudar a los responsables de la toma de decisiones empresariales a establecer objetivos adecuados y supervisar los avances (Janik & Ryszko, 2019). Los indicadores tienen la capacidad de resumir, centrar y considerar la complejidad del entorno dinámico con una cantidad manejable de conocimientos significativos (R. K. Singh et al., 2012) y contribuir a la toma de decisiones (Waas et al., 2014). Por lo tanto, se debe garantizar que los indicadores ofrezcan una visión holística de la EC. En consecuencia, deberían de considerar:

- Las cuatro estrategias (Bocken et al., 2016): regenerar, alargar la vida útil, optimizar recursos y cierre de ciclos.
- Las nueve soluciones a implementar para lograr la EC (Blomsma et al., 2019; Potting et al., 2017): rechazar, repensar, reducir, reutilizar, reparar, reacondicionar, remanufacturar, readaptar, reciclar y recuperar.

A su vez, las organizaciones cambian con el tiempo, no solo en cuanto a estrategias, sino también al liderazgo, innovación y estructura (Jirásek & Bílek, 2018). Además, queda añadir que integrar la EC en una estrategia empresarial es difícil porque requiere cambios en las redes organizativas (Eikelenboom & de Jong, 2022; Trollman et al., 2021). Por lo tanto, es necesario comprender la estructura organizativa de las empresas. Según varios autores (Amorós, 2007; Ivancevich et al., 1997; Mendoza et al., 1995; Mintzberg, 1988), la estructura organizativa es un conjunto de tareas que se divide en diferentes áreas funcionales intercomunicadas para alcanzar los objetivos propuestos. De todas ellas, se puede inferir que la estructura organizativa hace referencia a las divisiones que se llevan a cabo dentro de una empresa, diferenciándolas por el tipo de trabajo que se realiza.

En consecuencia, de cara a desarrollar el modelo de indicadores INMOIN Circular es necesario (Figura 39), en primer lugar, realizar un estado del arte donde se identifiquen los indicadores micro bajo una visión de: i) estrategias y soluciones de EC, ii) etapas del ciclo de vida y iii) áreas funcionales de la empresa. Por otro lado, es sabido que existe un *gap* entre la visión académica y la visión empresarial, según Väänänen et al. (2008) en la industria se tiene una perspectiva más práctica teniendo como objetivo el éxito en el mercado, por ello, se analiza el uso actual de KPIs en las empresas de la CAPV. Ambos análisis, permiten identificar los requisitos que debe cumplir el modelo de indicadores INMOIN Circular para integrar una visión holística de la EC en las áreas funcionales de la organización. Finalmente, se extraen conclusiones de la aplicación del modelo de indicadores INMOIN Circular y se identifican las oportunidades de mejora.

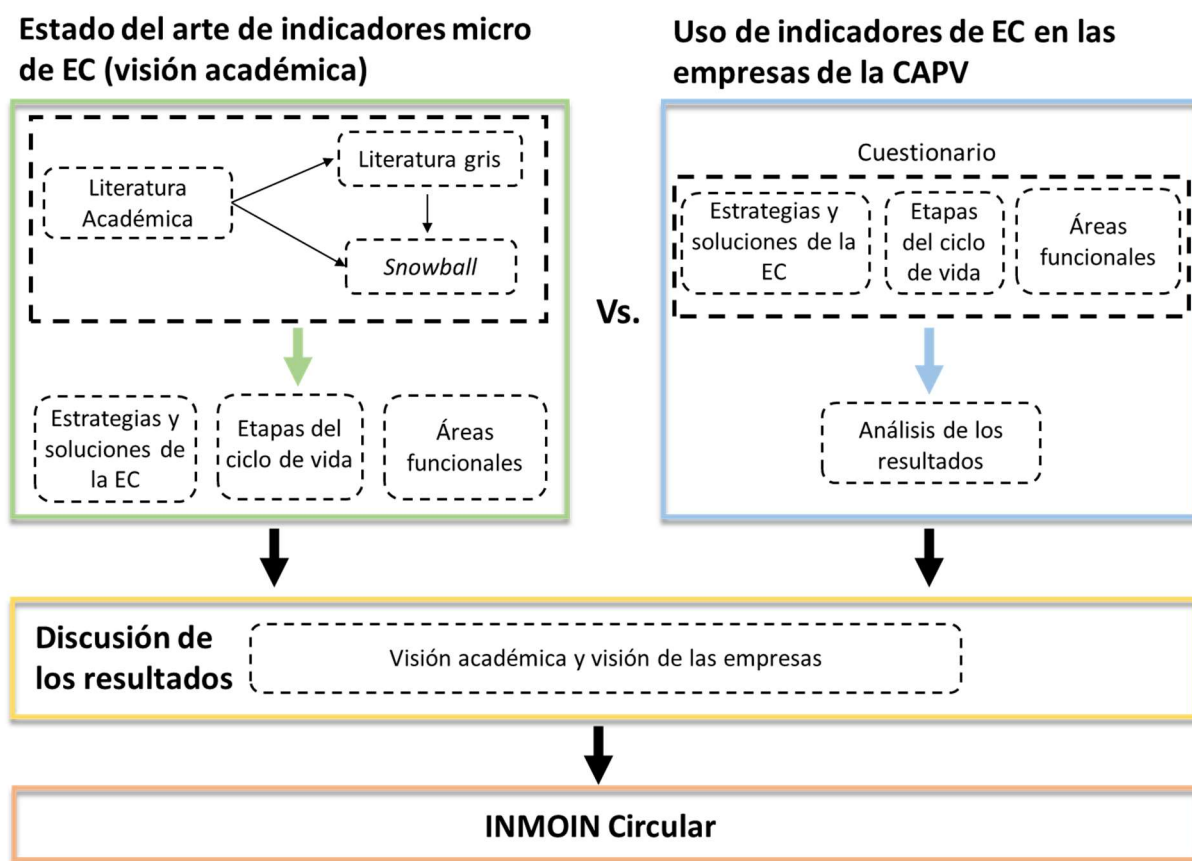


Figura 39: Metodología de investigación

### 4.3.1 Estado del arte de indicadores micro de EC (visión académica)

Para buscar artículos relevantes se ha realizado una búsqueda en WoS y Scopus, introduciendo los términos mostrados en la Tabla 20, “términos primarios” AND “términos secundarios” AND “términos terciarios” AND “términos cuaternarios”, donde se han considerado todos los artículos publicados en inglés desde el 2010 (año de creación de la Fundación Ellen MacArthur para acelerar la transición a la EC (World Economic Forum, 2022)) hasta enero 2023. Además, no se han impuesto restricciones geográficas y la búsqueda se ha elaborado por título, palabras clave y resumen.

El procedimiento seguido en la revisión sistemática del estado del arte y los resultados de la revisión se muestran la Figura 40. Los 89 artículos identificados a partir de la revisión bibliográfica, la literatura gris y el *snowballing* (método para identificar a partir de un conjunto inicial de artículos nuevas aportaciones para analizar utilizando citas y referencias (Douglas D & Christopher, 2017)), se recogen en el anexo A.4.

Tabla 20: Términos utilizados para la búsqueda

Términos primarios		Términos secundarios		Términos terciarios		Términos cuaternarios
"Literature review" OR "Literature survey" OR "Literature search" OR "Literature screening"	AND	"Circular economy" OR "Circularity"	AND	"Indicator" OR "Metric" OR "Score" OR "Index"	AND	"Enterprise" OR "Industr**" OR "Compan**" OR "Organisation**" OR "Business*"

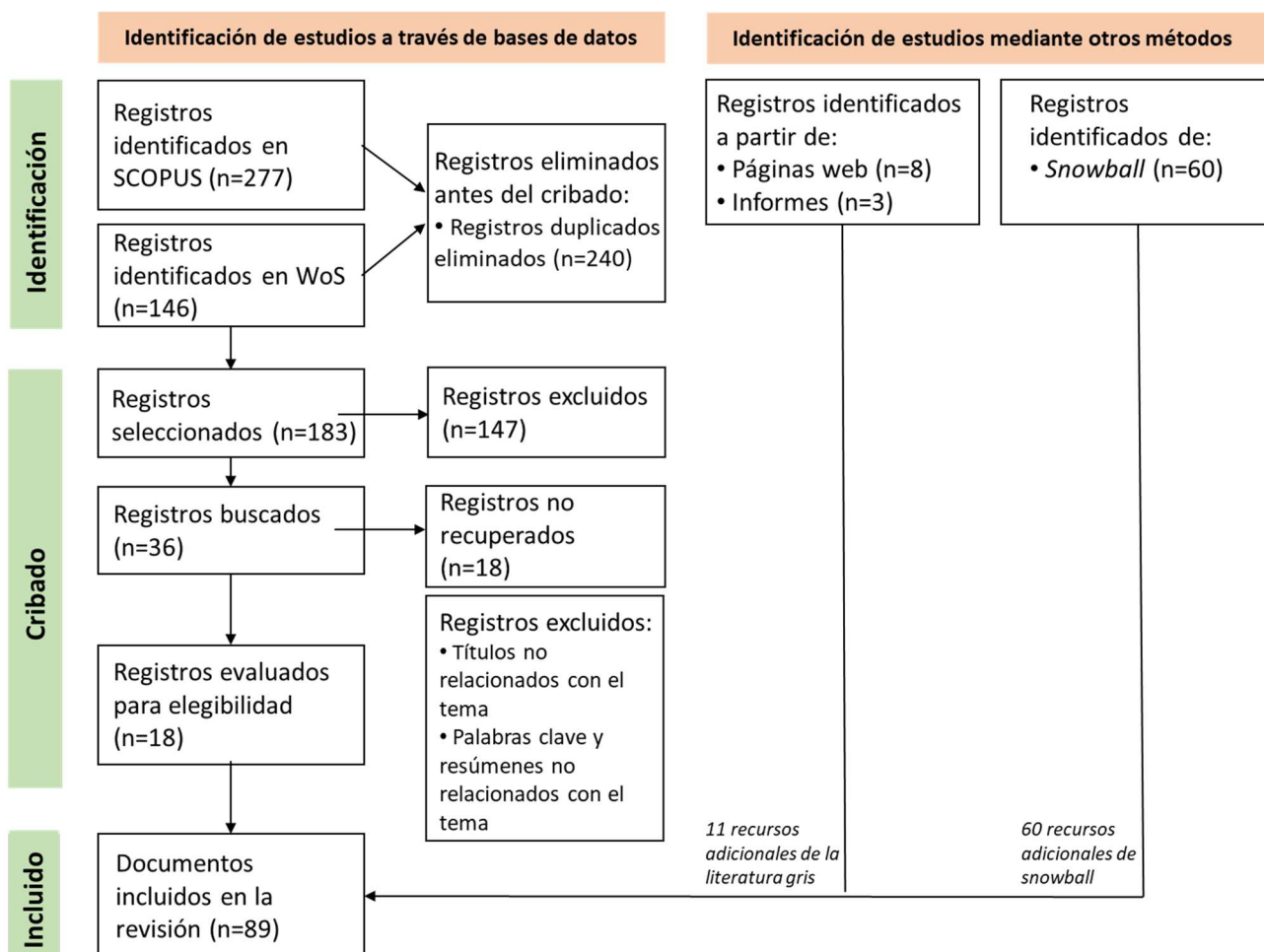


Figura 40: Procedimiento y resultados de la revisión sistemática de la literatura

A partir de los 89 artículos científicos se identifican un total de 120 indicadores. Para realizar el análisis más detallado se descartan aquellos que:

- Tengan enfoque académico, no centrado en la empresa, o
- tengan un alcance nacional, regional o global, o
- no se ha encontrado información como para analizarlos.

Descartando los indicadores que inciden en alguno de los criterios se han obtenido un total de 80 (anexo A.5). En el anexo, para cada indicador se concreta la siguiente información: i) nombre y acrónimo, ii) fuente y iii) descripción.

De cada uno de los 80 indicadores se ha realizado un análisis más exhaustivo en el que se han identificado las variables que consideran para hacer la evaluación, en total se identifican 884 variables (esta información no se adjunta en el documento, pero si alguna persona quiere disponer de ella tendría que ponerse en contacto con el equipo investigador).

A continuación, se muestran los resultados de los indicadores según: i) las estrategias y soluciones de EC, ii) las etapas del ciclo de vida y iii) las áreas funcionales.

#### 4.3.1.1 Estrategias y soluciones de EC

Para cada indicador se analizan las variables en las que se sustenta y se relacionan: i) con las cuatro estrategias en las que puede operacionalizarse la EC (Bocken et al., 2016) y ii) las nueve soluciones en las que se despliega la EC (Blomsma et al., 2019; Potting et al., 2017). Este análisis permite correlacionar cada indicador con las estrategias y las soluciones de la EC (anexo A.6). En la Tabla 21 se resumen en qué estrategias y soluciones de la EC impacta cada uno de los 80 indicadores:

- En cuanto a las cuatro estrategias, la estrategia de cierre de ciclo es la más considerada, un 91,25% (73/80) de los mismos. De los 80 indicadores, sólo uno, *Circularity Measurement Toolkit* (CMT) considera aspectos de las cuatro estrategias. Esta podría ser la razón por la que Moraga et al. (2019) concluye que los indicadores no miden todas las estrategias de EC (Rincón-Moreno et al., 2021). A su vez, sólo 7/80, es decir, el 8,75% de los indicadores consideran tres estrategias “*Circularity Assessment Model* (CAM), *Circularity Assessment Tool* (CAT), *Circular Economy Indicator Prototype* (CEIP), *Circularity Check* (Check), CMT, *Circular Potential Indicator* (CPI) y *Cradle to Cradle* (C2C)”.
- Respecto a las nueve soluciones de EC se observa que reciclar es la solución de EC más considerada por los indicadores, un 72,5% de los mismos (58/80). El indicador CMT es el que considera más soluciones de EC (7/9). De las nueve soluciones, el 5% (4/80) de los indicadores considera cuatro soluciones “CEIP, *CE Measurement Scale* (CEMS), Check y *Dissassembly Effort Index* (DEI)”.

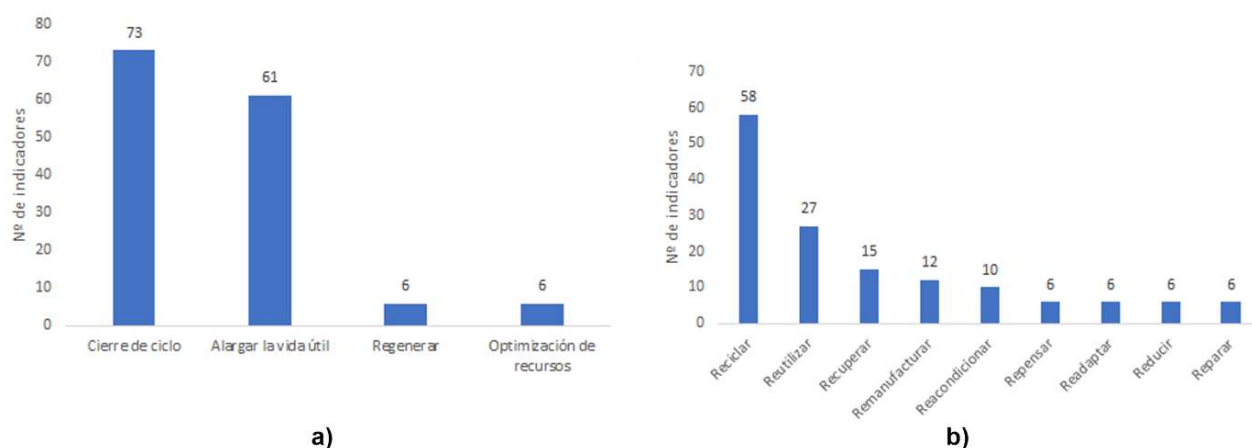
**Tabla 21:** Indicadores según estrategias y soluciones de la EC

Estrategias	Soluciones	Indicadores
<b>Cierre de ciclo (91,25%)</b>	<b>Reciclar (72,5%)</b>	BCI, CAM, CAT, CC, CEI, CEIP, CEMS, CE-PCF, CEPI, CET, CETUS, CEV, Check, CI, Circulytics, CM, CMT, CP, CPEI, CPFI, CPI, CPWF, C2C, DEI, EoL-DM, EoL-RRs, EPICE, FCIM, ICT, IOBS, IPCEIS, LFI2, LI, LMA, LRR, MCDA-ML, MCI, MCI-BB, MI, NTUM, OSR, PCI, PLCM, PR, PRI-rec, RBR, RCR, RDI, RecycDI, RE EEE, RIR, RIs, Rrecyc, RRs, RRR, RYR, SEEI, WF
	<b>Recuperar (18,75%)</b>	BCI, CEMS, CETUS, CMT, CPEI, CPFI, CPWF, DEI, EoLI, MCI, MCI-BB, PMC, Rrecov, RRR, WF
	<b>Reutilizar (33,75%)</b>	BCI, CAM, CEIP, CEMS, CET, CETUS, Check, CI, Circulytics, CMT, CP, CPI, C2C, DEI, DSTR, ICT, IOBS, MCI, MCI-BB, PCI, PMC, PRI-reuse, RPI, Rreuse, RRR, SEEI, TRP
<b>Alargar la vida útil (76,25%)</b>	<b>Reparar (7,5%)</b>	CEIP, CET, CEMS, Circulytics, CP, CPI
	<b>Reacondicionar (12,5%)</b>	CC, CET, CETUS, Circulytics, CMT, CP, CPI, DEI, DSTR, RDI
	<b>Readaptar (7,5%)</b>	Circulytics, CPEI, CPWF, EI, RR, WF
	<b>Remanufacturar (15%)</b>	CC, CET, CETUS, Check, Circulytics, CMT, CP, CPI, EoL-DM, ICT, REPRO2, TRP
<b>Regenerar (7,5%)</b>	<b>Repensar (7,5%)</b>	CAT, CEIP, Check, CMT, CPI, ZWP
<b>Optimizar recursos (7,5%)</b>	<b>Reducir (7,5%)</b>	CAM, CAT, CMT, CPFI, C2C, FI

Nota: Building Circularity Indicator, BCI; Circularity Assessment Model, CAM; Circular Assessment Tool, CAT; Circularity Calculator, CC; Circular Economy Index, CEI; Circular Economy Indicator Prototype, CEIP; CE Measurement Scale, CEMS; Evaluation Index System of CE for PCFs, CE-PCF; Circular Economy Performance Indicator, CEPI; Circular Economy Toolkit, CET; Circular Economy Toolbox US, CETUS; Circular Economy Value, CEV; Circularity Check, Check; Circularity Index, CI; Circulytics, Circulytics; Combination Matrix, CM; Circularity Measurement Toolkit, CMT; Circular Pathfinder, CP; Circular Process Energy Intensity, CPEI; Circular Process Feedstock Intensity, CPFI; Circular Potential Indicator, CPI; Circular Process Waste Factor, CPWF; Circular Transition Indicator, CTI; Cradle to Cradle, C2C; Disassembly Effort Index, DEI; Decision Support Tool for Remanufacturing, DSTR; Ease of Disassembly Metric, eDIM; Energy Intensity, EI; End-of-Life Design Methodology, EoL-DM; End-of-Life Index, EoLI; End-of-Life Recycling Rate, EoL-RRs; Environmental Protection Indicators in a context of CE, EPICE; Five Category Index Method, FCIM; Feedstock Intensity, FI; Functional Range Index, FRI; Functional Variety Index, FVI; Circular Indicator Project, ICT; Input-Output Business Sheet, IOBS; Industrial Park Circular Economy Indicators System, IPCEIS; Linear Flow Index for Product Families, LFI2; Longevity Indicator, LI; Lifetime of Materials in the Anthroposphere, LMA; Landfill to Recycle Ratio, LRR; Multi Criteria Decision Analysis Combining Circularity Indicators and Lifecycle based Indicators, MCDA-ML; Material Circularity Indicator, MCI; MCI for bio-based and Biodegradable Products, MCI-BB; Material Efficiency Indicator Prototype, MESCS; Mine Site MFA Indicator, MI; Number of Times of Use of a Material, NTUM; Old Scrap Ratio, OSR; Product Circularity Indicator, PCI; Product-Level Circularity Metric, PLCM; Process Material Circularity, PMC; Product Renewability, PR; Potential Recycle Index, PRI-rec; Potential Reuse Index, PRI-reuse; Recyclability Benefit Rate, RBR; Recycled Content Rate, RCR; Resource Duration Indicator, RDI; Recycling Desirability Index, RecycDI; Resource Efficiency indicator for Electrical and Electronic Equipment, RE EEE; Remanufacturing Product Profiles, REPRO2; Reconfiguration Index, RI; Recycling Input Ratio, RIR; Recycling Indices for CE, RIs; Reuse Potential Indicator, RPI; Recycled Ratio, RR; Recoverability Rate, Rrecov; Recyclability Rate, Rrecyc; Reusability Rate, Rreuse; Recycling Rates, RRs; Reusability/Recyclability/Recoverability Rates, RRR; Recycle Yield Ratio, RYR; Synthetic Economic Environmental Indicator, SEEI; Specific Energy and Resource Indicator, SERI; Total Restored Products, TRP; Water Circularity Index, WCI; Waste Factor, WF; Zero Waste Index, ZWI; Zero Waste Practice, ZWP.

Asimismo, en la Figura 41 se resume el número de indicadores que hacen mención a las estrategias (Figura 41a) y a las soluciones (Figura 41b) de EC. Como se puede observar en la Figura 41a, 73 de los 80 indicadores consideran variables del cierre de ciclos, 61 de alargar la vida útil, 6 de regenerar y 6 de optimizar recursos (habiendo indicadores que consideran más de una estrategia). Por otro lado, en cuanto a las soluciones de la EC (Figura 41b) la solución de reciclar es la que más se considera entre los indicadores (52/80). En este caso, al igual que en el caso anterior, hay indicadores que consideran más de una solución.

Por otro lado, mencionar que dentro de la estrategia alargar la vida útil la solución más considerada es reutilizar. El resto de las soluciones dentro de esta estrategia (reacondicionar, remanufacturar, reparar, readaptar) no son tan consideradas y son aspectos que se recogen en el M/543 (Basque Ecodesign Center, 2019).



**Figura 41:** Indicadores totales según: a) estrategias de EC; b) soluciones de EC

Si se analiza más en detalle la combinación de estrategias y soluciones consideradas por los 80 indicadores (Tabla 22), se observa que la combinación de estrategias más utilizada por los indicadores con un total de 28 sobre 80 es cierre de ciclos y alargar la vida útil. El 61,25% (49/80) de los indicadores sólo tienen en cuenta una o ninguna de las estrategias y soluciones de EC.

**Tabla 22:** Relación entre estrategias y soluciones de EC

	Combinaciones	Nº de indicadores	
<b>Cuatro estrategias de la EC</b>	Alargar la vida útil + Cierre de ciclos	28	
	Regenerar + Cierre de ciclos	5	
	Optimizar recursos + Cierre de ciclos	5	
	Regenerar + Alargar la vida útil	4	
	Alargar la vida útil + Optimizar recursos	3	
	Regenerar + Optimizar recursos + Cierre de ciclos	3	
	Regenerar + Alargar la vida útil + Optimizar recursos	2	
	Regenerar + Optimizar recursos	2	
	Alargar la vida útil + Optimizar recursos + Cierre de ciclos	2	
	Regenerar + Alargar la vida útil + Optimizar recursos + Cierre de ciclos	1	
	<b>Nueve soluciones de la EC</b>	Reutilizar + Reparar + Reacondicionar + Remanufacturar + Reciclar	2
		Repensar + Reutilizar + Reparar + Reciclar	1
Repensar + Reutilizar + Reparar + Reacondicionar + Remanufacturar + Reciclar		1	
Repensar + Reutilizar + Reacondicionar + Remanufacturar + Reducir + Reciclar + Recuperar		1	
Reutilizar + Reparar + Reciclar + Recuperar		1	
Reutilizar + Reacondicionar + Remanufacturar + Reciclar + Recuperar		1	
Reutilizar + Reparar + Reacondicionar + Readaptar + Remanufacturar + Reciclar		1	
Reutilizar + Reacondicionar + Reciclar + Recuperar		1	

Por todo ello, se concluye que CMT es el mejor indicador de los 80 analizados desde una visión de estrategias (considera las cuatro) y de soluciones (considera siete de nueve “repensar, reutilizar, reacondicionar, remanufacturar, reducir, reciclar y reparar”). El segundo indicador más completo es CPI que considera tres estrategias y seis soluciones (repensar,

reutilizar, reparar, reacondicionar, remanufacturar, reciclar). Por último, se observa que los indicadores analizados a nivel académico no trabajan de forma integral las estrategias y soluciones de la EC.

#### 4.3.1.2 Etapas del ciclo de vida

Las etapas del ciclo de vida son el conjunto de etapas necesarias para llevar a cabo la creación del producto hasta su fin de vida o retirada del mercado. El estándar de la Huella Ambiental de Producto (HAP) menciona 7 etapas (Manfredi et al., 2012): i) adquisición y preprocesamiento de materias primas, ii) bienes de capital, iii) producción, iv) distribución y almacenamiento del producto, v) etapa de uso, vi) logística y, vii) fin de vida. Tomando como base estas 7 etapas y teniendo en cuenta la experiencia, los conocimientos de los miembros del equipo de investigación y las etapas propuestas en la ISO 14040:2006 (ISO, 2006) las etapas se reagrupan en 5 (Tabla 23): i) materia prima, ii) producción, iii) distribución, iv) utilización y, v) fin de vida.

**Tabla 23:** Definición de las etapas del ciclo de vida (Manfredi et al., 2012)

<b>Etapas</b>	<b>Definición</b>
Materia prima	La etapa de adquisición de materiales y preprocesamiento comienza cuando se extraen los recursos de la naturaleza y termina cuando entran en una organización para transformarse en componentes del producto, etc.
Producción	Comienza cuando la materia prima entra en el lugar de producción y termina cuando el producto acabado sale de las instalaciones.
Distribución	Los productos se distribuyen para su venta.
Utilización	Comienza cuando la persona consumidora toma posesión del producto y termina cuando el producto usado se desecha para su transporte a una instalación de reciclaje o tratamiento de residuos.
Fin de vida	Comienza cuando el producto usado es desechado por el usuario/a y termina cuando el producto se devuelve a la naturaleza como residuo o entra en el ciclo de vida de otro producto.

Una vez definidas las etapas se ha identificado la correlación (anexo A.7) de cada uno de los 80 indicadores con las etapas del ciclo de vida en base a las variables que considera cada indicador. En la Tabla 24 y en la Figura 42 se resumen sobre qué etapas del ciclo de vida impactan cada uno de los 80 indicadores:

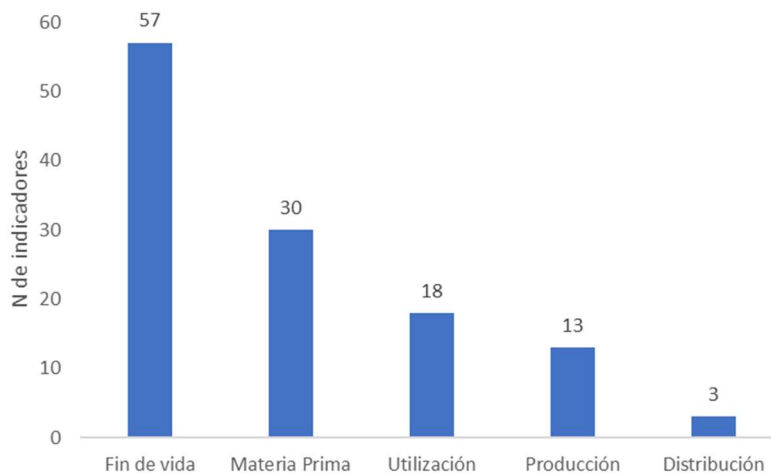
- La etapa del ciclo de vida más considerada entre los 80 indicadores es el fin de vida, con un 71,25% (57/80). Por el contrario, distribución, es la etapa menos considerada, con un 3,75% (3/80).
- De los 80 indicadores, sólo dos, Check y CMT, evalúan aspectos de las cinco etapas del ciclo de vida.
- Los indicadores que consideran las cuatro etapas del ciclo de vida son: CAT (materia prima, producción, utilización y fin de vida) y CET (producción, distribución, utilización y fin de vida).

- Sólo el 10% (8/80) de los indicadores contemplan tres etapas del ciclo de vida: *Building Circularity Indicator* (BCI), CEIP, CEMS, Circulytics, C2C, *Material Circularity Indicator* (MCI), *MCI for bio-based and Biodegradable Products* (MCI-BB) y *Water Circularity Index* (WCI).
- El 53,75% de los indicadores (43/80) contemplan solo una etapa del ciclo de vida y el 8,75% (7/80) no consideran ninguna etapa del ciclo de vida.

**Tabla 24:** Indicadores según etapas del ciclo de vida

Etapas del ciclo de vida	Indicadores
<b>Materia Prima (37,5%)</b>	BCI, CAT, CC, CEIP, CEMS, Check, Circulytics, CMT, CPEI, CPFI, CPWF, CTI, C2C, DSTR, EI, LFI2, MCI, MCI-BB, MESCS, MI, PLCM, PMC, PR, RCR, RecycDI, RIR, RPI, RR, WCI, WF
<b>Producción (16,25%)</b>	CAT, CEI, CET, CEV, Check, Circulytics, CMT, CPI, C2C, OSR, PCI, RR, WCI
<b>Distribución (3,75%)</b>	CET, Check, CMT
<b>Utilización (22,5%)</b>	BCI, CAM, CAT, CEIP, CEMS, CET, Check, CM, CMT, eDiM, ICT, MCI, MCI-BB, MESCS, RDI, REPRO2, SERIO, TRP
<b>Fin de vida (71,25%)</b>	BCI, CAM, CAT, CC, CEI, CEIP, CEMS, CE-PCF, CEPI, CET, CETUS, CEV, Check, Circulytics, CM, CMT, CPI, CTI, C2C, DEI, eDiM, EoL-DM, EoLI, EoL-RRs, EPICE, FCIM, IOBS, IPCEIS, LI, LMA, LRR, MCDA-ML, MCI, MCI-BB, MI, NTUM, OSR, PCI, PRI-rec, PRI-reuse, RBR, RDI, RecycDI, RE EEE, REPRO2, Ris, RPI, Rrecov, Rrecyc, Rreuse, RRs, RRR, RYR, SEEI, TRP, WCI, ZWI

Nota: Building Circularity Indicator, BCI; Circularity Assessment Model, CAM; Circular Assessment Tool, CAT; Circularity Calculator, CC; Circular Economy Index, CEI; Circular Economy Indicator Prototype, CEIP; CE Measurement Scale, CEMS; Evaluation Index System of CE for PCFs, CE-PCF; Circular Economy Performance Indicator, CEPI; Circular Economy Toolkit, CET; Circular Economy Toolbox US, CETUS; Circular Economy Value, CEV; Circularity Check, Check; Circularity Index, CI; Circulytics, Circulytics; Combination Matrix, CM; Circularity Measurement Toolkit, CMT; Circular Pathfinder, CP; Circular Process Energy Intensity, CPEI; Circular Process Feedstock Intensity, CPFI; Circular Potential Indicator, CPI; Circular Process Waste Factor, CPWF; Circular Transition Indicator, CTI; Cradle to Cradle, C2C; Disassembly Effort Index, DEI; Decision Support Tool for Remanufacturing, DSTR; Ease of Disassembly Metric, eDiM; Energy Intensity, EI; End-of-Life Design Methodology, EoL-DM; End-of-Life Index, EoLI; End-of-Life Recycling Rate, EoL-RRs; Environmental Protection Indicators in a context of CE, EPICE; Five Category Index Method, FCIM; Feedstock Intensity, FI; Functional Range Index, FRI; Functional Variety Index, FVI; Circular Indicator Project, ICT; Input-Output Business Sheet, IOBS; Industrial Park Circular Economy Indicators System, IPCEIS; Linear Flow Index for Product Families, LFI2; Longevity Indicator, LI; Lifetime of Materials in the Anthroposphere, LMA; Landfill to Recycle Ratio, LRR; Multi Criteria Decision Analysis Combining Circularity Indicators and Lifecycle based Indicators, MCDA-ML; Material Circularity Indicator, MCI; MCI for bio-based and Biodegradable Products, MCI-BB; Material Efficiency Indicator Prototype, MESCS; Mine Site MFA Indicator, MI; Number of Times of Use of a Material, NTUM; Old Scrap Ratio, OSR; Product Circularity Indicator, PCI; Product-Level Circularity Metric, PLCM; Process Material Circularity, PMC; Product Renewability, PR; Potential Recycle Index, PRI-rec; Potential Reuse Index, PRI-reuse; Recyclability Benefit Rate, RBR; Recycled Content Rate, RCR; Resource Duration Indicator, RDI; Recycling Desirability Index, RecycDI; Resource Efficiency indicator for Electrical and Electronic Equipment, RE EEE; Remanufacturing Product Profiles, REPRO2; Reconfiguration Index, RI; Recycling Input Ratio, RIR; Recycling Indices for CE, RIs; Reuse Potential Indicator, RPI; Recycled Ratio, RR; Recoverability Rate, Rrecov; Recyclability Rate, Rrecyc; Reusability Rate, Rreuse; Recycling Rates, RRs; Reusability/Recyclability/Recoverability Rates, RRR; Recycle Yield Ratio, RYR; Synthetic Economic Environmental Indicator, SEEI; Specific Energy and Resource Indicator, SERI; Total Restored Products, TRP; Water Circularity Index, WCI; Waste Factor, WF; Zero Waste Index, ZWI; Zero Waste Practice, ZWP.



**Figura 42:** Total de indicadores según las etapas del ciclo de vida

### 4.3.1.3 Áreas funcionales de las empresas

La norma ISO 9001:2015 (AENOR, 2015) promueve la adopción de un mapa de procesos para aumentar la satisfacción del cliente mediante el cumplimiento de los requisitos. Dicho mapa ayuda a visualizar cuáles y cómo están relacionados los procesos de una empresa. Se diferencia en tres grandes grupos: i) procesos estratégicos; relacionados con las responsabilidades de gestión, ii) procesos operativos; los relacionados con el producto/servicio que ofrece la empresa y iii) procesos de apoyo; relacionados con los recursos y las mediciones.

Por otro lado, el *American Productivity & Quality Center* (APQC) ha desarrollado una taxonomía que consta de 13 procesos divididos en dos grupos (APQC, 1994): i) procesos operativos y ii) procesos de gestión. El grupo de procesos operativos incluye: i) desarrollar visión y estrategia, ii) desarrollar y gestionar productos y servicios, iii) comercializar y vender productos y servicios, iv) entregar productos y servicios y, v) gestionar el servicio al cliente. Por otro lado, los procesos de gestión incluyen: vi) desarrollar y gestionar el capital humano, vii) gestionar la tecnología de la información, viii) gestionar los recursos financieros, ix) adquirir, construir y gestionar la propiedad, x) gestionar la salud y seguridad medioambiental, xi) gestionar las relaciones externas, xii) gestionar el conocimiento, las mejoras y el cambio y, xiii) gestionar y planificar la red (APQC, 1994).

Tras realizar una búsqueda de la literatura, no se ha encontrado ningún artículo que indique claramente cuáles son las principales áreas funcionales que conforman una empresa. Por lo tanto, considerando la definición de función de Aitken et al. (2010) "*capacidad de la empresa representada por una agrupación normalizada de procesos que comparten un objetivo*" los 13 grupos definidos por APQC (1994) y la ISO 9001:2015, se han determinado las 12 áreas funcionales: i) dirección, ii) comercial, iii) finanzas, iv) marketing, v) I+D, vi) producción, vii) compras y aprovisionamientos, viii) servicio de asistencia técnica (SAT), ix) tecnología de la información y la comunicación (TICs), x) calidad y medioambiente, xi) servicios generales y, xii) recursos humanos. La Tabla 25 especifica las funciones de cada área funcional validada por tres directores de recursos humanos con experiencia industrial.

**Tabla 25:** Funciones de las áreas funcionales definidas para una empresa

Áreas funcionales	Función
Calidad y medioambiente	Identificar las posibles necesidades y garantizar los medios necesarios para el funcionamiento del sistema de gestión ambiental, evitando así, cualquier situación de incumplimiento legal y situaciones de peligro o riesgo dentro de la empresa.
Comercial	Dar a conocer los productos o servicios comercializados por la empresa a través de acciones publicitarias y promocionales. Actualizar los productos en función de las necesidades y cambios del mercado o gestionar las relaciones con los clientes, pero sobre todo tiene la misión de vender cuanto más mejor.
Compras y aprovisionamiento	Se encarga de la compra de materias primas, maquinaria, equipos y suministros necesarios para el desempeño del trabajo de los empleados y de la empresa en su conjunto. También puede encargarse del control de mercancías (control de existencias) para evitar desabastecimientos. Además, se encarga de que esos bienes y servicios estén bien gestionados.
Dirección	Toma decisiones, establece objetivos y dirige al resto de la empresa. Es responsable de controlar todas las áreas funcionales.
Finanzas	Se encarga de las responsabilidades económicas de una empresa. Así, su función principal es realizar los pagos a los que está obligada la propia empresa, así como, la gestión de las partidas de gastos e ingresos que tiene la empresa.
I+D	Responsables de la búsqueda de servicios o productos que puedan hacer mejorar aspectos de la organización.
Marketing	Responsable de la captación de clientes y del desarrollo de una estrategia de comunicación eficaz para alcanzar los objetivos de marketing. Desarrolla y coordina la imagen institucional, la marca, los productos, los puntos de venta, la difusión y la promoción.
Producción	Responsable de la fabricación del producto, aunque tiene otras tareas como: análisis de productos y servicios; medición de tiempos y ejecución; seguridad e higiene; formas de ejecutar el trabajo; control de calidad y control de inventario.
Recursos humanos	Responsable de los procesos de búsqueda y selección del personal que la empresa necesita para ocupar los puestos de trabajo. Es decir, tiene que ver con todo lo relacionado con las contrataciones y la remuneración del personal.
Servicio de Asistencia Técnica (SAT)	Se centra en atender a los clientes y usuarios/as finales. Proporciona información sobre los productos o servicios que han adquirido. También ofrece asistencia cuando las personas tienen problemas o necesitan ayuda.
Servicios generales	Se encarga de proporcionar los servicios que requiera la empresa en materia de comunicaciones, transporte, correspondencia, archivo, reproducción de documentos, revelado de material fotográfico, intendencia, vigilancia, mensajería y el suministro de mantenimiento preventivo y correctivo al mobiliario, equipo de oficina y equipo de transporte.
Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs)	Responsable del desarrollo de la estructura tecnológica, hardware, software y redes informáticas dentro de la empresa. Las tareas incluyen tanto el apoyo técnico a los empleados como la gestión de la seguridad de la información para proteger los datos corporativos.

Una vez definidas las áreas funcionales de una organización se ha realizado la correlación de cada uno de los 80 indicadores con las áreas funcionales en base a las variables que considera cada indicador (anexo A.8). En la Tabla 26 y Figura 43 se resumen sobre qué áreas funcionales claramente impacta cada uno de los 80 indicadores:

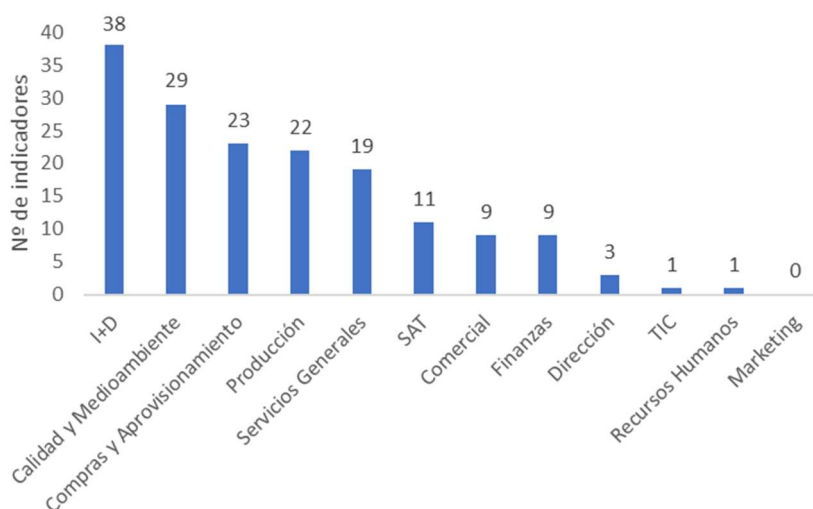
- I+D es el área funcional más considerada entre los 80 indicadores con un 47,5% (38/80).
- El indicador que más áreas funcionales considera, 7 de 12, es CET.
- Ningún indicador considera el área funcional de marketing. Asimismo, las áreas funcionales TICs y Recursos humanos sólo son consideradas por un indicador de los 80 (1,25%), BCI y C2C respectivamente.

- No hay ningún indicador que se pueda aplicar en todas las áreas funcionales.

**Tabla 26:** Indicadores según áreas funcionales

Áreas funcionales	Indicadores
<b>Dirección (3,75%)</b>	CEMS, Circulytics, C2C
<b>Comercial (11,25%)</b>	CC, CEIP, CET, CPI, EoL-DM, EoL-RRs, OSR, PLCM, PRI-reuse
<b>Finanzas (11,25%)</b>	CC, CEIP, CET, CPI, EoL-DM, EoL-RRs, OSR, PLCM, PRI-reuse
<b>Marketing (0%)</b>	-
<b>I+D (47,5%)</b>	BCI, CAM CAT, CC, CEI, CEIP, CEMS, CET, CETUS, CEV, Check, Circulytics, CM, CMT, CPI, CTI, C2C, DEI, DSTR, EoL-DM, EoLI, FRI, FVI, MCDA-ML, MCI, MCI-BB, PR, RCR, RDI, RE EEE, REPRO2, RI, Ris, Rrecov, Rrecyc, Rreuse, RRR, SEEI
<b>Producción (27,5%)</b>	BCI, CET, Check, CPFI, CTI, FCIM, FI, IPCEIS, LFI2, MCI, MESCS, MI, OSR, PCI, RCR, RIR, RR, Rrecov, Rrecyc, Rreuse, RRR, SEEI
<b>Compras y Aprovechamiento (28,75%)</b>	BCI, CC, CEI, CEIP, CET, CETUS, CEV, Check, Circulytics, CPFI CTI, C2C, EoL-DM, EoL-RRs, FI, MCI, MCI-BB, PLCM, PR, RCR, RDI, RR, RRR
<b>SAT (13,75%)</b>	BCI, CEMS, CET, CETUS, CM, CPI, DEI, EoLI, MCI, RDI, RRR
<b>TICs (1,25%)</b>	BCI
<b>Calidad y Medioambiente (36,25%)</b>	CEIP, CEMS, CET, CEV, Check, CI, Circulytics, CMT, CPEI, CPI, CPWF, EI, EPICE, FCIM, LIF2, LRR, MCDA-ML, PMC, PRI-rec, PRI-reuse, RCR, Rrecov, Rrecyc, Rreuse, RRs, RYR, WF, ZWI, ZWP
<b>Servicios Generales (23,75%)</b>	BCI, CAM, CEIP, CEMS, CE-PCF, CEV, Check, Circulytics, CMT, CPEI, C2C, EI, EPICE, FCIM, IPCEIS, SEEI, SERI, WCI, ZWP
<b>Recursos Humanos (1,25%)</b>	C2C

Nota: Building Circularity Indicator, BCI; Circularity Assessment Model, CAM; Circular Assessment Tool, CAT; Circularity Calculator, CC; Circular Economy Index, CEI; Circular Economy Indicator Prototype, CEIP; CE Measurement Scale, CEMS; Evaluation Index System of CE for PCFs, CE-PCF; Circular Economy Performance Indicator, CEPI; Circular Economy Toolkit, CET; Circular Economy Toolbox US, CETUS; Circular Economy Value, CEV; Circularity Check, Check; Circularity Index, CI; Circulytics, Circulytics; Combination Matrix, CM; Circularity Measurement Toolkit, CMT; Circular Pathfinder, CP; Circular Process Energy Intensity, CPEI; Circular Process Feedstock Intensity, CPFI; Circular Potential Indicator, CPI; Circular Process Waste Factor, CPWF; Circular Transition Indicator, CTI; Cradle to Cradle, C2C; Disassembly Effort Index, DEI; Decision Support Tool for Remanufacturing, DSTR; Ease of Disassembly Metric, eDIM; Energy Intensity, EI; End-of-Life Design Methodology, EoL-DM; End-of-Life Index, EoLI; End-of-Life Recycling Rate, EoL-RRs; Environmental Protection Indicators in a context of CE, EPICE; Five Category Index Method, FCIM; Feedstock Intensity, FI; Functional Range Index, FRI; Functional Variety Index, FVI; Circular Indicator Project, ICT; Input-Output Business Sheet, IOBS; Industrial Park Circular Economy Indicators System, IPCEIS; Linear Flow Index for Product Families, LFI2; Longevity Indicator, LI; Lifetime of Materials in the Anthroposphere, LMA; Landfill to Recycle Ratio, LRR; Multi Criteria Decision Analysis Combining Circularity Indicators and Lifecycle based Indicators, MCDA-ML; Material Circularity Indicator, MCI; MCI for bio-based and Biodegradable Products, MCI-BB; Material Efficiency Indicator Prototype, MESCS; Mine Site MFA Indicator, MI; Number of Times of Use of a Material, NTUM; Old Scrap Ratio, OSR; Product Circularity Indicator, PCI; Product-Level Circularity Metric, PLCM; Process Material Circularity, PMC; Product Renewability, PR; Potential Recycle Index, PRI-rec; Potential Reuse Index, PRI-reuse; Recyclability Benefit Rate, RBR; Recycled Content Rate, RCR; Resource Duration Indicator, RDI; Recycling Desirability Index, RecycDI; Resource Efficiency indicator for Electrical and Electronic Equipment, RE EEE; Remanufacturing Product Profiles, REPRO2; Reconfiguration Index, RI; Recycling Input Ratio, RIR; Recycling Indices for CE, RIs; Reuse Potential Indicator, RPI; Recycled Ratio, RR; Recoverability Rate, Rrecov; Recyclability Rate, Rrecyc; Reusability Rate, Rreuse; Recycling Rates, RRs; Reusability/Recyclability/Recoverability Rates, RRR; Recycle Yield Ratio, RYR; Synthetic Economic Environmental Indicator, SEEI; Specific Energy and Resource Indicator, SERI; Total Restored Products, TRP; Water Circularity Index, WCI; Waste Factor, WF; Zero Waste Index, ZWI; Zero Waste Practice, ZWP.



**Figura 43:** Indicadores que pueden aplicarse en las áreas funcionales

### 4.3.2 Uso de indicadores de EC en las empresas de la CAPV

El objetivo de este subapartado es identificar cuáles son los indicadores que las empresas industriales de la CAPV están utilizando para analizar el seguimiento del desempeño de la EC en las organizaciones. Para ello, este estudio se realiza en colaboración con tres clústeres de CAPV; Aclima, Gaia y Movilidad y Logística.

El clúster Aclima (2024), referente de la Ecoindustria vasca que representa tanto al sector privado (industrias y servicios), al ámbito del conocimiento (Universidades y Centros Tecnológicos) como al sector público en las siguientes cadenas de valor: residuos, suelos, ciclo integral del agua, cambio climático, biodiversidad y ecosistemas, tiene entre sus objetivos apoyar a las empresas del sector medioambiental en la mejora de su competitividad a través de la identificación y caracterización de nuevas oportunidades de negocio, la innovación y el posicionamiento internacional, siempre en clave de cooperación.

Por otro lado, el clúster Gaia (2024), asociación de Industrias del Conocimiento y la Tecnología Aplicada del País Vasco es una asociación de carácter privado y profesional. Su objetivo es convertirse en un referente de innovación conjunta en la creación e implementación de soluciones competitivas.

Por último, el clúster de Movilidad y Logística (2024) es una agrupación privada sin ánimo de lucro, cuyo objetivo es favorecer la competitividad de los asociados y del territorio impulsando la innovación y la internacionalización, mediante la cooperación. El fin es mejorar la movilidad de las personas y de la cadena de suministro y contribuir a los objetivos de sostenibilidad impulsados por la sociedad y por todos los estamentos públicos.

En la Tabla 27 se muestra el número total de empresas pertenecientes a cada clúster y las actividades de las empresas.

**Tabla 27:** Número de empresas participantes por clúster

Clúster	Nº de empresas	Actividades de las empresas
Aclima	124	Tratamientos de aguas / Proveedor de equipos y tecnologías / Laboratorios / Gestión de residuos / Consultoría e Ingeniería / Asociaciones / Administración pública / Centros tecnológicos / Universidades
Gaia	315	Electrónica / Informática / Telecomunicaciones / Ingeniería / Consultoría / Administración pública / Centros tecnológicos / Universidades
Movilidad y Logística	111	Cargadores / Infraestructura / Operadores / Productos y servicio / Consultoría / Administración pública / Centros tecnológicos / Universidades
<b>TOTAL</b>	<b>550</b>	

### 4.3.2.1 Diseño y distribución del cuestionario online

El diseño y distribución de un cuestionario online ayuda a recoger información válida y fiable que verifique los objetivos de la investigación (Patel & Joseph, 2016). Para llevar a cabo el diseño del cuestionario online, distribuirlo y obtener resultados sobre el uso de indicadores de EC de las empresas de la CAPV se han seguido los siguientes pasos:

- Definición del objetivo: conocer el nivel de integración de la EC con el uso de indicadores en las empresas de la CAPV.
- Diseño del cuestionario: se ha dividido en tres bloques: i) caracterización de la empresa (Tabla 28), ii) uso de KPIs de EC en la empresa (Tabla 29) y iii) barreras y necesidades para integrar la EC en la empresa (Tabla 30). Las preguntas diseñadas para el cuestionario son: i) de opción múltiple, ii) de selección única y iii) de respuesta abierta.
- Distribución: el cuestionario se ha elaborado en la plataforma *Google forms* y se ha distribuido de manera online con la ayuda de los tres clústeres. Asimismo, el cuestionario se ha distribuido públicamente para todas las empresas que no forman parte de los tres clústeres.
- Recopilación de respuestas: creación de una base de datos para recopilar todas las respuestas del cuestionario y el análisis de los resultados.

**Tabla 28:** Bloque I Caracterización de la empresa

Preguntas	Tipo de respuesta
1. Nombre de la empresa	Abierto
2. ¿A qué sector pertenece?	Seleccionar según opciones: Máquinas-herramienta; Bienes de equipo; Mecanizado y transformación metalmecánica; Salud; Gestión de residuos; Envases; Automoción; Bienes de consumo; Textil; Agroalimentario; Muebles; Alimentación; Transporte vertical; Siderurgia; Industria química; Construcción; Ferrocarriles, Otros.
3. CNAE de la empresa	Abierto
4. ¿Pertenece a alguna agrupación empresarial? En caso afirmativo, indique a cuál	Abierto
5. ¿Pertenece a algún clúster? En caso afirmativo, indique a cuál	Abierto
6. Provincia donde está ubicada la empresa	Seleccionar según opciones: Gipuzkoa, Álava, Bizkaia
7. ¿Cuántas personas trabajan en su empresa?	Seleccionar según opciones: Microempresa; Pequeña empresa; Mediana empresa; Gran empresa.
8. Actividades de la empresa	Seleccionar según opciones: Transportistas; Infraestructura; Proveedor de materias primas; Diseño y desarrollo de productos; Fabricación; Operadores; Productos y servicios; Electrónica; TI; Telecomunicaciones; Ingeniería; Tratamiento de aguas; Proveedor de equipos y tecnología; Laboratorios; Gestión de residuos; Consultoría; Administración pública; Centros tecnológicos; Asociaciones; Universidades.
9. Indique cuáles de las siguientes áreas funcionales existen en su empresa	Seleccionar según opciones: Dirección; Comercial; Finanzas; Marketing; Producto/servicio o I+D; Producción; Compras y Aprovisionamiento; SAT, TIC, Calidad y Medioambiente;

Preguntas	Tipo de respuesta
Servicios Generales; Recursos Humanos	

**Tabla 29:** Bloque II Uso de KPIs de EC en la empresa

Preguntas	Tipo de respuesta
10. La empresa ha definido indicadores de EC en el plan estratégico. Por ejemplo: % de energía procedente de fuentes renovables.	Sí / No
11. En caso afirmativo, cítelos.	Abierto
12. La empresa ha definido indicadores de CE para productos y/o servicios y/o unidades de negocio de su empresa. Por ejemplo: % de materias primas recicladas.	Sí / No
13. En caso afirmativo, cítelos.	Abierto
14. Los indicadores de CE utilizados por la empresa están relacionados con:	Seleccionar según opciones: Adquisición y consumo de materias primas; Adquisición y consumo de energía; Adquisición y consumo de agua; Sistemas de producción; Sistemas de logística y distribución; Uso del producto/servicio; Fin de vida del producto/servicio.
15. ¿Se utilizan indicadores de EC en el DEPARTAMENTO de DIRECCIÓN de la empresa? En caso afirmativo, indique cuáles, en caso contrario deje la pregunta en blanco.	Abierto
16. ¿Se utilizan indicadores de EC en el DEPARTAMENTO FINANCIERO de la empresa? En caso afirmativo, indique cuáles, de lo contrario deje la pregunta en blanco.	Abierto
17. ¿Se utilizan indicadores de EC en el DEPARTAMENTO COMERCIAL de la empresa? En caso afirmativo, indique cuáles, en caso contrario deje la pregunta en blanco.	Abierto
18. ¿Se utilizan indicadores de EC en el DEPARTAMENTO DE MARKETING de la empresa? En caso afirmativo, indique cuáles, en caso contrario deje la pregunta en blanco.	Abierto
19. ¿Se utilizan indicadores de EC en el DESARROLLO DE PRODUCTOS/SERVICIOS y/o I+D? En caso afirmativo, indique cuáles, de lo contrario deje la pregunta en blanco.	Abierto
20. ¿Se utilizan indicadores de EC en el DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN de la empresa? En caso afirmativo, indique cuáles, de lo contrario deje la pregunta en blanco.	Abierto
21. ¿Se utilizan indicadores de EC en el DEPARTAMENTO DE COMPRAS Y ADQUISICIONES de la empresa? En caso afirmativo, indique cuáles, en caso contrario deje la pregunta en blanco.	Abierto
22. ¿Se utilizan indicadores EC en el DEPARTAMENTO DE CALIDAD y/o MEDIOAMBIENTE de la empresa? En caso afirmativo, indique cuáles, en caso contrario deje la pregunta en blanco.	Abierto
23. ¿Se utilizan indicadores EC en el DEPARTAMENTO DE SAT de la empresa? En caso afirmativo, indique cuáles, de lo contrario deje la pregunta en blanco.	Abierto
24. ¿Se utilizan indicadores de EC en el DEPARTAMENTO TICs de la empresa? En caso afirmativo, indique cuáles, de lo contrario deje la pregunta en blanco.	Abierto
25. ¿Se utilizan indicadores de EC en el DEPARTAMENTO DE SERVICIOS GENERALES de la empresa? En caso afirmativo, indique cuáles, de lo contrario deje la pregunta en blanco.	Abierto
26. ¿Considera necesario disponer de indicadores para integrar la EC en las distintas áreas funcionales de la empresa?	Sí / No

**Tabla 30:** Bloque III Barreras y necesidades para integrar la EC en la empresa

Preguntas	Tipo de respuesta
27. ¿Cuáles considera que son las barreras para integrar la EC en su empresa?	Abierto
28. ¿Cuáles son las necesidades de la empresa para poder integrar la EC?	Abierto

### 4.3.2.2 Análisis de los resultados

Una vez cumplimentados los cuestionarios se ha analizado las respuestas obtenidas. Por un lado, se ha caracterizado a las empresas participantes y, por otro, se han examinado las respuestas del uso de indicadores.

### Caracterización de las empresas

La Tabla 31 muestra las 42 empresas que han completado el cuestionario según: i) clúster al que pertenece, ii) tamaño de la empresa y iii) actividad. Los cuestionarios completados por las empresas asociadas a los tres clústeres han sido contestados por directores o responsables de las áreas funcionales de las empresas, en cambio, se desconoce los roles de las personas que han respondido el cuestionario abierto, dirigido a empresas no asociadas a los tres clústeres.

**Tabla 31:** Empresas participantes por sectores

Empresa	Clúster al que pertenece	Tamaño	Actividad
A	Aclima	1-10 trabajadores (micro empresa)	Consultoría e Ingeniería
B	Aclima	1-10 trabajadores (micro empresa)	Gestión de residuos
C	Aclima	11-49 trabajadores (empresa pequeña)	Gestión de residuos
D	Aclima	1-10 trabajadores (micro empresa)	Consultoría e Ingeniería
E	Aclima	>250 trabajadores (empresa grande)	Gestión de residuos
F	Aclima	11-49 trabajadores (empresa pequeña)	Consultoría e Ingeniería
G	Aclima	11-49 trabajadores (empresa pequeña)	Laboratorios
H	Aclima	11-49 trabajadores (empresa pequeña)	Gestión de residuos
I	Aclima	50-249 trabajadores (empresa mediana)	Fabricación cemento
J	Aclima	1-10 trabajadores (micro empresa)	Abatimiento de Gases de combustión
K	Aclima	>250 trabajadores (empresa grande)	Administración pública
L	Aclima	11-49 trabajadores (empresa pequeña)	Gestión de residuos
M	Gaia	11-49 trabajadores (empresa pequeña)	Electrónica
N	Gaia	1-10 trabajadores (micro empresa)	Audiovisuales
Ñ	Gaia	1-10 trabajadores (micro empresa)	Informática, Consultoría, Administración pública
O	Gaia	1-10 trabajadores (micro empresa)	Telecomunicaciones
P	Gaia	1-10 trabajadores (micro empresa)	Telecomunicaciones
Q	Gaia	50-249 trabajadores (empresa mediana)	Centros tecnológicos
R	Gaia	11-49 trabajadores (empresa pequeña)	Informática, Ingeniería, Consultoría
S	Gaia	>250 trabajadores (empresa grande)	Electrónica
T	Gaia	1-10 trabajadores (micro empresa)	Consultoría
U	Gaia	11-49 trabajadores (empresa pequeña)	Electrónica

Empresa	Clúster al que pertenece	Tamaño	Actividad
V	Gaia	1-10 trabajadores (micro empresa)	Informática, Consultoría
W	Gaia	1-10 trabajadores (micro empresa)	Electrónica, Telecomunicaciones, Ingeniería, Consultoría
X	Gaia	1-10 trabajadores (micro empresa)	Desarrollo de soluciones HW y SW de ciberseguridad
Y	Gaia	11-49 trabajadores (empresa pequeña)	Consultoría
Z	Gaia	>250 trabajadores (empresa grande)	Informática, Consultoría
AA	Gaia	11-49 trabajadores (empresa pequeña)	Consultoría
AB	Movilidad y Logística	11-49 trabajadores (empresa pequeña)	Operadores
AC	Movilidad y Logística	>250 trabajadores (empresa grande)	Operadores
AD	Movilidad y Logística	>250 trabajadores (empresa grande)	Productos y servicios
AE	Movilidad y Logística	50-249 trabajadores (empresa mediana)	Transporte de viajeros por carretera
AF	Movilidad y Logística	>250 trabajadores (empresa grande)	Industria
AG	Movilidad y Logística	1-10 trabajadores (micro empresa)	Logística urgente y almacenaje físico y virtual
AH	Movilidad y Logística	11-49 trabajadores (empresa pequeña)	Cargadores, Infraestructura, Operadores, Productos y servicios, Consultoría
AI	Abierto	>250 trabajadores (empresa grande)	Productos y servicios, Centros tecnológicos
AJ	Abierto	50-249 trabajadores (empresa mediana)	Diseño y desarrollo de producto, Productos y servicios
AK	Abierto	>250 trabajadores (empresa grande)	Diseño y desarrollo de producto, Fabricación (mecanizado, conformado, etc.), Productos y servicios
AL	Abierto	50-249 trabajadores (empresa mediana)	Diseño y desarrollo de producto, Productos y servicios
AM	Abierto	>250 trabajadores (empresa grande)	Diseño y desarrollo de producto, Productos y servicios, Proveedor de equipos y tecnologías
AN	Abierto	50-249 trabajadores (empresa mediana)	Fabricación (mecanizado, conformado, etc.)
AÑ	Abierto	1-10 trabajadores (micro empresa)	Proveedor de materias primas

### **Uso de indicadores de las empresas**

La Tabla 32 muestra los resultados obtenidos del cuestionario según el uso de indicadores en los ámbitos: i) plan estratégico (relacionado con las preguntas 10 y 11), ii) producto/servicio ofrecido (relacionado con las preguntas 12 y 13), iii) etapas del ciclo de vida (relacionado con la pregunta 14) y, iv) áreas funcionales (relacionado con las preguntas 15÷26). Mencionar, que las respuestas sobre los indicadores del plan estratégico y los indicadores del producto/servicio que ofrecen las empresas se han clasificado en las cuatro estrategias de la EC.

De las 42 empresas, sólo el 29% tienen indicadores definidos en el plan estratégico relacionados con la EC. Asimismo, ninguna empresa considera las cuatro estrategias de la EC. Por otro lado, analizando los indicadores según los productos y servicios que ofrecen, sí que consideran las cuatro estrategias siendo el cierre de ciclos la más utilizada con un 23,1%. En

cuanto a las etapas del ciclo de vida, la más considerada es la producción y consumo de energía (41,9%) integrado dentro de la etapa de materia prima.

**Tabla 32:** Resultados del uso de indicadores según cuestionario

		<b>TOTAL</b>	
<b>Indicadores en el plan estratégico</b>	<b>Estrategias de la EC</b>	Optimizar recursos	18,5%
		Alargar la vida útil	0%
		Cierre de ciclos	18,5%
	<b>Otros</b>	Regenerar	0%
		Uso de recursos renovables	11,6%
		Compras y proveedores con criterios medioambientales	4,6%
		Movilidad sostenible	6,9%
		Huella de carbono	9,3%
<b>Indicadores del producto/servicio ofrecido</b>	<b>Estrategias de la EC</b>	Optimizar recursos	4,6%
		Alargar la vida útil	2,3%
		Cierre de ciclos	23,1%
	<b>Otros</b>	Regenerar	2,3%
		Uso de recursos renovables	0%
		Compras y proveedores con criterios medioambientales	0%
		Movilidad sostenible	0%
		Huella de carbono	2,3%
<b>Indicadores por etapas del ciclo de vida</b>	<b>Materia prima</b>	Compra y consumo de materia prima	25,5%
		Producción y consumo de energía	41,9%
		Producción y consumo de agua	21%
	<b>Producción</b>	Sistemas de producción	18,6%
	<b>Distribución</b>	Sistemas de logística y producción	23,3%
	<b>Utilización</b>	Uso de producto/servicio	21%
	<b>Fin de vida</b>	Fin de vida del producto/servicio	28%
<b>Indicadores por áreas funcionales</b>	<b>Dirección</b>		11,6%
	<b>Comercial</b>		4,7%
	<b>Finanzas</b>		4,7%
	<b>Marketing</b>		7%
	<b>I+D</b>		7%
	<b>Producción</b>		11,6%
	<b>Compras y Aprovisionamiento</b>		9,3%
	<b>SAT</b>		2,3%
	<b>TICs</b>		4,4%
	<b>Calidad y Medioambiente</b>		18,6%
	<b>Servicios Generales</b>		9,3%
<b>Recursos Humanos</b>		0%	

Por último, si se consideran los indicadores que impactan en las áreas funcionales, calidad y medioambiente, dirección y producción son las más consideradas. Por el contrario, ninguna empresa contempla indicadores para el área de recursos humanos.

### 4.3.3 Discusión de resultados

La Tabla 33 muestra la comparativa de las consideraciones tanto de los indicadores académicos (Tabla 21, Tabla 24 y Tabla 26) como los indicadores utilizados por las empresas

industriales (Tabla 32). Como se observa, existe una brecha entre los esfuerzos realizados por la investigación académica y las necesidades de la industria tal y como mencionan Väänänen et al. (2008).

**Tabla 33:** Resultados académicos Vs. Resultados de las empresas

		Académico (80 indicadores)	Empresa (42)	
			Plan estratégico	Producto/Servicio ofrecido
Estrategias de EC	Regenerar	7,5%	<b>20%</b>	2,3%
	Alargar la vida útil	<b>76,25%</b>	<b>20%</b>	2,3%
	Optimizar recursos	7,5%	18,5%	4,6%
	Cierre de ciclos	<b>91,25%</b>	18,5%	<b>23,1%</b>
Etapas del ciclo de vida	Materia prima	<b>37,5%</b>		<b>29,5%</b>
	Producción	16,25%		18,6%
	Distribución	3,75%		23,3%
	Utilización	22,5%		21%
	Fin de vida	<b>71,25%</b>		<b>28%</b>
Áreas funcionales	Dirección	3,75%		<b>11,6%</b>
	Comercial	11,25%		4,7%
	Finanzas	11,25%		4,7%
	Marketing	0%		7%
	I+D	<b>47,5%</b>		7%
	Producción	27,5%		11,6%
	Compras y aprovisionamiento	28,75%		9,3%
	SAT	13,75%		2,3%
	TICs	1,25%		4,4%
	Calidad y medioambiente	<b>36,25%</b>		<b>18,6%</b>
	Servicios generales	23,75%		9,3%
Recursos Humanos	1,25%		0%	

Como se observa en la Tabla 33 en cuanto a las estrategias de EC en el ámbito académico, los indicadores consideran el cierre de ciclos (91,25%) y alargar la vida útil (76,25%), mientras que las empresas consideran las estrategias de regenerar (20%) y alargar la vida útil (20%) en cuanto al plan estratégico. En cuanto al servicio/producto ofrecido la estrategia más considerada para las empresas es cierre de ciclos (23,1%). Por el contrario, la estrategia menos considerada en los indicadores académicos y de empresa es optimizar recursos.

En cuanto a las etapas del ciclo de vida, tanto los 80 indicadores académicos como los indicadores mencionados por las empresas consideran las etapas de materia prima y fin de vida como las más importantes.

Por último, en cuanto al análisis de áreas funcionales, los 80 indicadores académicos consideran el área de I+D y de calidad y medioambiente, en cambio, las empresas consideran el mayor número de indicadores relacionados con las áreas funcionales de calidad y medioambiente y de dirección. Además, ni los 80 indicadores académicos ni los indicadores

mencionados por las empresas ofrecen la opción de tener una visión holística en las diferentes áreas funcionales, ya que en ambos casos queda un área funcional sin considerar.

Asimismo, en las respuestas obtenidas de la pregunta 27 del cuestionario (Tabla 30) por los representantes de las empresas citan las siguientes barreras a la hora de integrar la de EC por:

- La dificultad de obtener los datos necesarios para aplicar los indicadores.
- La necesidad de un cambio cultural en las empresas.
- La falta de conocimiento y formación sobre la EC.
- El desconocimiento y la dificultades para obtener indicadores adecuados para integrarlos en las empresas.
- La necesidad de recursos tanto humanos como financieros.
- La necesidad de herramientas e indicadores sencillos e intuitivos.

#### **4.3.4 INMOIN Circular**

La necesidad del modelo de indicadores INMOIN Circular surge con la identificación de las necesidades mencionadas por las empresas después de la aplicación del cuestionario ICEQ y del análisis de indicadores realizado en los apartados 4.3.1 y 4.3.2. Primeramente, para el desarrollo del modelo, se definen las especificaciones que debe cumplir. Posteriormente, se lleva a cabo el diseño y desarrollo y finalmente se realiza la validación.

##### **4.3.4.1 Especificaciones**

El objetivo del modelo de indicadores INMOIN Circular es facilitar a las empresas la integración de la EC en las áreas funcionales trabajando las estrategias y soluciones de la EC. A continuación, se muestran las especificaciones que el modelo de indicadores INMOIN Circular debe cumplir:

- Modelo sencillo, intuitivo y fácil de usar.
- Integración de la EC en las 12 áreas funcionales (Tabla 25) que componen una empresa.
- Ofrecer una visión holística de la integración de EC en las empresas.
- Permitir medir las cuatro estrategias de EC (regenerar, optimizar recursos, alargar la vida útil y cierre de ciclos) y considerar las nueve soluciones de EC como indicadores del modelo.
- Evaluar el grado de integración de la EC en las áreas funcionales de la organización ofreciendo un valor cuantitativo que permita a las empresas mejorar en el ámbito de la EC.

- Permitir a las personas autoformarse en EC al chequear los indicadores propuestos por cada área funcional y ver su vinculación con las estrategias de EC.

#### 4.3.4.2 Diseño, desarrollo y validación

Para cumplir con las especificaciones mencionadas, el modelo de indicadores INMOIN Circular se ha diseñado y desarrollado en base a la IA con el fin de garantizar (Coughlan & Coughlan, 2002): i) un diseño del modelo repetible y actualizable, que permita adaptaciones posteriores y ii) un proceso transparente, verificado y validado. Para garantizar la calidad del modelo de indicadores en el diseño y desarrollo se han aplicado cuatro ciclos antes del lanzamiento (Figura 44).



Figura 44: Resumen de los ciclos para el desarrollo del modelo de indicadores INMOIN Circular

#### **Ciclo 1: Listado inicial de indicadores de EC**

Para el primer paso en el desarrollo del modelo de indicadores INMOIN Circular se han considerado las 884 variables obtenidas de los 80 indicadores identificados en la revisión bibliográfica y se han: i) descartado los duplicados y reagrupación por conceptos similares, ii) descartado los que eran difíciles de interpretar (por falta de información y/o los datos necesarios para aplicar y difíciles de obtener para la empresa) y iii) descartado aquellas variables que son descriptivas.

Por otro lado, se han analizado los indicadores mencionados por las empresas en el cuestionario (Tabla 29) y se han: i) descartado los duplicados y ii) se han agrupado los conceptos similares. Finalmente, se preseleccionan un total de 96 variables (anexo A.9).

#### **Ciclo 2: Validación y co-creación del modelo de indicadores INMOIN Circular**

En este ciclo, se pidió la participación voluntaria a las 42 empresas que participaron en el cuestionario online (4.2.2) y únicamente cinco mostraron interés (Tabla 34). Además, se sumaron representantes de dos clústeres Gaia y Movilidad y Logística, consiguiendo una participación total de siete personas.

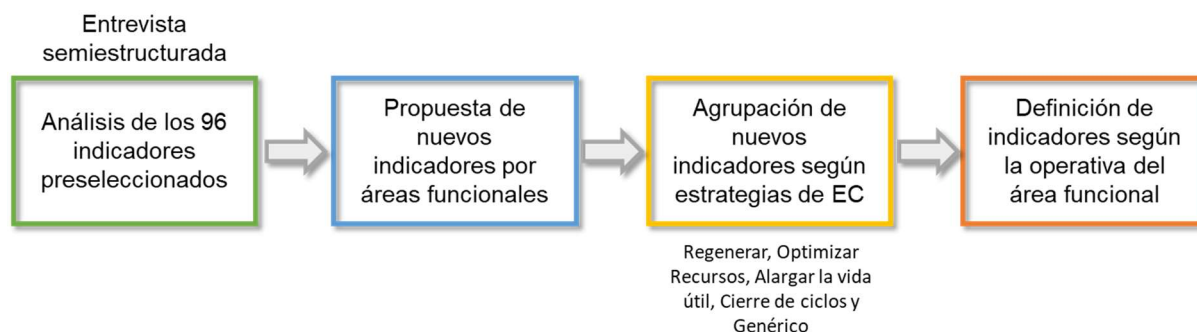
**Tabla 34:** Empresas participantes para la primera validación de INMOIN Circular

Empresas	Descripción	Sector	Contacto
A	Empresa que da servicio de transporte público y privado	Transporte	Directora de calidad
B	Empresa de distribución alimentaria	Alimentación	Responsable de sostenibilidad
C	Empresa de movilidad inteligente	Logística	Responsable de estrategia e innovación
D	Empresa que ofrece soluciones avanzadas para el sector eléctrico	Fabricante de aparatos eléctricos y electrónicos	Responsable de calidad y medioambiente
E	Empresa productora de autobuses y autocares	Transporte	Responsable de medioambiente

Posteriormente con las 96 variables (anexo A.9) se prepara un guion de entrevista semiestructurada que recoge la información de la empresa participante. Para cada grupo de indicadores la persona entrevistada valora los siguientes ítems:

- ¿El indicador es interesante y útil para la toma de decisiones? (0. No sabe/ No contesta (en adelante NS/NC) 1. Sí; 2. No y 3. Se aplica).
- Facilidad de la recogida de datos (0. NS/NC; 1. Baja, se requiere de expertos externos; 2. Medio, se puede calcular internamente y 3. Alta, está disponible o fácil de calcular).
- Potencial de aplicabilidad (0. NS/NC; 1. Baja; 2. Media y 3. Alta).
- Áreas funcionales (Tabla 25) donde se pueden aplicar los indicadores identificados

Mientras se realiza la validación con las siete personas participantes de manera individual, se lleva a cabo un proceso de co-creación (Sarasvuo et al., 2022), que permite la interacción de las partes interesadas con el equipo investigador compuesto de tres personas para la configuración del modelo de indicadores final (Figura 45). En el mismo las personas proponen, modifican o eliminan indicadores que según su experiencia podrían ser útiles.



**Figura 45:** Modelo seguido en la co-creación de INMOIN Circular

En primer lugar, tras las entrevistas de validación de las 96 variables, los participantes en las entrevistas han expresado: i) su percepción de la utilidad y relevancia de estos indicadores para la toma de decisiones, con ciertas disparidades en su valoración, ii) la posible necesidad de recurrir a expertos externos para la recolección de datos en algunos casos específicos y iii) la identificación de indicadores con un alto potencial de aplicabilidad. En última instancia, en relación a las áreas funcionales, las empresas han asignado la mayoría de los indicadores a las funciones de I+D y Compras y Aprovisionamiento. Por ende, se ha detectado la necesidad de proponer indicadores específicos para las áreas funcionales.

Así, se ha procedido a rediseñar la propuesta inicial donde los indicadores identificados han sido clasificados en las 12 áreas funcionales (Tabla 25), considerando la finalidad del área y en las cuatro estrategias de la EC (regenerar, optimizar recursos, alargar la vida útil y cierre de ciclos) para obtener una visión holística de la empresa en cuanto a la integración de la EC. Este proceso de identificación se ha llevado a cabo atendiendo a las necesidades de las empresas participantes, considerando sus respectivos modelos de negocio y sectores, lo cual ha resultado enriquecedor debido a la diversidad de perspectivas.

Asimismo, se han definido indicadores considerando la operativa específica de cada área funcional, y el equipo investigador ha sugerido que estos indicadores sean uniformes para las 12 áreas, propuesta que ha sido aceptada por los participantes. Cabe mencionar que se han propuesto indicadores que no se relacionan directamente con las estrategias de la EC, lo que ha conducido a la creación de un grupo adicional "genérico" para agrupar los indicadores restantes. Finalmente, el equipo investigador se ha asegurado de evitar la duplicidad de indicadores propuestos.

En consecuencia, partiendo de la preselección de las 96 variables y realizando la co-creación con las siete personas participantes se ha obtenido un total de 433 indicadores (anexo A.10) distribuidos en 12 áreas funcionales y agrupados según las cuatro estrategias de EC, además de un grupo genérico y 18 indicadores relacionados con la operativa de cada área funcional (Tabla 35).

**Tabla 35:** Modelo de indicadores INMOIN Circular

Área funcional	Actividad del área funcional				Indicadores genéricos	Operativa del área funcional
	Estrategias de EC					
	Regenerar	Optimizar recursos	Alargar la vida útil	Cierre de ciclos		
Dirección	3	5	5	6	8	18
Comercial	1	1	1	1	5	18
Marketing	1	1	1	1	8	18

Área funcional	Actividad del área funcional				Indicadores genéricos	Operativa del área funcional
	Estrategias de EC					
	Regenerar	Optimizar recursos	Alargar la vida útil	Cierre de ciclos		
Finanzas	0	0	0	0	7	18
I+D	2	3	8	5	21	18
Producción	6	22	5	13	5	18
Compras y aprovisionamiento	18	35	15	25	33	18
SAT	0	2	7	4	11	18
TICs	0	9	1	4	14	18
Calidad y medioambiente	1	1	1	1	4	18
Servicios generales	17	12	17	16	17	18
Recursos humanos	0	0	0	0	6	18
<b>TOTAL</b>			<b>415</b>			<b>18</b>

Por último, y teniendo en cuenta lo hablado en las entrevistas, el equipo investigador vio la necesidad de ofrecer a las empresas la evaluación del nivel de integración de EC por área funcional y general para poder llevar a cabo un seguimiento del progreso. Para ello, se definió lo siguiente:

- Para obtener el del nivel de integración en cada área funcional, las empresas deben trabajar al menos un indicador de cada una de las cuatro estrategias de EC. El indicador del grupo “genérico” no se tendrá en cuenta para el cálculo.
- Para calcular el grado de integración de EC, se procede de la siguiente manera: i) se evalúa el nivel de integración de cada área funcional, ii) se asigna un punto si el nivel de integración del área funcional considera las cuatro estrategias de EC y iii) se divide la suma total de puntos obtenidos por el número de áreas funcionales. Es importante destacar que el cálculo del número de áreas funcionales del panel se limita a aquellas que disponen de indicadores que impacten en las cuatro estrategias de EC.

### **Ciclo 3: Workshops para validación del modelo de indicadores INMOIN Circular**

Dentro del proyecto ECSI Circular Training liderado por el equipo investigador, se hace un llamamiento a empresas para la participación en una formación de INMOIN Circular y se aprovecha dicha formación para la validación del modelo.

En total participan 15 personas de 10 empresas de diferentes sectores (Tabla 36) en los diferentes *workshops*. Los *workshops* (Bertella et al., 2021) se utilizan para mejorar las relaciones entre las partes interesadas, promover la confianza, coproducir soluciones viables y compartir conocimiento. Se realizaron tres *workshops* con una duración media de tres horas y con una participación media de tres empresas por *workshop*.

**Tabla 36:** Empresas participantes en los *workshops* de validación de INMOIN Circular

<b>Empresas</b>	<b>Descripción</b>	<b>Sector</b>	<b>Contacto</b>
A	Servicios de limpieza y mantenimiento, prestación de servicios de restauración en colectividades, comedores de empresa, etc.	Alimentación	Coordinadora de medioambiente / Responsable de prevención y riesgos laborales
B	Fabricación y venta de máquinas y accesorios en general y la construcción y mecanización de útiles.	Industria	Coordinadora de sistemas de gestión
C	Fabricación de tubos, tuberías, perfiles huecos, accesorios de acero y latón y componentes para automoción.	Industria	Director de I+D+i / Responsable de prevención y sostenibilidad
D	Fabricación de calderas, quemadores y otros productos del sector de la calefacción.	Industria	Gerente
E	Empresa de transporte público y privado.	Transporte	Directora de calidad
F	Diseño, fabricación y suministro de MH por deformación.	MH	Técnico Responsable de Excelencia Operacional / Responsable de sostenibilidad / Técnico de montaje / Jefe de oficina técnica
G	Realización de actividades de consultoría de gestión empresarial, principalmente consultoría tecnológica.	Consultoría	Recursos Humanos
H	Fabricación y comercialización de maquinaria y equipamiento industrial para hostelería, alimentación y colectividades.	Industria	Directora de calidad y sistemas
I	Grupo empresarial internacional de soluciones de equipamiento para la restauración, la lavandería y aplicaciones de frío.	Bienes de equipo	Responsable de sostenibilidad
J	Fabricación de pulverizadores y espolvoreadores manuales (para agricultura, jardinería, industria y hogar), así como, componentes para transmisión de potencia.	Bienes de equipo	Responsable de desarrollo de producto

En un primer paso, el equipo investigador ofreció una formación sobre los conceptos básicos, estrategias y soluciones de EC y el modelo INMOIN Circular a las empresas participantes. Posteriormente, se procedió con la distribución de las 12 listas de indicadores, previamente diferenciadas según las áreas funcionales pertinentes, entre los representantes de las 10

empresas. Una vez llevada a cabo dicha distribución, se otorgó a los participantes un período de dos horas para examinar exhaustivamente todos los indicadores provistos, con el propósito de registrar contribuciones, proponer cambios y/o plantear interrogantes.

Posteriormente, tras la conclusión del tiempo asignado, se llevó a cabo una sesión de debate en la que cada empresa expresó sus percepciones respecto a las listas de indicadores recibidas. En esta instancia, se efectuaron modificaciones tales como el reasignamiento de indicadores a áreas funcionales consideradas más apropiadas o la revisión de la redacción de determinados indicadores.

Consecuentemente, el equipo investigador procedió a esclarecer a los participantes el sistema de evaluación integrado en el modelo, destinado tanto a medir la integración de la EC en las áreas funcionales específicas como en su conjunto. Cabe destacar que los participantes manifestaron un interés notable y apreciaron el carácter enriquecedor de este concepto.

Finalmente, se solicitó a los participantes que proporcionaran un *feedback* acerca del modelo de indicadores, resultando en las siguientes observaciones:

- El modelo facilita la selección de indicadores actualmente aplicado en las empresas.
- Ayuda a identificar nuevos indicadores aplicables en el contexto empresarial.
- Facilita la formación en EC y la integración de estrategias en la empresa, promoviendo una visión holística.
- El sistema de evaluación del nivel de integración les permite monitorear el progreso de integración en las áreas funcionales.
- Respecto a la selección de indicadores, se enfatizó que es suficiente iniciar con seis indicadores de las áreas funcionales a abordar.

Por otro lado, en relación con los indicadores definidos según la operativa del área funcional, se observó una disparidad entre: i) las empresas que actualmente están abordando aspectos de la EC y ii) aquellas que aún no han incorporado este enfoque. Las empresas del primer grupo destacaron la pertinencia de dichos indicadores para fortalecer su control operativo. En contraposición, las empresas del segundo grupo no consideraron necesario el empleo de estos indicadores, argumentando que cuentan con suficiente información a través de sus indicadores principales.

### **Ciclo 4: Lanzamiento del modelo de indicadores INMOIN Circular**

Una vez validado el listado de indicadores, el último paso del ciclo del desarrollo del modelo implica el lanzamiento del modelo de indicadores INMOIN Circular dentro del marco de la plataforma web CircularTRANS. Para hacer uso de este modelo de indicadores y determinar el nivel de integración en EC, las empresas deben seguir una serie de pasos establecidos:

- Iniciar una evaluación, la cual, se solicita información como: i) nombre del proyecto, ii) la unidad de negocio a analizar y iii) el año desde el que se quiere iniciar la recogida de datos (Figura 46).

#### **Evaluación**

##### **Nueva evaluación**

Crea una evaluación para conocer el grado de la integración de la Economía Circular en uno de los negocios de tu organización.

Nombre:

Unidad de negocio:

Año desde el cual se iniciará la recogida de datos:

**Figura 46:** Nuevo proyecto de evaluación (Mondragon Unibertsitatea, 2024)

- Una vez establecido el primer paso, las empresas serán provistas con un desglose de las áreas funcionales (Figura 47).

#### **Áreas de la empresa**

ÁREA	NIVEL DE INTEGRACIÓN	NÚMERO DE INDICADORES	COMPLETADO
Calidad y medio ambiente			
Comercial			
Compras			
Dirección			
Finanzas			
I+D			
Producción			
Recursos humanos			
SAT			

**Figura 47:** Listado parcial de las 12 áreas funcionales (Mondragon Unibertsitatea, 2024)

- En el siguiente paso, las empresas proceden a la selección de indicadores específicos para cada área funcional de interés (Figura 48), donde se muestra la siguiente información: i) el indicador, ii) la categoría a la que pertenece el indicador, iii) la unidad de medida, iv) la estrategia de EC en la que impacta el indicador y, v) la opción de seleccionar los indicadores. Esta selección no solo determinará el grado de integración en EC para cada área funcional. Asimismo, en esta selección se les otorgará la opción de crear indicadores nuevos que resulten necesarios y que no estén previamente identificados.

**Calidad y medio ambiente**

- Para conocer el nivel de integración de la EC en esta área o departamento de la organización, selecciona del listado propuesto los indicadores que ya se utilizan.
- Si quieres aumentar el nivel de integración de la EC, añade nuevos indicadores.

*Nota: Si utilizas algún indicador no contemplado en el listado lo puedes crear para que aparezca. Sería un indicador PROPIO.*

INDICADOR	CATEGORÍA	UNIDAD DE MEDIDA	ESTRATEGIA	PROPIO
Nº departamentos que consideran indicadores / Nº departamentos	General	%	Uso de recursos naturales	<input checked="" type="checkbox"/>
Nº departamentos que consideran indicadores / Nº departamentos	General	%	Optimizar recursos	<input checked="" type="checkbox"/>
Nº departamentos que consideran indicadores / Nº departamentos	General	%	Alargar la vida útil	<input checked="" type="checkbox"/>
Nº departamentos que consideran indicadores / Nº departamentos	General	%	Cierre de ciclos	<input checked="" type="checkbox"/>
Nº de certificaciones medioambientales / Nº total de certificaciones	General	%	Genérica	<input checked="" type="checkbox"/>
Nº de reclamaciones internas relacionadas con EC	General	Valor absoluto	Genérica	<input type="checkbox"/>
Nº de reclamaciones externas relacionadas con EC	General	Valor absoluto	Genérica	<input type="checkbox"/>
Digitalización de la información	General	Valor absoluto	Genérica	<input type="checkbox"/>

Nivel de integración de la Economía Circular



**Figura 48:** Ejemplo del listado de indicadores y nivel de integración de EC del área de calidad y medioambiente (Mondragon Unibertsitatea, 2024)

- Posteriormente, a partir de la primera selección de indicadores, la empresa podrá calcular el nivel general de integración en EC y realizar un recuento exhaustivo de los indicadores agrupados en las cuatro estrategias s de EC (Figura 49).



ESTRATEGIA	NÚMERO DE INDICADORES
Uso de recursos naturales	2
Optimizar recursos	7
Alargar la vida útil	9
Cierre de ciclos	7
Genérica	3

**Figura 49:** Nivel de integración de EC y recuento de indicadores agrupados en estrategias de EC (Mondragon Unibertsitatea, 2024)

- Finalmente, la empresa establece los objetivos específicos mostrados para cada indicador (Figura 50) y registra los datos correspondientes para cada indicador, tal como se indica en la Figura 51. También puede exportar a un fichero *Excel* los indicadores para poder unirlos al papel de indicadores general de cada área de la empresa.

**Nº departamentos que consideran indicadores / Nº departamentos**

Objetivo:

Perioricidad (¿cada cuánto se registrarán los datos?):

Unidad de medida:

Objetivo numérico:

¿El resultado de las mediciones se puede representar mediante gráficas?:

¿Lo estás utilizando actualmente?:

Responsable:

**Figura 50:** Datos a completar para realizar la evolución de los indicadores (Mondragon Unibertsitatea, 2024)

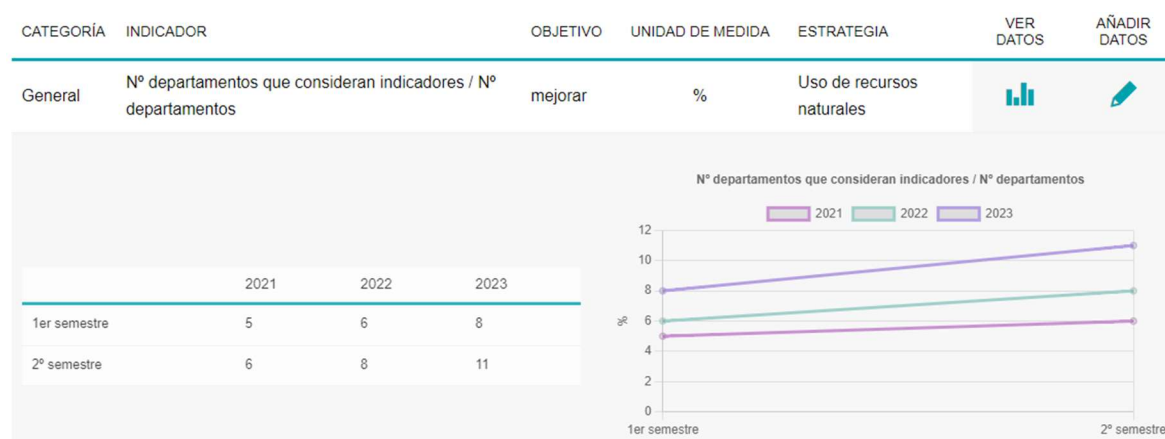


Figura 51: Ejemplo de resultados incluyendo datos por indicador (Mondragon Unibertsitatea, 2024)

### 4.3.5 Conclusiones y oportunidades de mejora

Las conclusiones derivadas del análisis del modelo de indicadores INMOIN Circular y su proceso de diseño, desarrollo y validación son las siguientes:

- La co-creación del modelo en colaboración con empresas ha garantizado la consideración de sus necesidades específicas en la formulación de los indicadores, lo que fortalece su relevancia y utilidad en el contexto organizativo.
- INMOIN Circular facilita el seguimiento exhaustivo de los indicadores seleccionados, segmentados por áreas, lo que mejora la capacidad de las empresas para realizar un monitoreo efectivo de su desempeño en términos de EC.
- La implementación de INMOIN Circular permite a las empresas integrar indicadores en distintas áreas funcionales y descubrir nuevas métricas previamente no identificadas, lo que enriquece su comprensión de la EC y fomenta el aprendizaje organizativo en este ámbito.
- La diversidad de indicadores disponibles en INMOIN Circular ha contribuido a la comprensión de que los principios de la EC son aplicables en todas las áreas operativas de una empresa, adaptándose así a sus necesidades específicas.
- Se destaca la percepción positiva de las empresas respecto a la exhaustividad y la facilidad de uso del modelo de indicadores INMOIN Circular, el cual, ofrece una estructura clara y accesible para trabajar en diferentes áreas funcionales y promover la circularidad a nivel global.
- Las empresas han valorado positivamente la comprensibilidad de los indicadores y la facilidad para obtener los datos necesarios, lo que representa una mejora significativa respecto a metodologías previas que encontraban desafíos en este aspecto.
- El modelo de indicadores INMOIN Circular incorpora el cálculo de circularidad, alineándose con los estándares y directrices emergentes, como la normativa genérica

ISO 59000 relacionada con la EC y la específica ISO59020 que incluye el cálculo de circularidad.

## **4.4 Eco-productividad Industrial**

Durante la validación del cuestionario diagnóstico ICEQ se identifica la necesidad de desarrollar una herramienta para aplicar en el proceso productivo y no generar impactos negativos en el medioambiente. Para ello, se ha desarrollado la herramienta Eco-productividad Industrial con el objetivo de que las empresas industriales reduzcan los impactos productivos.

### **4.4.1 Base metodológica**

Según Karmaker et al., 2021; Verma & Gustafsson, 2020) las industrias manufactureras se encuentran al principio de una transformación industrial, lo que constituye un reto y un incentivo para utilizar los recursos de forma eficiente y, en consecuencia, aumentar la competitividad y la sostenibilidad. La mayoría de los conceptos y términos que vinculan la EC y la sostenibilidad con la fabricación promueven la gestión del ciclo de vida del producto. La fabricación sostenible aborda en particular la fase de producción del ciclo de vida, aunque sin descuidar las consecuencias económicas y medioambientales de las actividades en las demás fases. La sostenibilidad en la fabricación puede lograrse de varias maneras (Blume, 2020): i) maximizando la eficiencia de la producción, ii) minimizando el uso de recursos, iii) maximizando la producción de productos mediante la sustitución de recursos nocivos y no renovables y, iv) reduciendo el consumo mediante la modificación de las pautas de consumo.

En este sentido, las empresas han utilizado tradicionalmente prácticas centradas en: i) eliminar actividades que no añaden valor, ii) aumentar la eficiencia de la producción y iii) reducir el impacto medioambiental. Para medir estos procesos, se han desarrollado diferentes métricas, como la Eficacia General de los Equipos (EGE) (R. Singh et al., 2013) y la ecoeficiencia (Chenavaz et al., 2021), que se utilizan de forma independiente y son gestionadas por distintas áreas funcionales.

La sostenibilidad en la fabricación implica el uso eficiente de los recursos tanto en términos económicos como medioambientales. Es una estrategia adecuada para aumentar la productividad de las empresas industriales mediante el incremento de la productividad de los recursos (S. Ma et al., 2015). La productividad de los recursos se entiende como la relación entre la entrada y salida de un proceso de transformación, lo que permite evaluar el grado de eficiencia del proceso. En este sentido, las métricas de rendimiento industrial consideran cada vez más los aspectos económicos como los relacionados con la sostenibilidad medioambiental (Liedtke et al., 2014). Por tanto, es necesario que las empresas utilicen métricas que

referencien información y patrones temporales y espaciales para evaluar de forma continua el rendimiento productivo y medioambiental, cuantificándolos de forma sencilla y útil para identificar áreas de mejora.

Debido a la falta de recursos, las pymes no tienen conciencia sobre su huella ecológica o responsabilidad con el medioambiente. Por tanto, las pymes necesitan herramientas que les permitan medir y actuar sobre la producción y el rendimiento medioambiental de forma sencilla, y que permitan el desarrollo de procesos de fabricación sostenibles (Millard, 2011). Existen investigadores que han desarrollado métricas aplicables en procesos productivos basadas en aspectos ambientales y productivos, entre las que destacan Rendimiento General Sostenible (RGS) (Durán et al., 2018), Rendimiento Ecológico General (REG) (Muñoz-Villamizar et al., 2018), Eficacia Medioambiental General de los Equipos (EMGE) (Domingo & Aguado, 2015) y trabajos donde se analiza la eco-productividad (Llanquileo-Melgarejo & Molinos-Senante, 2022; T. Ma & Cao, 2022; Nguyen et al., 2022). En algunos casos, RGS, REG y EMGE no se consideran indicadores de gestión comunes, mientras que, en otros, el método puede ser difícil de aplicar en las pymes, ya que es necesario utilizar un software de análisis del ciclo de vida para obtener los valores de los eco indicadores. Sin embargo, ninguno de estos métodos mide los residuos de producción.

Asimismo, para realizar el diseño de la herramienta Eco-productividad Industrial, primero se han analizado aspectos como: i) el despilfarro productivo, ii) la eficiencia productiva y iii) la ecoeficiencia.

### **4.4.1.1 Despilfarro productivo**

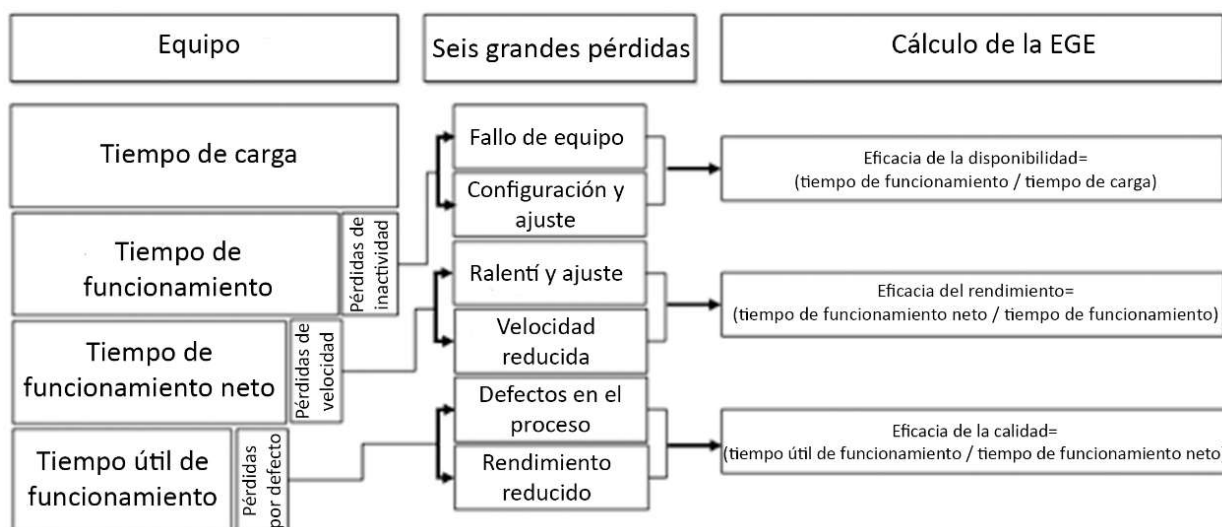
Las empresas aplican *Lean* ya que ofrece herramientas para reducir los residuos, aumentar la productividad de los procesos y abordar el impacto medioambiental (Liker, 2006), mejorando la eficiencia productiva en los procesos industriales (Baysan et al., 2019). La base de *Lean* consiste en reducir las actividades sin valor añadido en los procesos productivos (Fercoq et al., 2016). La Tabla 37 muestra la relación entre los residuos *Lean* y los impactos medioambientales generados por los procesos industriales (Verrier et al., 2016).

**Tabla 37:** *Lean Muda* y sus impactos ecológicos (Verrier et al., 2016)

<b>Lean Muda</b>	<b>Impactos ecológicos asociados</b>
Sobreproducción	Uso innecesario de energía y materias primas, más problemas de seguridad en caso de sustancias peligrosas, posible aumento de las emisiones directas de salida
Inventario	Uso excesivo de energía para calefacción/refrigeración/iluminación, posible uso excesivo de materiales y producción de basura debido al embalaje añadido, posible deterioro del producto
Transporte	Uso de energía durante el transporte (mayores emisiones, riesgos especiales con fletes peligrosos (por ejemplo, vertidos), etc.)
Defectos	Desperdicio de materias primas y energía: gestión de los retratamientos (energía, eliminación, etc.)
Movimientos innecesarios	Necesidad potencial de más espacio (energía) y embalajes (materiales) para desplazamientos innecesarios
Esperas	Desperdicio de energía y recursos, posibles daños materiales
Tratamientos inadecuados	Uso innecesario de energía y materias primas, más basura y emisiones, procesos potencialmente peligrosos
Potencial perdido de las personas	Potencial de mejora perdido

#### 4.4.1.2 Eficiencia productiva

La Eficacia General de los Equipos (EGE) se utiliza como indicador de rendimiento del uso de los equipos. Calcula la eficiencia y productividad del equipo en relación con su capacidad máxima. También determina el porcentaje de tiempo dedicado a fabricar productos sin defectos. Como se muestra en la Figura 52, la EGE es el producto de la eficacia de la disponibilidad, la eficacia del rendimiento y la eficacia de la calidad (R. Singh et al., 2013) en el que para obtener estos resultados es necesario conocer: i) los tiempos de trabajo reales de las máquinas y ii) las seis grandes pérdidas.



**Figura 52:** Eficacia General de los Equipos (EGE) (R. Singh et al., 2013)

La EGE puede aplicarse en diferentes contextos (Muchiri & Pintelon, 2008): i) como punto de referencia para medir el rendimiento inicial de una planta de fabricación en su conjunto, ii) para comparar el rendimiento de las líneas de una fábrica, destacando así, cualquier rendimiento deficiente de la línea o, iii) para identificar qué instalación tiene un rendimiento inferior y, por lo tanto, dónde concentrar los recursos. Por otro lado, Muñoz-Villamizar et al. (2018) han utilizado la EGE como base para desarrollar otras métricas para evaluar el comportamiento productivo y ambiental de los procesos productivos, a las que denominan REG. Sin embargo, a pesar de su extendido uso y éxito, la EGE no proporciona una visión global a nivel productivo, ni distingue el impacto de equipos específicos en el rendimiento global (Durán et al., 2018).

#### **4.4.1.3 Ecoeficiencia**

Según Huppés & Ishikawa (2007) la ecoeficiencia se define como *“la relación entre el valor añadido y el impacto medioambiental agregado de los procesos operativos de una empresa”* y puede representarse con el ratio (Thant & Charmondusit, 2010): rendimiento económico / rendimiento medioambiental. Los impactos medioambientales pueden medirse en términos de consumo de recursos, emisiones o daños medioambientales, pero deben evaluarse en las operaciones internas de la empresa, excluyendo las etapas relacionadas con el producto y el proveedor (Hahn et al., 2010). Las empresas emplean un conjunto de prácticas para mejorar su ecoeficiencia a través de diferentes métodos basados en el Análisis Ciclo de Vida (ACV) y otras métricas para calcular su impacto ambiental en la fabricación (Domingo & Aguado, 2015). Por lo general, el objetivo es reducir los impactos ambientales negativos, pero esto no es suficiente; también es necesario promover la creación de valor y producir valor económico, es decir, mejorar la eficiencia y el rendimiento generando beneficios ambientales y económicos (Duarte & Cruz Machado, 2017).

#### **4.4.2 Eco-productividad Industrial**

Saravia-Pinilla et al. (2019) definen la eco-productividad como *“la capacidad del sistema para transformar energía, material, recursos e información (sin desperdicio ni despilfarro) en un producto o servicio, sin generar impactos negativos en otros sistemas interactuantes”*.

La herramienta Eco-productividad Industrial ha sido desarrollada para relacionar los aspectos *Lean* con la eliminación de residuos de producción y medioambientales (Ferroq et al., 2016; Liker, 2006), una medida de eficiencia de la producción y un indicador de ecoeficiencia que mide el impacto medioambiental de los procesos. Además, se han introducido los aspectos de despilfarro productivo, eficiencia productiva y ecoeficiencia para obtener el nivel de eco-productividad.

Con esta herramienta, se quiere conseguir que las pymes obtengan la excelencia productiva de manera simple y que reduzcan los impactos productivos. Estos impactos afectan directamente al medioambiente haciendo que la reducción de materias primas y residuos en los procesos productivos mejoren sus valores.

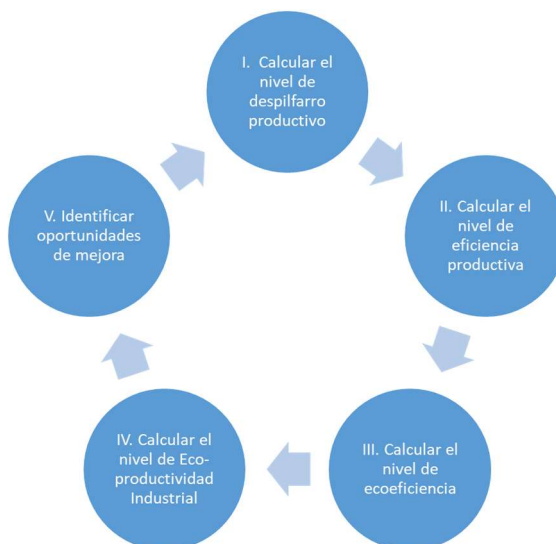
### **4.4.2.1 Especificaciones**

Las especificaciones que la herramienta Eco-productividad industrial debe cumplir se muestran a continuación:

- Herramienta auto evaluable para las pymes industriales.
- La herramienta debe tener un orden para facilitar su uso a las organizaciones.
- Estar pensado para uso interno de la organización.
- Que sea sencilla, intuitiva y fácil de usar. Además, los datos deben ser fáciles de introducir.
- Las empresas no deben de realizar ningún cálculo matemático para obtener el nivel de Eco-productividad Industrial.
- No requerir de herramientas externas.
- Proporcionar resultados instantáneos.

### **4.4.2.2 Diseño y desarrollo**

Una vez analizados el despilfarro productivo, la eficiencia productiva y la ecoeficiencia se procede con el diseño de la herramienta Eco-productividad Industrial la cual integra los tres aspectos mencionados. La herramienta consta de cinco fases (Figura 53): i) calcular el nivel de despilfarro productivo, ii) calcular el nivel de eficiencia productiva, iii) calcular el nivel de ecoeficiencia, iv) calcular el nivel de Eco-productividad Industrial y, v) identificar oportunidades de mejora.



**Figura 53:** Método de evaluación de la Eco-productividad Industrial para pymes (adaptado de Urain et al., (2023))

A continuación, se exponen cada uno de los cinco pasos de la herramienta Eco-productividad Industrial.

### I. Calcular el nivel de despilfarro productivo

En esta primera fase se evalúan cualitativamente los residuos de producción de una empresa. El cálculo se basa en los ocho residuos descritos por Verrier et al. (2016). La Figura 54 muestra un extracto del cuestionario para calcular los residuos de sobreproducción y los residuos de corrección. Cada tipo de residuo consta de cuatro niveles y, en función de los niveles de residuo de la empresa, recibe una puntuación para evaluar el residuo analizado. Cada nivel tiene una puntuación de 1,25. Así, si una empresa se encuentra en el nivel dos, obtendrá una puntuación de 2,5 sobre 5.

DESPILFARRO PRODUCTIVO						
Tipo	Descripción	Preguntas por nivel	Sí	No	Observaciones	Nivel Objetivo
Sobreproducción	Es el peor de los despilfarros ya que genera todos los demás. Producir más de lo demandado (más de lo que necesitan los clientes) o producir algo antes de que sea necesario.	Nivel 1. ¿Se dispone de un sistema para la gestión de la producción?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2,5 5
		Nivel 2. ¿Se dispone de un sistema de producción estandarizada en planta que relaciona los pedidos de los clientes con las cantidades a fabricar, con un responsable y que se realiza a través de un ERP?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
		Nivel 3. ¿Se dispone de un sistema estandarizado que mide indicadores de rendimiento y controla los stocks?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
		Nivel 4. ¿Se dispone de un sistema de gestión avanzado que analiza los resultados para mejorar la gestión de la producción enfocado a minimizar los lotes de producción?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Corrección	Reprocesamientos ocultos (no evaluados) de un producto para que cumpla las necesidades del cliente.	Nivel 1. ¿Se realiza el seguimiento básico de las correcciones?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		3,75 5
		Nivel 2. ¿Dispone de algún sistema para la identificación y gestión de los reprocesamientos?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
		Nivel 3. ¿Se dispone de un sistema de recogida de datos de correcciones e incidencias, mediante indicadores estandarizados?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
		Nivel 4. ¿Se dispone de un sistema de mejora continua permanente para la eliminación de las correcciones?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		

**Figura 54:** Extracto del cuestionario para calcular los despilfarros de sobreproducción y corrección (adaptado de Urain et al. (2023))

A partir del nivel de cada tipo de despilfarro determinado por las respuestas al cuestionario, se puede calcular el residuo global (Ecuación 1 y Ecuación 2). Si una empresa tiene un nivel del 100%, significa que, teóricamente, no genera ningún residuo productivo.

$$Tipo = \sum_{i=0}^4 Nivel_{(nivel = 1.25)}$$

**Ecuación 1:** Nivel del tipo de despilfarro productivo (Urain et al., 2023)

$$Despilfarro\ productivo\ (\%) = \left(\frac{Nivel\ medio}{5}\right) \cdot 100$$

**Ecuación 2:** Porcentaje del despilfarro productivo (Urain et al., 2023)

## II. Calcular el nivel de eficiencia productiva

Para obtener la eficiencia productiva, la empresa debe determinar primero la máquina a analizar. A continuación, se debe recopilar información que refleje el tiempo útil de funcionamiento de dicha máquina. Para ello, como se muestra en la Figura 55, es necesario conocer (Durán et al., 2018): i) el calendario de la máquina, ii) el tiempo de carga, iii) el tiempo de funcionamiento y, iv) el tiempo neto de funcionamiento. Una vez obtenidos estos tiempos, se calculan (Durán et al., 2018): i) la disponibilidad, iii) el rendimiento, iii) la tasa de calidad. El cálculo de la eficiencia productiva se obtiene como se muestra en la Ecuación 3.

Si la empresa quiere calcular la eficiencia productiva de una línea de producción, debe obtener la eficiencia de cada máquina de esa línea y promediar los valores. Asimismo, si la empresa quiere obtener su eficiencia productiva organizativa completa, debe promediar los valores de todas sus líneas de producción.

T. Calendario (h)		0		
T. de carga (h)		0	0	Paradas programadas
T. de funcionamiento (h)		0,00	0	Averías Cambios ( y esperas)
T. de funcionamiento neto (h)		0	0	Microparadas Pérdidas de velocidad
T. de funcionamiento útil (h)		0	0	Pérdidas de calidad Pérdidas en el arranque

**Figura 55:** Extracto del cálculo de la eficiencia productiva (adaptado de Urain et al. (2023))

$$Eficiencia\ productiva\ (\%) = Disponibilidad * Rendimiento * Tasa\ de\ calidad$$

**Ecuación 3:** Cálculo de la eficiencia productiva (R. Singh et al., 2013)

## III. Calcular el nivel de ecoeficiencia

Para obtener el nivel de ecoeficiencia, la empresa debe determinar el sistema de producción. Con este fin, debe realizar un análisis de inventario que tenga en cuenta las entradas y salidas del sistema de producción y el número de piezas buenas fabricadas al año. Una vez identificados los aspectos del inventario, es necesario especificar cada consumo definiendo un sistema de medición. A continuación, utilizando las ecuaciones de la Tabla 38, se calculan los índices de utilización de los recursos utilizados. Una vez que se dispone de los índices de utilización, se calcula la ecoeficiencia (Ecuación 4).

**Tabla 38:** Ecuaciones para obtener la ecoeficiencia (adaptado de Urain et al. (2023))

Ítems	Ecuaciones	Ítems	Ecuaciones
<b>Materiales (%)</b>	$\frac{\text{Materia prima} - \text{Residuo de materia prima}}{\text{Materia prima}}$	<b>Salida de agua (%)</b>	$\frac{\text{Consumo de agua}}{\text{Piezas buenas fabricadas al año}}$
<b>Entrada de energía (%)</b>	$\frac{\text{Consumo energético}}{\text{Piezas buenas fabricadas al año}}$	<b>Emisiones de aire (%)</b>	$\frac{\text{Consumo}}{\text{Piezas buenas fabricadas al año}}$
<b>Salida de energía (%)</b>	$\frac{\text{Consumo energético}}{\text{Piezas buenas fabricadas al año}}$	<b>Residuos tóxicos (%)</b>	$\frac{\text{Consumo de residuos tóxicos}}{\text{Piezas buenas fabricadas al año}}$
<b>Entrada de agua (%)</b>	$\frac{\text{Consumo de agua}}{\text{Piezas buenas fabricadas al año}}$	<b>Residuos no tóxicos (%)</b>	$\frac{\text{Consumo de residuos no tóxicos}}{\text{Piezas buenas fabricadas al año}}$

*Ecoeficiencia (%) = Promedio de materiales; entrada de energía; salida de energía; entrada de agua; salida de agua; emisiones de aire; residuos tóxicos; residuos no tóxicos*

**Ecuación 4:** Cálculo del nivel de ecoeficiencia

#### IV. Calcular el nivel de Eco-productividad Industrial

A partir de los resultados obtenidos en los tres pasos anteriores, el nivel de Eco-productividad Industrial de la empresa se calcula con la Ecuación 5 y se obtiene un panel de mando como el que se muestra en la Figura 56, donde se recoge por un lado el nivel de cada aspecto analizado y por otro diagramas de araña donde se muestran las puntuaciones de los ítems de cada uno de los grupos. Asimismo, se muestra también el nivel de Eco-productividad Industrial como su representación en un diagrama de araña. Con este panel de mando, se quiere ofrecer una visión general a las organizaciones de los resultados obtenidos.

*Eco – productividad Industrial (%) = Despilfarro productivo \* Eficiencia productiva \* Ecoeficiencia*

**Ecuación 5:** Cálculo del porcentaje de Eco-productividad Industrial (Urain et al., 2023)

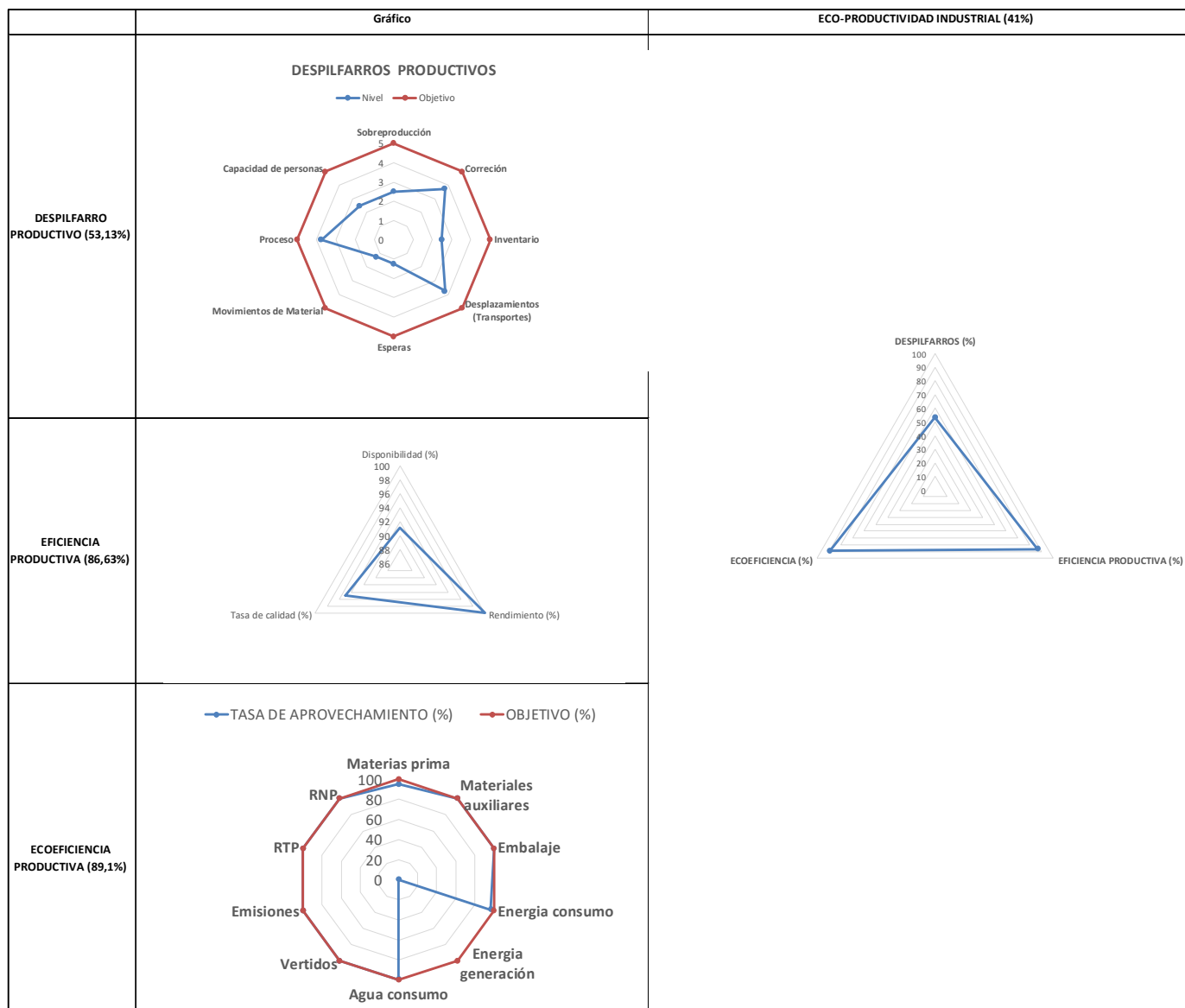


Figura 56: Ejemplo de panel de mando de Eco-productividad Industrial

### V. Identificar oportunidades de mejora

Finalmente, conociendo el nivel de Eco-productividad Industrial de la empresa se define un plan de acción para realizar mejoras (Figura 57), fijando unos objetivos y midiendo el esfuerzo y el impacto que les supone a la empresa. Estos pueden obtenerse a partir de los análisis de los ocho tipos de residuos (Tabla 37) y las seis grandes pérdidas (Figura 52), y del análisis de la ecoeficiencia (Tabla 38).

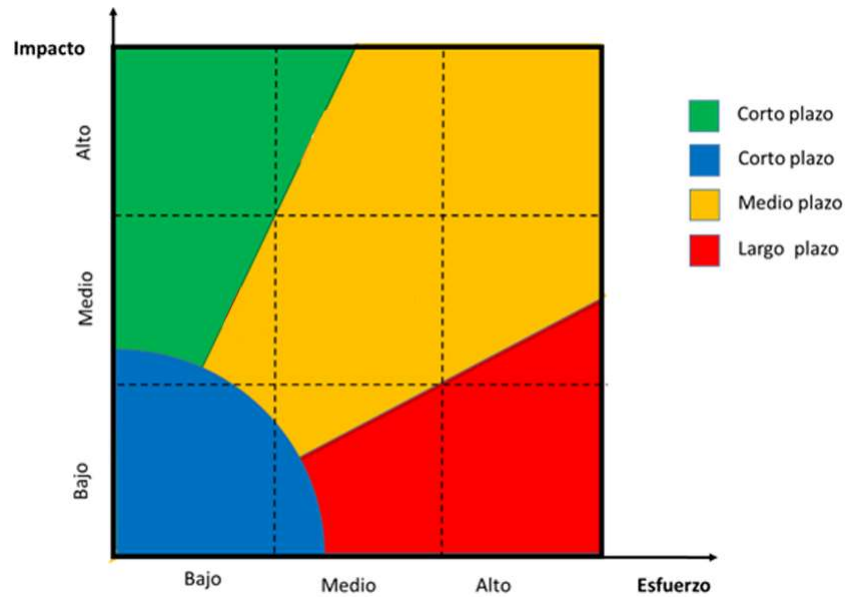


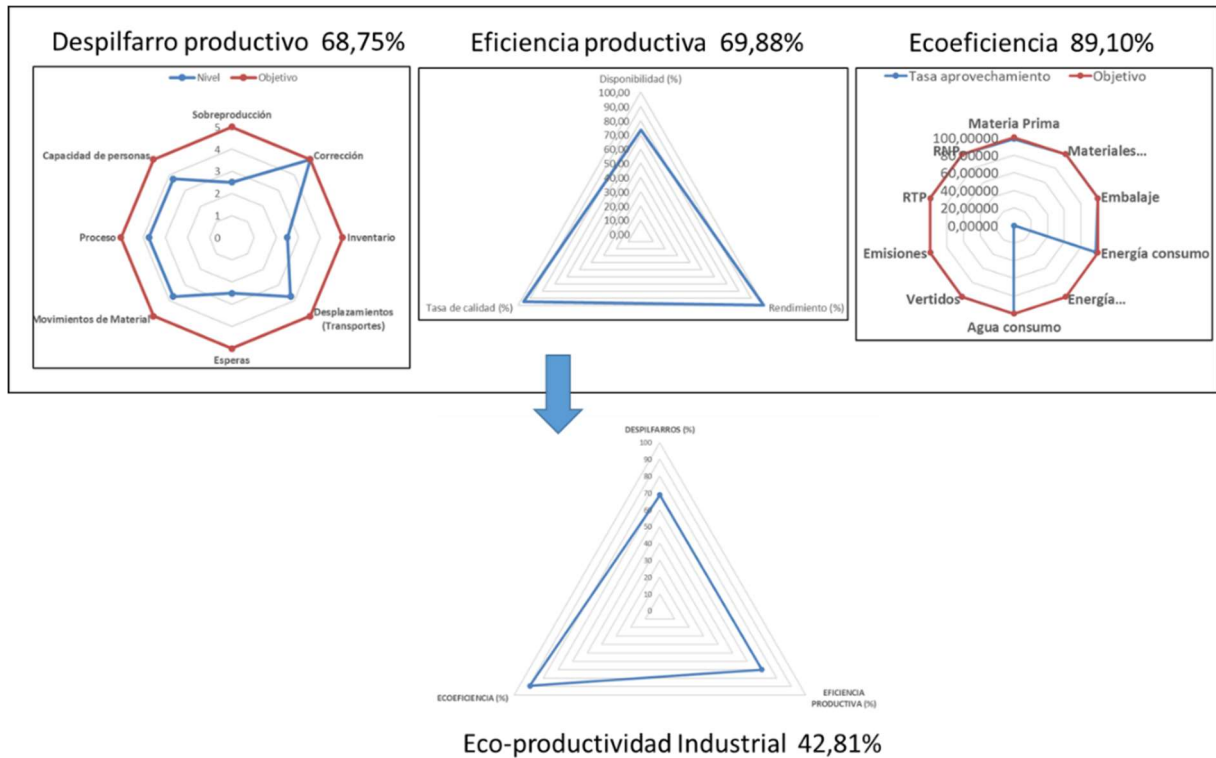
Figura 57: Clasificación de las mejoras según impacto y esfuerzo (adaptado de Urain et al. (2023))

#### 4.4.2.3 Validación

Para validar la herramienta Eco-productividad Industrial se ha trabajado con una empresa del sector industrial que se dedica a suministrar piezas a los sectores de automoción, alimentación y farmacéutica. Para ello, el equipo investigador se ha reunido con los miembros de la empresa y se han seguido los siguientes pasos:

1. Explicación del funcionamiento de la herramienta y los aspectos que se analizan.
2. Identificación de los datos necesarios para calcular el nivel de Eco-productividad Industrial.
3. Introducir los datos en la herramienta.

Una vez introducidos los datos la empresa obtiene los resultados que se muestran en la Figura 58.



**Figura 58:** Resultados de Eco-productividad Industrial de la empresa

Como se observa en la figura superior, en cuanto a los despilfarros productivos se observa que las mejoras deben aplicarse en la sobreproducción, las esperas y los inventarios. Por otro lado, analizando la eficiencia productiva, se ha observado que las áreas de mejora están relacionadas con el aumento de la disponibilidad mediante la reducción del tiempo de cambio y la disminución de las averías mediante el refuerzo de la gestión del mantenimiento de las instalaciones. Por último, considerando la ecoeficiencia se ha visto la necesidad de mejora en la reducción del consumo de energía.

Una vez analizados los resultados, el equipo investigador ha propuesto una lista de mejoras para aplicar en la empresa y mejorar el resultado de la Eco-productividad Industrial. Las oportunidades de mejora identificadas han sido:

- Sincronizar los puestos de trabajo, para mejorar el tiempo de espera, la sobreproducción y los inventarios.
- Utilizar *Single Minute Exchange of Die* (SMED), para mejorar la disponibilidad de las instalaciones reduciendo el tiempo de cambio.
- Aplicar el mantenimiento preventivo, para reducir las averías.

### **4.4.3 Conclusiones y oportunidades de mejora**

Las conclusiones derivadas del análisis de la herramienta Eco-productividad Industrial en el contexto de esta investigación doctoral son las siguientes:

- La herramienta Eco-productividad Industrial ofrece una evaluación exhaustiva de las pérdidas tanto productivas como medioambientales dentro del ámbito empresarial, permitiendo una comprensión holística de dichos aspectos.
- Su aplicación facilita a las pymes la capacidad de examinar detalladamente su uso de recursos, tanto en términos productivos como medioambientales, y proporciona orientación en el proceso de transición hacia la EC y la mejora medioambiental.
- Esta herramienta se distingue por su simplicidad y facilidad de uso, lo que permite a las empresas implementarla sin necesidad de recurrir a expertos externos.
- Un atributo significativo de la herramienta es su capacidad para generar resultados.

Finalmente, en lo que respecta a la evaluación realizada por la entidad empresarial, se ha registrado un juicio favorable. Se ha enfatizado la accesibilidad de la herramienta y la eficiencia temporal requerida para generar resultados. Además, se ha subrayado que, al tratarse de una herramienta transparente, intuitiva y estructurada de manera lógica, no ha sido necesaria la asistencia externa.



CAPÍTULO 5

# Casos de estudio guía CircularTRANS

## 5. Casos de estudio guía CircularTRANS

Este capítulo tiene por objeto presentar la aplicación de la guía CircularTRANS en dos casos de estudio (Mugafil y Clínica dental Urraca) de diferentes sectores con el objetivo de: i) validar la guía CircularTRANS y ii) verificar que las herramientas diseñadas y desarrolladas son aptas para que las empresas empiecen a transitar hacia una EC.

Durante la validación de la guía CircularTRANS (Figura 59) se realiza un acompañamiento por parte del equipo investigador a ambas empresas. Este acompañamiento a las empresas comienza con la impartición de una formación básica en EC y la presentación de la guía CircularTRANS a las personas responsables de cada empresa. Posteriormente, las empresas aplican el proceso de cinco pasos en la que comienzan realizando un diagnóstico con el cuestionario ICEQ y terminan detallando un plan de acción para llevar a cabo las mejoras. Además, una vez definido el plan de acción disponen de diferentes recursos de apoyo (4.1.6) para lograr alcanzar las oportunidades identificadas.



Figura 59: Proceso seguido por ambas empresas

En los casos de estudio llevados a cabo se muestran: i) la caracterización de la empresa, ii) la aplicación de la guía CircularTRANS, iii) las mejoras obtenidas y, iv) las conclusiones.

## 5.1 Caso de estudio 1. Mugafil

El propósito de este caso se ha centrado en realizar un análisis de la situación actual en relación con la EC, empleando la guía CircularTRANS, con el fin de identificar oportunidades de mejora y su posterior implementación en la estructura operativa de la empresa, con el propósito de alcanzar beneficios tanto a corto, como a medio y largo plazo.

En primer lugar, se presenta la empresa Mugafil. Posteriormente, se presentan los hallazgos derivados de esta caracterización, las oportunidades específicas identificadas mediante la utilización de la guía CircularTRANS, así como, las herramientas metodológicas empleadas para este fin. Por último, se exponen las mejoras implementadas por la empresa como resultado de este proceso de análisis y planificación estratégica y las conclusiones del proyecto realizado.

### 5.1.1 Mugafil

La empresa Mugafil, fundada en 1991 y situada en el Polígono Industrial de Jundiz Oeste en Vitoria, es una empresa familiar de trefilería especializada en la fabricación de alambre (liso y grafilado) que, partiendo de alambcón, consiguen estirar hasta encontrar dimensiones y características mecánicas adecuadas para las distintas utilidades de sus clientes (Mugafil, 2022).

En la actualidad trabajan 28 personas divididas en 5÷6 áreas funcionales como se muestra en la estructura organizativa representada en la Figura 60.

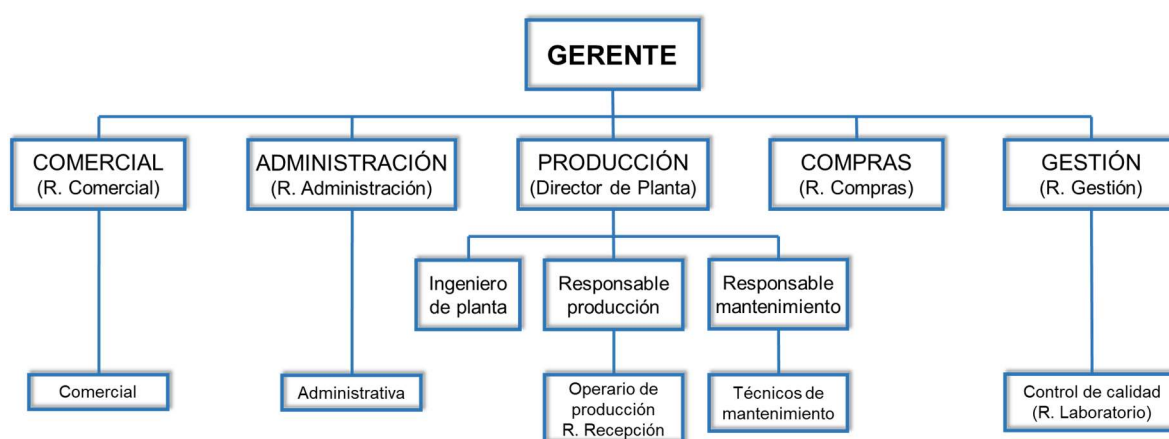


Figura 60: Estructura organizativa general de la empresa

El producto que Mugafil ofrece se vende principalmente en formato de bobinas o en barras y se utiliza en diversos sectores como: i) construcción, ii) agricultura, iii) automoción o, iv) industria en general. Consiste en un negocio de gran volumen en el

que los aspectos clave son la compra de materia prima, así como, la labor comercial de la venta, teniendo en la actualidad una facturación media anual de 25÷30 millones de euros.

La empresa dispone de dos tipos de productos:

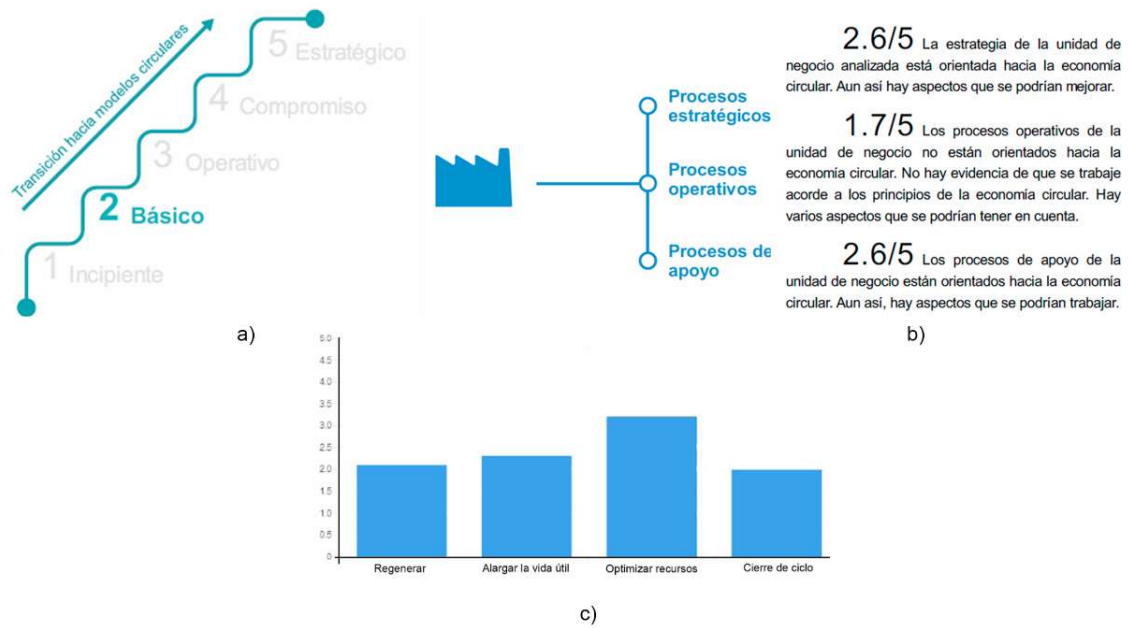
- Alambre liso o brillante: mediante el estirado o el proceso de laminación en frío consiguen un alambre acorde a los requerimientos dimensionales y mecánicos que les demanda el cliente. Principalmente, este tipo de alambre se utiliza para sectores industriales, automoción o el sector eléctrico.
- Alambre grafilado: mediante un proceso de marcado de alambre durante el estirado, el grafilado trata de realizar el mismo proceso que se lleva a cabo en el trefilado, pero en este caso con un alambre corrugado. Este tipo de alambre se utiliza principalmente en el sector de la construcción y la agricultura.

Mugafil posee los certificados de sistema de gestión de calidad ISO 9001:2015 y sistema de gestión ambiental ISO 14001:2015. Además, dispone de un certificado de adherencia sobre la política integrada de calidad, medioambiente, seguridad y salud laboral.

### **5.1.2 Aplicación de la guía CircularTRANS**

Tras la formación inicial, el director de planta de Mugafil, encargado de implementar la guía CircularTRANS, ha procedido de forma autónoma a completar el cuestionario diagnóstico ICEQ (4.2.6) con el fin de realizar una autoevaluación inicial del modelo de negocio seleccionado.

Una vez finalizado el cuestionario, los resultados obtenidos se presentan en la Figura 61. Por un lado, en la Figura 61a se exhiben los resultados generales, los cuales indican un nivel de 2 sobre 5, situando a la empresa en un nivel básico de aplicación donde se observan signos de deseo por parte de la organización de alinear sus actividades con la EC. Asimismo, en la Figura 61b se muestran los resultados de los procesos internos analizados, con una puntuación de 2,6 sobre 5 en procesos estratégicos, 1,7 sobre 5 en procesos operativos y 2,6 sobre 5 en procesos de apoyo. Para concluir, la Figura 61c presenta los resultados relativos a las estrategias de EC adoptadas por la empresa: i) 2,1 sobre 5 en estrategia de regeneración, ii) 2,3 sobre 5 en estrategia de alargamiento de vida útil, iii) 3,2 sobre 5 en optimización de recursos y, iv) 2 sobre 5 en cierre de ciclo.



**Figura 61:** Resultados obtenidos del cuestionario ICEQ: a) generales; b) procesos internos; c) estrategias de EC

Estos resultados indican que Mugafil está abordando algunos conceptos que afectan tanto a los procesos internos como a las estrategias de la EC, aunque aún existen áreas de mejora para aumentar los resultados en términos de las estrategias de EC.

Basándose en estos resultados la empresa ha identificado 14 oportunidades de mejora, de las cuales ha seleccionado 8. La Tabla 39 detalla las oportunidades seleccionadas, incluyendo las estrategias de la EC afectadas, la viabilidad (considerando factibilidad técnica, beneficio esperado y recursos necesarios) y el periodo de maduración, según lo definido por el director de planta.

**Tabla 39:** Oportunidades seleccionadas para trabajar en profundidad por la empresa

Oportunidad	Estrategia	Viabilidad	Periodo de maduración
Valorar incorporar la EC a la estrategia de la organización.	Regenerar		Medio
Valorar aumentar la colaboración con otras partes interesadas.	Regenerar		Largo
Valorar el empleo de material/componentes reciclables y facilitar dicha labor.	Cierre de ciclo		Medio
Valorar emplear materiales reciclables para los embalajes.	Cierre de ciclo		Medio
Valorar buscar salidas en la EC a los residuos generados en el proceso productivo.	Regenerar, Alargar la vida útil, Cierre de ciclo, Optimizar recursos		Corto
Valorar si existe posibilidad de instalar sistemas de recuperación energética para la planta.	Cierre de ciclo		Medio
Valorar realizar labores de comunicación interna en la concienciación sobre EC y desarrollo sostenible.	Regenerar		Corto
El optimizar el uso de los recursos al máximo es estratégico para la organización.	Optimizar recursos		Medio

Nota: : Viable; : Medio viable; : No viable

Todas las oportunidades seleccionadas son consideradas viables, es decir, cuentan con los recursos necesarios y, teniendo en cuenta los beneficios a alcanzar y la factibilidad técnica, pueden ser ejecutadas y cumplidas sin dificultades significativas. Finalmente, Mugafil ha elaborado su plan de acción identificando a los responsables de cada oportunidad y especificando las fechas de inicio de trabajo para cada una.

Para abordar cada una de estas oportunidades, el equipo de investigación, junto con el responsable de la empresa ha llevado a cabo una reunión donde, conociendo los objetivos, se han definido diversas acciones. Por ejemplo, para abordar la oportunidad de "Valorar la incorporación de la EC a la estrategia de la organización", se ha propuesto la aplicación del modelo de indicadores INMOIN Circular, y para la oportunidad de "Optimizar al máximo el uso de los recursos es estratégico para la organización", se ha sugerido la herramienta de Eco-productividad Industrial.

### 5.1.2.1 Modelo de indicadores INMOIN Circular

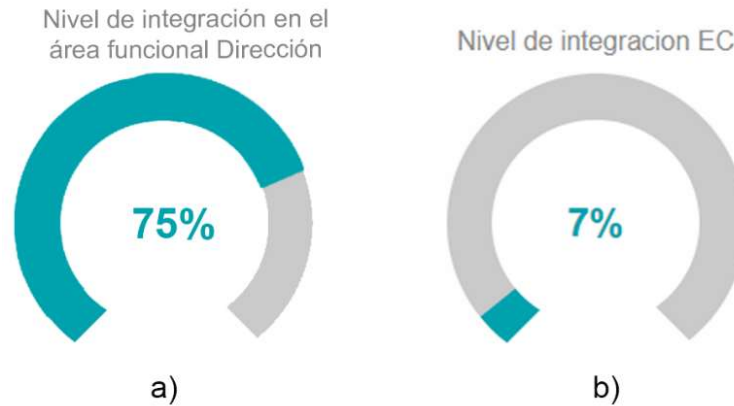
La empresa Mugafil ha empleado el modelo de indicadores INMOIN Circular (4.3.4) para integrar indicadores de EC en diversas áreas funcionales de la empresa. Para ello, el director de planta, utilizando la plataforma web CircularTRANS, ha seguido los siguientes pasos de forma autónoma:

1. Identificación de las áreas funcionales en las que se desea medir los indicadores.
2. Revisión de los indicadores utilizados actualmente y selección de los nuevos a implementar por área funcional.
3. Definición de las especificaciones (Figura 50) para cada indicador seleccionado.
4. Introducción de los datos necesarios para cada indicador.
5. Evaluación del nivel de integración de EC tanto en cada área funcional seleccionada como en la empresa en su conjunto

De entre todos los indicadores identificados en el modelo INMOIN Circular, la empresa ha seleccionado los 16 que se muestran en la Tabla 40, agrupados según área funcional, estrategias de EC y categoría genérica. Como se observa en la Tabla 40, ninguna área funcional logra cumplir completamente con la circularidad, ya que ninguna trabaja con las cuatro estrategias de EC. Sin embargo, el área con mayor grado de circularidad es Dirección, con un 75% (Figura 62a), al haber seleccionado tres indicadores que impactan en tres de las cuatro estrategias. En cuanto al nivel de integración de EC, la empresa ha obtenido un 7% (Figura 62b), lo que indica un amplio margen de mejora a medida que se incorporen nuevos indicadores.

**Tabla 40:** Número de indicadores seleccionados por áreas funcional y estrategias de EC

		Estrategias de EC				Genérico	TOTAL
		Regenerar	Optimizar recursos	Alargar la vida útil	Cierre de ciclos		
Áreas funcionales	Calidad y medioambiente	0	0	0	0	3	3
	Comercial	0	0	0	0	1	1
	Compras y aprovisionamiento	0	2	0	0	4	6
	Dirección	1	1	0	1	1	4
	Recursos humanos	0	0	0	0	1	1
	SAT	0	1	0	0	0	1
	<b>TOTAL</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>16</b>



**Figura 62:** Nivel de integración EC; a) por área funcional y b) general

### 5.1.2.2 Herramienta Eco-productividad Industrial

Para abordar la oportunidad "*Optimizar al máximo el uso de los recursos es estratégico para la organización*" seleccionada por la empresa, han empleado la herramienta de Eco-productividad Industrial (4.4.2), con la asistencia del equipo de investigación. Los pasos seguidos incluyen:

1. Revisión de la información y datos necesarios para introducir en la herramienta.
2. Recopilación de todos los datos requeridos.
3. Introducción de los datos en la herramienta Eco-productividad Industrial, seguida de análisis por parte del equipo de investigación para identificar posibles mejoras.
4. Presentación de los resultados y propuestas de mejoras aplicables en la empresa.

El director de planta determina la viabilidad de implementar las propuestas de mejora, seguida de la realización de una nueva evaluación para contrastar los resultados. En esta instancia, tras la revisión de los resultados iniciales (Figura 63) y el análisis de las mejoras sugeridas por el equipo investigador (Tabla 41), la empresa procede a tomar decisiones pertinentes basadas en evidencia empírica.

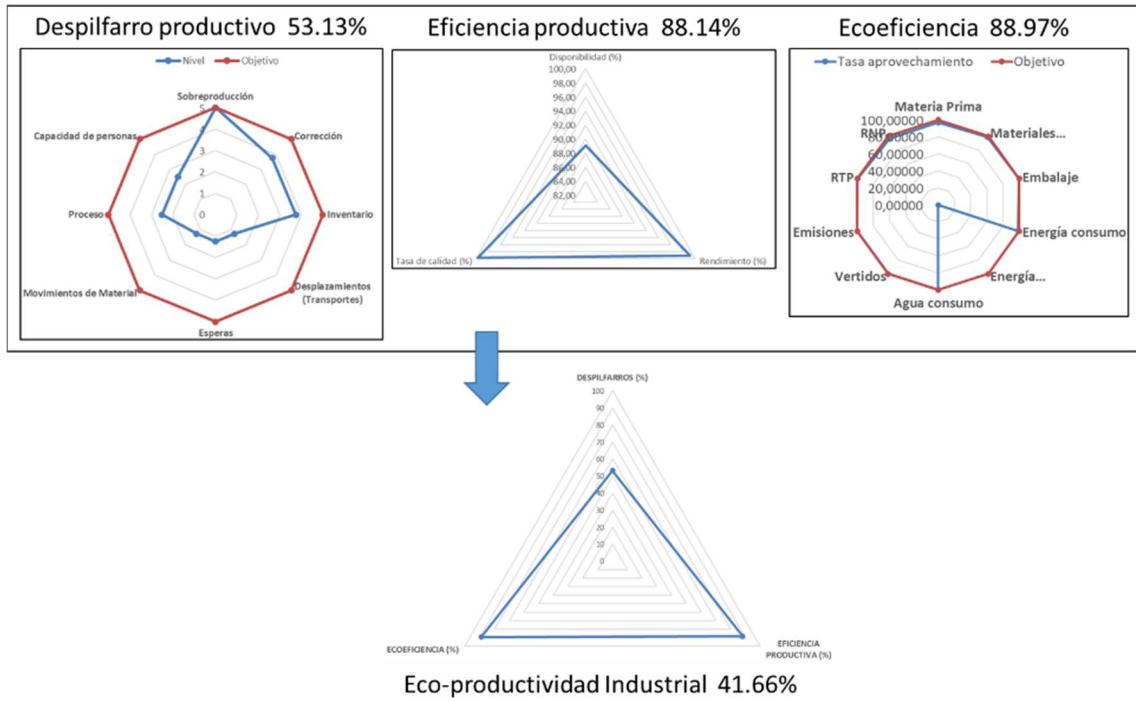
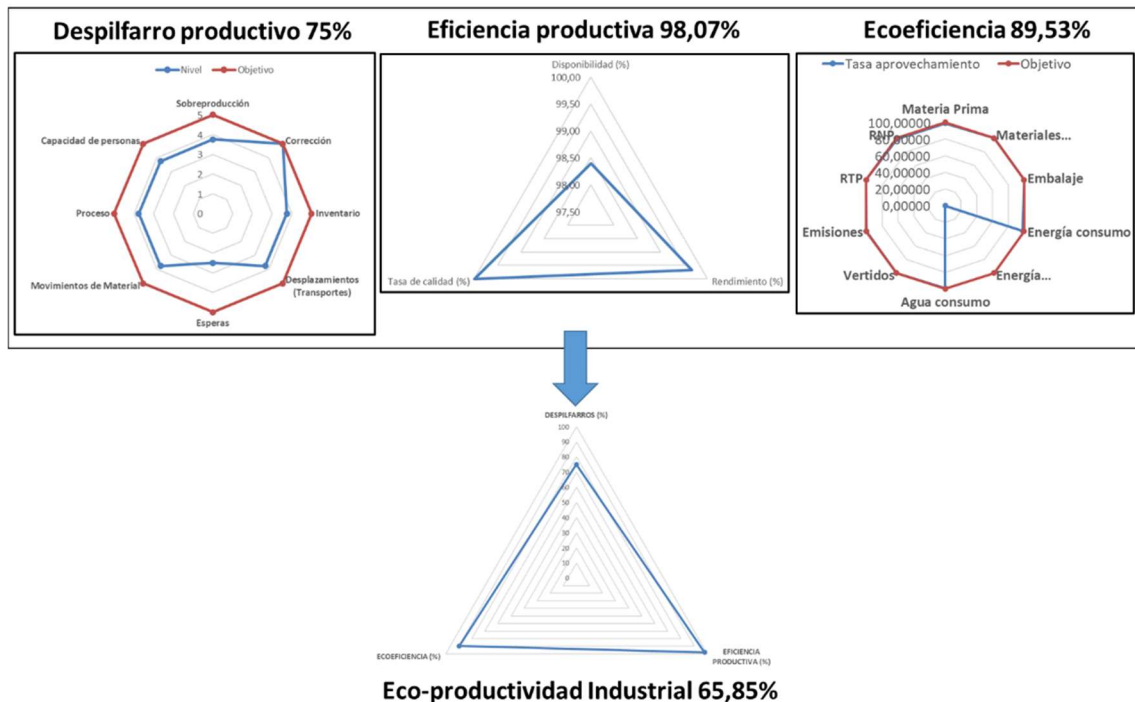


Figura 63: Resultados iniciales

**Tabla 41:** Mejoras propuestas después del análisis de los resultados

Grupo	Mejora
<b>Despilfarro productivo</b>	Desplazamiento: reconfigurar las rutas y modificar el lay-out en la medida de lo posible.
<b>Eficiencia productiva</b>	Tiempo de cambio: reducir el tiempo con un proyecto SMED.
	Mantenimiento: reducir el tiempo para mejorar la eficiencia productiva desde un punto de vista organizativo.
<b>Ecoeficiencia</b>	Energía: uso de fuentes renovables.
	Agua: detectar donde se da un mayor consumo y reducir con diferentes opciones.
	Residuo: mirar sistemas de separación y limpieza para reducir residuo peligroso y poder abaratar costes.

Después de la implementación de las mejoras propuestas, la Figura 64 muestra los nuevos resultados, donde la empresa ha alcanzado un nivel de eco-productividad industrial del 65,85%, lo que representa un aumento del 24,19% con respecto al nivel inicial.



**Figura 64:** Resultados finales

### 5.1.3 Mejoras obtenidas

A continuación, se presentan las mejoras obtenidas de la implementación de la guía CircularTRANS en la entidad empresarial Mugafil.

- ICEQ ha permitido conocer la situación del modelo de negocio según la EC y ha proporcionado opciones de mejora implementables a corto, medio y largo plazo.
- Integrar la EC en el plan estratégico, involucrando y comunicando a toda la plantilla en los cambios. Se han definido los KPIs (Tabla 40).
- Realizar cambios en la planta productiva, moviendo la línea de trefilado para mejorar el flujo y reducir movimientos. Esto ha supuesto un aumento del 8% de la productividad.
- Invertir en la compra de nueva maquinaria para mejorar la eficiencia. Con esto han conseguido reducir en un 30% las paradas por correctivos.
- Aplicación de SMED en la línea de trefilado obteniendo un 15% de mejora en la reducción de tiempos de cambio.
- La instalación de placas solares en la nave les ha supuesto reducir un 8% el consumo de red, lo que supone un ahorro de 13.000 € anuales.
- Cambiar metodología de secado de lodos, lo que les ha supuesto reducir en un 20% el volumen gestionado consiguiendo un ahorro de 600 € anuales en la gestión de dichos lodos.
- Reducción del consumo de agua reparando las tuberías y promoviendo un uso adecuado entre trabajadores en cuanto al agua en baños, duchas, etc.

Por otro lado, van a medir el alcance 1 y 2 de huella de carbono. Por último, han comenzado a trabajar en las siguientes mejoras:

- Introducir una plastificadora automática con el objetivo de reducir costes en el área logística, reducir el consumo de plástico y mejorar la calidad del embalado. Quieren conseguir un ahorro anual de 35.000 €.
- Introducir una nueva línea de trefilado añadiendo una nueva máquina con el objetivo de reducir el número de cambios y especificar cada línea a la gama de diámetros que disponen. Mejorar la eficiencia en un 10% de tres máquinas.
- Mejorar el sistema informático con el objetivo de automatizar y reducir tareas de poco valor añadido en la oficina.
- Reducir el consumo de aceite en un 30%.

### 5.1.4 Conclusiones

Las conclusiones derivadas del estudio de caso realizado en la empresa industrial Mugafil, tras la implementación de la guía CircularTRANS, pueden ser resumidas de la siguiente manera:

- La implementación de la guía CircularTRANS ha permitido por un lado la formación en EC y por otra parte la integración de nuevos aspectos de EC mejorando su competitividad.
- La implementación simultánea de la guía CircularTRANS, el modelo de indicadores INMOIN Circular y la herramienta Eco-productividad Industrial ha conducido a la identificación de mejoras significativas dentro de la estructura empresarial.
- El uso del cuestionario ICEQ les ha permitido conocer el nivel de madurez de la empresa en cuanto a la EC y ha impulsado a conseguir nuevos objetivos gracias a las oportunidades y fortalezas detectadas.
- La implementación del modelo de indicadores INMOIN Circular, les ha permitido definir indicadores para diferentes áreas funcionales consiguiendo una visión holística de integración de la EC en la empresa.
- La aplicación de la herramienta Eco-productividad Industrial y las mejoras propuestas, han ayudado a modificar el lay-out productivo mejorando los resultados de producción.
- La colaboración con el equipo investigador ha promovido la implementación de mejoras en el proceso productivo, resultando en beneficios económicos y temporales en la fabricación del alambre. Además, han agradecido disponer del acompañamiento durante todo el proceso.
- La instalación de placas solares ha demostrado ser una opción viable, con una reducción en el consumo energético y, consecuentemente, un ahorro económico sustancial.

Por otro lado, la evaluación realizada por el responsable de producción de Mugafil, encargado de llevar a cabo la completa implementación de la guía CircularTRANS, destaca su utilidad para realizar cambios que, aunque concebidos previamente, no encontraban el contexto adecuado para su realización. Se destaca la facilidad de uso de la guía, que facilita la adquisición de conocimientos en EC y permite identificar aspectos relevantes en los que se está trabajando, pero que no se relacionaban previamente con la EC. La aplicación de la guía ha resultado en mejoras

medioambientales tangibles y en un aumento de la conciencia sobre la gestión de recursos dentro de la empresa.

Asimismo, señalar la necesidad de realizar nuevamente el diagnóstico ICEQ para verificar si los cambios realizados y mejoras obtenidas modifican los resultados del nivel de madurez en EC de la empresa Mugafil.

## **5.2 Caso de estudio 2. Clínica dental Urraca**

La motivación que ha impulsado al equipo directivo de la clínica a emprender y ejecutar el proyecto de EC dentro de su modelo de negocio se fundamenta en varios aspectos: en primer lugar, su interés en posicionarse como pioneros en la adopción de la EC dentro del sector sanitario, con el propósito de liderar un cambio significativo en sus prácticas operativas. En segundo lugar, la conciencia acerca de los beneficios medioambientales inherentes a este enfoque, lo cual les impulsó a actuar en consonancia con principios de sostenibilidad ambiental. En tercer lugar, la disposición a recibir asesoramiento y apoyo por parte de un equipo de expertos para llevar a cabo con éxito la implementación del proyecto, reconociendo la complejidad y la necesidad de contar con conocimientos especializados en la materia. Y, en cuarto lugar, el deseo de mejorar la calidad del servicio ofrecido, involucrando tanto a la clientela interna como a los proveedores en los procesos de cambio y adaptación.

Para la implementación de la guía CircularTRANS, se ha contado con la colaboración de una consultora de la consultoría Lurnova Consultoría Ambiental (Lurnova Consultoría, 2024) especializada en ámbitos medioambientales.

De cara a la descripción del caso, en primer lugar, se presenta la Clínica dental Urraca. Posteriormente, se expone todo el proceso relacionado con la aplicación de la guía CircularTRANS: i) presentación de los resultados obtenidos, ii) las oportunidades identificadas y iii) las herramientas pertinentes empleadas en este análisis. Por último, se exponen las mejoras obtenidas de la clínica y las conclusiones de todo el proceso.

### **5.2.1 Clínica dental Urraca**

La clínica dental Maite Urraca (Clínica dental Urraca, 2022), fundada en 1988 y situada en el centro de la capital Vitoriana, pertenece al sector servicio donde la odontología es su modelo de negocio. Esta clínica tiene como objetivo poner todos los conocimientos y experiencias al servicio del paciente, con un diagnóstico y tratamiento individualizado. La calidad y excelencia son dos pilares en los que basan su filosofía

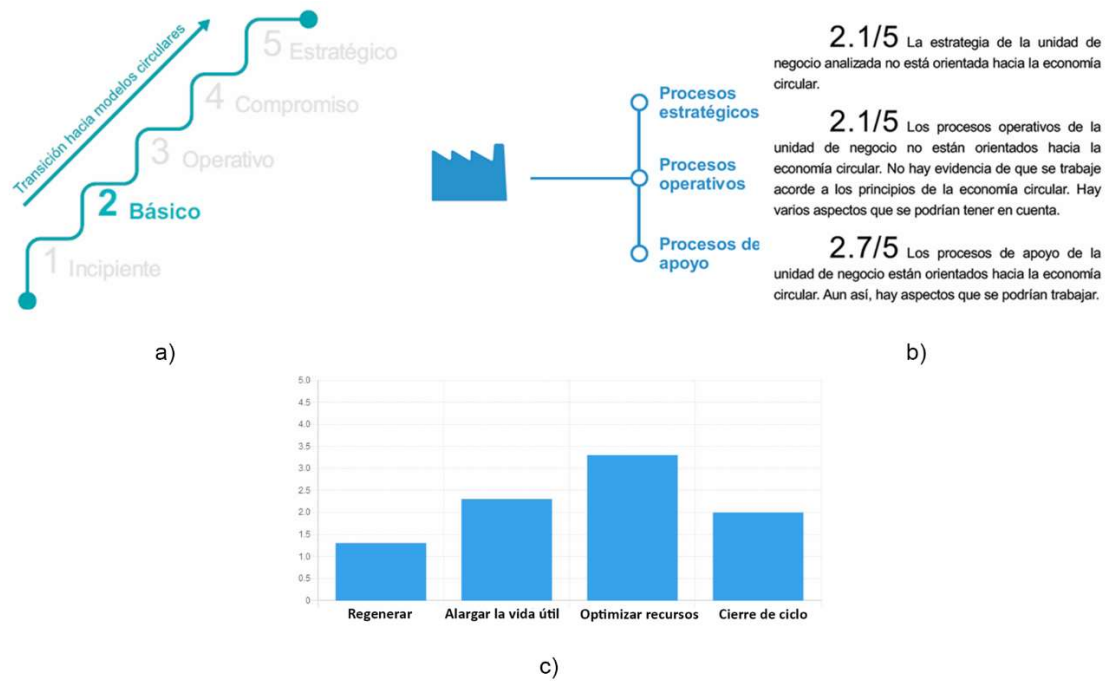
de trabajo. Además, todos los tratamientos que llevan a cabo se realizan por un equipo interdisciplinar con el fin de conseguir el mejor resultado para el cliente.

El equipo de trabajo de la clínica está compuesto por: i) una médica estomatóloga, ii) un licenciado en odontología, iii) una técnica de laboratorio y auxiliar de clínica y, iv) una administrativa. Sin embargo, dispone de un gran equipo de colaboradores dependiendo del tipo de tratamiento que realizan según las necesidades del paciente.

### **5.2.2 Aplicación de la guía CircularTRANS**

Tras la formación inicial, la directora de la clínica en colaboración con la consultora, responsables de la implementación de la guía CircularTRANS, han procedido a completar el cuestionario diagnóstico ICEQ (4.2.6). Es pertinente señalar que, dado el acompañamiento brindado durante la ejecución de la guía, el equipo investigador ha asistido en la resolución de interrogantes durante la fase de cumplimentación del cuestionario ICEQ.

Una vez finalizado el cuestionario, los resultados obtenidos se exponen en la Figura 65. La Figura 65a presenta los resultados generales, indicando un nivel de cumplimiento de 2 sobre 5, lo que sitúa a la entidad en un nivel básico de aplicación con indicios de una intención de alineación de sus actividades con los principios de la EC. De igual manera, en la Figura 65b se detallan los resultados derivados del análisis de los procesos internos, revelando puntajes de 2,1 sobre 5 en procesos estratégicos, 2,1 sobre 5 en procesos operativos, y 2,7 sobre 5 en procesos de apoyo. Por otro lado, la Figura 65c ofrece los resultados referentes a las estrategias de EC adoptadas por la entidad, siendo éstas: i) 1,3 sobre 5 en estrategia de regeneración, ii) 2,3 sobre 5 en prolongación de la vida útil, iii) 3,3 sobre 5 en optimización de recursos y, iv) 2 sobre 5 en cierre de ciclo.



















**Figura 65:** Resultados obtenidos del cuestionario ICEQ: a) generales; b) procesos internos; c) estrategias de EC

A partir de estos resultados, se concluye que la clínica aborda ciertos conceptos que inciden en los procesos internos y estrategias de EC, aunque aún existen áreas de mejora para una implementación más efectiva de estas estrategias.

En base a los resultados previos, la clínica ha identificado 44 oportunidades de mejora, de las cuales se han seleccionado 16. La Tabla 42 detalla estas oportunidades seleccionadas, incluyendo las estrategias de EC afectadas, la viabilidad (considerando factibilidad técnica, beneficio esperado y recursos necesarios), y el periodo de maduración definido por los miembros de la clínica.

**Tabla 42:** Oportunidades a trabajar para alcanzar objetivos establecidos

Oportunidad	Estrategia	Viabilidad	Periodo de maduración
Valorar aumentar la colaboración con otras partes interesadas.	Regenerar		Corto
Valorar aumentar la inversión en iniciativas de EC.	-		Corto
Analizar cómo aumentar la separabilidad de los materiales.	Cierre de ciclo		Corto
Valorar incorporar criterios de sostenibilidad para la selección de proveedores.	Optimizar recursos		Corto
Valorar incorporar criterios en los lotes de compra que minimice el impacto ambiental.	Optimizar recursos		Corto
Valorar si se podría realizar alguna acción para minimizar el consumo de papel u otros consumibles de oficina.	Regenera		Corto
Valorar realizar labores de comunicación interna en la concienciación sobre EC y desarrollo sostenible.	Regenerar		Corto
Valorar si la EC puede ser un argumento de venta de los productos/servicios.	Regenerar		Corto
La plantilla sabe qué es la EC. Valorar cómo aumentar sus conocimientos.	-		Corto
Valorar incorporar la EC a la estrategia de la organización.	Regenerar		Corto
Valorar el empleo de material/componentes reciclables y facilitar dicha labor.	Cierre de ciclo		Medio
La organización no realiza ningún tipo de informe sobre desarrollo sostenible, podría ser una buena opción para enseñar lo que la empresa realiza en ese campo.	-		Medio
Valorar redirigir la estrategia para asegurar alargar al máximo la vida útil de la oferta que realiza la organización.	Alargar la vida útil		Largo
Valorar si ofrecer soluciones de EC a los productos en su fin de vida puede ser estratégico.	Cierre de ciclo		Largo
Valorar el empleo de materiales reciclados en lugar de material virgen.	Optimizar recursos		Largo
Valorar cómo comunicar los pasos que debe seguir el cliente una vez el producto quede en desuso	Regenerar, Alargar la vida útil, Cierre de ciclo		Largo

Nota:  : Viable;  : Medio viable;  : No viable

Es relevante destacar que la gran mayoría de estas oportunidades son altamente viables y pueden ser implementadas a corto o mediano plazo, lo que facilitaría la medición y registro de mejoras en un periodo relativamente breve una vez implementadas. La empresa ha establecido un plan de acción detallado, designando responsables específicos para cada oportunidad y fijando fechas de inicio para su ejecución.

Por último, para abordar estas oportunidades, el equipo investigador, en colaboración con los responsables de la empresa ha llevado a cabo reuniones donde se han definido acciones específicas, alineadas con los objetivos establecidos. Por ejemplo, para abordar la oportunidad de "Valorar la incorporación de la EC en la estrategia

organizacional", se ha propuesto la aplicación del modelo de indicadores INMOIN Circular.

### 5.2.2.1 Modelo de indicadores INMOIN Circular

El modelo de indicadores INMOIN Circular (4.3.4) ha sido empleado por la clínica Urraca para integrar indicadores de EC en diversas áreas funcionales de la empresa. El proceso, llevado a cabo de manera autónoma por el director de planta a través de la plataforma web CircularTRANS, sigue los siguientes pasos:

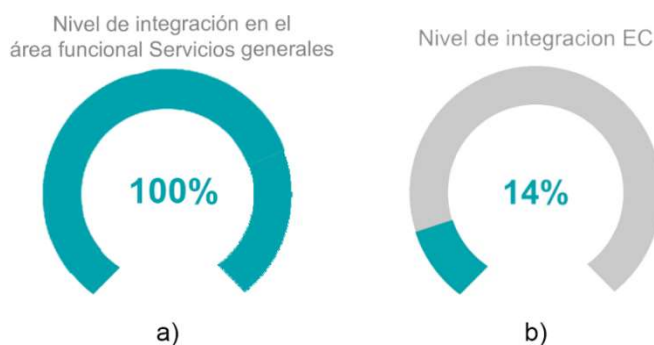
1. Identificación de las áreas funcionales en las que quiere realizar la medición de indicadores.
2. Lectura de los indicadores identificando aquellos que utilizan actualmente y seleccionan los nuevos a implementar por área funcional.
3. Definición de especificaciones (Figura 50) para cada indicador seleccionado.
4. Recopilación de datos pertinentes para cada indicador.
5. Comprobar el nivel de integración en EC tanto en cada área funcional seleccionada como en la empresa en general.

De todos los indicadores identificados en el modelo INMOIN Circular, la empresa ha seleccionado los 41 mostrados en la Tabla 43, los cuales, se hayan agrupados según el área funcional, estrategias de EC y genérico.

**Tabla 43:** Número de indicadores seleccionados por áreas funcional y estrategias de EC

	Estrategias de EC				Genérico	TOTAL
	Regenerar	Optimizar recursos	Alargar la vida útil	Cierre de ciclos		
Dirección	2	0	1	2	1	6
Calidad y medioambiente	0	1	1	1	1	4
Comercial	0	0	0	0	2	2
Compras y aprovisionamiento	2	0	3	2	5	12
Marketing	0	0	0	0	2	2
Recursos humanos	0	0	0	0	2	2
Servicios generales	2	3	1	1	1	8
TICs	0	1	0	0	4	5
<b>TOTAL</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>18</b>	<b>41</b>

Según se evidencia en la Tabla 43, en el ámbito funcional de servicios generales, se ha procedido a la selección de al menos un indicador correspondiente a cada estrategia de EC. A partir de esta selección de indicadores, la clínica logra determinar tanto el grado de integración de EC por cada área funcional (Figura 66a), como el nivel global de integración de EC (Figura 66b).



**Figura 66:** Nivel de integración EC; a) por área funcional y b) general

### 5.2.3 Mejoras obtenidas

La aplicación de la guía CircularTRANS ha generado resultados positivos en diferentes ámbitos de actuación los cuales han permitido el desarrollo de buenas prácticas a la hora de realizar las actividades de la clínica. Entre ellas destacan:

- Reducción y gestión de plástico con un ahorro de 181 kg al año:
  - Sustituir las cánulas de aspiración de plástico por unas metálicas esterilizables y reutilizables.
  - Sustituir los vasos de plástico por vasos de papel.
  - Cambiar las bolsas de plástico por las de tela.
  - Usar batas esterilizables y reutilizables.
- Ahorro energético de un 89% en la electricidad consumida por las siguientes acciones:
  - Cambiar las luces de la clínica por bombillas led.
  - Apagar las luces después del último cliente dejando encendidas las luces de las estancias que se están utilizando.
  - Colocar temporizadores en las luces para evitar que se queden encendidas innecesariamente.
- Ahorro de un 22.693 L de agua al año gracias a:
  - Instalar temporizadores en los grifos para evitar pérdidas de agua.
  - Utilizar gel hidroalcohólico para disminuir el lavado continuo de manos.
  - Utilizar agua destilada por ósmosis.

- Evitar que los pacientes se enjuaguen en procedimientos no necesarios.
- Relación con proveedores:
  - Buscar materias primas de fuentes sostenibles.
  - Buscar materiales reciclados y reciclables.
  - Unificar los pedidos pequeños en un único envío para que los comerciales sean quienes hagan las entregas.
  - Tratar de comprar en depósitos de proximidad para evitar desplazamientos.
  - Utilizar guantes de nitrilo en vez de vinilo.
- Movilidad sostenible:
  - Uso del transporte público, bicicleta o andar al puesto de trabajo por parte de los trabajadores.
  - Citar a miembros de una familia a la vez disminuyendo desplazamientos.
  - Realizar consultas telefónicas.
- Fomento de separación y reciclaje:
  - Uso de papeleras para separar residuos, plásticos, papel y contenedores especiales para material punzante.
- Reducción y gestión de papel:
  - Realizar facturas online y enviarlas por correo electrónico al cliente.
  - Realizar el recordatorio de citas a través de *Whatsapp*, evitando el uso de tarjetas de papel.
  - Uso de la televisión y tabletas con suscripciones a revistas/periódicos para evitar las de papel.
  - Informatizar las historias clínicas cesando el uso de fichas de papel.

Asimismo, la clínica se ha comprometido a minimizar impactos medioambientales de su actividad y han definido unas metas ambientales periódicas de acuerdo con las pautas definidas:

- Cumplir siempre con los requisitos legales, estándares y reglamentos, así como, con las obligaciones voluntarias que apliquen a la organización.
- Asegurar que las materias primas que utilizan provengan de fuentes sostenibles.

- Minimizar la generación de residuos. Reducir el consumo, priorizar el uso de materiales reutilizables, reciclables y eliminar residuos de forma apropiada y responsable.
- Contactar con otras clínicas dentales del entorno con el objetivo de unificar pedidos de material.
- Fomentar el uso y la compra de materiales auto lavables en lugar de materiales de un solo uso.
- Seguir formándose e informar a otras clínicas, con el objetivo de sensibilizar y servir de ejemplo en materia de sostenibilidad. Comunicar de forma regular y transparente sobre el desempeño ambiental a la vez que atender sus inquietudes al respecto.
- Formar y sensibilizar a empleados y clientes, transmitiéndoles la importancia de actuar de forma respetuosa con el medio ambiente.
- Prevenir la contaminación, a partir de la evaluación de los riesgos potenciales sobre el medio ambiente en cada una de las fases de los servicios prestados, con el objetivo de diseñar procesos que permitan minimizar en lo posible el impacto ambiental.
- La eficiencia en la gestión integral del agua y la reducción de la huella hídrica de las actividades ejecutadas en la clínica.

Como próximos objetivos, la clínica va a realizar, por un lado, el cálculo de alcance 1 y 2 de huella de carbono y, por otro, un estudio para reducción de emisiones de la clínica.

#### **5.2.4 Conclusiones**

Las conclusiones derivadas del estudio de caso llevado a cabo en la Clínica Dental Urraca, ubicada en el sector de servicios, respecto a la implementación de la guía CircularTRANS, pueden resumirse de la siguiente manera:

- La aplicación de la guía CircularTRANS ha proporcionado a la Clínica Dental Urraca una comprensión de los conceptos relacionados con la EC e integrando la EC en su modelo de negocio.
- El uso de la guía CircularTRANS les ha ayudado a posicionarse como clínica pionera en la adopción de prácticas basadas en la EC dentro del sector sanitario.

- La implementación simultánea de la guía CircularTRANS y el modelo de indicadores INMOIN Circular ha conducido a la identificación de mejoras a implementar en la clínica.
- El uso del cuestionario ICEQ les ha permitido conocer el nivel de madurez de la clínica en cuanto a la EC y ha impulsado a conseguir objetivos no planteados hasta el momento gracias a las oportunidades y fortalezas detectadas.
- La adopción del modelo de indicadores INMOIN Circular ha permitido a la clínica identificar áreas de mejora cuantificables en diversas áreas funcionales, lo que ha resultado en la definición de nuevos objetivos para una gestión más eficiente y sostenible.
- A través de la adopción de las propuestas formuladas por el equipo de investigación, como la sustitución de cepillos de plástico por alternativas de bambú y la implementación de procesos de esterilización del instrumental de trabajo, se ha logrado reducir significativamente la dependencia de materiales plásticos en las operaciones de la clínica.
- La iniciativa de involucrar activamente a la clientela ha generado sensibilización y concienciación entre los clientes, evidenciado en la modificación de las prácticas comunicativas y en la reducción del consumo de papel mediante la eliminación de tarjetas de citas impresas, así como, en la consolidación de citas grupales para familiares, disminuyendo el impacto ambiental asociado al desplazamiento individual.
- La clínica agradece el acompañamiento ofrecido por el equipo investigador durante todo el proceso de la aplicación de la guía CircularTRANS.

Además, la Clínica Dental Urraca ha expresado su valoración positiva respecto a la guía CircularTRANS, caracterizándola como *“una buena herramienta no solo para calcular, sino para tener una base de datos donde poder incluir las mediciones que vayamos haciendo con la periodicidad que hemos considerado. Es un soporte muy bueno donde poder ir reflejando los resultados y avances. Sin la guía CircularTRANS y la plataforma, muchas acciones pueden quedar en el olvido y esto hace que obligue a los usuarios a llevar un seguimiento y a tener que revisarlo y reportar la información teniendo el objetivo previamente establecido siempre en mente”*.

Como resultado directo de la implementación de la guía CircularTRANS, la Clínica Dental Urraca ha sido distinguida por el Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz con el *“Premio Pacto Verde de Vitoria”*, en reconocimiento a la aplicación efectiva de 37

medidas relacionadas con la Economía Circular y la sostenibilidad dentro de sus operaciones (Ayuntamiento de Vitoria, 2022).

Asimismo, se identifica la necesidad de realizar un nuevo diagnóstico ICEQ para evaluar si los cambios realizados y las mejoras obtenidas modifican los resultados del nivel de madurez en EC de la Clínica Dental Urraca.



CAPÍTULO 6

# Conclusiones y líneas futuras

## 6. Conclusiones y líneas futuras

El presente capítulo presenta, por un lado, las conclusiones generales derivadas del estudio de la tesis doctoral y, por otro lado, se definen las líneas futuras con el propósito de continuar mejorando la guía CircularTRANS.

### 6.1 Conclusiones

El objetivo de la tesis doctoral consiste en **desarrollar la guía CircularTRANS para ayudar a las empresas industriales de la CAPV a mejorar su competitividad a través de la EC**. Este objetivo general se divide en dos objetivos específicos.

El primer Objetivo Específico es *“OE1: definir y desarrollar la guía CircularTRANS que facilita la integración de la EC en las empresas industriales de la CAPV”*. Este objetivo se ha dividido a su vez en dos subobjetivos *“OE1.1: desarrollar el cuestionario diagnóstico Industrial Circular Economy Questionnaire (ICEQ) para evaluar el nivel de madurez en EC de una organización teniendo en cuenta los procesos de la empresa, las estrategias y las soluciones de EC para las empresas industriales de la CAPV”* y el segundo es *“OE1.2: desarrollar nuevas herramientas que ayuden al despliegue y seguimiento de las actividades de la EC”*.

Para ello, en el apartado 4.1 se ha desarrollado la guía CircularTRANS, <https://circulartrans.mondragon.edu/es/inicio>, (Figura 18) que consta de cinco pasos (Figura 22): i) diagnóstico, ii) resultados, iii) selección de oportunidades, iv) plan de acción y, v) hoja de ruta y cinco recursos de apoyo (Figura 30): i) formación (módulo 1 ofrece una presentación con información sobre los conceptos básicos de EC, módulo 2, ofrece cuatro formaciones en ecodiseño, remanufactura, servitización y eco-productividad y módulo 3 donde se muestran todos los programas de ayudas relacionadas con la EC) ii) buenas prácticas que consiste en un repositorio de 164 ejemplos de empresas tanto nacionales como internacionales que están aplicando actualmente la EC, iii) herramientas, un total de 39 herramientas para avanza en EC según la necesidad de cada empresa, iv) comunidad y, v) expertos.

Posteriormente, en el apartado 4.2 se desarrolla el cuestionario diagnóstico ICEQ basado en un enfoque ISO 14001:2015 e ISO 9001:2015, en las cuatro estrategias (Bocken et al., 2016) y nueve soluciones (Blomsma et al., 2019, Potting et al., 2017) de la EC que permite evaluar el nivel de madurez de una empresa en EC a nivel general (Figura 24a), a nivel de los procesos internos (procesos estratégicos, procesos

operativos y procesos de apoyo) (Figura 24b) y a nivel de las cuatro estrategias de EC (regenerar, alargar la vida útil, optimizar recursos y cierre de ciclos) (Figura 24c).

Asimismo, se han desarrollado dos herramientas INMOIN Circular (4.3) y Eco-productividad Industrial (4.4) para el despliegue y seguimiento de las actividades de EC.

Para la validación del segundo Objetivo Específico “*OE2: validar la guía CircularTRANS y su proceso metodológico en dos casos de estudio*”, la guía ha sido usada por 108 empresas- micropyme (1-10 empleados/as), pequeña empresa (11-49 empleados/as), mediana empresa (50-249 empleados/as) y gran empresa (>250 empleados/as)-, de los cuales, únicamente 26 han completado los cinco pasos. De esos 26 casos, se han seleccionado como casos de estudio de la tesis, el caso de Mugafil (sector industrial) y el de la Clínica dental Urraca (sector servicio sanitario).

En ambos casos las empresas han incrementado su competitividad aplicando la guía CircularTRANS. Mugafil ha integrado la EC en la estrategia de la organización, ha definido indicadores (KPIs) para las estrategias de regenerar, optimizar recursos y cierre de ciclos y ha aplicado la herramienta Eco-productividad Industrial. Todo ello ha repercutido en la identificación de oportunidades de mejora en EC (Tabla 39), un aumento de la productividad (disminución de tiempos de cambio), una disminución de costes de la energía (uso de energía renovables) y una disminución del coste de gestión de residuos (disminución del residuo gestionado). A su vez, la Clínica dental Urraca, ha integrado la EC en la estrategia de la organización y ha definido indicadores (KPIs) para todas las estrategias de EC. Así, han identificado oportunidades de mejoras (Tabla 42), han disminuido y optimizado del uso de recursos (consumo energético y agua), han alargado la vida útil de los productos (minimizando el uso de productos de un solo uso) y han mejorado cierre de ciclos (disminución del residuo gestionado).

Con todo ello, se considera que tanto el objetivo principal y los objetivos específicos de la tesis han sido alcanzados.

Por otro lado, en cuanto a la validación de las tres hipótesis planteadas en el apartado 1.3, se constata lo siguiente:

- *H1: entre las empresas que utilizan la guía CircularTRANS, existe una carencia de conocimiento entorno a cómo abordar de manera integral la EC en la industria de la CAPV.*

Inicialmente, durante la validación del cuestionario ICEQ con 30 empresas se ha detectado una carencia de conocimiento en el ámbito de la EC (Figura 38). El 61,5% de las 30 empresas afirman conocer la EC, aunque, el 92,3% de las empresas encuestadas alegan que no tienen claro en qué consiste. Por ello, se puede inferir que no saben cómo abordar la EC de manera integral en la industria de la CAPV. Además, durante el acompañamiento a las 78 empresas de la CAPV restantes de las 108 inscritas en la plataforma que han utilizado la guía CircularTRANS, se ha identificado esa carencia de conocimiento respecto a la EC y cómo abordarla dentro de su organización.

- *H2: el uso del cuestionario diagnóstico ICEQ permite identificar oportunidades para comenzar a trabajar la EC a las empresas de la CAPV que usan la guía CircularTRANS.*

En la Tabla 44 se resumen el estado de ejecución de los pasos de la guía CircularTRANS de las 108 empresas inscritas. De ellas, 26 han completado los cinco pasos de la guía, una se encuentra en la definición de la hoja de ruta, 10 se encuentra en la selección de oportunidades, 35 analizando los resultados, 7 completando el diagnóstico ICEQ y 29 están inscritas en la plataforma. Por ello, se puede inferir que el uso del cuestionario ICEQ ha permitido a 37 empresas a identificar oportunidades para comenzar a trabajar la EC, es decir, el 59,7% de las empresas que tienen el resultado del diagnóstico ICEQ.

**Tabla 44:** Tabla resumen del estado de las 108 empresas de la guía CircularTRANS

Pasos del proceso de la guía CircularTRANS					TOTAL EMPRESAS
Diagnóstico	Resultados	Selección de Oportunidades	Hoja de ruta	Plan de acción	
X	X	X	X	X	26
X	X	X	X		1
X	X	X			10
X	X				35
X					7
					29
					108

- *H3: el uso de la guía CircularTRANS permite a las empresas de la CAPV avanzar en EC, mejorar su competitividad mediante el uso de las estrategias de EC y la mejora ambiental.*

La aplicación de la guía CircularTRANS en los dos casos de estudio analizados en el capítulo 5 permite verificar la mejora de la competitividad en ambas empresas de la

CAPV mediante el uso de las cuatro estrategias de EC, aunque falta cuantificar la mejora ambiental obtenida por ambas empresas.

Ibon Achotegui de la empresa Mufagil (Mondragon Unibertsitatea, 2024) menciona que *“El programa CircularTRANS nos ha permitido conseguir una foto real del estado actual de nuestra empresa en el ámbito de la economía circular. Cualquier acción de mejora que reduzca la utilización de recursos que no aporten valor, ayudan a mejorar los indicadores de economía circular, y este programa nos ha permitido poner el foco en aspectos clave como la eficiencia energética, o la optimización de los recursos de la producción.”* Por otra parte, Maite Urraca CEO de clínica dental Urraca (Mondragon Unibertsitatea, 2024) indica que *“Para nuestra clínica dental la herramienta de CircularTrans ha sido un antes y un después y de gran utilidad para poder comenzar la transición hacia un modelo de negocio alineado con la economía circular y la sostenibilidad. Somos una pequeña empresa del sector servicios que ha quedado gratamente sorprendida ante la cantidad de medidas que hemos podido implementar gracias a la herramienta de CircularTrans y al asesoramiento de las personas que están detrás de la misma. La herramienta es muy intuitiva, fácil de utilizar y es accesible y adaptable a cualquier modelo de negocio. El diagnóstico inicial del estado de la empresa fue muy completo, y a través de la herramienta pudimos llevar a cabo de manera sencilla el seguimiento de las oportunidades detectadas. Este proyecto ha supuesto un empuje para iniciar el camino hacia la sostenibilidad de nuestra clínica dental. Gracias a él hemos mejorado nuestra competitividad diferenciándonos de otras empresas del sector, hemos conseguido reducir el impacto ambiental de nuestra actividad y hemos podido ahorrar costes”.* Con todo lo expuesto hasta ahora se considera que la hipótesis H2 está completamente validada y que la hipótesis H3 está parcialmente validada ya que falta por validar las mejoras ambientales.

En relación a las percepciones recopiladas respecto a la utilización de la guía CircularTRANS en entornos empresariales de carácter industrial, tal y como se evidencia en la literatura académica, en particular en los trabajos de Valls-Val et al. (2022, 2023), se constata que destaca por su exhaustividad, tanto en términos de la amplitud de las interrogantes que contempla como en la elaboración detallada del informe resultante al concluir el proceso del cuestionario. No obstante, se señala que su implementación puede ser prolongada y que requiere de una mayor fase de desarrollo. Sin embargo, a partir del análisis de estudios de Valls-Val et al. (2022, 2023), las empresas concluyen que constituye una guía integral para llevar a cabo un análisis preliminar de la EC dentro de sus estructuras organizativas.

Aunque se hayan validado tanto los objetivos e hipótesis de la investigación, preocupa la baja participación por parte de las empresas. En total, se han realizado 33 jornadas de divulgación de la guía CircularTRANS durante la ejecución de los proyectos CircularTRANS, CircularTRANS II, CircularTRANS III, INMOIN Circular y ECSI Circular Training financiados por el Departamento de Promoción Económica, Turismo y Medio Rural de la Diputación Foral de Gipuzkoa (Mondragon Unibertsitatea, 2018) y tres proyectos de acompañamiento a empresas del Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz.

En la ejecución de los proyectos, de cara a la captación de empresas, se ha contado con la ayuda de 8 agencias de desarrollo de Gipuzkoa (Debagoiena, Uggasa, Debegesa, Iraurgi Berritzen, Goieki, Oarsoaldea, Tolosaldea garatzen y Beterri Buruntza), Corporación MONDRAGÓN, Adegí, Universidad de TECNUN, el Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz y los clústeres Aclima, Gaia y MLC Clúster. Así, se han invitado a más de 600 empresas y, de todas ellas, 329 han participado en las jornadas. De las cuales 108 han comenzado con el proceso, pero sólo 26 han completado el proceso de la guía CircularTRANS. Esto puede ser debido, por un lado, al interés de la empresa (programa de acompañamiento gratuito, motivación por sugerencia de la administración, por el mercado, motivación ambiental, etc.) y, por otro lado, por la existencia de un proceso de acompañamiento por parte del equipo investigador durante la aplicación de la guía.

Si bien es cierto que la investigación ha permitido adelantarse a las necesidades de las empresas desarrollando la guía CircularTRANS que facilita la transición hacia la EC, es gratuita y fácil de utilizar, las empresas no ven la prioridad de integrar la EC. Esto puede darse por varias razones, unas relacionadas con las barreras identificadas en el apartado 3.2.3 (Tabla 45) y otras relacionadas con la no visualización de los beneficios (3.2.5) (Tabla 46) de la EC. En la Tabla 45 se razonan posibles causas de la no adopción de la EC por parte de las empresas de la CAPV.

**Tabla 45:** Razones de no transitar hacia la EC por barreras

Barreras	Razones
<b>Falta de conocimiento y capacidades</b>	Como se observa en la Figura 38 el 61,5% de las empresas no saben en qué consiste la EC en la línea de lo argumentado por Rizos et al. (2015). Además, en la respuesta a la pregunta 27 del cuestionario de la Tabla 30 se cita la falta de conocimiento y formación. Durante el acompañamiento se ha observado que no saben por dónde empezar a trabajar o como abordar tanto las estrategias y las soluciones de EC tal y como menciona Hartley et al. (2023).
<b>Recursos financieros</b>	Como mencionan alguna empresa respondiendo a la pregunta 27 del cuestionario de la Tabla 30 necesitan recursos tanto financiero como humanos para abordar aspectos de la EC. Además, tal y como mencionan EC Hyz (2011) y Rizos et al. (2015) la falta de ayudas dirigidas a las pymes consiste en otro obstáculo para que este tipo de empresas puedan transitar hacia la EC.
<b>Cultura organizativa</b>	Las empresas consideran que la EC está relacionada con el medio ambiente y no lo perciben como una ventaja competitiva. A esto se une, que las organizaciones son reacias a los cambios (Grafström & Aasma, 2021) y se preguntan (¿Por qué voy a empezar a hacer EC si el negocio va bien y gana dinero?). Asimismo, esa falta de interés en aplicar la EC hace que no se tenga una visión holística de lo que se está trabajando en las diferentes áreas funcionales (Mangla et al., 2018).
<b>Institucionales</b>	Aunque desde la administración pública se están promoviendo regulaciones enfocadas a la aplicación de aspectos relacionados con la EC, las empresas de la CAPV no identifican la necesidad de su abordaje porque tal y como mencionan Ormazabal et al. (2018) las empresas están centradas en cumplir la ley. Por ello, es necesario la introducción de leyes que fomenten la aplicación de la EC en las empresas o la aplicación de los criterios de la taxonomía europea (Basque Ecodesign Center, 2019). Además, el reglamento de producto sostenible (European Commission, 2022) considera aspectos de durabilidad, reparabilidad, reutilización, actualización, remanufactura, reciclabilidad, etc. pero no fija mínimos a cumplir.
<b>De mercado</b>	En general el mercado actual no demanda productos/ servicios circulares. Además, aunque las pymes quieran transitar hacia la EC, la poca influencia que tienen sobre sus proveedores (Eltayeb & Zailani, 2014; Wooi & Zailani, 2010; Zhu et al., 2008) puede ser otra de las causas del desinterés mostrado.
<b>Tecnológicas</b>	Rizos et al. (2015) menciona que las tecnologías de EC no consideran las características de las pymes siendo ésta otra razón para no transitar hacia la EC.

En la Tabla 46 se razona la no visualización de los beneficios de transitar hacia la EC por las empresas de la CAPV.

**Tabla 46:** Beneficios de transitar hacia la EC

Beneficios	Razones
<b>Sociales</b>	El desarrollo de algunas actividades relacionadas con la EC puede crear nuevos empleos (Clube, 2022) aunque de momento las empresas no son conscientes de ello. Además, esta implementación de la EC refuerza la inclusión social ofreciendo oportunidades de formación a grupos vulnerables (Trias Pintó et al., 2019).
<b>Medioambientales</b>	La aplicación de la EC aporta beneficios medioambientales como la reducción de emisiones de dióxido de carbono, consumo de materias primas (Briones-Peñalver et al., 2021) y mejoras de la productividad (Espaliat Canu, 2018). Aun así, las empresas siguen sin crear consciencia en las mejoras que pueden aportar al medioambiente transitando hacia la EC.
<b>Económicos</b>	Como comenta Briones-Peñalver et al. (2021) se pueden ahorrar costes en materias primas o incluso realizar una inversión en la innovación para obtener beneficios y mejorar la competitividad, tal y como se ha demostrado en los dos casos de estudio (Mugafil y Clínica dental Urraca).

### 6.1.1 Contribución de la investigación

La investigación en el campo de la EC está en auge (Figura 35 y Figura 36). A este respecto, la contribución académica realizada en esta investigación se centra en:

C1. La guía CircularTRANS facilita y orienta a las organizaciones (micropymes, pequeñas empresas, empresas medianas y grandes empresas) de la CAPV a mejorar su competitividad a través de la integración de la EC.

C2. ICEQ permite a las empresas conocer el nivel de madurez de EC considerando los ítems de las normas ISO 14006:2015 e ISO 9001:2015 y las cuatro estrategias y nueve soluciones de la EC.

C3. INMOIN Circular ofrece a las empresas un *check list* de 433 indicadores de EC divididos en 12 áreas funcionales de la organización. Asimismo, evalúa el nivel de integración de las estrategias de la EC en las áreas de la empresa y en cada área en particular. Además, INMOIN Circular ayuda a las personas de las 12 áreas a comprender la relación entre indicadores y las estrategias de la EC.

C4. La herramienta Eco-productividad Industrial permite a las empresas analizar de una forma integrada el nivel de impacto de los aspectos medioambientales y productivos (despilfarro productivo, eficiencia productiva y ecoeficiencia). Con el fin de identificar mejoras para implementar en las líneas productivas.

C5. La ejecución metodológica de la tesis en base a la investigación en acción (*action research*) ha permitido la identificación las necesidades del desarrollo de las herramientas de IMOIN Circular y Eco-productividad Industrial.

Como aportaciones desde un punto de vista académico, se destacan las siguientes publicaciones realizadas:

- *Journal of Cleaner Production* con el título: *Development and validation of a tool for the integration of the circular economy in industrial companies: Case study for 30 companies*. relacionadas con la C1 y C2.
- *Journal of Production Management and Engineering* con el título: *Industrial eco-productivity tool: A case study of industrial SMEs* relacionada con la C4.

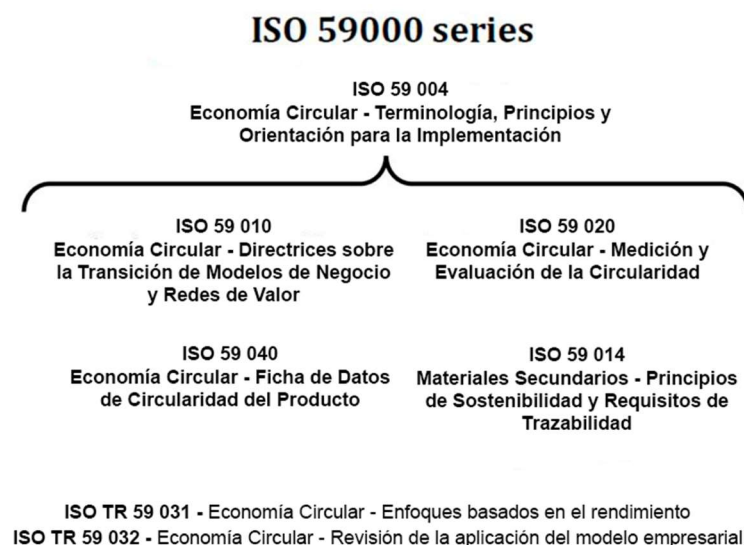
### **6.1.2 Limitaciones**

Una limitación de esta investigación radica en el número de casos de estudio presentados para la validación de la guía CircularTRANS. Aunque estos casos, uno del sector industrial (trefilería) y sector servicio sanitario (clínica dental) han contribuido a la validación de los objetivos e hipótesis de la investigación. Aun así, un mayor número de casos hubiera aportado una mayor solidez a la hora de valorar los objetivos e hipótesis de la investigación.

## 6.2 Líneas futuras

A continuación, se citan algunas líneas futuras de actuación en el ámbito de la tesis doctoral:

- Comunicar los beneficios que obtienen las empresas de la aplicación de la guía CircularTRANS y el modelo de indicadores INMOIN Circular y la herramienta Eco-productividad Industrial.
- Desarrollo de la guía CircularTRANS a nivel sectorial adecuándola a las nuevas normas de EC (Figura 67) y necesidades del sector.



**Figura 67:** Normas ISO 59000 sobre EC

- Crear mecanismos por parte de la administración para fomentar una mayor colaboración público-privada para transitar hacia la EC.
- Realizar un seguimiento de las empresas participantes en la guía CircularTRANS para conocer su evolución dentro del proceso de la transición e identificar aspectos a mejorar.
- Actualización de los recursos de la guía CircularTRANS.
- Considerando la necesidad de ampliar el alcance lingüístico de la guía CircularTRANS. Además de euskera y castellano se propone la traducción a un tercer idioma, el inglés, con el objetivo de facilitar su adopción por parte de empresas externas de la CAPV y promover así su internacionalización.
- Publicar en revistas científicas de impacto el modelo de indicadores INMOIN Circular y los casos de estudio de la guía CircularTRANS.

## **Referencias bibliográficas**

- Abreu, M. C. S. D., & Ceglia, D. (2018). On the implementation of a circular economy: The role of institutional capacity-building through industrial symbiosis. *Resources, Conservation and Recycling*, 138, 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.07.001>
- Aclima. (2024). *Aclima – Basque Environment Cluster*. <https://aclima.eus/>
- AENOR. (2015). *Certificación ISO 9001- AENOR*. <https://www.aenor.com/certificacion/calidad/iso-9001>
- AENOR. (2020). *UNE-ISO 56002:2020 Gestión de la innovación. Sistema de gestión...* <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0063286>
- AFNOR. (2020). *A practical guide to getting into circular economy - AFNOR Group*. <https://www.afnor.org/en/news/practical-guide-circular-economy/>
- Aghaei Chadegani, A., Salehi, H., Yunus, M., Farhadi, H., Fooladi, M., Farhadi, M., & Ale Ebrahim, N. (2013). A comparison between two main academic literature collections: Web of Science and Scopus databases. *Asian Social Science*, 9(5), 18–26.
- Agyemang, M., Kusi-Sarpong, S., Khan, S. A., Mani, V., Rehman, S. T., & Kusi-Sarpong, H. (2019). Drivers and barriers to circular economy implementation: An explorative study in Pakistan's automobile industry. *Management Decision*, 57(4), 971–994. <https://doi.org/10.1108/MD-11-2018-1178>
- Ahmed, A. A., Nazzal, M. A., Darras, B. M., & Deiab, I. M. (2022). A comprehensive multi-level circular economy assessment framework. *Sustainable Production and Consumption*, 32, 700–717. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2022.05.025>
- Aitken, C., Stephenson, C., & Brinkworth, R. (2010). Process Classification Frameworks. *Handbook on Business Process Management 2*, 73–92. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-01982-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-642-01982-1_4)
- Alamerew, Y. A., & Brissaud, D. (2019). Circular economy assessment tool for end of life product recovery strategies. *Journal of Remanufacturing*, 9(3), 169–185. <https://doi.org/10.1007/S13243-018-0064-8/TABLES/13>
- AMEC and Bio Intelligence Service. (2013). *The opportunities to business of improving resource efficiency*.
- Ameli, M., Mansour, S., & Ahmadi-Javid, A. (2019). A simulation-optimization model for sustainable product design and efficient end-of-life management based on individual producer responsibility. *Resources, Conservation and Recycling*, 140, 246–258. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2018.02.031>
- Amorós, E. (2007). *Comportamiento organizacional. En busca del desarrollo de ventajas competitivas*.

- Angioletti, C. M., Despeisse, M., & Rocca, R. (2017). Product circularity assessment methodology. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 514, 411–418. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-66926-7\\_47/FIGURES/1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-66926-7_47/FIGURES/1)
- APQC. (1994). *Helping Organizations Work Smarter, Faster, and with Greater Confidence*. <https://www.apqc.org/>
- Aranguren, M. J., Carrillo, F., Elola, A., Fernández, J., Franco, S., Gamboa, J. P., Gil de San Vicente, I., Izulain, A., Kamp, B., Larrea, M., Menéndez, J., Murciego, A., Oleaga, M., Peletier, C., Sisti, E., & Wilson, J. (2022). *Informe de competitividad del País Vasco 2022- Las bases de la competitividad en una época de incertidumbre*.
- Ardente, F., & Mathieux, F. (2014). Identification and assessment of product's measures to improve resource efficiency: The case-study of an Energy using Product. *Journal of Cleaner Production*, 83, 126–141. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2014.07.058>
- Atlason, R. S., Giacalone, D., & Parajuly, K. (2017). Product design in the circular economy: Users' perception of end-of-life scenarios for electrical and electronic appliances. *Journal of Cleaner Production*, 168, 1059–1069. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.082>
- Ayuntamiento de Vitoria. (2022, November 14). *Clínica dental Urraca, Ofita, Pepsico y la Escuela de Hostelería de Gamarra, ganadoras de los premios Pacto Verde 2022* «Notas de prensa». <https://blogs.vitoria-gasteiz.org/medios/2022/11/14/clinica-dental-urraca-ofita-pepsico-y-la-escuela-de-hosteleria-de-gamarra-ganadoras-de-los-premios-pacto-verde-2022/>
- Azevedo, S. G., Godina, R., & Matias, J. C. de O. (2017). Proposal of a Sustainable Circular Index for Manufacturing Companies. *Resources* 2017, Vol. 6, Page 63, 6(4), 63. <https://doi.org/10.3390/RESOURCES6040063>
- Bag, S., Gupta, S., & Foropon, C. (2019). Examining the role of dynamic remanufacturing capability on supply chain resilience in circular economy. *Management Decision*, 57(4), 863–885. <https://doi.org/10.1108/MD-07-2018-0724>
- Basque Ecodesign Center. (2019, January). *Mandato M/543 de normas para la transición hacia la economía circular*. <http://www.basqueecodesigncenter.net/Paginas/Ficha.aspx?IdMenu=d48c31db-9aef-42d1-a3ab-b64d8036c41a&Idioma=es-ES>
- Bassi, F., & Dias, J. G. (2019). The use of circular economy practices in SMEs across the EU. *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 523–533. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.019>
- Baysan, S., Kabadurmus, O., Cevikcan, E., Satoglu, S. I., & Durmusoglu, M. B. (2019). A simulation-based methodology for the analysis of the effect of lean tools on energy

- efficiency: An application in power distribution industry. *Journal of Cleaner Production*, 211, 895–908. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.11.217>
- Bertella, G., Lupini, S., Rossi Romanelli, C., & Font, X. (2021). Workshop methodology design: Innovation-oriented participatory processes for sustainability. *Annals of Tourism Research*, 89, 103251. <https://doi.org/10.1016/J.ANNALS.2021.103251>
- Biondi, V., Iraldo, F., & Meredith, S. (2002). Achieving sustainability through environmental innovation: The role of SMEs. *International Journal of Technology Management*, 24(5–6), 612–626. <https://doi.org/10.1504/IJTM.2002.003074>
- Blomberg, J., & Söderholm, P. (2009). The economics of secondary aluminium supply: An econometric analysis based on European data. *Resources, Conservation and Recycling*, 53(8), 455–463. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2009.03.001>
- Blomsma, F., & Brennan, G. (2017). The Emergence of Circular Economy: A New Framing Around Prolonging Resource Productivity. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 603–614. <https://doi.org/10.1111/JIEC.12603>
- Blomsma, F., Pieroni, M., Kravchenko, M., Pigosso, D., Hildenbrand, J., Kristinsdottir, A. R., Kristoffersen, E., Shabazi, S., Nielsen, K. D., Jönbrink, A.-K., Li, J., Wiik, C., & McAloone, T. C. (2019). Developing a circular strategies framework for manufacturing companies to support circular economy-oriented innovation. *Journal of Cleaner Production*, 118271. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.118271>
- Blume, S. A. (2020). Resource efficiency in manufacturing value chains. *Sustainable Production, Life Cycle Engineering and Management*, 9–40. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-63387-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-63387-5_2)
- Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308–320. <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>
- Bocken, N. M. P., Olivetti, E. A., Cullen, J. M., Potting, J., & Lifset, R. (2017). Taking the Circularity to the Next Level: A Special Issue on the Circular Economy. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 476–482. <https://doi.org/10.1111/jiec.12606>
- Bonacorsi, L. (2020). *Measuring Circularity: A critical Analysis of Some Relevant Indicators*.
- Borrello, M., Caracciolo, F., Lombardi, A., Pascucci, S., & Cembalo, L. (2017). Consumers' perspective on circular economy strategy for reducing food waste. *Sustainability (Switzerland)*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/su9010141>
- Bovea, M. D., Ibáñez-Forés, V., Pérez-Belis, V., Juan, P., Braulio-Gonzalo, M., & Díaz-ávalos, C. (2018). Incorporation of circular aspects into product design

- and labelling: Consumer preferences. *Sustainability (Switzerland)*, 10(7).  
<https://doi.org/10.3390/su10072311>
- Bovea, M. D., & Pérez-Belis, V. (2018). Identifying design guidelines to meet the circular economy principles: A case study on electric and electronic equipment. *Journal of Environmental Management*, 228, 483–494.  
<https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2018.08.014>
- Bradford, J., & Fraser, E. D. G. (2008). Local authorities, climate change and small and medium enterprises: identifying effective policy instruments to reduce energy use and carbon emissions. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 15(3), 156–172.  
<https://doi.org/10.1002/CSR.151>
- Braun, A. T., Kleine-Moellhoff, P., Reichenberger, V., & Seiter, S. (2018). Case study analysing potentials to improve material efficiency in manufacturing supply chains, considering circular economy aspects. *Sustainability (Switzerland)*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/SU10030880>
- Briones-Peñalver, J. A., Ruiz De, I. E. S., & Javier, A.-S. (2021). *Economía Circular: Su aplicación en empresas para el ahorro de recursos y mejora de la sostenibilidad*.
- Bruce, Margaret., & Bessant, J. R. (2002). *Design in business: strategic innovation through design*. Financial Times/Prentice Hall.  
[https://www.researchgate.net/publication/235700981\\_Design\\_in\\_Business\\_Strategic\\_Innovation\\_Through\\_Design](https://www.researchgate.net/publication/235700981_Design_in_Business_Strategic_Innovation_Through_Design)
- BS 8001. (2017). *BS 8001 - La primera norma de Economía Circular | BSI*.  
<https://www.bsigroup.com/es-ES/Normas/Las-ventajas-del-uso-de-las-normas/Como-hacerse-mas-sostenible-con-las-normas/bs-8001-economia-circular/>
- C2C. (2014). *Impact Study: Technical Report Pilot Study Impact Study of the Cradle to Cradle Certified Products Program*.  
<https://www.c2ccertified.org/impact-study>
- Caldera, H. T. S., Desha, C., & Dawes, L. (2019). Evaluating the enablers and barriers for successful implementation of sustainable business practice in ‘lean’ SMEs.’ *Journal of Cleaner Production*, 218, 575–590. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.01.239>
- Capellini, M. (2017). *Measure the circularity of a public lighting system*.  
<https://www.capcon.it/en/measure-the-circularity-of-a-public-lighting-system/>
- Casamayor, J. L., & Su, D. (2013). Integration of eco-design tools into the development of eco-lighting products. *Journal of Cleaner Production*, 47, 32–42. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2013.02.011>
- Catelles Viciano, L., Hernández Chover, V., Bellver Domingo, Á., & Hernández Sancho, F. (2022). Industrial Symbiosis: A Mechanism to Guarantee the Implementation od

- Circular Economy Practices. *Sustainability*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su142315872>
- Cayzer, S., Griffiths, P., & Beghetto, V. (2017). Design of indicators for measuring product performance in the circular economy. *Https://Doi.Org/10.1080/19397038.2017.1333543*, 10(4–5), 289–298. <https://doi.org/10.1080/19397038.2017.1333543>
- Ceprede. (2019). *Panorama regional y competitividad*. [https://www.ceprede.es/informes/informe\\_regional.asp](https://www.ceprede.es/informes/informe_regional.asp)
- Ceptureanu, S.-I., Ceptureanu, E.-G., & Murswieck, R. G. D. (2018). Perceptions of circular business models in SMEs. *Amfiteatru Economic*, 20(48), 310–324. <https://doi.org/10.24818/EA/2018/48/310>
- Chakrabarti, A., Morgenstern, S., & Knaab, H. (2004). Identification and application of requirements and their impact on the design process: A protocol study. *Research in Engineering Design*, 15(1), 22–39. <https://doi.org/10.1007/S00163-003-0033-5>
- Charnes, A., Clark, C. T., Cooper, W. W., & Golany, B. (1984). A developmental study of data envelopment analysis in measuring the efficiency of maintenance units in the U.S. air forces. *Annals of Operations Research*, 2(1), 95–112. <https://doi.org/10.1007/BF01874734>
- Charter, M., & Tischner, U. (2017). Sustainable solutions: Developing products and services for the future. *Sustainable Solutions: Developing Products and Services for the Future*, 1–469. <https://doi.org/10.4324/9781351282482>
- Chenavaz, R. Y., Dimitrov, S., & Figge, F. (2021). When does eco-efficiency rebound or backfire? An analytical model. *European Journal of Operational Research*, 290(2), 687–700. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2020.08.039>
- CIRCit Nord. (2019). *CIRCit Nord*. <https://circuitnord.com/project-circuit/>
- Circle Economy. (2018). *Circularity Gap Report*. <https://www.circle-economy.com/resources/the-circularity-gap-report-our-world-is-only-9-circular>
- Circle Economy. (2019a). *Circularity Gap Report*. <https://www.circularity-gap.world/>
- Circle Economy. (2019b). *Circularity Gap Report 2021*. <https://www.circularity-gap.world/2021>
- Circle Economy. (2021a). *Circularity gap Report 2020*. In *Circle Economy*. <https://www.circularity-gap.world/2021>
- Circle Economy. (2021b). *Circularity GAP Report 2021*. <https://www.circularity-gap.world/2021>
- Circle Economy. (2023). *Circularity Gap Report 2023*. In *Circle Economy*. <https://www.circularity-gap.world/2023>

- Clínica dental Urraca. (2022). *Clínica Dental Urraca*. <https://clinicadentalurraca.com/>
- Clube, R. (2022). Is job creation a legitimate social benefit of the circular economy? *Resources, Conservation and Recycling*, 181, 106220. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2022.106220>
- Comisión Europea. (2015). *Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular*.
- Cong, L., Zhao, F., & Sutherland, J. W. (2019). A Design Method to Improve End-of-Use Product Value Recovery for Circular Economy. *Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME*, 141(4). <https://doi.org/10.1115/1.4041574/367008>
- Constantinos, C., Bjørn Larsen, P., Mogensen, J., Roving Kristiansen, K., Yding Sørensen, S., Alexopoulou, S., Papageorgiou, M., & Pedersen, K. (2010). *SMEs and the environment in the European Union*.
- Cooper, H., Hedges, L. V., & Valentine, J. C. (2019). *The handbook of research synthesis and meta-analysis* (3th ed.).
- Corona, B., Shen, L., Reike, D., Rosales Carreón, J., & Worrell, E. (2019). Towards sustainable development through the circular economy—A review and critical assessment on current circularity metrics. *Resources, Conservation and Recycling*, 151. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2019.104498>
- Coughlan, P., & Coughlan, D. (2002). Action research for operations management. *International Journal of Operations and Production Management*, 22(2), 220–240. <https://doi.org/10.1108/01443570210417515>
- Cristoni, N., & Tonelli, M. (2018). Perceptions of Firms Participating in a Circular Economy. *EUROPEAN JOURNAL OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT*, 7(4), 105–118. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2018.v7n4p105>
- Cullen, J. M. (2017). Circular Economy: Theoretical Benchmark or Perpetual Motion Machine? *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 483–486. <https://doi.org/10.1111/JIEC.12599>
- Dalhammar, C. (2016). Industry attitudes towards ecodesign standards for improved resource efficiency. *Journal of Cleaner Production*, 123, 155–166. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.035>
- Daly, H. E. (1997). *Beyond Growths: The economics of sustainable development*.
- Das, S. K., Yedlarajiah, P., & Narendra, R. (2010). An approach for estimating the end-of-life product disassembly effort and cost. *International Journal of Production Research*, 38(3), 657–673. <https://doi.org/10.1080/002075400189356>

- de Jesus, A., & Mendonça, S. (2018). Lost in Transition? Drivers and Barriers in the Eco-innovation Road to the Circular Economy. *Ecological Economics*, 145, 75–89. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.08.001>
- de Oliveira, C. T., Dantas, T. E. T., & Soares, S. R. (2021). Nano and micro level circular economy indicators: Assisting decision-makers in circularity assessments. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 455–468. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2020.11.024>
- De Pascale, A., Arbolino, R., Szopik-Depczyńska, K., Limosani, M., & Ioppolo, G. (2021). A systematic review for measuring circular economy: The 61 indicators. *Journal of Cleaner Production*, 281. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.124942>
- Deming, W. E. (2000). *The new economics for industry, government, education* (Third Edition). MIT Press, Cambridge, MA.
- Denzin, N. (2013). *Sociological Methods: A Sourcebook* (Routledge, Ed.; 13th ed.).
- Departamento de Economía y Hacienda, E. J. (2023). *Informe anual de la economía vasca 2022*.
- Diputación Foral de Gipuzkoa. (2022a). *Normativa de ámbito estatal*. <https://www.gipuzkoa.eus/es/web/ingurumena/residuos-urbanos/normativa/marco-estatal>
- Diputación Foral de Gipuzkoa. (2022b). *Normativa de ámbito europeo*. <https://www.gipuzkoa.eus/es/web/ingurumena/residuos-urbanos/normativa/marco-comunitario>
- Dirección de Economía y Planificación. (2020). *Informe anual de la economía vasca 2020*. [www.euskadi.eus](http://www.euskadi.eus)
- Domingo, R., & Aguado, S. (2015). Overall environmental equipment effectiveness as a metric of a lean and green manufacturing system. *Sustainability (Switzerland)*, 7(7), 9031–9047. <https://doi.org/10.3390/SU7079031>
- Douglas D, H., & Christopher, J. C. (2017). *Network driven sampling; a critical threshold for design effects*. <http://arxiv.org/abs/1505.05461>
- Drljača, M. (2015). The transition from linear to circular economy (concept of efficient waste management). *Quality System Condition for Successful Business and Competitiveness*.
- Duarte, S., & Cruz Machado, V. (2017). Green and lean implementation: an assessment in the automotive industry. *International Journal of Lean Six Sigma*, 8(1), 65–88. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-11-2015-0041>

- Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S. J., Papadopoulos, T., & Helo, P. (2019). Supplier relationship management for circular economy: Influence of external pressures and top management commitment. *Management Decision*, 57(4), 767–790. <https://doi.org/10.1108/MD-04-2018-0396>
- Durán, O., Capaldo, A., & s, P. A. D. (2018). Sustainable overall throughputability effectiveness (S.O.T.E.) as a metric for production systems. *Sustainability (Switzerland)*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/SU10020362>
- EASAC, E. A. S. A. C. (2015). *Circular economy: a commentary from the perspectives of the natural and social sciences*. [www.sens.ch/en](http://www.sens.ch/en)
- Ecopreneur. (2019). *Circularity Check: how circular are the products and services your company puts on the market?* <https://ecopreneur.eu/circularity-check-landing-page/>
- Eguren, J. A., Justel, D., Iriarte, I., & Esnaola, A. (2018). Opportunities and incentives for Remanufacturing in the Basque Country. *Procedia CIRP*, 73, 253–258. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2018.04.081>
- Eikelenboom, M., & de Jong, G. (2022). The Impact of Managers and Network Interactions on the Integration of Circularity in Business Strategy. *Organization and Environment*, 35(3), 365–393. [https://doi.org/10.1177/1086026621994635/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177\\_1086026621994635-FIG2.JPEG](https://doi.org/10.1177/1086026621994635/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177_1086026621994635-FIG2.JPEG)
- Elia, V., Gnoni, M. G., & Tornese, F. (2017). Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2741–2751. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.10.196>
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the circular Economy. Economic and business rationale for an accelerated transition*. <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>
- Ellen MacArthur Foundation. (2017a). *Finding a fast fashion business model that lasts: Better World Fashion*. <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-examples/finding-a-fast-fashion-business-model-that-lasts>
- Ellen MacArthur Foundation. (2017b). The Circular Economy in Detail. In *Learning Hub*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/explore/the-circular-economy-in-detail>
- Ellen MacArthur Foundation. (2018). *Opportunity of a circular economy*. <https://ellenmacarthurfoundation.org/publications>
- Ellen MacArthur Foundation. (2020). *Circulytics- Measuring circularity*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/resources/apply/circulytics-measuring-circularity>

- Eltayeb, T. K., & Zailani, S. (2014). Going Green through Green Supply Chain Initiatives Toward Environmental Sustainability. *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, 2(2), 93–110. <https://doi.org/10.31387/OSCM040019>
- EMAS. (2014). *El Reglamento EMAS Guía práctica*.
- EMF-Ellen MacArthur Foundation. (2015). *Circularity Indicators- An Approach to Measuring Circularity*. <https://ellenmacarthurfoundation.org/material-circularity-indicator>
- Espaliat, M. (2018, November 11). *Ventajas y beneficios de la economía circular: ventajas para la sociedad | Hacia un mundo sostenible*. <https://www.prevencionintegral.com/comunidad/blog/hacia-mundo-sostenible/2018/11/10/iii-ventajas-economia-circular-para-sociedad-para-ciudadanos>
- Eunomia Research & Consulting. (2011). *Increasing SME Recycling. An examination of the barriers that exist to increasing levels of SME recycling and recommended solutions to these barriers*.
- European Commission. (2015). *Closing the Loop - an EU Action Plan for the Circular Economy. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions*. 21.
- European Commission. (2019). *Communication from the commission to the European Parliament, the European Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions- The European Green Deal*. [https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/european-green-deal-communication\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/european-green-deal-communication_en.pdf)
- European Commission. (2021a). *Commission adopts new proposals to stop deforestation, innovate sustainable waste management and make soils healthy for people, nature and climate*. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_21\\_5916](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_5916)
- European Commission. (2021b). *International cooperation*. [https://environment.ec.europa.eu/international-cooperation\\_en](https://environment.ec.europa.eu/international-cooperation_en)
- European Commission. (2021c, October 28). *New limits for some of the most harmful chemicals in waste*. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_21\\_5552](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_5552)
- European Commission. (2022a). *Biobased, biodegradable and compostable plastics*. [https://environment.ec.europa.eu/topics/plastics/biobased-biodegradable-and-compostable-plastics\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/plastics/biobased-biodegradable-and-compostable-plastics_en)
- European Commission. (2022b). *New proposals to make sustainable products the norm*. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_22\\_2013](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_2013)

- European Commission. (2022c). *Packaging waste*.  
[https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/packaging-waste\\_en#review](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/packaging-waste_en#review)
- European Commission. (2022d). *REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing a framework for setting ecodesign requirements for sustainable products and repealing Directive 2009/125/EC*.
- European Commission. (2022e). *Review of the Construction Products Regulation*.  
[https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/construction/construction-products-regulation-cpr/review\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/construction/construction-products-regulation-cpr/review_en)
- European Commission. (2022f). *Sustainable consumption Policy-relevant insights on the consumers' engagement in the circular economy*. [https://commission.europa.eu/live-work-travel-eu/consumer-rights-and-complaints/sustainable-consumption\\_en](https://commission.europa.eu/live-work-travel-eu/consumer-rights-and-complaints/sustainable-consumption_en)
- European Commission. (2022g). *Sustainable products*.  
[https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/sustainable-products\\_en](https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/sustainable-products_en)
- European Commission. (2022h). *Textiles strategy*.  
[https://environment.ec.europa.eu/strategy/textiles-strategy\\_en](https://environment.ec.europa.eu/strategy/textiles-strategy_en)
- European Commission. (2023a). *Circular economy action plan: for a cleaner and more competitive Europe*.  
<https://doi.org/https://data.europa.eu/doi/10.2779/05068>
- European Commission. (2023b). *Green claims*.  
[https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/green-claims\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/green-claims_en)
- European Commission, D., General for Energy, D., & General for Enterprise and Industry. (2014). *Ecodesign your future: how ecodesign can help the environment by making products smarter*. <https://data.europa.eu/doi/10.2769/38512>
- European Commission, & OECD. (2022). *Making the most of the social economy's contribution to the circular economy*.
- European Environment Agency (EEA). (2016). *Circular economy in Europe — Developing the knowledge base — European Environment Agency*.  
<https://www.eea.europa.eu/publications/circular-economy-in-europe>
- European Union. (2018a). *Directiva 1999/31/CE del Consejo de 26 de abril de 1999 relativa al vertido de residuos*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:01999L0031-20180704>
- European Union. (2018b, July 4). *Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council of 6 September 2006 on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02006L0066-20180704>

- European Union. (2018c, July 4). *European Parliament and Council Directive 94/62/EC of 20 December 1994 on packaging and packaging waste*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:01994L0062-20180704>
- European Union. (2018d, July 5). *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02008L0098-20180705>
- European Union. (2019, July 24). *Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, d... - EUR-Lex*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/es/LSU/?uri=CELEX:32012L0019>
- European Union. (2020, June 22). *Reglamento - 2020/852*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/es/ALL/?uri=CELEX%3A32020R0852#>
- European Union. (2023). *Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of life vehicles*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/53>
- Eurostat. (2011). *Waste statistics*. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics)
- Eustat. (2021, December 22). *A primeros de 2021 se contabilizaban 1.400 empresas menos en la C.A. de Euskadi que el año anterior*. [https://www.eustat.eus/elementos/ele0019300/a-primeros-de-2021-se-contabilizaban-1400-empresas-menos-en-la-ca/not0019345\\_c.html#:~:text=En%20la%20C.A.%20de%20Euskadi%20operaban%20152.554%20empresas%20de%20los,seg%C3%BAn%20datos%20elaborados%20por%20Eustat.](https://www.eustat.eus/elementos/ele0019300/a-primeros-de-2021-se-contabilizaban-1400-empresas-menos-en-la-ca/not0019345_c.html#:~:text=En%20la%20C.A.%20de%20Euskadi%20operaban%20152.554%20empresas%20de%20los,seg%C3%BAn%20datos%20elaborados%20por%20Eustat.)
- Eustat. (2022). *Contexto macroeconómico de la industria de la C.A. de Euskadi*. [https://www.eustat.eus/panoramadelaindustriavasca/2022/Contexto\\_macroeconomico.html](https://www.eustat.eus/panoramadelaindustriavasca/2022/Contexto_macroeconomico.html)
- Eustat. (2023, November 29). *Establecimientos en la C.A. de Euskadi por ámbito territorial*. [https://www.eustat.eus/elementos/ele0005800/establecimientos-y-personas-empleadas-en-la-ca-de-euskadi-por-ambitos-territoriales-segun-rama-de-actividad-a10/tbl0005854\\_c.html](https://www.eustat.eus/elementos/ele0005800/establecimientos-y-personas-empleadas-en-la-ca-de-euskadi-por-ambitos-territoriales-segun-rama-de-actividad-a10/tbl0005854_c.html)
- Evans, J., Bocken, N., & University of Cambridge. (2019). *Circular Economy Toolkit*. <http://circulareconomytoolkit.org/Toolkit.html>
- Favi, C., Germani, M., Luzi, A., Mandolini, M., & Marconi, M. (2016). A design for EoL approach and metrics to favour closed-loop scenarios for products. *International Journal of Sustainable Engineering*, 10(3), 136–146. <https://doi.org/10.1080/19397038.2016.1270369>

- Fercoq, A., Lamouri, S., & Carbone, V. (2016). Lean/Green integration focused on waste reduction techniques. *Journal of Cleaner Production*, *137*, 567–578. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.07.107>
- Fernández Gómez, J. (2020). La transición hacia la economía circular: la experiencia del País Vasco. *Economía Industrial*.
- Fetting, C. (2020). *The European Green Deal*.
- Figge, F., Thorpe, A. S., Givry, P., Canning, L., & Franklin-Johnson, E. (2018). Longevity and Circularity as Indicators of Eco-Efficient Resource Use in the Circular Economy. *Ecological Economics*, *150*, 297–306. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2018.04.030>
- Fogarassy, C., Kovacs, A., Horváth, B., & Böröcz, M. (2017). *The development of a circular evaluation (CEV) tool-case study for the 2024 Budapest Olympics*.
- Fonseca, L. M., Domingues, J. P., Pereira, M. T., Martins, F. F., & Zimon, D. (2018). Assessment of circular economy within Portuguese organizations. *Sustainability (Switzerland)*, *10*(7). <https://doi.org/10.3390/su10072521>
- Franklin-Johnson, E., Figge, F., & Canning, L. (2016). Resource duration as a managerial indicator for Circular Economy performance. *Journal of Cleaner Production*, *133*, 589–598. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.05.023>
- Fregonara, E., Giordano, R., Ferrando, D. G., & Pattono, S. (2017). Economic-Environmental Indicators to Support Investment Decisions: A Focus on the Buildings' End-of-Life Stage. *Buildings* 2017, Vol. 7, Page 65, 7(3), 65. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS7030065>
- FUSION. (2014). *What do Europe's Small and Medium Sized Businesses Think About the Circular Economy?*
- Gabarró Sust, J. (2021). *Certificados ISO y economía circular - Normes ISO*. <https://iso.cat/es/certificados-iso-y-economia-circular/>
- Gaia. (2024). *GAIA*. <https://gaia.es/>
- Garcés Ayerbe, C., Rivera Torres, P., Suárez Perales, I., & Leyva- de la Hiz, D. I. (2019). It is possible to change from linear to a circular economy? An overview of opportunities and barriers for european small and medium-sized enterprise companies. *Environmental Research and Public Health*.
- Garza-Reyes, J. A., Salomé Valls, A., Peter Nadeem, S., Anosike, A., & Kumar, V. (2018). A circularity measurement toolkit for manufacturing SMEs. *International Journal of Production Research*, *57*(23), 7319–7343. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1559961>
- Gaur, J., Mani, V., Banerjee, P., Amini, M., & Gupta, R. (2019). Towards building circular economy: A cross-cultural study of consumers' purchase intentions

- for reconstructed products. *Management Decision*, 57(4), 886–903.  
<https://doi.org/10.1108/MD-07-2018-0728>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768.  
[https://www.academia.edu/31149296/The\\_Circular\\_Economy\\_A\\_new\\_sustainability\\_paradigm](https://www.academia.edu/31149296/The_Circular_Economy_A_new_sustainability_paradigm)
- Geng, Y., Fu, J., Sarkis, J., & Xue, B. (2012). Towards a national circular economy indicator system in China: An evaluation and critical analysis. *Journal of Cleaner Production*, 23(1), 216–224. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2011.07.005>
- Genovese, A., Acquaye, A. A., Figueroa, A., & Koh, S. C. L. (2017). Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. *Omega (United Kingdom)*, 66, 344–357.  
<https://doi.org/10.1016/J.OMEGA.2015.05.015>
- Giacomelli, J., Kozamernik, D., & Lah, P. (2018). *Evaluating and monitoring circularity*.  
[https://www.sid.si/sites/www.sid.si/files/documents/evaluating\\_and\\_monitoring\\_circularity.pdf](https://www.sid.si/sites/www.sid.si/files/documents/evaluating_and_monitoring_circularity.pdf)
- Global Footprint Network. (2022). *National footprint and biocapacity accounts*.  
<https://data.footprintnetwork.org/#/>
- Gobierno de España. (2008, February 1). *BOE-A-2008-2387 Real Decreto 106/2008, de 1 de febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos*.  
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2008-2387>
- Gobierno de España. (2015a, February 21). *BOE-A-2015-1762 Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos*.  
[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-1762](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-1762)
- Gobierno de España. (2015b, July 24). *BOE-A-2015-8340 Real Decreto 710/2015, de 24 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 106/2008, de 1 de febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos*.  
[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-8340](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-8340)
- Gobierno de España. (2018, July 18). *BOE-A-2020-7438 Real Decreto 646/2020, de 7 de julio, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero*.  
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2020-7438>
- Gobierno de España. (2022a). *BOE-A-2022-5809 Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular*.  
<https://www.boe.es/legislacion/eli/eli.php?path=es/l/2022/04/08/7/con>

- Gobierno de España. (2022b). *PERTE de Economía Circular*.  
<https://planderecuperacion.gob.es/como-acceder-a-los-fondos/pertes/perte-de-economia-circular>
- Gobierno de España. (2022c, April 10). *Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos*.  
<https://www.hacienda.gob.es/BoletinesHacienda/Boletines//2022/77677.pdf>
- Gobierno de España. (2022d, December 28). *BOE-A-2022-22690 Real Decreto 1055/2022, de 27 de diciembre, de envases y residuos de envases*.  
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-22690>
- Gobierno Vasco. (2019). *Estrategia de Economía Circular del País Vasco 2030*.  
[www.euskadi.eus](http://www.euskadi.eus)
- Golinska, P., Kosacka, M., Mierzwiak, R., & Werner-Lewandowska, K. (2015). Grey Decision Making as a tool for the classification of the sustainability level of remanufacturing companies. *Journal of Cleaner Production*, 105, 28–40.  
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2014.11.040>
- Goulielmos, A. M. (2018). Linear and Nonlinear Strategic Management: With Applications to Shipping. *Modern Economy*, 9(1), 97–124. <https://doi.org/10.4236/ME.2018.91007>
- Graedel, T. E., Allwood, J., Birat, J. P., Buchert, M., Hagelüken, C., Reck, B. K., Sibley, S. F., & Sonnemann, G. (2011). What Do We Know About Metal Recycling Rates? *Journal of Industrial Ecology*, 15(3), 355–366. <https://doi.org/10.1111/J.1530-9290.2011.00342.X>
- Grafström, J., & Aasma, S. (2021). Breaking circular economy barriers. *Journal of Cleaner Production*, 292. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126002>
- Guogang, J., & Jing, C. (2011). *Research on Evaluation of Circular Economy Development*.
- Haas, W., Krausmann, F., Wiedenhofer, D., & Heinz, M. (2015). How Circular is the Global Economy?: An Assessment of Material Flows, Waste Production, and Recycling in the European Union and the World in 2005. *Journal of Industrial Ecology*, 19(5), 765–777. <https://doi.org/10.1111/JIEC.12244>
- Hahn, T., Figge, F., Liesen, A., & Barkemeyer, R. (2010). Opportunity cost based analysis of corporate eco-efficiency: A methodology and its application to the CO2-efficiency of German companies. *Journal of Environmental Management*, 91(10), 1997–2007.  
<https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2010.05.004>
- Hansen, E. G., Lüdeke-Freud, F., & Fichter, K. (2021). *Circular business models: a typology based on actor type, circular strategy and service degree*.

- Hanson-DeFusco, J. (2023). What data counts in policymaking and programming evaluation – Relevant data sources for triangulation according to main epistemologies and philosophies within social science. *Evaluation and Program Planning*, 97, 102238. <https://doi.org/10.1016/J.EVALPROGPLAN.2023.102238>
- Hartley, K., Schülzchen, S., Bakker, C. A., & Kirchherr, J. (2023). A policy framework for the circular economy: Lessons from the EU. *Journal of Cleaner Production*, 412, 137176. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.137176>
- Haupt, M., & Hellweg, S. (2019). *Measuring the environmental sustainability of a circular economy* | Elsevier Enhanced Reader. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2019.100005>
- Haupt, M., Vadenbo, C., & Hellweg, S. (2017). Do We Have the Right Performance Indicators for the Circular Economy?: Insight into the Swiss Waste Management System. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 615–627. <https://doi.org/10.1111/JIEC.12506>
- Haupt, M., Waser, E., Würmli, J. C., & Hellweg, S. (2018). *Is there an environmentally optimal separate collection rate?* | Elsevier Enhanced Reader. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0956053X18301922?token=1CF74C71F96AE955AE29BAEBAE8EC7BD515B754994F08FA48F1486EDBFC1AAEA4B43D5710321D782402F486849CF1FD1&originRegion=eu-west-1&originCreation=20211028091325>
- Hendriks, F., Vogtländer, J. G., & Janssen, G. M. T. (2006). The eco-costs/value ratio: A tool to determine the long-term strategy for delinking economy and environmental ecology. *International Journal of Ecodynamics*, 1(2), 136–148. <https://doi.org/10.2495/ECO-V1-N2-136-148>
- Henrysson, M., & Nuur, C. (2021). The Role of Institutions in Creating Circular Economy Pathways for Regional Development. *Journal of Environment and Development*, 30(2), 149–171. [https://doi.org/10.1177/1070496521991876/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177\\_1070496521991876-FIG1.JPEG](https://doi.org/10.1177/1070496521991876/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177_1070496521991876-FIG1.JPEG)
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (McGraw Hill Iner).
- Hill, T., Lewicki, P., & Lewicki, P. (2006). *Statistics: methods and applications: a comprehensive reference for science, industry, and data mining*. StatSoft, Inc.
- Hillay, R. (2004). Environmental management systems and the smaller enterprise. *Journal of Cleaner Production*, 12(6), 561–569.

- Hoevenagel, Ruud., Lindblom, Josefina., Delgado, Luis., & Institute for Prospective Technological Studies. (2007). *Promoting Environmental Technologies in SMEs: Barriers and Measures*. Publications Office. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC37214>
- Hojnik, J., Ruzzier, M., & Manolova, T. (2017). Eco-innovation and firm efficiency: Empirical evidence from Slovenia. *Foresight and STI Governance*, 11(3), 103–111. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2017.3.103.111>
- Hollins, O. (2011). *The Further Benefits of Business Resource Efficiency*.
- Hopff, B., Nijhuis, S., & Verhoef, L. A. (2019). New dimensions for circularity on campus-framework for the application of circular principles in campus development. *Sustainability (Switzerland)*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/su11030627>
- Horielikova, L. (2020, November 3). *ISO certification: Which standards are the most popular?* <https://advisera.com/blog/2020/11/03/which-iso-standards-are-the-most-popular-analysis-of-iso-2019-survey/>
- Huppel, G., & Ishikawa, M. (2007). *Quantified Eco-Efficiency*. 22. <https://doi.org/10.1007/1-4020-5399-1>
- Huysman, S., de Schaepmeester, J., Ragaert, K., Dewulf, J., & de Meester, S. (2017). Performance indicators for a circular economy: A case study on post-industrial plastic waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 120, 46–54. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2017.01.013>
- Huysman, S., Debaveye, S., Schaubroeck, T., Meester, S. de, Ardente, F., Mathieux, F., & Dewulf, J. (2015). The recyclability benefit rate of closed-loop and open-loop systems: A case study on plastic recycling in Flanders. *Resources, Conservation and Recycling*, 101, 53–60. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2015.05.014>
- Hyz, A. B. (2011). Small and Medium Enterprises (SMEs) in Greece - Barriers in Access to Banking Services. An Empirical Investigation. *International Journal of Business and Social Science*.
- Iacovidou, E., Velenturf, A. P. M., & Purnell, P. (2019). Quality of resources: A typology for supporting transitions towards resource efficiency using the single-use plastic bottle as an example. *Science of the Total Environment*, 647, 441–448. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.07.344>
- Iacovidou, E., Velis, C. A., Purnell, P., Zwirner, O., Brown, A., Hahladakis, J., Millward-Hopkins, J., & Williams, P. T. (2017). Metrics for optimising the multi-dimensional value of resources recovered from waste in a circular economy: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 166, 910–938. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.07.100>

- IDEAL&CO Explore. (2016). *Circularity Calculator*.  
<http://www.circularitycalculator.com/>
- Ihobe. (2015). *Ecodiseño para una Economía Circular*. Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental. <https://www.ihobe.eus/economia-circular>
- Ihobe. (2018a). *Economía circular en la industria del País Vasco- Diagnóstico*.
- Ihobe. (2018b). *Indicadores de Economía Circular Euskadi 2018*.
- Ihobe. (2021). *Indicadores de Economía Circular Euskadi 2021*.
- Ihobe. (2022, April 13). *La economía circular avanza en Euskadi con más de 17.000 empleos*. <https://www.ihobe.eus/actualidad/economia-circular-avanza-en-euskadi-con-mas-17-000-empleos>
- Ihobe. (2023). *Informe de vigilancia ambiental estratégica: Las 10 claves en economía circular para 2024*.
- Ihobe, & Orkestra. (2020). *Posicionamiento de las empresas vascas ante las oportunidades que ofrece la economía circular*.  
<https://www.ihobe.eus/publicaciones/posicionamiento-empresas-vascas-ante-oportunidades-que-ofrece-economia-circular-2>
- INE, I. N. de E. (2022). *Número de empresas en la CAV*.  
<https://www.ine.es/consul/serie.do?d=true&s=DIR80247&c=2&>
- Iraldo, F., Testa, F., Frey, M., Iraldo, F., Testa, F., & Frey, M. (2010). Environmental Management System and SMEs: EU Experience, Barriers and Perspectives. *Environmental Management*. <https://doi.org/10.5772/10098>
- ISO. (2006). *ISO 14040:2006 Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Principios y marco de referencia*.  
<https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>
- ISO. (2012). *UNE-EN ISO12100:2012. Seguridad de la máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo*.
- ISO 14001:2015. (2016). *Los factores de éxito y los objetivos de la norma ISO 14001 2015*.  
<https://www.nueva-iso-14001.com/2016/06/los-factores-exito-los-objetivos-la-norma-iso-14001-2015/>
- Ivancevich, J. M., Skinner, S. J., & Lorenzi, P. (1997). *Gestión calidad y competitividad*.
- Jakhar, S. K., Mangla, S. K., Luthra, S., & Kusi-Sarpong, S. (2019). When stakeholder pressure drives the circular economy: Measuring the mediating role of innovation capabilities. *Management Decision*, 57(4), 904–920. <https://doi.org/10.1108/MD-09-2018-0990>

- Janik, A., & Ryszko, A. (2019). Circular economy in companies: an analysis of selected indicators from a managerial perspective. *Sciend*, 2(1), 523–535. <https://doi.org/10.2478/mape-2019-0053>
- Jerome, A., Helander, H., Ljunggren, M., & Janssen, M. (2022). Mapping and testing circular economy product-level indicators: A critical review. *Resources, Conservation and Recycling*, 178. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2021.106080>
- Jia, C. R., & Zhang, J. (2011). Evaluation of regional circular economy based on matter element analysis. *Procedia Environmental Sciences*, 11(PART B), 637–642. <https://doi.org/10.1016/J.PROENV.2011.12.099>
- Jirásek, M., & Bílek, J. (2018). The organizational life cycle: Review and future Agenda. *Quality Innovation Prosperity*, 22(3), 1–18. <https://doi.org/10.12776/QIP.V22I3.1177>
- Johnson, R. B., & Christensen, L. (2019). *Educational research: Quantitative, qualitative, and mixed approaches* (5th ed.). SAGE Publications Ltd.
- Juntao, W., & Mishima, N. (2017). Development of Resource Efficiency Index for Electrical and Electronic Equipment. *Procedia CIRP*, 61, 275–280. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2016.11.172>
- Kaplan, S. (2016, January 20). *By 2050, there will be more plastic than fish in the world's oceans, study says - The Washington Post*. <https://www.washingtonpost.com/news/morning-mix/wp/2016/01/20/by-2050-there-will-be-more-plastic-than-fish-in-the-worlds-oceans-study-says/>
- Karmaker, C. L., Ahmed, T., Ahmed, S., Ali, S. M., Muktadir, M. A., & Kabir, G. (2021). Improving supply chain sustainability in the context of COVID-19 pandemic in an emerging economy: Exploring drivers using an integrated model. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 411–427. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2020.09.019>
- Katz-Gerro, T., & López Sintas, J. (2019). Mapping circular economy activities in the European Union: Patterns of implementation and their correlates in small and medium-sized enterprises. *Business Strategy and the Environment*, 28(4), 485–496. <https://doi.org/10.1002/bse.2259>
- Kinnunen, P. H.-M., & Kaksonen, A. H. (2019). Towards circular economy in mining: Opportunities and bottlenecks for tailings valorization. *Journal of Cleaner Production*, 228, 153–160. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.171>
- Kirchherr, J., Piscicelli, L., Bour, R., Kostense-Smit, E., Muller, J., Huibrechtse-Truijens, A., & Hekkert, M. (2018). Barriers to the Circular Economy: Evidence From the European Union (EU). *Ecological Economics*, 150, 264–272. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.028>

- Kirchherr, J., Yang, N. H. N., Schulze-Spüntrup, F., Heerink, M. J., & Hartley, K. (2023). Conceptualizing the Circular Economy (Revisited): An Analysis of 221 Definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 194, 107001. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2023.107001>
- Konietzko, J., Bocken, N., & Hultink, E. J. (2020). A tool to analyze, ideate and develop circular innovation ecosystems. *Sustainability*, 12(1), 417. <https://doi.org/10.3390/SU12010417>
- Kravchenko, M., Pigosso, D. C. A., & McAloone, T. C. (2010). *A guidance for navigating trade-offs to support sustainability-related decision-making*. <https://doi.org/https://doi.org/10.11583/DTU.12933431>
- Kristensen, H. S., & Mosgaard, M. A. (2020). A review of micro level indicators for a circular economy – moving away from the three dimensions of sustainability? *Journal of Cleaner Production*, 243. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.118531>
- Kumar, V., Sezersan, I., Garza-Reyes, J. A., Gonzalez, E. D. R. S., & AL-Shboul, M. A. (2019). Circular economy in the manufacturing sector: benefits, opportunities and barriers. *Management Decision*, 57(4), 1067–1086. <https://doi.org/10.1108/MD-09-2018-1070>
- Lakatos, E. S., Dan, V., Cioca, L. I., Bacali, L., & Ciobanu, A. M. (2016). How supportive are Romanian consumers of the circular economy concept: A survey. *Sustainability (Switzerland)*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/su8080789>
- Langdrige, D. (2018). *Phenomenological Psychology*. <https://doi.org/10.1093/OBO/9780199828340-0210>
- Lawrence, S. R., Collins, E., Pavlovich, K., & Arunachalam, M. (2006). Sustainability practices of SMEs: The case of NZ. *Business Strategy and the Environment*, 15(4), 242–257. <https://doi.org/10.1002/BSE.533>
- LEAD Sostenibilidad. (2020). *El agotamiento de los recursos naturales*. <https://www.leadostenibilidad.com/blog/agotamiento-recursos-naturales>
- Lèbre, É., Corder, G., & Golev, A. (2017). The Role of the Mining Industry in a Circular Economy: A Framework for Resource Management at the Mine Site Level. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 662–672. <https://doi.org/10.1111/JIEC.12596>
- Lee, H. M., Lu, W. F., & Song, B. (2014). A framework for assessing product End-Of-Life performance: Reviewing the state of the art and proposing an innovative approach using an End-of-Life Index. *Journal of Cleaner Production*, 66, 355–371. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2013.11.001>
- Legegunea. (2009, March 18). *DECRETO 49/2009, de 24 de febrero, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero y la*

- ejecución de los rellenos.* <https://www.legegunea.euskadi.eus/eli/es-pv/d/2009/02/24/49/dof/spa/html>
- Legegunea. (2012, September 3). *DECRETO 112/2012, de 26 de junio, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.* <https://www.legegunea.euskadi.eus/eli/es-pv/d/2012/06/26/112/dof/spa/html>
- Legegunea. (2013, December 18). *DECRETO 453/2013, de 26 de noviembre, sobre la aplicación de lodos en suelos agrarios de la Comunidad Autónoma del País Vasco.* <https://www.legegunea.euskadi.eus/eli/es-pv/d/2013/11/26/453/dof/spa/html>
- Legegunea. (2015, March 9). *DECRETO 21/2015, de 3 de marzo, sobre gestión de los residuos sanitarios en la Comunidad Autónoma de Euskadi.* <https://www.legegunea.euskadi.eus/eli/es-pv/d/2015/03/03/21/dof/spa/html>
- Legegunea. (2019a). *LEY 4/2019, de 21 de febrero, de Sostenibilidad Energética de la Comunidad Autónoma Vasca. - Legegunea: Normativa del País Vasco - Gobierno Vasco - Euskadi.eus.* <https://www.legegunea.euskadi.eus/eli/es-pv/l/2019/02/21/4/dof/spa/html/webleg00-confich/es/>
- Legegunea. (2019b, April 16). *DECRETO 63/2019, de 9 de abril, por el que se establece el régimen jurídico y las condiciones técnicas de las instalaciones y actividades de compostaje comunitario.* <https://www.legegunea.euskadi.eus/es/eli/-/eli/es-pv/d/2019/04/09/63/dof/spa/html/>
- Legegunea. (2019c, December 31). *LEY 10/2021, de 9 de diciembre, de Administración Ambiental de Euskadi.* <https://www.legegunea.euskadi.eus/eli/es-pv/l/2021/12/09/10/dof/spa/html>
- Li, H., Bao, W., Xiu, C., Zhang, Y., & Xu, H. (2010). Energy conservation and circular economy in China's process industries. *Energy*, 35(11), 4273–4281. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2009.04.021>
- Li, R. H., & Su, C. H. (2012). Evaluation of the circular economy development level of Chinese chemical enterprises. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 1595–1601. <https://doi.org/10.1016/J.PROENV.2012.01.151>
- Liang, W. zhang, Zhao, G. yan, & Hong, C. shou. (2018). Performance assessment of circular economy for phosphorus chemical firms based on VIKOR-QUALIFLEX method. *Journal of Cleaner Production*, 196, 1365–1378. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.06.147>
- Liedtke, C., Biengen, K., Wiesen, K., Teubler, J., Greiff, K., Lettenmeier, M., & Rohn, H. (2014). Resource use in the production and consumption system—the MIPS approach. *Resources*, 3(3), 544–574. <https://doi.org/10.3390/resources3030544>

- Liker, J. K. (2006). *Las Claves de éxito Toyota*.  
[https://www.academia.edu/38854280/Las\\_Claves\\_de\\_%C3%A9xito\\_Toyota](https://www.academia.edu/38854280/Las_Claves_de_%C3%A9xito_Toyota)
- Linder, M., Sarasini, S., & van Loon, P. (2017). A Metric for Quantifying Product-Level Circularity. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 545–558.  
<https://doi.org/10.1111/JIEC.12552>
- Liu, Q., Li, H. -m., Zuo, X. -l., Zhang, F. -f., & Wang, L. (2009). A survey and analysis on public awareness and performance for promoting circular economy in China: A case study from Tianjin. *Journal of Cleaner Production*, 17(2), 265–270. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.06.003>
- Liu, Y., & Bai, Y. (2014). An exploration of firms' awareness and behavior of developing circular economy: An empirical research in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 87, 145–152.  
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.04.002>
- Ljunggren Söderman, M., & André, H. (2019). Effects of circular measures on scarce metals in complex products – Case studies of electrical and electronic equipment. *Resources, Conservation and Recycling*, 151.  
<https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2019.104464>
- Llanquileo-Melgarejo, P., & Molinos-Senante, M. (2022). Assessing eco-productivity change in Chilean municipal solid waste services. *Utilities Policy*, 78. <https://doi.org/10.1016/J.JUP.2022.101410>
- Lokesh, K., Matharu, A. S., Kookos, I. K., Ladakis, D., Koutinas, A., Morone, P., & Clark, J. (2020). Hybridised sustainability metrics for use in life cycle assessment of bio-based products: resource efficiency and circularity. *Green Chemistry*, 22(3), 803–813. <https://doi.org/10.1039/C9GC02992C>
- Long, Y., Pan, J., Farooq, S., & Boer, H. (2016). A sustainability assessment system for Chinese iron and steel firms. *Journal of Cleaner Production*, 125, 133–144.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.030>
- Lurnova Consultoría. (2024, March). *www.lurnova.com*. <http://www.lurnova.com/>
- M. De Wit, J. Hoogzaad, S. Ramkumar, H. Friedl, & A. Douma. (2018). The Circularity Gap Report: An analysis of the circular state of the global economy. *Circularity Gap Report*, 1–36.
- Ma, S., Hu, S., Chen, D., & Zhu, B. (2015). A case study of a phosphorus chemical firm's application of resource efficiency and eco-efficiency in industrial metabolism under circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 87(1), 839–849. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2014.10.059>

- Ma, T., & Cao, X. (2022). Spatial Econometric Study on the Impact of Industrial Upgrading on Green Total Factor Productivity. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/1133340>
- Maio, F. di, Rem, P. C., Maio, F. di, & Rem, P. C. (2015). A Robust Indicator for Promoting Circular Economy through Recycling. *Journal of Environmental Protection*, 6(10), 1095–1104. <https://doi.org/10.4236/JEP.2015.610096>
- Malik, A., Sharma, P., Vinu, A., Karakoti, A., Kaur, K., Gujral, H. S., Munjal, S., & Laker, B. (2022). Circular economy adoption by SMEs in emerging markets: Towards a multilevel conceptual framework. *Journal of Business Research*, 142, 605–619. <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2021.12.076>
- Mandolini, M., Favi, C., Germani, M., & Marconi, M. (2017). Time-based disassembly method: how to assess the best disassembly sequence and time of target components in complex products. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2017 95:1, 95(1), 409–430. <https://doi.org/10.1007/S00170-017-1201-5>
- Manfredi, S., Allacker, K., Chomkhamisri, K., Pelletier, N., & Maia De Souza, D. (2012). *Product Environmental Footprint (PEF) Guide Institute for Environment and Sustainability (IES) Product Environmental Footprint Guide; CONSOLIDATED VERSION*.
- Mangla, S. K., Luthra, S., Mishra, N., Singh, A., Rana, N. P., Dora, M., & Dwivedi, Y. (2018). Barriers to effective circular supply chain management in a developing country context. *Production Planning and Control*, 29(6), 551–569. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1449265>
- Marconi, M., Germani, M., Mandolini, M., & Favi, C. (2018). Applying data mining technique to disassembly sequence planning: a method to assess effective disassembly time of industrial products. *International Journal of Production Research*, 57(2), 599–623. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1472404>
- Martinez-Costa, M., & Jimenez- Jimenez, D. (2009). The Effectiveness of TQM: The Key Role of Organizational Learning in Small Businesses. *International Small Business Journal*. <https://doi.org/10.1177/0266242608098348>
- Marvuglia, A., Santagata, R., Rugani, B., Benetto, E., & Ulgiati, S. (2018). Energy-based indicators to measure circularity: promises and problems. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*, 21(4), 179–196. <https://doi.org/10.24425/124510>
- Masi, D., Kumar, V., Garza-Reyes, J. A., & Godsell, J. (2018). Towards a more circular economy: exploring the awareness, practices, and barriers from a focal firm perspective. *Production Planning and Control*, 29(6), 539–550. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1449246>

- MATChE. (2019). *MATChE - Making the Transition to Circular Economy*. <https://ready2loop.org/>
- Matsuno, Y., Daigo, I., & Adachi, Y. (2006). Application of Markov Chain Model to Calculate the Average Number of Times of Use of a Material in Society. An Allocation Methodology for Open-Loop Recycling. Part 2: Case Study for Steel (6 pp). *The International Journal of Life Cycle Assessment* 2007 12:1, 12(1), 34–39. <https://doi.org/10.1065/LCA2006.05.246.2>
- Matsuno, Y., Daigo, I., & Adachi, Y. (2007). Application of Markov chain model to calculate the average number of times of use of a material in society: An allocation methodology for open-loop recycling - Part 2: Case study for steel. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 12(1), 34–39. <https://doi.org/10.1065/LCA2006.05.246.2/METRICS>
- McLean, R. S., & Antony, J. (2017). A conceptual continuous improvement implementation framework for UK manufacturing companies. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 34(7), 1015–1033. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-02-2016-0022/FULL/PDF>
- Mendoza, X., Planellas, M., & Larrosa Calvo, A. (1995). *Strategor: estrategia, estructura, decision, identidad, politica general de la empresa*.
- Meqdadi, O., Johnsen, T., & Johnsen, R. (2012). *The Role of SME Suppliers in Implementing Sustainability*. <https://hal-audencia.archives-ouvertes.fr/hal-00824677>
- Merli, R., & Preziosi, M. (2018). The EMAS impasse: Factors influencing Italian organizations to withdraw or renew the registration. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4532–4543. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.031>
- Mesa, J., Esparragoza, I., & Maury, H. (2018). Developing a set of sustainability indicators for product families based on the circular economy model. *Journal of Cleaner Production*, 196, 1429–1442. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.06.131>
- Milios, L., Beqiri, B., Whalen, K. A., & Jelonek, S. H. (2019). Sailing towards a circular economy: Conditions for increased reuse and remanufacturing in the Scandinavian maritime sector. *Journal of Cleaner Production*, 225, 227–235. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.330>
- Milios, L., Holm Christensen, L., McKinnon, D., Christensen, C., Rasch, M. K., & Hallstrøm Eriksen, M. (2018). Plastic recycling in the Nordics: A value chain market analysis. *Waste Management*, 76, 180–189. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.03.034>
- Millard, D. (2011). Management Learning and the Greening of SMEs: Moving beyond Problem-Solving. *German Journal of Research in Human Resource Management*, 25(2), 178–195. <https://doi.org/10.1177/239700221102500207>
- Miller, K., Neubauer, A., & Varma, A. (2011). *First Assessment of the Environmental Compliance Assistance Programme for SMEs*.

- Ministerio de Economía Industrial y Competitividad, G. de E. (2022). *Estadísticas PYME Evolución e indicadores*. [www.ipyme.org](http://www.ipyme.org)
- Ministerio de España. (2020a). *Boletín Economía Circular*. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/boletin-de-economia-circular.html>
- Ministerio de España. (2020b). *España Circular 2030*.
- Ministerio de industria, comercio y turismo. (2023). *Estructura y dinámica empresarial*.
- Mintzberg, H. (1988). *La estructuración de las Organizaciones*.
- Mohamed Sultan, A. A., Lou, E., & Mativenga, P. T. (2017). What should be recycled: An integrated model for product recycling desirability. *Journal of Cleaner Production*, 154, 51–60. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.03.201>
- Molina Moreno, V., Núñez-Cacho Utrilla, F., & Gálvez Sánchez, P. (2019). *Transición hacia la Economía Circular y Sostenibilidad de la industria de defensa. Estudio de los casos de Navantia y Airbus Military*.
- Mondragon Unibertsitatea. (2018). *Concesiones de proyectos*. <https://www.mondragon.edu/es/investigacion/ingenieria-tecnologia/noticias/concesiones-proyectos>
- Mondragon Unibertsitatea. (2024). *Plataforma web CircularTRANS*. <https://circulartrans.mondragon.edu/es/inicio>
- Moraga, G., Huysveld, S., Mathieux, F., Blengini, G. A., Alaerts, L., Van Acker, K., de Meester, S., & Dewulf, J. (2019a). Circular economy indicators: What do they measure? *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 452–461. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2019.03.045>
- Moraga, G., Huysveld, S., Mathieux, F., Blengini, G. A., Alaerts, L., Van Acker, K., de Meester, S., & Dewulf, J. (2019b). Circular economy indicators: What do they measure? *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 452–461. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2019.03.045>
- Morseletto, P. (2023). Sometimes linear, sometimes circular: States of the economy and transitions to the future. *Journal of Cleaner Production*, 390, 136138. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.136138>
- Movilidad y Logística. (2024). *Clúster de Movilidad y Logística de Euskadi*. <https://mlcluster.com/>
- Muchiri, P., & Pintelon, L. (2008). Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): Literature review and practical application discussion. *International Journal of Production Research*, 46(13), 3517–3535. <https://doi.org/10.1080/00207540601142645>
- Mugafil. (2022). *Mugafil*. <https://www.mugafil.com/es/>

- Muñoz-Villamizar, A., Santos, J., Montoya-Torres, J. R., & Ormazábal, M. (2018). Environmental Assessment Using a Lean Based Tool. *Studies in Computational Intelligence*, 762, 41–50. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-73751-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-73751-5_4)
- Neves, S. A., & Marques, A. C. (2022). Drivers and barriers in the transition from a linear economy to a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 341, 130865. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.130865>
- Nguyen, M. A. T., Yu, M. M., & Lirn, T. C. (2022). Airlines' eco-productivity changes and the European Union Emissions Trading System. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 102. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2021.103100>
- Niero, M., & Kalbar, P. P. (2019). Coupling material circularity indicators and life cycle based indicators: A proposal to advance the assessment of circular economy strategies at the product level. *Resources, Conservation and Recycling*, 140, 305–312. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2018.10.002>
- Normas ISO. (2022). *Norma ISO 14006 de ecodiseño - Normes ISO*. <https://iso.cat/es/norma-iso-14006-ecodiseno/>
- Norohna, C. (2003). National culture and total quality management: empirical assessment of a theoretical model. *The TQM Magazine*.
- Núñez-Cacho, P., Górecki, J., Molina-Moreno, V., & Corpas-Iglesias, F. A. (2018). What Gets Measured, Gets Done: Development of a Circular Economy Measurement Scale for Building Industry. *Sustainability 2018, Vol. 10, Page 2340*, 10(7), 2340. <https://doi.org/10.3390/SU10072340>
- OECD. (2010). *Regulatory Policy and the Road to Sustainable Growth*. [www.oecd.org](http://www.oecd.org)
- OECD. (2019). *Global Material Resources Outlook to 2060*. OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264307452-en>
- Oosterhuis, F., Monier, V., des Abbayes, C., Görlach, B., Jarvis, A., Medhurst, J., Kuik, O., Vanner, R., Ekins, P., Jantzen, J., & van der Woerd, H. (2006). *Ex-post estimates of costs to business of EU environmental legislation*.
- Ormazabal, M., Prieto-Sandoval, V., Puga-Leal, R., & Jaca, C. (2018). Circular Economy in Spanish SMEs: Challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 185, 157–167. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.03.031>
- Ormazabal, M., Prieto-Sandoval, V., Santos, J., & Jaca, C. (2020). Guiding SMEs towards the circular economy: a case study. *Strategies for Sustainability*, 27–42. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-36660-5\\_2](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-36660-5_2)

- Oswald, I. (2013). *Environmental Metrics for WEEE Collection and Recycling Programs*.
- Pacurariu, R. L., Vatca, S. D., Lakatos, E. S., Bacali, L., & Vlad, M. (2021). A Critical Review of EU Key Indicators for the Transition to the Circular Economy. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2021, Vol. 18, Page 8840, 18(16), 8840. <https://doi.org/10.3390/IJERPH18168840>
- Panchal, R., Singh, A., & Diwan, H. (2021). Does circular economy performance lead to sustainable development? – A systematic literature review. *Journal of Environmental Management*, 293. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2021.112811>
- Park, J. Y., & Chertow, M. R. (2014). Establishing and testing the “reuse potential” indicator for managing wastes as resources. *Journal of Environmental Management*, 137, 45–53. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2013.11.053>
- Parker, C. M., Redmond, J., & Simpson, M. (2009). *A Review of Interventions to Encourage SMEs to Make Environmental Improvements*. SAGE Journals. <https://doi.org/10.1068/C0859B>
- Parker, D., Riley, K., Robinson, S., Symington, H., Tewson, J., & Hollins, O. (2015). *Remanufacturing Market Study*.
- Patel, H. R., & Joseph, J. M. (2016). *Questionnaire Designing Process: A Review*. <https://doi.org/10.4172/2167-0870.1000255>
- Pauliuk, S. (2018). Critical appraisal of the circular economy standard BS 8001:2017 and a dashboard of quantitative system indicators for its implementation in organizations. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 81–92. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2017.10.019>
- PGGM. (2015). *Circularity Assessment Tool*. <https://www.circle-economy.com/news/actiam-launching-customer-for-circularity-assessment-tool#.Wic4cnIryM8>
- Pieroni, M. de P., McAlloone, T., & Pigosso, D. (2019). Business model innovation for circular economy: Integrating literature and practice into a conceptual process model. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED, 2019-August*, 2517–2526. <https://doi.org/10.1017/DSI.2019.258>
- Piyathanavong, V., Garza-Reyes, J. A., Kumar, V., Maldonado-Guzmán, G., & Mangla, S. K. (2019). The adoption of operational environmental sustainability approaches in the Thai manufacturing sector. *Journal of Cleaner Production*, 220, 507–528. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.093>

- Potting, J., Hekkert, M. P., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain. In *Planbureau voor de Leefomgeving* (Issue 2544). PBL Publishers. <https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/358310>
- Preston, F. (2012). *A Global Redesign? Shaping the Circular Economy*. [www.mckinseyquarterly.com/The\\_second\\_economy\\_2853](http://www.mckinseyquarterly.com/The_second_economy_2853).
- Rademaekers, K., Zaki Asaad, S. S., & Berg, J. (2011). *Study on the competitiveness of the European companies and resource efficiency*.
- Ranta, V., Aarikka-Stenroos, L., Ritala, P., & Mäkinen, S. J. (2018). Exploring institutional drivers and barriers of the circular economy: A cross-regional comparison of China, the US, and Europe. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 70–82. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2017.08.017>
- Raworth, K. (2022). *Doughnut economics: Seven ways to think like a 21st-century economist*.
- Razza, F., Briani, C., Breton, T., & Marazza, D. (2020). Metrics for quantifying the circularity of bioplastics: The case of bio-based and biodegradable mulch films. *Resources, Conservation and Recycling*, 159. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2020.104753>
- REMACOMPIND. (2017). *Remanufactura de componentes industriales. Proyectos de Ecoinnovación Ihobe. 2016-2017*.
- ResCoM. (2017). *Circular Pathfinder*. <https://www.ideal-co.nl/pathfinder/>
- Revell, A., & Blackburn, R. (2005). The Business Case for Sustainability? An Examination of Small Firms in the UK's Construction and Restaurant Sectors. *Business Strategy and the Environment*, 16, 404–420.
- Rincón-Moreno, J., Ormazábal, M., Álvarez, M. J., & Jaca, C. (2021). Advancing circular economy performance indicators and their application in Spanish companies. *Journal of Cleaner Production*, 279. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.123605>
- Ritthoff, M., Rohn, H., Liedtke, C., & Merten, T. (2002). Calculating MIPS: Resource Productivity of products and services. *Wuppertal Spezial / Wuppertal Institut Für Klima, Umwelt Und Energie GmbH Im Wissenschaftszentrum Nordrhein-Westfalen*, 27, 01. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:101:1-20091006989%0AC:%5CUsers%5Csabri%5CAppData%5CLocal%5CSwiss Academic Software%5CCitavi6%5CProjectCache%5Cirttq0glaobmpzu9002ax4ciocho4y2xrdjcr5q9z78qdadr%5CCitavi Attachments%5Ce20b0df2-4d36-4410-9f05-72a0ef5d4f49>

- Rizos, V., Behrens, A., Kafyeke, T., Hirschnitz-Garbers, M., & Ioannou, A. (2015). *The Circular Economy: Barriers and Opportunities for SMEs*.
- Robson, C. (2002). *Real world research: A resource for social scientists and practitioner-researchers* (2nd ed.). Blackwell Publishers.  
[www.domainname.com](http://www.domainname.com)
- Rocha, C. S., Antunes, P., & Partidário, P. (2019). Design for sustainability models: A multiperspective review. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 234, pp. 1428–1445). Elsevier Ltd.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.108>
- Rossi, E., Bertassini, A. C., Ferreira, C. dos S., Neves do Amaral, W. A., & Ometto, A. R. (2020). Circular economy indicators for organizations considering sustainability and business models: Plastic, textile and electro-electronic cases. *Journal of Cleaner Production*, 247. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.119137>
- Rubel, H., Meyer zum Felde, A., Oltmanns, J., Lanfer, C., & Bayer, L. (2020). *CIRCelligence by BCG It's Time to Close Our Future Resource Loops*. <https://web-assets.bcg.com/72/a9/be8d79d94fa3ae10c84b446fd063/de-circelligence-by-bcg.pdf>
- Rutherford, R., Blackburn, R. A., & Spence, L. J. (2000). Environmental management and the small firm: An international comparison. *International Journal of Entrepreneurial Behaviour & Research*, 6(6), 310–326.  
<https://doi.org/10.1108/13552550010362750/FULL/PDF>
- Saidani, M., Kendall, A., Yannou, B., Leroy, Y., & Cluzel, F. (2019). Closing the loop on platinum from catalytic converters: Contributions from material flow analysis and circularity indicators. *Journal of Industrial Ecology*, 23(5), 1143–1158. <https://doi.org/10.1111/JIEC.12852>
- Saidani, M., Yannou, B., Leroy, Y., & Cluzel, F. (2017a). How to Assess Product Performance in the Circular Economy? Proposed Requirements for the Design of a Circularity Measurement Framework. *Recycling 2017, Vol. 2, Page 6*, 2(1), 6. <https://doi.org/10.3390/RECYCLING2010006>
- Saidani, M., Yannou, B., Leroy, Y., & Cluzel, F. (2017b). *Hybrid top-down and bottom-up framework to measure products' circularity performance - Archive ouverte HAL*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01571581/>
- Saidani, M., Yannou, B., Leroy, Y., Cluzel, F., & Kendall, A. (2019). A taxonomy of circular economy indicators. *Journal of Cleaner Production*, 207, 542–559. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.10.014>

- Sanchez, L., & Blanco, B. (2014). Three decades of continuous improvement. *Total Quality Management and Business Excellence*, 25(9–10), 986–1001. <https://doi.org/10.1080/14783363.2013.856547>
- Sanchez, R. (2006). Integrating Design into Strategic Management Processes. *Design Management Review*, 17(4), 10–17. <https://doi.org/10.2/JQUERY.MIN.JS>
- Sánchez-Ortiz, J., Rodríguez-Cornejo, V., Del Río-Sánchez, R., & García-Valderrama, T. (2020). Indicators to Measure Efficiency in Circular Economies. *Sustainability 2020, Vol. 12, Page 4483*, 12(11), 4483. <https://doi.org/10.3390/SU12114483>
- Sarasvuo, S., Rindell, A., & Kovalchuk, M. (2022). Toward a conceptual understanding of co-creation in branding. *Journal of Business Research*, 139, 543–563. <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2021.09.051>
- Saravia-Pinilla, M. H., Daza-Beltrán, C., & García-Acosta, G. (2019). Eco-Productivity: A Useful Guide for Sustainability Decision-Making. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 825, 950–959. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-96068-5\\_103](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96068-5_103)
- Sariatli, F. (2017). Linear Economy Versus Circular Economy: A Comparative and Analyzer Study for Optimization of Economy for Sustainability. *Visegrad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development*, 6(1), 31–34. <https://doi.org/10.1515/vjbsd-2017-0005>
- Sartal, A., Ozcelik, N., & Rodríguez, M. (2020). Bringing the circular economy closer to small and medium enterprises: Improving water circularity without damaging plant productivity. *Journal of Cleaner Production*, 256. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.120363>
- Sauvé, S., Bernard, S., & Sloan, P. (2016). *Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research*. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.09.002>
- Scheepens, A. E., Vogtländer, J. G., & Brezet, J. C. (2016). Two life cycle assessment (LCA) based methods to analyse and design complex (regional) circular economy systems. Case: Making water tourism more sustainable. *Journal of Cleaner Production*, 114, 257–268. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2015.05.075>
- Schöggli, J. P., Stumpf, L., & Baumgartner, R. J. (2020). The narrative of sustainability and circular economy - A longitudinal review of two decades of research. *Resources, Conservation and Recycling*, 163, 105073. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2020.105073>
- Seidel, M., Seidel, R., Tedford, D., Cross, R., & Wait, L. (2008). A Systems Modeling Approach to Support Environmentally Sustainable Business

- Development in Manufacturing SMEs. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 2(12), 1305–1313.  
<https://doi.org/10.5281/ZENODO.1076466>
- Shevchenko, T., Yannou, B., Saidani, M., Cluzel, F., Ranjbari, M., Esfandabadi, Z. S., Danko, Y., & Leroy, Y. (2022). Product-level circularity metrics based on the “Closing–Slowing Future–Past” quadrant model. *Sustainable Production and Consumption*.  
<https://doi.org/10.1016/J.SPC.2022.09.024>
- Shewart, W. A. (1931). *Economic Control of Quality of Manufacturing Product*.
- Sihvonen, S., & Partanen, J. (2016). Implementing environmental considerations within product development practices: A survey on employees’ perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 125, 189–203. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.023>
- Sihvonen, S., & Partanen, J. (2018). A survey of perceived prevalence of selected environmental topics in product development, and their relationships with employee’s ecological concern. *Journal of Cleaner Production*, 199, 1116–1129. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.092>
- Singh, P., & Giacosa, E. (2019). *Cognitive biases of consumers as barriers in transition towards circular economy*. <https://doi.org/10.1108/MD-08-2018-0951>
- Singh, R. K., Murty, H. R., Gupta, S. K., & Dikshit, A. K. (2012). An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators*, 15(1), 281–299.  
<https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2011.01.007>
- Singh, R., Shah, D. B., Gohil, A. M., & Shah, M. H. (2013). Overall equipment effectiveness (OEE) calculation - Automation through hardware & software development. *Procedia Engineering*, 51, 579–584.  
<https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2013.01.082>
- Smits, M.-J., & Woltjer, G. (2016). *Methodology for the Case Studies*.  
<http://circular-impacts.eu/deliverables>
- Smol, M., Avdiushchenko, A., Kulczycka, J., & Nowaczek, A. (2018). Public awareness of circular economy in southern Poland: Case of the Malopolska region. *Journal of Cleaner Production*, 197, 1035–1045. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.100>
- Smol, M., Kulczycka, J., & Avdiushchenko, A. (2017). Circular economy indicators in relation to eco-innovation in European regions. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(3), 669–678. <https://doi.org/10.1007/S10098-016-1323-8/FIGURES/2>
- Spreafico, C. (2022). An analysis of design strategies for circular economy through life cycle assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(3).  
<https://doi.org/10.1007/S10661-022-09803-1>
- Stake, R. (1995). *The art of case study*. 84–100.

- Steffen, W., Persson, Å., Deutsch, L., Zalasiewicz, J., Williams, M., Richardson, K., Crumley, C., Crutzen, P., Folke, C., Gordon, L., Molina, M., Ramanathan, V., Rockström, J., Scheffer, M., Schellnhuber, H. J., & Svedin, U. (2011). The Anthropocene: From Global Change to Planetary Stewardship. *Ambio*, 40(7), 739. <https://doi.org/10.1007/S13280-011-0185-X>
- Studer, S., Welford, R., & Hills, P. (2006). Engaging Hong Kong businesses in environmental change: drivers and barriers. *Business Strategy and the Environment*, 15(6), 416–431. <https://doi.org/10.1002/BSE.516>
- Su, B., Heshmati, A., Geng, Y., & Yu, X. (2013). A review of the circular economy in China: Moving from rhetoric to implementation. *Journal of Cleaner Production*, 42, 215–227. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2012.11.020>
- Takacs, F., Brunner, D., & Frankenberger, K. (2022). Barriers to a circular economy in small- and medium-sized enterprises and their integration in a sustainable strategic management framework. *Journal of Cleaner Production*, 362, 132227. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.132227>
- Tam, E., Soulliere, K., & Sawyer-Beaulieu, S. (2019). Managing complex products to support the circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 124–125. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.12.030>
- Tecchio, P., McAlister, C., Mathieux, F., & Ardente, F. (2017). In search of standards to support circularity in product policies: A systematic approach. *Journal of Cleaner Production*, 168, 1533–1546. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.05.198>
- Technical University of Denmark. (2019). *MATChE - Making the Transition to Circular Economy*. <https://www.matche.dk/>
- Thant, M. M., & Charmondusit, K. (2010). Eco-efficiency assessment of pulp and paper industry in Myanmar. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 12(4), 427–439. <https://doi.org/10.1007/s10098-009-0232-5>
- The British Standards Institutions. (2017). *Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations – Guide* (p. 90).
- The circular campus. (2022). *Los beneficios de la economía circular en las empresas españolas*. <https://www.ecoembesthecircularcampus.com/beneficios-de-la-economia-circular/#:~:text=Los%20beneficios%20de%20la%20econom%C3%ADa%20circular%20son%20numerosos%20en%20t%C3%A9rminos,para%20productores%20como%20para%20consumidores>.
- Topaloğlu, F., & Er, Ö. (2017). Discussing a New Direction for Design Management through a New Design Management Audit Framework. *Design Journal*, 20(sup1), S502–S521. <https://doi.org/10.1080/14606925.2017.1353000>

- Treat, A., Honnold, V., & Wise, J. (2012). *Remanufactured Goods: An Overview of the U.S. and Global Industries, Markets, and Trade*. [www.usitc.gov](http://www.usitc.gov)
- Trianni, A., & Cagno, E. (2012). Dealing with barriers to energy efficiency and SMEs: Some empirical evidences. *Energy*, 37(1), 494–504. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2011.11.005>
- Trias Pintó, C., García corrales, C., & Cedeño, G. (2019). *Viaje a la Economía Circular: libro formativo en imágenes sobre la economía circular y los consumidores*. ADICAE. [http://publicaciones.adicae.net/turnjs4/slider.php?file=397&total\\_images=1&id=1015&pdf=http://publicaciones.adicae.net/publicaciones/descarga.php?art=1015&title=Libros%20y%20estudios%20t%C3%A9cnico%20de%20la%20econom%C3%ADa%20de%20los%20consumidores.adicae.net:443/catalogo.php?mode=vlst&pub=278&ca-t=27#pages/397/4](http://publicaciones.adicae.net/turnjs4/slider.php?file=397&total_images=1&id=1015&pdf=http://publicaciones.adicae.net/publicaciones/descarga.php?art=1015&title=Libros%20y%20estudios%20t%C3%A9cnico%20de%20la%20econom%C3%ADa%20de%20los%20consumidores.adicae.net:443/catalogo.php?mode=vlst&pub=278&ca-t=27#pages/397/4)
- Trollman, H., Colwill, J., & Jagtap, S. (2021). A circularity indicator tool for measuring the ecological embeddedness of manufacturing. *Sustainability (Switzerland)*, 13(16), 8773. <https://doi.org/10.3390/SU13168773/S1>
- Tura, N., Hanski, J., Ahola, T., Stähle, M., Piiparinen, S., & Valkokari, P. (2019). Unlocking circular business: A framework of barriers and drivers. *Journal of Cleaner Production*, 212, 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.202>
- Ünal, E., Urbinati, A., & Chiaroni, D. (2019). Managerial practices for designing circular economy business models: The case of an Italian SME in the office supply industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(3), 561–589. <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2018-0061>
- UNE EN. (2019a). *UNE-EN 45558:2019 Método general para la declaración del uso d...* <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0062616>
- UNE EN. (2019b). *UNE-EN 45559:2019 Métodos para proporcionar información relaci...* <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0062617>
- UNE EN. (2020a). *UNE-EN 45554:2020 Métodos generales para la evaluación de la c...* <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0064909>
- UNE EN. (2020b). *UNE-EN 45555:2020 Métodos generales para la evaluación de la r...* <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0063786>
- UNE EN. (2020c). *UNE-EN 45556:2020 Método general para la evaluación de la prop...* <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0063787>

- UNE EN. (2021a). *UNE-EN 45552:2021 Método general para la evaluación de la dura...* <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0065602>
- UNE EN. (2021b). *UNE-EN 45553:2021 Método general para la evaluación de la capa...* <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0065833>
- UNE EN. (2021c). *UNE-EN 45557:2021 Método general para la evaluación de la prop...* <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0065834>
- Upadhayay, S., & Alqassimi, O. (2018). Transition from Linear to Circular Economy. *Westcliff International Journal of Applied Research*, 2(2), 62–74. <https://doi.org/10.47670/WUWIJAR201822OASU>
- Urain, I., Eguren, J. A., & Justel, D. (2022). Development and validation of a tool for the integration of the circular economy in industrial companies: Case study of 30 companies. *Journal of Cleaner Production*, 370. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.133318>
- Urain, I., Justel, D., F. Mendoza, J. M., & Eguren, J. A. (2023). Industrial eco-productivity tool: A case study of industrial SMEs. *International Journal of Production Management and Engineering*, 11.
- US Chamber Foundation. (2017). *Measuring Circular Economy*. <https://www.uschamberfoundation.org/circular-economy-toolbox/about-circularity/measuring-circular-economy>
- Väänänen, K., Roto, V., & Hassenzahl, M. (2008). *Towards practical user experience evaluation methods*.
- Valdivieso, J. (2008). *Ciudad y ciudadanía: Senderos contemporáneos de la filosofía política, edición Quesado, F.*
- Valls-Val, K., Ibáñez-Forés, V., & Bovea, M. D. (2022). How can organisations measure their level of circularity? A review of available tools. *Journal of Cleaner Production*, 354. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.131679>
- Valls-Val, K., Ibáñez-Forés, V., & Bovea, M. D. (2023). Tools for assessing qualitatively the level of circularity of organisations: Applicability to different sectors. *Sustainable Production and Consumption*, 36, 513–525. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2023.01.023>
- van Loon, P., & Van Wassenhove, L. N. (2017). Assessing the economic and environmental impact of remanufacturing: a decision support tool for OEM suppliers. *International Journal of Production Research*, 56(4), 1662–1674. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1367107>

- Van Schaik, A., & A. Reuter, M. (2016). Recycling Indices Visualizing the Performance of the Circular Economy. *World of Metallurgy- ERZMETALL*.
- Vanegas, P., Peeters, J. R., Cattrysse, D., Tecchio, P., Ardente, F., Mathieux, F., Dewulf, W., & Duflou, J. R. (2018). Ease of disassembly of products to support circular economy strategies. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 323–334. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2017.06.022>
- Vanner, R., Bicket, M., Hudson, C., Withana, S., ten Brink, P., Razzini, P., van Dijk, E., Watkins, E., Hestin, M., Tan, A., & Guilcher, S. (2014). *Scoping study to identify potential circular economy actions, priority sectors, material flows and value chains*. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/0619e465-581c-41dc-9807-2bb394f6bd07>
- Vasilenko, L., & Arbačiauskas, V. (2012). Obstacles and Drivers for Sustainable Innovation Development and Implementation in Small and Medium Sized Enterprises. *Environmental Research, Engineering and Management*, 60(2). <https://doi.org/10.5755/J01.EREM.60.2.1242>
- VBDO. (2015). *Company Assessment Criteria Theme: Circular Economy*.
- Veleva, V., Bodkin, G., & Todorova, S. (2017). The need for better measurement and employee engagement to advance a circular economy: Lessons from Biogen's "zero waste" journey. *Journal of Cleaner Production*, 154, 517–529. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.03.177>
- Verberne, J. J. H. (2016). *Building circularity indicators: an approach for measuring circularity of a building*. <https://research.tue.nl/en/studentTheses/building-circularity-indicators>
- Verburg, P. H., Dearing, J. A., Dyke, J. G., Van Der Leeuw, S., Seitzinger, S., Steffen, W., & Syvitski, J. (2015). Methods and approaches to modelling the Anthropocene. *Global Environmental Change*. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.08.007>
- Verma, S., & Gustafsson, A. (2020). Investigating the emerging COVID-19 research trends in the field of business and management: A bibliometric analysis approach. *Journal of Business Research*, 118, 253–261. <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2020.06.057>
- Verrier, B., Rose, B., & Caillaud, E. (2016). Lean and Green strategy: The Lean and Green House and maturity deployment model. *Journal of Cleaner Production*, 116, 150–156. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2015.12.022>
- Viktoria Swedish ICT. (2015). *Measuring business performance in the circular economy - Quantis*. <https://quantis-intl.com/measuring-circular-economy/>
- Vinante, C., Sacco, P., Orzes, G., & Borgianni, Y. (2021). Circular economy metrics: Literature review and company-level classification framework.

- Journal of Cleaner Production*, 288.  
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.125090>
- Voet, E. van der, Oers, L. van, & Nikolic, I. (2004). Dematerialization: Not Just a Matter of Weight. *Journal of Industrial Ecology*, 8(4), 121–137.  
<https://doi.org/10.1162/1088198043630432>
- Vogtlander, J. G., Scheepens, A. E., Bocken, N. M. P., & Peck, D. (2017). Combined analyses of costs, market value and eco-costs in circular business models: eco-efficient value creation in remanufacturing. *Journal of Remanufacturing*, 7(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/S13243-017-0031-9>
- Voukkali, I., Papamichael, I., Economou, F., Loizia, P., Klontza, E., Lekkas, D. F., Naddeo, V., & Zorpas, A. A. (2023). Factors affecting social attitude and behavior for the transition towards a circular economy. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 36, 101276.  
<https://doi.org/10.1016/J.SCP.2023.101276>
- Waas, T., Hugé, J., Block, T., Wright, T., Benitez-Capistros, F., & Verbruggen, A. (2014). Sustainability Assessment and Indicators: Tools in a Decision-Making Strategy for Sustainable Development. *Sustainability 2014, Vol. 6, Pages 5512-5534*, 6(9), 5512–5534. <https://doi.org/10.3390/SU6095512>
- Wang, P., & Kuah, A. T. H. (2018). Green marketing cradle-to-cradle: Remanufactured products in Asian markets. *Thunderbird International Business Review*, 60(5), 783–795. <https://doi.org/10.1002/tie.21925>
- WBCSD. (2018). *A joint report on the current landscape of circular metrics use and recommendations for a common measurement framework Circular Metrics Landscape Analysis Executive summary*.
- WBCSD. (2020). *CTI Tool*. <https://ctitool.com/>
- Weiss, L. (2002). Developing tangible strategies. *Design Management Journal (Former Series)*, 13(1), 33–38. <https://doi.org/10.1111/J.1948-7169.2002.TB00296.X>
- Winzer, J., Wagner, E., Nissen, N. F., & Lang, K. D. (2017). Developing an indicator setup to measure life-cycle conditions of electronic products. *2016 Electronics Goes Green 2016+, EGG 2016*. <https://doi.org/10.1109/EGG.2016.7829824>
- Wooi, G. C., & Zailani, S. (2010). Green supply chain initiatives: Investigation on the barriers in the context of SMEs in Malaysia. *International Business Management*, 4(1), 20–27. <https://doi.org/10.3923/IBM.2010.20.27>
- World Bank. (2023). *World Bank Open Data*. <https://data.worldbank.org/>

- World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). (2020). *Circular transition indicators*. <https://www.wbcsd.org/Programs/Circular-Economy/Metrics-Measurement/Circular-transition-indicators>
- World Economic Forum. (2022). *Ellen MacArthur Foundation | World Economic Forum*. <https://www.weforum.org/organizations/ellen-macarthur-foundation>
- Wu, C.-C., & Tsai, H.-M. (2015). A capital-based framework for assessing coastal and marine social-ecological dynamics and natural resource management: A case study of Penghu archipelago. *Journal of Marine and Island Cultures*. <https://doi.org/10.1016/j.imic.2014.10.001>
- Wu, H. Q., Shi, Y., Xia, Q., & Zhu, W. D. (2014). Effectiveness of the policy of circular economy in China: A DEA-based analysis for the period of 11th five-year-plan. *Resources, Conservation and Recycling*, 83, 163–175. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2013.10.003>
- WWF. (2022). *Vivimos como si tuviésemos casi dos planetas Tierra a nuestra disposición*. [https://www.wwf.es/nuestro\\_trabajo/informe\\_planeta\\_vivo\\_ipv/huella\\_ecologica/dia\\_de\\_la\\_sobrecapacidad\\_de\\_la\\_tierra/](https://www.wwf.es/nuestro_trabajo/informe_planeta_vivo_ipv/huella_ecologica/dia_de_la_sobrecapacidad_de_la_tierra/)
- Wycherley, I. (1999). Greening supply chains: the case of The Body Shop International. *Business Strategy and the Environment*. [https://doi.org/https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0836\(199903/04\)8:2<120::AID-BSE188>3.0.CO;2-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0836(199903/04)8:2<120::AID-BSE188>3.0.CO;2-X)
- Xue, B., Chen, X.-P., Geng, Y., Guo, X.-J., Lu, C.-P., Zhang, Z.-L., & Lu, C.-Y. (2010). Survey of officials' awareness on circular economy development in China: Based on municipal and county level. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1296–1302. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.05.010>
- Yacob, P., Nur Syaheeda Binti, A., Mohamad Fared bin Mohamad, M., & Adi Wira bin Mohd, Z. (2013). The policies and green practices of Malaysian SMEs. *Global Business and Economics Research Journal*, 2, 52–74.
- Yang, Q., Gao, Q., & Chen, M. (2011). Study and integrative evaluation on the development of circular economy of Shaanxi Province. *Energy Procedia*, 5, 1568–1578. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2011.03.268>
- Yin, R. K. (2013). *Case study research: Design and Methods* (3th ed.). SAGE Publications Ltd.
- Zaman, A. U., & Lehmann, S. (2013). The zero waste index: A performance measurement tool for waste management systems in a “zero waste city.” *Journal of Cleaner Production*, 50, 123–132. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2012.11.041>

- Zeng, H., Chen, X., Xiao, X., & Zhou, Z. (2017). Institutional pressures, sustainable supply chain management, and circular economy capability: Empirical evidence from Chinese eco-industrial park firms. *Journal of Cleaner Production*, 155, 54–65. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.093>
- Zhou, Z., Chen, X., & Xiao, X. (2013). On Evaluation Model of Circular Economy for Iron and Steel Enterprise Based on Support Vector Machines with Heuristic Algorithm for Tuning Hyper-parameters. *Applied Mathematics & Information Sciences*. <https://doi.org/10.12785/amis/070611>
- Zhu, Q., Geng, Y., & Lai, K. (2010). Circular economy practices among Chinese manufacturers varying in environmental-oriented supply chain cooperation and the performance implications. *Journal of Environmental Management*, 91(6), 1324–1331. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2010.02.013>
- Zhu, Q., Geng, Y., & Lai, K.-H. (2011). Environmental supply chain cooperation and its effect on the circular economy practice-performance relationship among Chinese manufacturers. *Journal of Industrial Ecology*, 15(3), 405–419. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00329.x>
- Zhu, Q., Geng, Y., Sarkis, J., & Lai, K. (2011). Evaluating green supply chain management among Chinese manufacturers from the ecological modernization perspective. *Transportation Research Part e: Logistics and Transportation Review*, 47(6), 808–821. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2010.09.013>
- Zhu, Q., Sarkis, J., Lai, K. H., & Geng, Y. (2008). The role of organizational size in the adoption of green supply chain management practices in China. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 15(6), 322–337. <https://doi.org/10.1002/CSR.173>
- Zore, Ž., Čuček, L., & Kravanja, Z. (2018). Synthesis of sustainable production systems using an upgraded concept of sustainability profit and circularity. *Journal of Cleaner Production*, 201, 1138–1154. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.07.150>
- Zwolinski, P., Lopez-Ontiveros, M. A., & Brissaud, D. (2006). Integrated design of remanufacturable products based on product profiles. *Journal of Cleaner Production*, 14(15–16), 1333–1345. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2005.11.028>

# Anexos

## A.1 Revisión de la literatura de cuestionarios relacionados con los ítems de las normas armonizadas

Tabla 47: Ítems de las normas armonizadas Vs. Cuestionarios de la revisión de la literatura científica

Ítems de las Normas Armonizadas		Revisión de la Literatura científica																				
		Kumar et al. (2019)	Masi et al. (2018)	Jakhar et al. (2019)	Bassi & Dias (2019)	Piyathanavong et al. (2019)	Milios et al. (2019)	Cristoni & Tonelli (2018)	Ceptureanu et al. (2018)	Hopff et al. (2019)	Katz-Gerro & López Sintas (2019)	Zeng et al. (2017)	Hojnik et al. (2017)	Fonseca et al. (2018)	Zhu et al. (2010)	Ormazabal et al. (2018)	Zhu, Geng, & Lai (2011)	Agyemang et al. (2019)	Bag et al. (2019)	Zhu, Geng, Sarkis, et al. (2011)	Caldera et al. (2019)	
Contextos Externos	Legislativo	X	X		X								X				X		X			
Contextos Internos	Liderazgo	Política																				
		Compromiso																				
		Responsabilidades																				
	Apoyo	Recursos																				
		Concienciación	X	X		X								X	X	X		X				
		Comunicación																				
		Marketing	X	X					X	X			X	X					X		X	
	Operaciones	Información documentada																				
		Requisitos del producto/servicio																				
		Materiales			X			X	X			X	X		X	X	X					
Diseño y desarrollo		X	X	X		X	X		X	X	X	X		X	X	X		X				
Procesos, productos y servicios suministrados externamente																						

Ítems de las Normas Armonizadas		Revisión de la Literatura científica																				
		Kumar et al. (2019)	Masi et al. (2018)	Jakhar et al. (2019)	Bassi & Dias (2019)	Piyathanavong et al. (2019)	Milios et al. (2019)	Cristoni & Tonelli (2018)	Ceptureanu et al. (2018)	Hopff et al. (2019)	Katz-Gerro & López Sintas (2019)	Zeng et al. (2017)	Hojnik et al. (2017)	Fonseca et al. (2018)	Zhu et al. (2010)	Ormazabal et al. (2018)	Zhu, Geng, & Lai (2011)	Agyemang et al. (2019)	Bag et al. (2019)	Zhu, Geng, Sarkis, et al. (2011)	Caldera et al. (2019)	
	Producción y prestación de servicios																					
	Liberación de productos/servicios																					
	Control de productos no conformes																					
	Respuesta a emergencias																					
	Logística/logística inversa		X			X	X	X	X		X			X	X						X	
	Tecnología	X	X																		X	
	Mercado		X	X			X	X	X											X	X	
	Sociocultural	X	X	X										X								
	Económico	X																			X	
	Medioambiente																					
Partes Interesadas	Clientes		X	X			X				X			X		X	X	X	X	X	X	
	Consumidores																					
	Proveedores		X	X				X			X			X	X	X						X
	Socios																					
	Personal interno																					
	Competidores			X																		X
	Administración																					

**Tabla 48:** Ítems de las normas armonizadas Vs. Cuestionarios de la revisión de la literatura científica

Ítems de las Normas Armonizadas		Revisión de la Literatura científica																						
		Cayzer et al. (2017)	Long et al. (2016)	Sihvonen & Partanen (2016)	Y. Liu & Bai (2014)	Abreu & Ceglia (2018)	Xue et al. (2010)	Gaur et al. (2019)	Lakatos et al. (2016)	Smol et al. (2018)	Atlason et al. (2017)	Bovea et al. (2018)	Borrello et al. (2017)	Q. Liu et al. (2009)	Wang & Kuah (2018)	Tam et al. (2019)	Ünal et al. (2019)	Sihvonen & Partanen (2018)	Dalhammar (2016)	Bovea & Pérez-Belis (2018)	Tura et al. (2019)	Dubey et al. (2019)	de Jesus & Mendonça (2018)	Merli & Preziosi (2018)
Contextos Externos	Legislativo					X															X	X	X	
Contextos Internos	Liderazgo	Política																						
		Compromiso																						
		Responsabilidades																						
	Apoyo	Recursos																						
		Concienciación				X	X								X									
		Comunicación																						
		Marketing		X															X		X	X		
	Operaciones	Información documentada																						
		Requisitos del producto/servicio																						
		Materiales	X									X				X	X	X	X	X				
Diseño y desarrollo		X		X							X				X	X	X	X	X					
Procesos, productos y servicios suministrados externamente																								

		Revisión de la Literatura científica																						
Ítems de las Normas Armonizadas		Cayzer et al. (2017)	Long et al. (2016)	Sihvonen & Partanen (2016)	Y. Liu & Bai (2014)	Abreu & Ceglia (2018)	Xue et al. (2010)	Gaur et al. (2019)	Lakatos et al. (2016)	Smol et al. (2018)	Atlason et al. (2017)	Bovea et al. (2018)	Borrello et al. (2017)	Q. Liu et al. (2009)	Wang & Kuah (2018)	Tam et al. (2019)	Ünal et al. (2019)	Sihvonen & Partanen (2018)	Dalhammar (2016)	Bovea & Pérez-Belis (2018)	Tura et al. (2019)	Dubey et al. (2019)	de Jesus & Mendonça (2018)	Merli & Preziosi (2018)
	Producción y prestación de servicios																							
	Liberación de productos/servicios																							
	Control de productos no conformes																							
	Respuesta a emergencias																							
	Logística/logística inversa											X												
Partes Interesadas	Tecnología												X								X	X	X	
	Mercado						X	X	X	X			X	X	X						X	X		X
	Sociocultural								X	X		X	X	X							X	X	X	
	Económico						X						X								X	X	X	
	Medioambiente																							
	Clientes			X	X	X	X	X	X	X	X			X			X						X	
	Consumidores																							
	Proveedores			X	X									X			X						X	
Socios																								

<b>Revisión de la Literatura científica</b>	
<b>Ítems de las Normas Armonizadas</b>	Cayzer et al. (2017) Long et al. (2016) Sihvonen & Partanen (2016) Y. Liu & Bai (2014) Abreu & Ceglia (2018) Xue et al. (2010) Gaur et al. (2019) Lakatos et al. (2016) Smol et al. (2018) Atlason et al. (2017) Bovea et al. (2018) Borrello et al. (2017) Q. Liu et al. (2009) Wang & Kuah (2018) Tam et al. (2019) Ünal et al. (2019) Sihvonen & Partanen (2018) Dalhammar (2016) Bovea & Pérez-Belis (2018) Tura et al. (2019) Dubey et al. (2019) de Jesus & Mendonça (2018) Merli & Preziosi (2018)
Personal interno	
Competidores	X
Administración	

## A.2 Preguntas del cuestionario ICEQ

Tabla 49: Cuestionario ICEQ

GRUPOS	PREGUNTAS	
PROCESOS EXTERNOS	<i>Sociedad (3)</i>	Existe una presión de la sociedad para promover el desarrollo sostenible.
		La sociedad tiene una imagen corporativa sostenible de la empresa.
		Existe una predisposición por parte de la sociedad a pagar más por un producto/servicio más sostenible.
	<i>Proveedores (14)</i>	No tengo problemas para mis componentes y materiales clave.
		El posicionamiento frente a los proveedores es de poder.
		Colabora con los proveedores de todas las formas posibles.
		El precio de la materia prima es uno de los principales costes de forma y producto.
		Existen opciones en el mercado para adquirir componente y materiales reutilizados.
		Hay opciones en el mercado para adquirir componentes y materiales reparados.
		Existen opciones en el mercado para comprar componentes y materiales reacondicionados.
		Existen opciones en el mercado para comprar componentes y materiales sustitutivos con menor impacto ambiental.
		Existen opciones en el mercado para comprar componentes y materiales remanufacturados o refabricables.
		Existen opciones en el mercado para comprar componentes y materiales que anteriormente tenían otra funcionalidad y que podrían ser utilizados en la propuesta de valor.
		Existen opciones en el mercado para comprar componentes y materiales reciclados.
Existen opciones en el mercado para comprar componentes y materiales reciclables.		
Existen opciones en el mercado para comprar materiales compostables o biodegradables.		
Hay opciones en el mercado para comprar a proveedores más cercanos.		
<i>Medioambiente (2)</i>	La actividad de la empresa generó un impacto ambiental considerable.	
	El medioambiente tiene un impacto considerable en el desarrollo de la empresa.	
<i>Económico (3)</i>	La situación económica es propicia para promover proyectos de Economía Circular.	
	Se conocen programas de financiación a nivel europeo, estatal o regional.	
	Actualmente se participa en proyectos financiados de Economía Circular.	
<i>Legislativo (6)</i>	Se conoce la legislación que regula el sector.	
	El sector se rige por una legislación restrictiva desde el punto de vista medioambiental.	
	Se esperan cambios significativos en la legislación que se aplica al sector.	
	La empresa está preparada para responder a los cambios que se avecinan.	
	Se conocen las políticas europeas, estatales y locales en materia de Economía Circular.	
La empresa tiene capacidad para influir en la definición de nuevas políticas.		
<i>Tecnológico (2)</i>	Se conocen las tendencias tecnológicas del sector.	
	Se conocen las tendencias tecnológicas sobre los procesos productivos utilizados por la empresa.	
<i>Clientes (18)</i>	Los clientes exigen requisitos de sostenibilidad a los productos/servicios.	
	El posicionamiento ante los clientes es de poder.	
	El posicionamiento frente a la competencia es de poder.	
	Colaboramos con nuestros clientes en todo lo posible.	
	Los clientes conocen los pasos a seguir una vez que el producto está fuera de uso.	
	Colaboración con la competencia en la medida de lo posible.	
	Hay terceros que tienen interés en recoger los productos en desuso.	
	Hay clientes interesados en productos o componentes de segunda mano.	
	Existe el uso compartido de mis productos.	
Hay clientes interesados en las actualizaciones de productos o componentes.		

GRUPOS		PREGUNTAS
PROCESOS INTERNOS	Procesos Estratégicos	Hay demanda de piezas y accesorios por parte de los clientes.
		Hay demanda de clientes para la reparación de productos o componentes.
		Hay clientes interesados en productos reacondicionados.
		Los productos que ya no se utilizan suelen tener otra funcionalidad.
		Hay clientes interesados en productos remanufacturados.
		Existe un mercado interesado en recuperar el material utilizado en los productos.
		Hay recicladores interesados en los materiales utilizados.
		El cliente valora los productos ligeros que utilizan el material adecuado.
	Estrategias (12)	La unidad de negocio cuenta con certificación en su sistema de gestión (ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO 45001:2018 BSI 8001:2017, XPX 30-901:2018).
		¿Cuál de las siguientes soluciones es o puede ser clave para la unidad de negocio? Elija un máximo de 4. (Repensar el modelo de negocio, Reutilización, Reparación, Reacondicionamiento, Otros usos, Remanufactura, Reciclaje Recuperación, Optimizar recursos).
		Actualmente, la Economía Circular es uno de los ejes principales del Plan Estratégico de la empresa.
		¿Qué peso tiene la Economía Circular en la estrategia actual?
Objetivos/indicadores (2)	La estrategia actual se centra en la innovación de modelos de negocio de la Economía Circular.	
	La estrategia actual se centra en proporcionar la máxima vida útil del producto.	
	La estrategia actual está enfocada a ofrecer un final de vida dentro de la Economía Circular al producto ofertado.	
	La estrategia actual se centra en optimizar el uso de los recursos.	
	Actualmente se realiza una importante inversión (propia y externa) en proyectos de Economía Circular.	
	Colaborar con otras organizaciones para identificar oportunidades en la Economía Circular.	
Procesos Operativos	Se realiza vigilancia tecnológica y de tendencias del sector.	
	Los valores de la empresa están alineados con la Economía Circular.	
	En la actualidad la empresa realiza un seguimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).	
	Actualmente existen objetivos e indicadores definidos para el seguimiento de la Economía Circular.	
	Breve descripción de la propuesta de valor (pregunta a desarrollar).	
	Los siguientes servicios se ofrecen junto con el producto (Mantenimiento, Reparación, Actualizaciones de hardware o software, Recogida del producto después de su uso, Establece relaciones entre las partes interesadas, Remanufactura, Reacondicionamiento).	
	El producto o servicio cuenta con las siguientes certificaciones (pregunta a desarrollar).	
	El embalaje se minimiza al máximo.	
	La compra del producto o servicio requiere una inversión importante por parte del cliente.	
	El ciclo tecnológico de la propuesta de valor está situado (1: Ciclo tecnológico corto; 5: Ciclo tecnológico alto).	
	La vida útil esperada del producto se sitúa en el siguiente rango (1: Un solo uso; 5: Uso de por vida).	
	Después de la venta, se mantiene el contacto con el cliente o usuario final.	
	La propiedad del producto permanece en la empresa y se ofrece el servicio.	
	Una vez que el producto o parte de él ya no se utiliza, sigue teniendo un valor.	
Una vez que deja de utilizarse, la empresa recupera el producto.		
La fidelidad y el apego de los clientes al producto es primordial.		
Se ofrecen facilidades para el uso compartido del producto.		
Se ofrecen recambios y accesorios para los productos.		
La durabilidad de los materiales y/o componentes utilizados es alta.		
La fiabilidad del producto es alta.		
Se ofrecen actualizaciones tanto de software como de hardware para los productos.		
Se ofrecen productos de segunda mano.		

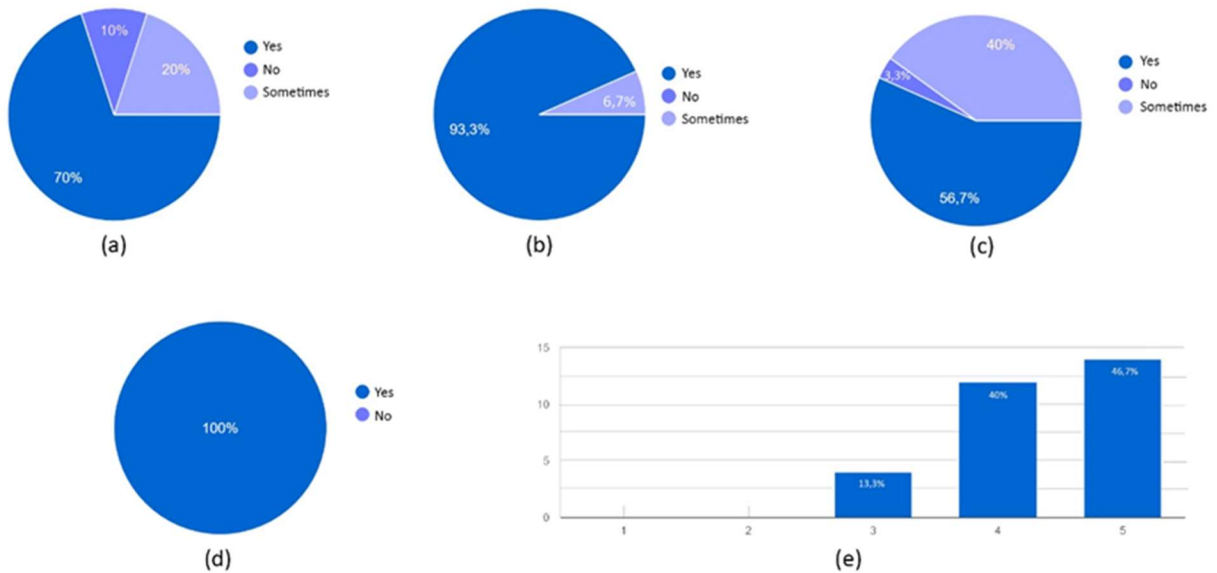
GRUPOS	PREGUNTAS
	<p>Se facilita la documentación del producto para que el cliente o usuario pueda realizar de forma autónoma acciones para alargar la vida útil del producto.</p> <p>Los productos y componentes son estándar.</p> <p>Los productos y componentes son modulares.</p> <p>Los productos y componentes se pueden montar y/o desmontar fácilmente sin herramientas o con herramientas estándar.</p> <p>Se ofrecen productos o componentes reparados.</p> <p>Se ofrecen productos/componentes reacondicionados.</p> <p>Los productos/componentes ofrecen otras funcionalidades después de su uso.</p> <p>Se ofrecen productos o componentes refabricados.</p> <p>Se ofrece material reciclado (si es reciclador).</p> <p>Total, separabilidad de los materiales utilizados.</p> <p>Se utilizan materiales/componentes reciclables y se facilita el reciclaje al final de la vida útil.</p> <p>Se utilizan materiales/componentes reciclados.</p> <p>Se ofrecen productos/componentes compostables.</p> <p>El consumo energético del producto/componentes es óptimo.</p> <p>Se utiliza el material adecuado y necesario en el producto/componentes.</p> <p>Se proporciona información sobre los pasos a seguir una vez que el producto deja de utilizarse.</p> <p>Se minimiza el uso de productos o materiales peligrosos o escasos.</p> <p>Se obtienen datos sobre el uso y el estado de los productos cuando están en uso.</p> <p>Se utilizan envases reutilizables.</p> <p>Se utilizan envases reciclables.</p> <p>El material de embalaje es compostable.</p> <p>Los envases ofrecen otro posible uso.</p>
<p><i>Diseño y desarrollo de productos y servicios (25)</i></p>	<p>El proceso de diseño involucra a diferentes partes interesadas (clientes, proveedores, etc.).</p> <p>Los criterios del ciclo de vida del producto se utilizan en la fase de diseño (desde la obtención de las materias primas hasta el final de la vida del producto).</p> <p>Existen criterios de fidelización y apego de los clientes.</p> <p>Existen criterios de facilidad de mantenimiento.</p> <p>Existen criterios de diseño para fomentar la reutilización.</p> <p>Existen criterios de diseño para el reacondicionamiento.</p> <p>Existen criterios de diseño para la refabricación.</p> <p>Existen criterios para el uso de materiales duraderos, que no se deterioran con el tiempo o las condiciones ambientales normales.</p> <p>Existen criterios de fiabilidad del producto.</p> <p>Existen criterios para proporcionar actualizaciones tanto de software como de hardware a los productos.</p> <p>Existen criterios de estandarización de productos y componentes.</p> <p>Existen criterios de modularidad de los productos y componentes.</p> <p>Existen criterios de facilidad de montaje y desmontaje.</p> <p>Existen criterios para pensar en otros posibles usos del producto, los componentes o el embalaje.</p> <p>Existen criterios de separabilidad de los materiales.</p> <p>Existen criterios para el uso de material reciclable.</p> <p>Criterios para el uso de material reciclado.</p> <p>Existen criterios para minimizar el material utilizado.</p> <p>Existen criterios para el uso de productos o componentes compostables.</p> <p>Existen criterios para minimizar el consumo de energía del producto o componentes.</p> <p>Existen criterios para minimizar el uso de productos o materiales peligrosos o escasos.</p> <p>Existen criterios para el uso de materiales compostables en los envases.</p> <p>Existen criterios para la reciclabilidad de los envases.</p> <p>Existen criterios de reutilización de los envases.</p> <p>Existen criterios para minimizar la cantidad de material en los envases.</p>

GRUPOS	PREGUNTAS
<i>Compras (12)</i>	Existe un proceso de compra sostenible definido (Sí/No).
	Existe un procedimiento de logística inversa (Sí/No).
	Existen criterios de sostenibilidad para la selección de proveedores (proximidad, medioambientales, certificados...).
	Se da prioridad a la compra de artículos reutilizados o reutilizables.
	Se prioriza la compra de artículos reparados o fácilmente reparables.
	Se da prioridad a la compra de artículos reacondicionados o reacondicionables.
	Se da prioridad a la compra de artículos remanufacturados o reelaborables.
	Se da prioridad a la compra de artículos reciclados o reciclables.
	Se prioriza la compra de elementos compostables.
	Se definen los lotes de compra para causar el menor impacto posible.
	Se valora la posibilidad de comprar elementos que previamente han tenido otro uso.
	Se valoran las opciones de servicio antes de la compra de bienes o equipos.
<i>Producción (13)</i>	Se trata de una producción (Serie, Serie personalizable, Por proyectos).
	¿Se hace por encargo?
	Existen procedimientos que definen las tareas de mantenimiento.
	Se conoce el potencial teórico de la planta, se controlan los procesos, las pérdidas por cambios, paradas, etc. son mínimas y existen procedimientos de mejora continua.
	Se controla el impacto ambiental del proceso productivo y existen procedimientos de mejora continua.
	Se controla el impacto medioambiental causado por la pérdida de cambios, paradas o calidad.
	Se buscan salidas circulares para los residuos generados.
	Se realizan tareas de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo.
	No hay productos/componentes obsoletos en stock.
	Se buscan alternativas circulares a los productos obsoletos.
	Se utilizan embalajes retornables para los envíos.
	Se utilizan embalajes reciclables para los envíos.
Se utilizan embalajes compostables o biodegradables para los envíos.	
<i>Instalaciones (6)</i>	El edificio tiene una buena calificación en eficiencia energética.
	Existen sistemas de recuperación de energía para calefacción, agua caliente, electricidad...
	Para su funcionamiento se utiliza energía procedente de fuentes renovables.
	Los consumibles del sistema de producción se reciclan y se utilizan durante toda su vida útil (agua, emulsiones de perforación...).
	Minimiza el uso del formato papel y utiliza recursos digitales.
	Se utilizan elementos de bajo consumo y alta eficiencia en los sistemas de iluminación y calefacción.
<i>Formación (5)</i>	Áreas de interés para la formación (elija un máximo de 4) "Materiales, Ecodiseño, Diseño de servicios, Remanufactura, Mantenimiento, Ecoproductividad, Reciclaje, Modelos de negocio circulares, Simbiosis industrial, Otros".
	Las personas que componen la empresa conocen qué es la economía circular y sus principios.
	Para el día a día de la empresa se deben conocer los conceptos relacionados con la Economía Circular.
<i>Comunicación (3)</i>	Es necesaria la formación en Economía Circular.
	Desde la dirección se realizan tareas de concienciación sobre el desarrollo sostenible.
	Se publican iniciativas sobre desarrollo sostenible o responsabilidad social corporativa.
	Se utiliza la Economía Circular en el marketing de la empresa.

### A.3 Preguntas y valoración de la evaluación de ICEQ

**Tabla 50:** Cuestionario de evaluación ICEQ

Preguntas	Tipo de respuesta
a ¿Le ayudó el cuestionario ICEQ a identificar las lagunas?	Sí / No / A veces
b ¿Es el cuestionario ICEQ adecuado para empezar a trabajar en la Economía Circular?	Sí / No / A veces
c ¿Cree que el cuestionario de autodiagnóstico es completo y fácil de rellenar? ¿Qué cree que falta?	Sí / No / A veces Respuesta abierta
d ¿Recomendaría el cuestionario ICEQ a otras empresas?	Sí / No
e Valore el cuestionario ICEQ	Escala Likert- 1: No ha sido útil; 5: Ha sido muy útil
Déjenos su opinión para mejorar el cuestionario.	



**Figura 68:** Respuestas de valoración del cuestionario diagnóstico ICEQ

## A.4 Artículos de indicadores identificados en la revisión bibliográfica

**Tabla 51:** Selección de 18 artículos para analizar los indicadores de EC a nivel micro

<b>Autores</b>	<b>Título del artículo</b>
Ahmed et al. (2022)	<i>A comprehensive multi-level circular economy assessment framework</i>
Pacurariu et al. (2021)	<i>A critical review of EU Key Indicators for the transition to the circular economy</i>
Kristensen & Mosgaard (2020)	<i>A review of micro level indicators for a circular economy- moving away from the three dimensions of sustainability?</i>
de Pascale et al. (2021)	<i>A systematic review for measuring circular economy: the 61 indicators.</i>
Saidani et al. (2019)	<i>A taxonomy of circular economy indicators</i>
Spreafico (2022)	<i>An analysis of design strategies for circular economy through life cycle assessment</i>
Janik & Ryszko (2019)	<i>Circular economy in companies: an analysis of selected indicators from a managerial perspective</i>
Moraga et al. (2019)	<i>Circular economy indicators: What do they measure?</i>
Vinante et al. (2021)	<i>Circular economy metrics: Literature review and company-level classification framework</i>
Panchal et al. (2021)	<i>Does circular economy performance lead to sustainable development? - A systemic literature review</i>
Valls-Val et al. (2022)	<i>How can organisations measure their level of circularity? A review of available tools</i>
Saidani et al. (2017b)	<i>How to assess product performance in the circular economy? Proposed requirements for the design of a circularity measurement framework</i>
Sánchez-Ortiz et al. (2020)	<i>Indicators to measure efficiency in circular economies</i>
Jerome et al. (2022)	<i>Mapping and testing circular economy product-level: indicators: A critical review</i>
Elia et al. (2017)	<i>Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis</i>
Bonacorsi (2020)	<i>Measuring circularity: a critical analysis of some relevant indicators</i>
de Oliveira et al. (2021)	<i>Nano and micro level critical economy indicators: Assisting decision-makers in circularity assessments</i>
Shevchenko et al. (2022)	<i>Product-level circularity metrics based on the “Closing-Slowing-Future-Past” quadrant model</i>

**Tabla 52:** 11 artículos identificados en la literatura gris

<b>Autores</b>	<b>Título del artículo</b>
VBDO (2015)	<i>Company Assessment Criteria Theme: Circular Economy</i>
PGGM (2015)	<i>Circularity Assessment Tool</i>
Ecopreneur (2019)	<i>Circularity Check: how circular are the products and services your company puts on the market?</i>
IDEAL&CO Explore (2016)	<i>Circularity Calculator</i>
Circle Economy (2018)	<i>Circularity Gap Report</i>
Ellen MacArthur Foundation (2020)	<i>Circulytics- Measuring circularity</i>
World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (2018)	<i>Circular Metrics: Landscape analysis</i>
ResCoM (2017)	<i>Circular Pathfinder</i>
WBCSD (2020)	<i>Circular Transition Indicators</i>
C2C (2014)	<i>Impact Study: Technical Reported Pilot Study Impact Study of the Cradle to Cradle Certified Products Program</i>
US Chamber Foundation (2017)	<i>Measuring Circular Economy</i>

**Tabla 53:** 60 artículos identificados mediante el snowball

<b>Autores</b>	<b>Título del artículo</b>
Garza-Reyes et al. (2018)	<i>A circularity measurement toolkit for manufacturing SMEs</i>
Favi et al. (2016)	<i>A design for EoL approach and metrics to favour closed-loop scenarios for products</i>
Cong et al. (2019)	<i>A design method to improve end-of-use product value recovery for circular economy</i>
Charnes et al. (1984)	<i>A development study of data envelopment analysis in measuring the efficiency of maintenance units in the U.S. air forces</i>
Lee et al. (2014)	<i>A framework for assessing product End-Of-Life performance: reviewing the state of the art and proposing an innovative approach using an End-of-Life Index</i>
Ameli et al. (2019)	<i>A simulation-optimization model for sustainable product design and efficient end-of-life management based on individual producer responsibility</i>
Das et al. (2010)	<i>An approach for estimating the end-of-life product disassembly effort and cost</i>
Matsuno et al. (2006)	<i>Application of Markov Chain Model to Calculate the Average Number of Times of Use of a Material in Society</i>
Marconi et al. (2018)	<i>Applying data mining technique to disassembly sequence planning: a method to assess effective disassembly time of industrial products</i>
van Loon & van Wassenhove (2017)	<i>Assessing the economic and environmental impact of remanufacturing: a decision support tool for OEM suppliers</i>
Sartal et al. (2020)	<i>Bringing the circular economy closer to small and medium enterprises: Improving water circularity without damaging plant productivity</i>
Ritthoff et al. (2002)	<i>Calculating MIPS: Resource productivity of products and services</i>
Braun et al. (2018)	<i>Case Study Analysing Potentials to Improve Material Efficiency in Manufacturing Supply Chains, Considering Circular Economy Aspects</i>
Alamerew & Brissaud (2019)	<i>Circular economy assessment tool for end of life product recovery strategies</i>
European Environment Agency (EEA) (2016)	<i>Circular economy in Europe: Developing the knowledge base</i>
Rossi et al. (2020)	<i>Circular economy indicators for organizations considering sustainability and business models: Plastic, textile and electro-electronic cases</i>
Vogtlander et al., (2017)	<i>Combined analyses of costs, market value and eco-costs in circular business models: eco-efficient value creation in remanufacturing</i>
Niero & Kalbar (2019)	<i>Coupling material circularity indicators and life cycle based indicators: A proposal to advance the assessment of circular economy strategies at the product level</i>
Pauliuk (2018)	<i>Critical appraisal of the circular economy standard BS 8001:2017 and a dashboard of quantitative system indicators for its implementation in organizations</i>
Cayzer et al. (2017)	<i>Design of indicators for measuring product performance in the circular economy</i>
Mesa et al. (2018)	<i>Developing a set of sustainability indicators for product families based on the circular economy model</i>
Winzer et al. (2017)	<i>Developing an Indicator Setup to Measure Life-Cycle Conditions of Electronic Products</i>
Juntao & Mishima (2017)	<i>Development of Resource Efficiency Index for Electrical and Electronic Equipment</i>
Vanegas et al. (2018)	<i>Ease of disassembly of products to support circular economy strategies</i>
Fregonara et al. (2017)	<i>Economic-Environmental Indicators to Support Investment Decisions: A Focus on the Buildings' End-of-Life Stage</i>
Wu et al. (2014)	<i>Effectiveness of the policy of circular economy in China: A DEA-based analysis for the period of 11th five-year-plan</i>
Ljunggren Söderman & André (2019)	<i>Effects of circular measures on scarce metals in complex products – Case studies of electrical and electronic equipment</i>
Marvuglia et al. (2018)	<i>Energy-based indicators to measure circularity: promises and problems</i>
H. Li et al. (2010)	<i>Energy conservation and circular economy in China's process industries</i>
Giacomelli et al. (2018)	<i>Evaluating and monitoring circularity</i>
Jia & Zhang (2011)	<i>Evaluation of Regional Circular Economy Based on Matter Element Analysis</i>
R. H. Li & Su (2012)	<i>Evaluation of the circular economy development level of Chinese chemical enterprises</i>
Golinska et al. (2015)	<i>Grey Decision Making as a tool for the classification of the sustainability level of remanufacturing companies</i>

<b>Autores</b>	<b>Título del artículo</b>
Haas et al. (2015)	<i>How Circular is the Global Economy? - An Assessment of Material Flows, Waste Production, and Recycling in the European Union and the World in 2005</i>
Lokesh et al. (2020)	<i>Hybridised sustainability metrics for use in life cycle assessment of bio-based products: resource efficiency and circularity</i>
Ardente & Mathieux (2014)	<i>Identification and assessment of product's measures to improve resource efficiency: the case-study of an Energy using Product</i>
Bovea & Pérez-Belis (2018)	<i>Identifying design guidelines to meet the circular economy principles: A case study on electric and electronic equipment</i>
Zwolinski et al. (2006)	<i>Integrated design of remanufacturable products based on product profiles</i>
Figge et al. (2018)	<i>Longevity and Circularity as Indicators of Eco-Efficient Resource Use in the Circular Economy</i>
Smits & Woltjer (2016)	<i>Methodology for the case Studies</i>
Razza et al. (2020)	<i>Metrics for quantifying the circularity of bioplastics: The case of bio-based and biodegradable mulch films</i>
Zhou et al. (2013)	<i>On Evaluation Model of Circular Economy for Iron and Steel Enterprise Based on Support Vector Machines with Heuristic Algorithm for Tuning Hyper-parameters</i>
Liang et al. (2018)	<i>Performance assessment of circular economy for phosphorus chemical firms based on VIKOR-QUALIFLEX method</i>
Huysman et al. (2017)	<i>Performance indicators for a circular economy: A case study on post-industrial plastic waste</i>
Azevedo et al. (2017)	<i>Proposal of a Sustainable Circular Index for Manufacturing Companies</i>
Iacovidou et al. (2019)	<i>Quality of resources: A typology for supporting transitions towards resource efficiency using the single-use plastic bottle as an example</i>
van Schaik & A. Reuter (2016)	<i>Recycling Indices Visualizing the Performance of the Circular Economy</i>
Guogang & Jing (2011)	<i>Research on Evaluation of Circular Economy Development</i>
Franklin-Johnson et al. (2016)	<i>Resource duration as a managerial indicator for Circular Economy performance</i>
Yang et al. (2011)	<i>Study and Integrative Evaluation on the development of Circular Economy of Shaanxi Province</i>
Genovese et al. (2017)	<i>Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications</i>
Zore et al. (2018)	<i>Synthesis of sustainable production systems using an upgraded concept of sustainability profit and circularity</i>
Hendriks et al. (2006)	<i>The eco-costs/value ratio: A tool to determine the long-term strategy for delinking economy and environmental ecology</i>
Veleva et al. (2017)	<i>The need for better measurement and employee engagement to advance a circular economy: Lessons from Biogen's "zero waste" journey</i>
Huysman et al. (2015)	<i>The recyclability benefit rate of closed-loop and open-loop systems: A case study on plastic recycling in Flanders</i>
Lèbre et al. (2017)	<i>The Role of the Mining Industry in a Circular Economy: A Framework for Resource Management at the Mine Site Level</i>
Mandolini et al. (2017)	<i>Time-based disassembly method: how to assess the best disassembly sequence and time of target components in complex products</i>
Scheepens et al. (2016)	<i>Two life cycle assessment (LCA) based methods to analyse and design complex (regional) circular economy systems. Case: making water tourism more sustainable</i>
Nuñez-Cacho et al. (2018)	<i>What Gets Measured, Gets Done: Development of a Circular Economy Measurement Scale for Building Industry</i>
Mohamed Sultan et al. (2017)	<i>What should be recycled: An integrated model for product recycling desirability</i>

## A.5 Indicadores identificados en la revisión de la literatura

**Tabla 54:** Descripción de indicadores identificados en la revisión bibliográfica

Indicadores micro	Fuente (autor y año)	Descripción
Building Circularity Indicator (BCI)	Verberne (2016)	Diseñado para evaluar el rendimiento de la circularidad en el sector de la construcción.
Circularity Assessment Model (CAM)	Giacomelli et al. (2018)	Identificar empresas con potencial circular y evaluar este potencial desde el punto de vista de su modelo de negocio objetivo.
Circular Assessment Tool (CAT)	PGGM (2015)	Evaluar exhaustivamente cualquier tipo de empresa en cuanto a su rendimiento con respecto a los objetivos de la EC.
Circularity alculator (CC)	IDEAL&CO Explore (2016)	Diseñado para visualizar, desarrollar y comparar sistemas de servicios de productos circulares y escenarios empresariales.
Circular Economy Index (CEI)	Maio et al. (2015)	Mide la circularidad en términos de la relación entre el valor de los materiales reciclados de los productos al final de su vida útil y el valor total de los materiales en los procesos de reciclado necesarios para producir nuevas versiones del mismo producto.
Circular Economy Indicator Prototype (CEIP)	Cayzer et al. (2017)	Mide y evalúa el rendimiento de tus productos en el contexto de la CE.
CE Measurement Scale (CEMS)	Núñez-Cacho et al. (2018)	-
Evaluation Index System of CE for PCFs (CE-PCF)	Liang et al. (2018)	-
Circular Economy Performance Indicator (CEPI)	Huysman et al. (2017)	Relación entre los beneficios medioambientales que pueden obtenerse reciclando un producto, por encima de las cargas medioambientales asociadas a la producción a partir de recursos vírgenes y a la eliminación.
Circular Economy Toolkit (CET)	Evans et al. (2019)	Analiza los productos y servicios vendidos por una empresa y orienta sobre posibles áreas de mejora, mediante un cuestionario trinario que abarca etapas de todo el ciclo de vida.
Circular Economy Toolbox US (GETUS)	US Chamber Foundation (2017)	Caja de herramientas de 11 métricas relacionadas con la CE.
Circular Economy Value (CEV)	Fogarassy et al. (2017)	-
Circularity Check (Check)	Ecopreneur (2019)	Cuestionario.
Circularity Index (CI)	Cullen (2017)	Describe los efectos combinados de la dinámica de las existencias y las pérdidas disipativas y la cantidad de energía necesaria para recuperar el material en relación con la energía necesaria para producir material primario a partir de mineral virgen.
Circulytics (Circulytics)	Ellen MacArthur Foundation (2020)	Una empresa puede utilizar la herramienta para determinar el nivel de circularidad en toda su operación.

## Anexos

Indicadores micro	Fuente (autor y año)	Descripción
Combination Matrix (CM)	Figge et al. (2018)	Combinación de circularidad y longevidad. Método de cálculo del uso de recursos, en particular, pero no a nivel de empresa.
Circularity Measurement Toolkit (CMT)	Garza-Reyes et al. (2018)	Permite evaluar el grado de circularidad en las pymes manufactureras.
Circular Pathfinder (CP)	ResCoM (2017)	Herramienta de ideación de estrategias.
Circular Process Energy Intensity (CPEI)	Lokesh et al. (2020)	Proceso circular que demuestra las estrategias de recuperación de residuos y circularización de materiales.
Circular Process Feedstock Intensity (CPFI)	Lokesh et al., (2020)	Medir la economía de materiales mediante el diseño de productos para la recuperación mediante reciclado de cualquier residuo de producción primaria o material recuperado de sus procesos de fin de vida útil.
Circular Potential Indicator (CPI)	Saidani et al. (2017a,b)	Evaluar el potencial de circularidad de los productos industriales.
Circular Process Waste Factor (CPWF)	Lokesh et al. (2020)	En el caso de los procesos circulares, demostración de su capacidad para reducir los residuos del proceso y la producción mediante estrategias de valorización.
Circular Transition Indicator (CTI)	WBCSD (2020)	Autoevaluación que determina el rendimiento circular de una empresa.
Cradle to Cradle (C2C)	C2C (2014)	Marco de evaluación centrado en la salud de los materiales, la EC, la energía renovable y la gestión del agua.
Disassembly Effort Index (DEI)	Das et al. (2010)	Permite obtener el coste de desmontaje de un producto.
Decision Support Tool for Remanufacturing (DSTR)	van Loon & van Wassenhove (2017)	Evalúa si la refabricación es económica y ambientalmente atractiva en comparación con la producción de nuevos componentes.
Ease of Disassembly Metric (eDiM)	Vanegas et al. (2018)	Dado un producto y la secuencia de acciones para desmontarlo, el cálculo del eDIM consiste en asociar un valor de la tabla de referencia a cada una de estas acciones.
Energy Intensity (EI)	Lokesh et al. (2020)	Relación entre la cantidad total de energía y la cantidad total de productos y coproductos generados en el proceso.
End-of-Life Design Methodology (EoL-DM)	Favi et al. (2016)	Rediseño de bienes y productos para reducir el número de materiales y residuos industriales enviados a vertederos.
End-of-Life Index (EoLI)	Lee et al. (2014)	-
End-of-Life Recycling Rate (EoL-RRs)	Graedel et al. (2011)	Indicador que mide, para una materia prima determinada, qué parte de su entrada en el sistema de producción procede del reciclado de "chatarra vieja".
Environmental Protection Indicators in a context of CE (EPIICE)	Su et al. (2013)	Cuatro categorías de indicadores, en un contexto de economía circular: reducción y reciclaje de materiales, desarrollo económico, control y gestión de la contaminación y perspectivas de gestión.
Five Category Index Method (FCIM)	R. H. Li & Su (2012)	Método de índice de cinco categorías: desarrollo económico, explotación de recursos, reducción de la contaminación, ecoeficiencia y potencial de desarrollo para evaluar el nivel de circularidad de los productos químicos.
Feedstock Intensity (FI)	Lokesh et al. (2020)	Cuantifica el consumo de materias primas.

## Anexos

Indicadores micro	Fuente (autor y año)	Descripción
Functional Range Index (FRI)	Mesa et al. (2018)	-
Functional Variety Index (FVI)	Mesa et al. (2018)	-
Circular Indicator Project (ICT)	Viktoria Swedish ICT, (2015)	-
Input-Output Business Sheet (IOBS)	Capellini (2017)	Herramienta utilizada para medir la circularidad del producto o servicio mediante el cálculo del balance insumo-producto que cubre todo el ciclo de vida del producto.
Industrial Park Circular Economy Indicators System (IPCEIS)	Geng et al. (2012)	Indicadores de: producción de recursos, consumo de recursos, utilización integrada de recursos, eliminación de residuos y emisiones contaminantes.
Linear Flow Index for Product Families (LFI2)	Mesa et al. (2018)	-
Longevity Indicator (LI)	Franklin-Johnson et al. (2016)	El indicador de longevidad pretende mostrar el tiempo durante, el cual, un material se mantiene en un sistema de productos.
Lifetime of Materials in the Anthroposphere (LMA)	(Pauliuk (2018)	Mide la cascada de materiales en diferentes grupos de productos. Se centra en el reciclaje y el descenso para tener en cuenta el tiempo de residencia de los materiales.
Landfill to Recycle Ratio (LRR)	Marvuglia et al. (2018)	Relación entre la energía necesaria para verter un material y la energía necesaria para reciclarlo.
Multi Criteria Decision Analysis Combining Circularity Indicators and Lifecycle based Indicators (MCDA-ML)	Niero & Kalbar (2019)	Métodos basados en diversos principios matemáticos utilizados para resolver objetivos contradictorios.
Material Circularity Indicator (MCI)	EMF-Ellen MacArthur Foundation (2015)	Las empresas pueden beneficiarse de la ICM identificando el valor de sus productos y materiales, así como, mitigando el riesgo de la volatilidad de los precios de los materiales y su suministro.
MCI for bio-based and Biodegradable Products (MCI-BB)	Razza et al. (2020)	-
Material Efficiency Indicator Prototype (MESCS)	Braun et al. (2018)	-
Mine Site MFA Indicator (MI)	Lèbre et al. (2017)	-
Number of Times of Use of a Material (NTUM)	Matsuno et al. (2007)	Mide la cascada de materiales en diferentes grupos de productos. Se centra en el reciclaje y el descenso para tener en cuenta el tiempo de residencia de los materiales.
Old Scrap Ratio (OSR)	Graedel et al. (2011)	Fracción de chatarra vieja en el flujo de reciclaje.
Product Circularity Indicator (PCI)	Angioletti et al. (2017)	Herramienta para la evaluación de las circularidades que surgen a lo largo del ciclo de vida de un producto fabricado con tecnologías de fabricación aditiva.
Product-Level Circularity Metric (PLCM)	Linder et al. (2017)	Relación entre el valor económico de los flujos recirculados y el valor económico de todos los flujos.
Process Material Circularity (PMC)	Lokesh et al. (2020)	Suma de toda la masa neta de auxiliares de proceso utilizados en el proceso.

## Anexos

Indicadores micro	Fuente (autor y año)	Descripción
Product Renewability (PR)	Lokesh et al. (2020)	-
Potential Recycle Index (PRI-rec)	Mesa et al. (2018)	Medición del grado de reciclado potencial de los componentes dentro de la familia de productos.
Potential Reuse Index (PRI-reuse)	Mesa et al. (2018)	Medición del grado de reutilización potencial de componentes entre diferentes variantes de productos dentro de la familia de productos.
Recyclability Benefit Rate (RBR)	Huysman et al. (2015)	El índice de beneficio de reciclabilidad es un índice para la priorización de recursos basado en los beneficios potenciales que pueden obtenerse mediante el reciclado.
Recycled Content Rate (RCR)	Ardente & Mathieux (2014)	Calcula los beneficios medioambientales que pueden lograrse introduciendo algunos materiales reciclados durante la fabricación del producto.
Resource Duration Indicator (RDI)	Franklin-Johnson et al., (2016)	Indicador de longevidad, que mide la contribución a la retención de materiales en un sistema de productos basándose en la cantidad de tiempo que un recurso permanece en uso.
Recycling Desirability Index (RecycDI)	Mohamed Sultan et al. (2017)	Desarrollo de un nuevo enfoque científico para priorizar el reciclaje de productos al final de su vida útil en una CE.
Resource Efficiency indicator for Electrical and Electronic Equipment (RE EEE)	Juntao & Mishima (2017)	-
Remanufacturing Product Profiles (REPRO2)	Zwolinski et al. (2006)	Proporciona información para mejorar la definición técnica interna del producto en estudio desde el punto de vista de la remanufactura. Utiliza perfiles para objetivos de diseño y orientar la toma de decisiones.
Reconfiguration Index (RI)	Mesa et al. (2018)	-
Recycling Input Ratio (RIR)	(Graedel et al. (2011)	Cuantifica la proporción de metal secundario en el total de entrada del producto metálico.
Recycling Indices for CE (Ris)	van Schaik & A. Reuter (2016)	Herramienta para visualizar el valor de la tasa de reciclado del producto.
Reuse Potential Indicator (RPI)	Park & Chertow (2014)	Indicador que mide la utilidad del material para la reutilización considerando la capacidad técnica de los materiales para la reutilización en el comercio.
Recycled Ratio (RR)	Graedel et al. (2011)	-
Recoverability Rate (Rrecov)	Ardente & Mathieux (2014)	-
Recyclability Rate (Rrecyc)	Ardente & Mathieux (2014)	-
Reusability Rate (Rreuse)	Ardente & Mathieux (2014)	-
Recycling Rates (RRs)	Haupt et al. (2017)	Indicador del comportamiento circulante de los materiales, que mide los recursos secundarios disponibles obtenidos en los procesos de reciclado.
Reusability/Recyclability/Recoverability Rates (RRR)	Ardente & Mathieux (2014)	Potencial de reutilización, reciclado y valorización.
Recycle Yield Ratio (RYR)	Marvuglia et al. (2018)	Medida de la energía que recibe la sociedad a cambio de la energía que ha invertido en reciclar.

## Anexos

<b>Indicadores micro</b>	<b>Fuente (autor y año)</b>	<b>Descripción</b>
Synthetic Economic Environmental Indicator (SEEI)	Fregonara et al. (2017)	-
Specific Energy and Resource Indicator (SERI)	Winzer et al. (2017)	-
Total Restored Products (TRP)	Pauliuk (2018)	Representa los productos reutilizados, recargados, renovados, reacondicionados, redistribuidos y remanufacturados al final de su vida útil.
Water Circularity Index (WCI)	Sartal et al. (2020)	Herramienta para medir un circuito cerrado al 100% para el uso del agua en las plantas.
Waste Factor (WF)	Lokesh et al. (2020)	Mide la proporción de la masa total de residuos sólidos, líquidos o gaseosos generados como desechos.
Zero Waste Index (ZWI)	Zaman & Lehmann (2013)	Herramienta para medir el rendimiento de los sistemas de gestión de residuos.
Zero Waste Practice (ZWP)	Veleva et al. (2017)	Herramienta basada en la jerarquía ampliamente aceptada de reducir-reutilizar-reciclar/compostar-recuperar-eliminar, pero incorpora dos dimensiones adicionales. En primer lugar, incluye indicadores adicionales para medir los "resultados" y el "impacto" de cada estrategia de reducción de residuos y, en segundo lugar, los "residuos cero" se consideran parte integrante de una estrategia de compromiso de los empleados.

## A.6 Indicadores micro Vs. Estrategias y soluciones de la EC

Tabla 55: Indicadores micro Vs. Estrategias y Soluciones de la EC

Indicadores micro	Estrategias y Soluciones de la EC								
	Regenerar		Alargar la vida útil				Optimizar recursos	Cierre de ciclo	
	Repensar	Reutilizar	Reparar	Reacondicionar	Readaptar	Remanufacturar	Reducir	Reciclar	Recuperar
Building Circularity Indicator (BCI)		X						X	X
Circularity Assessment Model (CAM)		X					X	X	
Circular Assessment Tool (CAT)	X						X	X	
Circularity Calculator (CC)				X		X	X		
Circular Economy Index (CEI)								X	
Circular Economy Indicator Prototype (CEIP)	X	X	X					X	
CE Measurement Scale (CEMS)		X	X					X	X
Evaluation Index System of CE for PCFs (CE-PCF)								X	
Circular Economy Performance Indicator (CEPI)								X	
Circular Economy Toolkit (CET)		X	X	X		X		X	
Circular Economy Toolbox US (CETUS)		X		X		X		X	X
Circular Economy Value (CEV)								X	
Circularity Check (Check)	X	X						X	
Circularity Index (CI)		X						X	
Circulytics (Circulytics)		X	X	X	X	X		X	
Combination Matrix (CM)								X	
Circularity Measurement Toolkit (CMT)	X	X		X		X	X	X	X
Circular Pathfinder (CP)		X	X	X		X		X	
Circular Process Energy Intensity (CPEI)					X			X	X
Circular Process Feedstock Intensity (CPFI)							X	X	X
Circular Potential Indicator (CPI)	X	X	X	X		X		X	

## Anexos

Indicadores micro	Estrategias y Soluciones de la EC								
	Regenerar		Alargar la vida útil				Optimizar recursos	Cierre de ciclo	
	Repensar	Reutilizar	Reparar	Reacondicionar	Readaptar	Remanufacturar	Reducir	Reciclar	Recuperar
Circular Process Waste Factor (CPWF)					X			X	X
Circular Transition Indicator (CTI)									
Cradle to Cradle (C2C)		X					X	X	
Disassembly Effort Index (DEI)		X		X				X	X
Decision Support Tool for Remanufacturing (DSTR)		X		X					
Ease of Disassembly Metric (eDiM)									
Energy Intensity (EI)					X				
End-of-Life Design Methodology (EoL-DM)						X		X	
End-of-Life Index (EoLI)									X
End-of-Life Recycling Rate (EoL-RRs)								X	
Environmental Protection Indicators in a context of CE (EPICE)								X	
Five Category Index Method (FCIM)								X	
Feedstock Intensity (FI)							X		
Functional Range Index (FRI)									
Functional Variety Index (FVI)									
Circular Indicator Project (ICT)		X				X		X	
Input-Output Business Sheet (IOBS)		X						X	
Industrial Park Circular Economy Indicators System (IPCEIS)								X	
Linear Flow Index for Product Families (LF12)								X	
Longevity Indicator (LI)								X	
Lifetime of Materials in the Anthroposphere (LMA)								X	
Landfill to Recycle Ratio (LRR)								X	
Multi Criteria Decision Analysis Combining Circularity Indicators and								X	

Anexos

Indicadores micro	Estrategias y Soluciones de la EC								
	Regenerar		Alargar la vida útil				Optimizar recursos	Cierre de ciclo	
	Repensar	Reutilizar	Reparar	Reacondicionar	Readaptar	Remanufacturar	Reducir	Reciclar	Recuperar
Lifecycle based Indicators (MCDA-ML)									
Material Circularity Indicator (MCI)		X						X	X
MCI for bio-based and Biodegradable Products (MCI-BB)		X						X	X
Material Efficiency Indicator Prototype (MESCS)									
Mine Site MFA Indicator (MI)								X	
Number of Time of Use of the Material (NTUM)								X	
Old Scrap Ratio (OSR)								X	
Product Circularity Indicator (PCI)		X						X	
Product-Level Circularity Metric (PLCM)								X	
Process Material Circularity (PMC)		X							X
Product Renewability (PR)								X	
Potential Recycle Index (PRI-rec)								X	
Potential Reuse Index (PRI-reuse)		X							
Recyclability Benefit Rate (RBR)								X	
Recycled Content Rate (RCR)				X					
Resource Duration Indicator (RDI)								X	
Recycling Desirability Index (RecycDI)				X				X	
Resource Efficiency indicator for Electrical and Electronic Equipment (RE EEE)								X	
Remanufacturing Product Profiles (REPRO2)								X	
Reconfiguration Index (RI)						X			
Recycling Input Ratio (RIR)									
Recycling Indices for CE (Ris)								X	
Reuse Potential Indicator (RPI)								X	
Recycled Ratio (RR)		X							

Anexos

Indicadores micro	Estrategias y Soluciones de la EC								
	Regenerar		Alargar la vida útil				Optimizar recursos	Cierre de ciclo	
	Repensar	Reutilizar	Reparar	Reacondicionar	Readaptar	Remanufacturar	Reducir	Reciclar	Recuperar
Recoverability Rate (Rrecov)									X
Recyclability Rate (Rrecyc)								X	
Reusability Rate (Rreuse)		X							
Recycling Rates (RRs)								X	
Reusability/Recyclability/Recoverability Rates (RRR)		X						X	X
Recycle Yield Ratio (RYR)								X	
Synthetic Economic Environmental Indicator (SEEI)		X						X	
Specific Energy and Resource Indicator (SERI)									
Total Restored Products (TRP)		X				X			
Water Circularity Index (WCI)									
Waste Factor (WF)						X		X	X
Zero Waste Index (ZWI)									
Zero Waste Practice (ZWP)	X								

## A.7 Indicadores micro Vs. Etapas del ciclo de vida

**Tabla 56:** Indicadores micro Vs. Etapas del ciclo de vida

Indicadores micro	Etapas del ciclo de vida				
	Materia prima	Producción	Distribución	Utilización	Fin de vida
Building Circularity Indicator (BCI)	X			X	X
Circularity Assessment Model (CAM)				X	X
Circular Assessment Tool (CAT)	X	X		X	X
Circularity Calculator (CC)	X				X
Circular Economy Index (CEI)		X			X
Circular Economy Indicator Prototype (CEIP)	X			X	X
CE Measurement Scale (CEMS)	X			X	X
Evaluation Index System of CE for PCFs (CE-PCF)					X
Circular Economy Performance Indicator (CEPI)					X
Circular Economy Toolkit (CET)		X	X	X	X
Circular Economy Toolbox US (CETUS)					X
Circular Economy Value (CEV)		X			X
Circularity Check (Check)	X	X	X	X	X
Circularity Index (CI)					
Circulytics (Circulytics)	X	X			X
Combination Matrix (CM)				X	X
Circularity Measurement Toolkit (CMT)	X	X	X	X	X
Circular Pathfinder (CP)					
Circular Process Energy Intensity (CPEI)	X				
Circular Process Feedstock Intensity (CPFI)	X				
Circular Potential Indicator (CPI)		X			X
Circular Process Waste Factor (CPWF)	X				
Circular Transition Indicator (CTI)	X				X
Cradle to Cradle (C2C)	X	X			X
Disassembly Effort Index (DEI)					X
Decision Support Tool for Remanufacturing (DSTR)	X				
Ease of Disassembly Metric (eDiM)				X	X
Energy Intensity (EI)	X				
End-of-Life Design Methodology (EoL-DM)					X
End-of-Life Index (EoLI)					X
End-of-Life Recycling Rate (EoL-RRs)					X
Environmental Protection Indicators in a context of CE (EPICE)					X
Five Category Index Method (FCIM)					X
Feedstock Intensity (FI)					
Functional Range Index (FRI)					
Functional Variety Index (FVI)					
Circular Indicator Project (ICT)				X	
Input-Output Business Sheet (IOBS)					X
Industrial Park Circular Economy Indicators System (IPCEIS)					X
Linear Flow Index for Product Families (LFI2)	X				
Longevity Indicator (LI)					X
Lifetime of Materials in the Anthroposphere (LMA)					X
Landfill to Recycle Ratio (LRR)					X

Indicadores micro	Etapas del ciclo de vida				
	Materia prima	Producción	Distribución	Utilización	Fin de vida
Multi Criteria Decision Analysis Combining Circularity Indicators and Lifecycle based Indicators (MCDA-ML)					X
Material Circularity Indicator (MCI)	X			X	X
MCI for bio-based and Biodegradable Products (MCI-BB)	X			X	X
Material Efficiency Indicator Prototype (MESCS)	X			X	
Mine Site MFA Indicator (MI)	X				X
Number of Times of Use of the Material (NTUM)					X
Old Scrap Ratio (OSR)		X			X
Product Circularity Indicator (PCI)		X			X
Product-Level Circularity Metric (PLCM)	X				
Process Material Circularity (PMC)	X				
Product Renewability (PR)	X				
Potential Recycle Index (PRI-rec)					X
Potential Reuse Index (PRI-reuse)					X
Recyclability Benefit Rate (RBR)					X
Recycled Content Rate (RCR)	X	X			
Resource Duration Indicator (RDI)	X				
Recycling Desirability Index (RecycDI)				X	X
Resource Efficiency indicator for Electrical and Electronic Equipment (RE EEE)	X				X
Remanufacturing Product Profiles (REPRO2)					X
Reconfiguration Index (RI)				X	X
Recycling Input Ratio (RIR)					
Recycling Indices for CE (Ris)	X				
Reuse Potential Indicator (RPI)					X
Recycled Ratio (RR)	X				X
Recoverability Rate (Rrecov)					X
Recyclability Rate (Rrecyc)					X
Reusability Rate (Rreuse)					X
Recycling Rates (RRs)					X
Reusability/Recyclability/Recoverability Rates (RRR)					X
Recycle Yield Ratio (RYR)					X
Synthetic Economic Environmental Indicator (SEEI)					X
Specific Energy and Resource Indicator (SERI)				X	
Total Restored Products (TRP)				X	X
Water Circularity Index (WCI)					X
Waste Factor (WF)	X				
Zero Waste Index (ZWI)					X
Zero Waste Practice (ZWP)					

## A.8 Indicadores micro Vs. Áreas funcionales de una empresa

Tabla 57: Indicadores micro Vs. Áreas funcionales de una empresa

Indicadores micro	Áreas funcionales de una empresa											
	Dirección	Comercial	Finanzas	Marketing	I+D	Producción	Compras y Aprovechamiento	SAT	TICS	Calidad y Medioambiente	Servicios Generales	Recursos Humanos
Building Circularity Indicator (BCI)					X	X	X	X	X		X	
Circularity Assessment Model (CAM)					X		*		*		X	
Circular Assessment Tool (CAT)					X	*	*	*		*		
Circularity Calculator (CC)		X	X		X		X					
Circular Economy Index (CEI)					X		X					
Circular Economy Indicator Prototype (CEIP)		X	X		X		X	*		X	X	
CE Measurement Scale (CEMS)	X				X			X		X	X	
Evaluation Index System of CE for PCFs (CE-PCF)											X	
Circular Economy Performance Indicator (CEPI)												
Circular Economy Toolkit (CET)		X	X		X	X	X	X		X		
Circular Economy Toolbox US (CETUS)					X		X	X				
Circular Economy Value (CEV)					X		X			X	X	
Circularity Check (Check)		*	*		X	X	X	*		X	X	
Circularity Index (CI)										X		
Circulytics (Circulytics)					X		X			X	X	
Combination Matrix (CM)					X			X				
Circularity Measurement Toolkit (CMT)					X					X	X	
Circular Pathfinder (CP)												
Circular Process Energy Intensity (CPEI)										X	X	
Circular Process Feedstock Intensity (CPFI)						X	X					
Circular Potential Indicator (CPI)		X	X		X			X		X		
Circular Process Waste Factor (CPWF)										X		

Indicadores micro	Áreas funcionales de una empresa											
	Dirección	Comercial	Finanzas	Marketing	I+D	Producción	Compras y Aprovisionamiento	SAT	TICs	Calidad y Medioambiente	Servicios Generales	Recursos Humanos
Circular Transition Indicator (CTI)					X	X	X				*	
Cradle to Cradle (C2C)	X				X		X				X	X
Disassembly Effort Index (DEI)					X			X				
Decision Support Tool for Remanufacturing (DSTR)					X							
Ease of Disassembly Metric (eDiM)					*							
Energy Intensity (EI)									X	X		
End-of-Life Design Methodology (EoL-DM)		X	X		X		X					
End-of-Life Index (EoLI)					X			X				
End-of-Life Recycling Rate (EoL-RRs)		X	X		*		X					
Environmental Protection Indicators in a context of CE (EPICE)									X	X		
Five Category Index Method (FCIM)						X			X	X		
Feedstock Intensity (FI)						X	X					
Functional Range Index (FRI)					X							
Functional Variety Index (FVI)					X							
Circular Indicator Project (ICT)												
Input-Output Business Sheet (IOBS)												
Industrial Park Circular Economy Indicators System (IPCEIS)						X					X	
Linear Flow Index for Product Families (LFI2)						X			X			
Longevity Indicator (LI)												
Lifetime of Material in the Anthroposphere (LMA)												
Landfill to Recycle Ratio (LRR)									X			
Multi Criteria Decision Analysis Combining Circularity Indicators and Lifecycle based Indicators (MCDA-ML)					X				X			

Indicadores micro	Áreas funcionales de una empresa											
	Dirección	Comercial	Finanzas	Marketing	I+D	Producción	Compras y Aprovisionamiento	SAT	TICs	Calidad y Medioambiente	Servicios Generales	Recursos Humanos
Material Circularity Indicator (MCI)					X	X	X	X				
MCI for bio-based and Biodegradable Products (MCI-BB)					X		X			*		
Material Efficiency Indicator Prototype (MESCS)						X						
Mine Site MFA Indicator (MI)						X						
Number of Times os Use of the Material (NTUM)												
Old Scrap Ratio (OSR)		X	X		*	X						
Product Circularity Indicator (PCI)					*	X						
Product-Level Circularity Metric (PLCM)		X	X									
Process Material Circularity (PMC)										X		
Product Renewability (PR)					X		X					
Potential Recycle Index (PRI-rec)										X		
Potential Reuse Index (PRI-reuse)		X	X							X		
Recyclability Benefit Rate (RBR)					*	*				*		
Recycled Content Rate (RCR)												
Resource Duration Indicator (RDI)					X	X	X			X		
Recycling Desirability Index (RecycDI)		*	*	*	X		X	X				
Resource Efficiency indicator for Electrical and Electronic Equipment (RE EEE)												
Remanufacturing Product Profiles (REPRO2)					X		*					
Reconfiguration Index (RI)					X		*					
Recycling Input Ratio (RIR)					X							
Recycling Indices for CE (Ris)						X						
Reuse Potential Indicator (RPI)					X							
Recycled Ratio (RR)										*		
Recoverability Rate (Rrecov)					X	X				X		

Indicadores micro	Áreas funcionales de una empresa											
	Dirección	Comercial	Finanzas	Marketing	I+D	Producción	Compras y Aprovisionamiento	SAT	TICs	Calidad y Medioambiente	Servicios Generales	Recursos Humanos
Recyclability Rate (Rrecyc)					X	X				X		
Reusability Rate (Rreuse)					X	X				X		
Recycling Rates (RRs)										X		
Reusability/Recyclability/Recoverability Rates (RRR)					X	X	X	X				
Recycle Yield Ratio (RYR)										X		
Synthetic Economic Environmental Indicator (SEEI)					X	X					X	
Specific Energy and Resource Indicator (SERI)											X	
Total Restored Products (TRP)												
Water Circularity Index (WCI)											X	
Waste Factor (WF)										X		
Zero Waste Index (ZWI)										X		
Zero Waste Practice (ZWP)										X	X	

X= Área funcional que evalúa claramente el indicador; \*= Área funcional que podría evaluar el indicador

## A.9 Listado de las 96 variables

Tabla 58: Listado variables iniciales de INMOIN Circular

Variables	¿El indicador es interesante y útil para la toma de decisiones?	Facilidad de la recogida de datos	Potencial de aplicabilidad del indicador	Áreas funcionales donde se pueden aplicar los indicadores identificados
% de materia prima reciclada en cada material	0. NS/NC	0. NS/NC	0. NS/NC	Tabla 25
% de materia prima reutilizada en cada material	1. Sí	1. Baja, se requiere de expertos externos	1. Baja	
% de materia prima virgen en cada material	2. No	2. Medio, se puede calcular internamente	2. Media	
% de materia prima virgen renovable y de origen regenerativo en cada material	3. Se aplica	3. Alta, está disponible o fácil de calcular	3. Alta	
% de materia prima virgen sostenible en cada material				
% de materia prima virgen no sostenible o regenerativo en cada material				
% de coproductos utilizados en cada material				
% de materia prima biológico en cada material				
% de materia prima biológica y de producción sostenible en cada material				
% de materia prima no peligrosa no recuperada en cada material				
% de materia prima peligrosa no recuperada en cada material				
% de materia prima que va a vertedero				
% de materia prima reciclada (secundaria) utilizada				
% de materia prima / componentes con criterios de compra verde / certificaciones				
% de microplásticos y plásticos oxodegradables utilizados				
% de materia prima procedente de fracciones de residuos de diferentes orígenes				
% de optimización del uso de recursos necesarios en su ciclo de vida (materia prima, energía, agua)				
Masa de material de un producto no contaminado				
Cantidad de material necesario para producir un producto				
Listado de sustancias y materiales utilizados				
Listado de sustancias y materiales peligrosos utilizados				
Listado de sustancias y materiales escasos				
Valor térmico / calorífico de los materiales				
Impacto ambiental debido a la producción de la materia prima virgen				
% de fiabilidad del producto				
Vida útil del producto				
% de producto reacondicionado				
% de producto remanufacturado				
% de producto reciclado				
% de producto recuperado				
% de producto reutilizado				
% de producto reparado				
% de producto que se le da otro uso				
% de monitorización del producto (desgaste, etc.)				

Variables	¿El indicador es interesante y útil para la toma de decisiones?	Facilidad de la recogida de datos	Potencial de aplicabilidad del indicador	Áreas funcionales donde se pueden aplicar los indicadores identificados
% de monitorización de la instalación				
% de impacto ambiental de la fabricación del producto				
% de impacto ambiental de la fase de uso del producto				
% piezas reutilizables				
Número de veces que se reutiliza un componente/producto				
% eficiencia del proceso de reciclaje				
% eficiencia del proceso de recuperación				
% eficiencia de producción de piezas/componentes				
% eficiencia de producción de materia prima producida				
Impacto ambiental de la producción (indistintamente nueva, reutilizada, reparada, recuperada, etc.)				
Tiempo de desmontaje				
Coste de desmontaje				
% de masa que se recupera del producto en el fin de vida				
% de masa que se reutiliza del producto en el fin de vida				
% de masa que se recicla del producto en el fin de vida				
% de producto que se recoge después de su uso				
% de materiales incinerados por producto				
% de recuperación de materiales biológicos por producto				
Masa de residuo recuperable que va a vertedero				
Cantidad de materiales que van a vertedero				
Cantidad de energía utilizada para reciclar el producto				
Cantidad de energía utilizada para recuperar los materiales				
Cantidad de energía producida en la eliminación del producto				
% de agua residual tratada				
% de agua residual reutilizada				
% de agua residual reciclada				
% de desechos recuperados y valorizados como los alimentos				
% de desechos recuperados y valorizados como el pienso				
% de desechos recuperados y valorizados como los nutrientes				
% de desechos recuperados y valorizados como los fertilizantes				
% de desechos recuperados y valorizados como los coproductos				
% de gases o energía recuperada en la recuperación y valorización de los desechos				
% de valorización (energía, coproductos, etc.)				
Emisiones a la atmosfera de aguas residuales				
Emisiones a la atmosfera de residuos sólidos				
% de cumplimiento del Real Decreto de fin de vida del producto tratado				
% de proveedores locales				
% de activos inmobiliarios (maquinaria/equipamiento, edificios, instalaciones, material de oficina) reparados				
% de activos inmobiliarios (maquinaria/equipamiento, edificios, instalaciones, material de oficina) reutilizados				

Variables	¿El indicador es interesante y útil para la toma de decisiones?	Facilidad de la recogida de datos	Potencial de aplicabilidad del indicador	Áreas funcionales donde se pueden aplicar los indicadores identificados
% de activos inmobiliarios (maquinaria/equipamiento, edificios, instalaciones, material de oficina) reacondicionados				
% de activos inmobiliarios (maquinaria/equipamiento, edificios, instalaciones, material de oficina) remanufacturados				
% de activos inmobiliarios (maquinaria/equipamiento, edificios, instalaciones, material de oficina) dados otro uso				
% de ahorro de recursos (materia prima, energía) debido a reparar				
% de ahorro de recursos (materia prima, energía) debido a reutilizar				
% de ahorro de recursos (materia prima, energía) debido a reacondicionar				
% de ahorro de recursos (materia prima, energía) debido a remanufacturar				
% de ahorro de recursos (materia prima, energía) debido a dar otro uso				
% de activo inmobiliario reciclado				
% de activo inmobiliario que se recupera				
% de activo inmobiliario que va a vertedero				
% de productos de la empresa que son alquilados (leasing)				
% de activos inmobiliarios que son alquilados (leasing)				
% de terrenos degradados o abandonados recuperables				
% de eficiencia del uso de los terrenos				
% de terrenos no contaminados				
Indicador de impacto económico/social/ambiental por proyecto				
Huella de carbono				
Emisiones gases de efecto invernadero evitadas				
Tasa de producción por unidad de superficie				
Coste ciclo de vida (producto, instalación) económico y ambiental				
Eficiencia ecológica y cómo se mide				
Eficiencia luminosa				

## A.10 Modelo de indicadores INMOIN Circular

**Tabla 59:** Indicadores definidos para el área funcional de Dirección

Indicador	Estrategias de EC	Unidad de medida	Forma de cálculo
General	Regenerar	%	Energía de fuente renovable / Energía total
		%	Materias primas de origen circular / Materias primas totales
		%	Compras con criterios ambientales / Compras totales
	Optimizar recursos	%	Productividad del material / Material total
		%	Energía consumida / Unidad de producto (en casa de cliente)
		%	Consumo de agua de origen circular / Agua total
		%	Cantidad de residuo generado / Unidad de producto
		%	Carga media del camión / Carga total del camión
		%	Segunda/s vida/s del producto comercializado / Producto total comercializado
		%	Segunda/s vida/s de los equipamientos de la empresa / Cantidad total de los equipamientos
	Alargar la vida útil	%	Segunda/s vida/s de la maquinaria de la empresa / Cantidad total de la maquinaria
		%	Segunda de la infraestructura de la empresa / Cantidad total
		%	Residuos recuperados / Residuos totales
	Cierre de ciclos	Tn	Residuos generados
		Tn	Residuos reciclados
		%	Reciclaje de envases / Envases totales
		%	Reciclaje de embalajes / Embalajes totales
		%	Reciclaje de bioresiduos / Bioresiduos totales
		Tn	Residuos valorizados (energía, coproductos, etc.)
		%	Nº de empleos relacionados con la EC / Nº de empleos
	Genérica	%	Nº de registros de Propiedad Industrial (PI) relacionados con la EC / Nº de registros de PI
		€	Inversiones en EC
		€	Inversiones cofinanciadas de EC
		kg eq. de CO <sub>2</sub>	Huella de carbono / impacto ambiental de la empresa (alcance 1,2,3)
		Valor absoluto	Huella de carbono por producto comercializado
		%	Nº vehículos 0 emisiones o híbridos / Nº vehículos totales
Valor absoluto		Digitalización de la información	

**Tabla 60:** Indicadores definidos para el área funcional de Comercial

Indicador	Estrategias de EC	Unidad de medida	Forma de cálculo
Ventas motivadas por la EC	Regenerar	%	Ventas por uso de recursos naturales (€) / Ventas totales (€)
	Optimizar recursos	%	Ventas por uso eficiente de recursos (€) / Ventas totales (€)
	Alargar la vida útil	%	Ventas por uso de estrategias de alargar la vida útil (€) / Ventas totales (€)
	Cierre de ciclos	%	Ventas por lograr el cierre de ciclos (€) / Ventas totales (€)
	Genérica	%	Ventas por EC (€) / Ventas totales (€)
Argumento de ventas circulares	Genérica	%	Argumentos de venta de EC de la empresa / Argumentos de venta de la empresa
		%	Charlas a clientes en las que se transmite información de EC /

Indicador	Estrategias de EC	Unidad de medida	Forma de cálculo
			Charlas totales
		Tn CO <sub>2</sub>	Impacto ambiental por producto fabricado o comercializado
General	Genérica	Valor absoluto	Digitalización de la información

**Tabla 61:** Indicadores definidos para el área funcional de Marketing

Indicador	Estrategias de EC	Unidad de medida	Forma de cálculo
Publicaciones motivadas por la EC	Regenerar	%	Nº publicaciones de uso de recursos naturales / Nº publicaciones totales
	Optimizar recursos	%	Nº publicaciones de uso eficiente de recursos / Nº publicaciones totales
	Alargar la vida útil	%	Nº publicaciones del uso de estrategias de alargar la vida útil / Nº publicaciones totales
	Cierre de ciclos	%	Nº publicaciones relacionadas con cierre de ciclos / Nº publicaciones totales
	Genérica	Valor absoluto	Productos generados de desechos de producción usados de merchandising
		Valor absoluto	Stand de feria cero emisiones (reciclable y/o reutilizables) / Stand de feria
		%	Visitas a clientes cero emisiones / Visitas totales
Argumento de ventas circulares	Genérica	%	Argumentos de venta de EC de la empresa / Argumentos de venta de la empresa
		%	Nº publicaciones relaciones con impacto ambiental CO <sub>2</sub> / Nº de publicaciones totales
General	Genérica	Valor absoluto	Digitalización de la información

**Tabla 62:** Indicadores definidos para el área funcional de Finanzas

Indicador	Estrategias de EC	Unidad de medida	Forma de cálculo
Financiación en EC	Genérica	%	Créditos bancarios relacionados con la EC (€) / Créditos bancarios totales (€)
		€	Cofinanciación obtenida en convocatorias que financian inventariable de EC
Ratio económico de EC	Genérica	%	Productos con criterios de EC (Ingresos totales - Costes totales) (€) / Productos totales (Ingresos totales - Costes totales) (€)
Margen por producto con criterio de EC	Genérica	€	Por producto con criterio de EC (Ingresos - Costes)
Margen por producto sin criterio de EC	Genérica	€	Por producto sin criterio de EC (Ingresos - Costes)
Ahorro económico por adquisición de producto, maquinaria, instalación de EC	Genérica	€	Costes de adquisiciones con criterio de EC - Costes adquisiciones sin criterio de EC
General	Genérica	Valor absoluto	Digitalización de la información

Tabla 63: Indicadores definidos para el área funcional de I+D

Indicador	Estrategias de EC	Unidad de medida	Forma de cálculo
	Regenerar	%	Nº de innovaciones relacionadas con el uso de recursos naturales / Nº de innovaciones totales
	Optimizar recursos	%	Nº de innovaciones relacionadas con el uso eficiente de recursos / Nº de innovaciones totales
		Valor absoluto	Nº de innovaciones relacionadas con la reducción de residuos
	Alargar la vida útil	%	Nº de innovaciones relacionadas con las estrategias de alargar la vida útil / Nº de innovaciones totales
		%	Nº de productos reacondicionados / Nº de productos totales
		%	Nº de productos remanufacturados / Nº de productos totales
		%	Nº de productos reutilizados / Nº de productos totales
		%	Nº de productos que se le da otro uso / Nº de productos totales
		Valor absoluto	Durabilidad de producto según UNE-EN 45552
	Valor absoluto	Capacidad de reparación, reutilización y actualización de producto según UNE-EN 45554	
Cierre de ciclos	%	Nº de innovaciones facilitadoras del cierre de ciclo / Nº de innovaciones totales	
	%	Nº de productos diseñados para facilitar la reciclabilidad / Nº productos totales	
	%	Masa del producto que se puede recuperar / Masa total del producto	
	Valor absoluto	Evaluación de la reciclabilidad y la valorización según UNE-EN 45555	
Producto EC	%	Nº innovaciones relacionadas con la EC / Nº innovaciones totales	
	%	Nº de peticiones de Propiedad Industrial (PI) de EC / Nº de peticiones de PI total	
	%	Nº de productos diseñados para aumentar la durabilidad, la reparabilidad, la desmontabilidad-montabilidad o posibilidades de actualización / Nº productos totales	
	%	Nº de veces que se utiliza un producto-componente / Nº de productos-componentes totales de un único uso	
	%	Nº innovaciones de producto con mejora ambiental / Nº innovaciones de producto totales	
	%	Nº de monitorización de productos para EC / Nº de productos totales	
	%	Cantidad de materiales reciclados utilizados / Cantidad total de material utilizado	
	Genérica	Valor absoluto	Proporción de contenido de material reciclado según UNE-EN 45557
	%	Cantidad de producto-componente reutilizado / Cantidad total de producto-componente utilizado	
	Valor absoluto	Proporción de componentes reutilizados según UNE-EN 45556	
%	Cantidad de producto-componente reacondicionados / Cantidad total de producto-componente utilizado		
%	Cantidad de producto-componente remanufacturado / Cantidad total de producto-componente utilizado		
%	Cantidad de producto-componente que se le ha dado otro uso / Cantidad total de producto-componente utilizado		
%	Nº de registros de Propiedad Industrial (PI) relacionados con la EC / Nº de registros de PI		
Valor absoluto	Uso de materias primas críticas según UNE-EN 45558		
Valor absoluto	Información relacionada con aspectos de eficiencia de		

Indicador	Estrategias de EC	Unidad de medida	Forma de cálculo	
			materiales según UNE-EN 45559	
Servicio EC	Regenerar	%	Nº de servicios relacionadas con el uso de recursos naturales / Nº de servicios totales	
	Optimizar recursos	%	Nº de servicios relacionadas con la eficiencia de recursos / Nº de servicios totales	
	Alargar la vida útil	%	Nº de servicios relacionadas con alargar la vida útil / Nº de servicios totales	
	Cierre de ciclos	%	Nº de servicios relacionadas con el cierre de ciclos / Nº de servicios totales	
	Genérica		%	Nº servicios relacionadas con la EC / Nº servicios totales
			%	Nº de productos servitizados / Nº total de productos
			%	Nº innovaciones de servicio con mejora ambiental / Nº innovaciones de producto totales
		%	Nº de monitorización de servicios para EC / Nº de servicios totales	
General	Genérica	Valor absoluto	Digitalización de la información	

**Tabla 64:** Indicadores definidos para el área funcional de Producción

Indicador	Estrategias de EC	Unidad de medida	Forma de cálculo
Eco-productividad	Regenerar	%	Cantidad de materiales de origen natural (kg) / Cantidad de material total (kg)
		m <sup>3</sup>	Volumen total de agua consumida
	Optimizar recursos – Cierre de ciclos	%	Despilfarro productivo
		%	Materia prima - Residuos de materia prima / Materia prima
		%	Consumo de energía para fabricación de piezas / Piezas buenas fabricadas al año
		%	Consumo de agua para fabricación de piezas / piezas buenas fabricadas al año
		%	Cantidad de residuos peligrosos generados / Piezas buenas fabricadas al año
		%	Cantidad de residuos no peligrosos generados / Piezas buenas fabricadas al año
		%	Disponibilidad x Rendimiento x Tasa de calidad
		Genérica	Valor absoluto
Eficiencia del agua	Optimizar recursos	m <sup>3</sup> /pieza	Volumen de agua utilizada por unidad de producción
	Alargar la vida útil	%	Volumen de agua recirculada de forma interna / Volumen total de agua consumida
	Cierre de ciclos	%	Volumen de agua residual sin tratar (segura para el medioambiente y la salud humana) / Volumen total de agua consumida
Eficiencia de la energía	Regenerar	%	Energía generada en el proceso productivo / Energía total consumida
	Optimizar recursos	Kw/unidad producida	Energía consumida / Unidad producida
Aire comprimido	Optimizar recursos	Kw/unidad producida	Energía consumida por el compresor / Unidad producida
Recuperación de materiales	Cierre de ciclos	%	Masa que se reutiliza del material-producto-componente / Masa total del producto
		%	Masa que se recicla del material-producto-componente / Masa total del producto
		%	Masa que se recupera del material-producto-componente / Masa total del producto
		%	Masa que se incinera del material-producto-componente /

Indicador	Estrategias de EC	Unidad de medida	Forma de cálculo	
Maquinaria	Alargar la vida útil		Masa total del producto	
		Valor absoluto	Cantidad de material que va a vertedero	
		%	Nº de máquinas reacondicionadas / Nº máquinas totales	
		%	Nº de máquinas actualizadas / Nº máquinas totales	
	Cierre de ciclos	%	Nº de máquinas remanufacturadas / Nº máquinas totales	
		%	Nº de máquinas que se le da otro uso / Nº máquinas totales	
Genérica	%	Nº de máquinas recicladas / Nº máquinas totales		
Materiales auxiliares	Regenerar	%	Cantidad de materiales auxiliares no contaminantes (certificado ecológico) (aceites, taladrinas, etc.) utilizadas / Total materiales auxiliares	
	Optimizar recursos	kg/unidad producida	Ratio de materiales auxiliares / Unidad de producción	
	Cierre de ciclos	%	Cantidad de materiales auxiliares no recuperados / Total de materiales auxiliares	
Almacén intermedio	Regenerar	%	Nº palets con certificado de sostenibilidad / Nº palets totales	
		kW/Tn	Energía consumida por toneladas transportadas	
	Optimizar recursos	%	Tasa de ocupación del almacén (m2-m3) / Almacén total (m2-m3)	
		Valor absoluto	Rotación media de materia prima del almacén	
		€	Cantidad de producto intermedio	
		h	Tiempo medio de picking	
		h	Tiempo medio de descarga	
		Valor absoluto	Nº de movimientos (distancias)	
		%	Nº de almacenes compartidos / Nº almacenes totales	
		%	Nº de almacenes monitorizados / Nº almacenes totales	
		%	Nº de almacenes automatizados / Nº almacenes totales	
		%	Nº materiales-componentes obsoletos / Nº materiales-componentes totales	
		%	Producto intermedio deteriorado / Producto intermedio total	
		Cierre de ciclos	%	Cantidad de palets, mercancía obsoleta, envases, embalajes etc. reciclados / Cantidad de palets, mercancía obsoleta, envases, embalajes etc. totales
			%	Cantidad de palets, mercancía obsoleta, envases, embalajes etc. recuperados / Cantidad de palets, mercancía obsoleta, envases, embalajes etc. totales
%	Cantidad de palets, mercancía obsoleta, envases, embalajes etc. que van a vertedero / Cantidad de palets, mercancía obsoleta, envases, embalajes etc. totales			
kg	Residuos de envases y embalajes generados			
Genérica	%	Nº almacenes en leasing / Nº total de almacenes		
	%	Grado de digitalización del servicio del almacén		
General	Genérica	Valor absoluto	Digitalización de la información	

**Tabla 65:** Indicadores definidos para el área funcional de Compras y Aprovisionamiento

Indicador	Estrategias de EC	Unidad de medida	Forma de cálculo
Almacén de materia prima y componentes	Regenerar	%	Nº palets con certificado de sostenibilidad / Nº palets totales
		kW/Tn	Energía consumida por toneladas transportadas
	Optimizar recursos	%	Tasa de ocupación del almacén (m2-m3) / Almacén total (m2-m3)
		Valor absoluto	Rotación media de materia prima del almacén
		h	Tiempo medio de picking

Indicador	Estrategias de EC	Unidad de medida	Forma de cálculo
Almacén de producto terminado (PT)		h	Tiempo medio de descarga
		Valor absoluto	Nº de movimientos (distancias)
		%	Nº de almacenes compartidos / Nº almacenes totales
		%	Nº de almacenes monitorizados / Nº almacenes totales
		%	Nº de almacenes automatizados / Nº almacenes totales
		%	Nº materiales-componentes obsoletos / Nº materiales-componentes totales
		%	Materia prima-componentes deteriorada / Materia prima-componentes total
	Alargar la vida útil	h	Tiempo medio de descarga del medio de transporte
		%	Palets recuperados / Palets totales
		%	Palets reacondicionados / Palets totales
		%	Nº palets retornables / Nº palets totales
	Cierre de ciclos	%	Cantidad de palets, mercancía obsoleta, envases, embalajes etc. reciclados / Cantidad de palets, mercancía obsoleta, envases, embalajes etc. totales
		%	Cantidad de palets, mercancía obsoleta, envases, embalajes etc. recuperados / Cantidad de palets, mercancía obsoleta, envases, embalajes etc. totales
		%	Cantidad de palets, mercancía obsoleta, envases, embalajes etc. que van a vertedero / Cantidad de palets, mercancía obsoleta, envases, embalajes etc. totales
		kg	Residuos de envases y embalajes generados
	Genérica	%	Nº almacenes en leasing / Nº total de almacenes
		%	Grado de digitalización del servicio del almacén
	Regenerar	%	Nº palets con certificado de sostenibilidad / Nº palets totales
		kW/Tn	Energía consumida por toneladas transportadas
	Almacén de producto terminado (PT)	Optimizar recursos	%
Valor absoluto			Rotación media de materia prima del almacén
€			Cantidad de producto intermedio
h			Tiempo medio de picking
h			Tiempo medio de descarga
Valor absoluto			Distancias medias recorridas
Valor absoluto			Nº de movimientos por producto
%			Nº de almacenes compartidos / Nº almacenes totales
%			Nº de almacenes monitorizados / Nº almacenes totales
%			Nº de almacenes automatizados / Nº almacenes totales
%			Nº materiales-componentes- productos obsoletos / Nº materiales-componentes totales
%			Producto terminado deteriorado / Producto terminado total
Cierre de ciclos		h	Tiempo medio de carga del medio de transporte
	%	Cantidad de palets, mercancía obsoleta, envases, embalajes etc. reciclados / Cantidad de palets, mercancía obsoleta, envases, embalajes etc. totales	
	%	Cantidad de palets, mercancía obsoleta, envases, embalajes etc. recuperados / Cantidad de palets, mercancía obsoleta, envases, embalajes etc. totales	
	%	Cantidad de palets, mercancía obsoleta, envases, embalajes etc. que van a vertedero / Cantidad de palets, mercancía obsoleta, envases, embalajes etc. totales	
Genérica	kg	Residuos de envases y embalajes generados	
	%	Nº almacenes en leasing / Nº total de almacenes	
Medios de	Regenerar	%	Grado de digitalización del servicio del almacén
		%	Camiones cero emisiones / Camiones totales

Indicador	Estrategias de EC	Unidad de medida	Forma de cálculo	
transporte		%	Camiones híbridos / Camiones totales	
		%	Camiones de gas / Camiones totales	
		%	Camiones euro VI-D / Camiones totales	
		%	Transpaletas cero emisiones / Transpaletas totales	
	Optimizar recursos	%	Nº de rutas eficientes / Nº rutas totales	
		%	Carga media del camión / Carga total del camión	
		%	Nº camiones compartidos / Nº Camiones total	
		%	Nº rutas optimizadas / Nº rutas totales	
		%	Nº rutas con camiones leasing / Nº de rutas	
		%	Nº retornos de medio de transporte en vacío / Nº de retornos totales	
		%	Nº de neumáticos recauchutadas / Nº neumáticos nuevas	
	Cierre de ciclos	%	Reciclaje de neumáticos / Nº neumáticos totales	
		%	Reciclaje de las baterías / Nº baterías totales	
	Genérica	%	Capacidad media de carga de camiones cero emisiones / Capacidad del camión	
Regenerar	%	Materia prima reciclada / Materia prima total		
	%	Materia prima de origen sostenible / Materia prima total		
Optimizar recursos	Valor absoluto	Eficiencia energética de la producción del recurso		
Alargar la vida útil	%	Nº componentes reutilizados / Nº componentes totales		
	%	Nº componentes remanufacturados / Nº componentes totales		
	%	Nº componentes reacondicionados / Nº componentes totales		
Materia prima / Componentes	Cierre de ciclos	%	Reciclaje de componente-materia prima / Componente-Materia prima	
		%	Reutilización de componente-materia prima / Componente-Materia prima	
		%	Dar otro uso al componente-materia prima / Componente-Materia prima	
	Genérica	%	Nº de compras con criterios ambientales / Nº compras totales	
		%	Nº proveedor con certificación ISO 14001, 14006, EMAS, etc. / Nº proveedores totales	
		Valor absoluto	Impacto ambiental de <i>Life Cycle Cost</i> y/o Análisis Ciclo de vida	
		Valor absoluto	Sustancias peligrosas	
	Optimizar recursos	Valor absoluto	Eficiencia productiva	
	Maquinaria	Alargar la vida útil	%	Nº maquinaria reutilizada / Nº maquinaria total
			%	Nº maquinaria remanufacturada / Nº maquinaria total
%			Nº maquinaria reacondicionada / Nº maquinaria total	
Cierre de ciclos		%	Reciclaje de maquinaria / Maquina	
		%	Reutilización de maquinaria / Maquina	
		%	Dar otro uso a la maquinaria / Maquina	
Genérica		%	Nº proveedor con certificación ISO 14006 / Nº proveedores totales	
		%	Nº de compras con criterios ambientales de EC / Nº compras totales	
		%	Nº productos de fabricación local / Nº de productos totales	
		Valor absoluto	Impacto ambiental de <i>Life Cycle Cost</i> y/o Análisis Ciclo de vida	
		%	Nº de servicios remotos proporcionados / Nº servicios totales	
Material de	Regenerar	%	Nº producto con etiqueta ecológica europea / Nº productos	

Indicador	Estrategias de EC	Unidad de medida	Forma de cálculo
oficina			totales
		%	Cantidad de material de oficina reciclado / Cantidad de material oficina total
		%	Cantidad de papel reciclado / Cantidad de papel total
	Optimizar recursos	%	Cantidad de material de oficina utilizada por persona / Cantidad total de material de oficina
	Alargar la vida útil	%	Cantidad de material de escritura con recambio / Cantidad de material de escritura total
		%	Reciclaje de material de oficina / Material de oficina total
	Cierre de ciclos	%	Reutilización de material de oficina / Material de oficina total
		%	Material de oficina que va a vertedero / Material de oficina total
	Genérica	%	Nº productos de fabricación local / Nº de productos totales
		%	Nº de compras con criterios ambientales de EC/ Nº compras totales
	Valor absoluto	Impacto ambiental de <i>Life Cycle Cost</i> y/o Análisis Ciclo de vida	
Mobiliario	Regenerar	%	Nº producto con etiqueta ecológica europea, ISO 14.006/ Nº productos totales
		%	Cantidad de mobiliario reciclado / Cantidad de material oficina total
	Alargar la vida útil	%	Cantidad mobiliario reutilizado / Cantidad mobiliario total
		%	Cantidad mobiliario remanufacturado / Cantidad mobiliario total
		%	Cantidad mobiliario reacondicionado / Cantidad mobiliario total
	Cierre de ciclos	%	Reciclaje de mobiliario / Mobiliario total
		%	Reutilización de mobiliario / Mobiliario total
		%	Mobiliario que va a vertedero / Mobiliario total
	Genérica	%	Nº proveedor con certificación ISO 14006 / Nº proveedores totales
		%	Nº de compras con criterios ambientales de EC / Nº compras totales
		%	Nº productos de fabricación local / Nº de productos totales
		Valor absoluto	Nº de mobiliario leasing/ Total
		Valor absoluto	Impacto ambiental de <i>Life Cycle Cost</i> y/o Análisis Ciclo de vida
Productos de limpieza	Regenerar	%	Nº producto con etiqueta ecológica europea / Nº productos totales
		%	Cantidad de productos reciclado / Cantidad de productos totales
	Optimizar recursos	Valor absoluto	Cantidad usada por personas en la empresa / Nº de personas
	Alargar la vida útil	Valor absoluto	Cantidad de producto con recambio / Cantidad total de producto
	Cierre de ciclos	%	Cantidad de productos reciclados / Cantidad de productos totales
		%	Cantidad de productos recuperados / Cantidad de productos totales
		%	Cantidad de productos que van a vertedero / Cantidad de productos totales
	Genérica	%	Nº productos de fabricación local / Nº de productos totales
		Valor absoluto	Impacto ambiental de <i>Life Cycle Cost</i> y/o Análisis Ciclo de vida

Indicador	Estrategias de EC	Unidad de medida	Forma de cálculo
Servicios	Genérica	Valor absoluto	Sustancias peligrosas
		%	Nº proveedor con certificación ISO 14001, 14006, EMAS, etc. / Nº proveedores totales
		%	Nº de proveedores locales / Nº total de proveedores
		%	Servicio con criterio de EC / Servicio total contratado
		Valor absoluto	Servicio de leasing contratados
		Valor absoluto	Impacto ambiental de <i>Life Cycle Cost</i> y/o Análisis Ciclo de vida
General	Genérica	%	Nº de productos con criterios de compra verde y/o EC / Nº productos totales
		Valor absoluto	Envase y/o embalaje retornable
		Valor absoluto	Digitalización de la información

**Tabla 66:** Indicadores definidos para el área funcional de SAT

Indicador	Estrategias de EC	Unidad de medida	Forma de cálculo
Componentes - Materiales	Optimizar recursos	Valor absoluto	Nº propuesta de mejora por componente
		%	Nº componentes reutilizados por producto / Nº componentes totales
	Alargar la vida útil	%	Nº componentes remanufacturados por producto / Nº componentes totales
		%	Nº componentes reacondicionados por producto / Nº componentes totales
		%	Nº componentes que se le ha dado otro uso por producto / Nº componentes totales
		%	Reciclaje de componentes-materiales / Componentes-materiales totales
	Cierre de ciclos	%	Reutilización de componentes-materiales / Componentes-materiales totales
		%	Dar otro uso a los componentes-materiales / Componentes-materiales totales
		%	Componentes que van a vertedero-materiales / Componentes-materiales totales
		Valor absoluto	Eficiencia del componente-producto
Transporte	Genérica	Lista	Listado de componentes con mayor tasa de fallo
		%	Rutas de mantenimiento optimizadas / Rutas totales
Reparación	Genérica	h	Tiempo medio de reparación por salidas
		Valor absoluto	Nº salidas para realizar la reparación
		Valor absoluto	Nº de personas en cada salida
		%	Nº de servicios remotos proporcionados / Nº servicios totales
Maquinaria	Optimizar recursos	Minutos	Tiempo medio de reparación
		%	Nº acciones de mantenimiento preventivo / Nº acciones de mantenimiento anuales
	Alargar la vida útil	Valor absoluto	Nº de propuestas de actualización de maquina
		Valor absoluto	Nº de propuestas de reacondicionamiento de maquina
	Genérica	Doc.	Documentación técnica de maquinaria
		%	Digitalización de documentación / Documentación total
General	Genérica	%	Nº maquinas monitorizadas / Nº maquinas totales
		Valor absoluto	Digitalización de la información

**Tabla 67:** Indicadores definidos para el área funcional de TICs

Indicador	Estrategias de EC	Unidad de medida	Forma de cálculo	
Servicio remoto	Optimizar recursos	Minutos	Tiempo medio por servicio	
		%	Nº personas con servicio apagado remoto / Nº personas total	
	Genérica	%	Nº de servicios remotos proporcionados / Nº servicios totales	
Equipamiento	Optimizar recursos	Valor absoluto	Impacto ambiental de los servicios remotos	
		%	Nº de equipos con apagado automático programado / Nº equipos totales	
	Alargar la vida útil	%	Eficiencia energética del equipo	
		%	Nº equipamientos reutilizados / Nº equipamientos totales	
	Cierre de ciclos	%	Nº de equipamientos reciclados / Nº equipamientos totales	
		%	Nº de equipamientos recuperados / Nº equipamientos totales	
		%	Nº de equipamiento para dar otro uso / Nº equipamientos totales	
	Genérica	%	Nº equipamiento con etiqueta compra verde / Nº total de equipamiento	
		Valor absoluto	Impacto ambiental de los equipamientos	
		Media absoluta	Nº de pantallas por persona	
		Valor absoluto	Equipamiento de leasing	
	Impresión	Optimizar recursos	%	Eficiencia energética del equipo
			%	Nº impresoras con servicio apagado remoto / Nº impresoras total
			%	Nº impresoras con apagado automático / Nº impresoras total
			%	Nº impresoras de pago por uso / Nº impresoras total
%			Nº impresoras que reutilizan papel / Nº impresoras total	
Cierre de ciclos		%	Nº de materiales reciclados de cada tóner / Nº toners totales	
		Valor absoluto	Uso de tipografía que reduce la cantidad de tinta	
Genérica		%	Nº de impresiones a color / Nº impresiones total	
		%	Nº impresiones en blanco y negro / Nº impresiones total	
		%	Nº de tóner recargables / Nº toners totales	
		%	Nº de impresoras que imprimen a doble cara/respecto total	
	%	Nº de impresiones a doble cara/nº de impresiones total		
Valor absoluto	Impresión por defecto a doble cara			
Valor absoluto	Digitalización de la información			

**Tabla 68:** Indicadores definidos para el área funcional de Calidad y Medioambiente

Indicador	Estrategias de EC	Unidad de medida	Forma de cálculo
General	Regenerar	%	Nº departamentos que consideran indicadores / Nº departamentos
	Optimizar recursos	%	Nº departamentos que consideran indicadores / Nº departamentos
	Alargar la vida útil	%	Nº departamentos que consideran indicadores / Nº departamentos
	Cierre de ciclos	%	Nº departamentos que consideran indicadores / Nº departamentos
		%	Nº de certificaciones medioambientales / Nº total de certificaciones
	Genérica	Valor absoluto	Nº de reclamaciones internas relacionadas con EC

Indicador	Estrategias de EC	Unidad de medida	Forma de cálculo
		Valor absoluto	Nº de reclamaciones externas relacionadas con EC
		Valor absoluto	Digitalización de la información

**Tabla 69:** Indicadores definidos para el área funcional de Servicios Generales

Indicador	Estrategias de EC	Unidad de medida	Forma de cálculo	
Edificios	Regenerar	%	Materia prima renovables / Materias primas totales	
		%	Materia prima regenerativos / Materias primas totales	
		%	Materia prima sostenibles de origen biológico / Materias primas totales	
		%	Materia prima obtenida de manera eficiente / Materias primas totales	
		%	Materia prima reciclada / Materias primas totales	
	Optimizar recursos	Valor absoluto	Eficiencia en el uso de terrenos	
		%	Nº edificios con certificado energético / Nº de edificios totales	
	Alargar la vida útil	%	Nº de edificios reacondicionados / Nº de edificios totales	
		%	Nº de edificios reparados / Nº de edificios totales	
	Cierre de ciclos	%	Material que se recupera de la reparación, construcción y/o demolición de edificios / Total generado	
		%	Nº de edificios en leasing / Nº total de edificios	
	Genérica	€	Coste del ciclo de vida del edificio económico y ambiental	
		%	Nº edificios con certificación ambiental / Nº total de edificios	
		m <sup>2</sup>	Zonas verdes por edificio	
	Instalaciones	Regenerar	%	Material de construcción renovables / Material de construcción total
%			Material de construcción regenerativos / Material de construcción total	
%			Material de construcción sostenibles de origen biológico / Material de construcción total	
%			Material de construcción obtenida de manera eficiente / Material de construcción total	
%			Material de construcción reciclada / Material de construcción total	
Optimizar recursos		Valor absoluto	Eficiencia en el uso de la instalación	
		%	Nº de instalaciones reacondicionados / Nº de instalaciones totales	
Alargar la vida útil		%	Nº de instalaciones reparados / Nº de instalaciones totales	
		%	Material que se recupera de la reparación, puesta en marcha y/o desmantelamiento de la instalación / Total generado	
Cierre de ciclos		%	Nº de instalaciones en leasing / Nº total de instalaciones	
		€	Coste del ciclo de vida de la instalación económico y ambiental	
Genérica		%	Nº de instalaciones con certificación ambiental / Nº total de instalaciones	
		%	Nº vehículos cero emisiones o híbridos / Nº vehículos totales	
Vehículos		Optimizar recursos	Valor absoluto	Vehículo por persona
			%	Nº vehículos en leasing / Nº vehículos totales
	Alargar la vida útil	%	Nº de vehículos reparados / Nº vehículos totales	
		%	Nº vehículos destinados a segunda mano / Nº vehículos totales fin de vida	

Indicador	Estrategias de EC	Unidad de medida	Forma de cálculo
Energía	Regenerar	%	Energía renovable / Energía total
	Optimizar recursos	%	Cogeneración de energía / Energía total
	Genérica	%	Nº apagados automáticos instalados / Nº zonas total
Agua	Uso de recursos naturales	%	Agua de red / Agua total
		%	Agua captada de un dominio hidráulico público / Agua total
		%	Agua pluvial / Agua total
		%	Aguas residuales de otras organizaciones / Aguas totales
	Cierre de ciclos	%	Agua gris / Agua total
	Optimizar recursos	Valor absoluto	Eficiencia en el uso de agua
Luminaria	Optimizar recursos	Valor absoluto	Eficiencia de la luminaria
		%	Nº detectores por zonas de iluminación / Zonas totales
	Alargar la vida útil	%	Uso de led / Luminarias totales
	Cierre de ciclos	%	Reciclado de luminarias / Masa de luminaria
	Genérica	%	Recuperación de luminarias / Masa de luminaria
		Sí / No	Contratación de leasing
Calefacción	Regenerar	%	Instalación geotérmica / Instalaciones totales
	Optimizar recursos	Minutos	Tiempo medio de encendido
		Valor absoluto	Estudios de termodinámica
		Valor absoluto	Nivel de consumo de gas, gasoil, electricidad
	Alargar la vida útil	%	Reutilización de radiadores, etc. / Nº total
	%	Reciclaje de radiadores, etc. / Nº total	
Mobiliario	Alargar la vida útil	%	Reparación de mobiliario / Nº mobiliario nuevo
		%	Dar otro uso al mobiliario / Nº mobiliario nuevo
	Cierre de ciclos	%	Cantidad de mobiliario reciclado / Mobiliario total
		%	Cantidad de mobiliario reutilizado / Mobiliario total
		%	Cantidad de mobiliario que se le da otro uso / Mobiliario total
Maquinaria	Alargar la vida útil	%	Reparación de maquinaria / Nº maquinaria nueva
		%	Dar otro uso a la maquinaria / Nº maquinaria nueva
	Cierre de ciclos	%	Cantidad de maquinaria reciclada / Maquinaria total
		%	Cantidad de maquinaria reutilizada / Maquinaria total
		%	Cantidad de maquinaria que se le da otro uso / Maquinaria total
Emisiones	Genérica	Valor absoluto	Emisiones a la atmosfera de aguas residuales
		Valor absoluto	Emisiones de gases
		Valor absoluto	Emisiones a la atmosfera de residuos sólidos
Terrenos	Genérica	%	Terrenos degradados o abandonados recuperables / Terrenos totales
		%	Terrenos no contaminados / Terrenos totales
Componentes - Materiales	Optimizar recursos	Valor absoluto	Nº propuesta de mejora por componente
		%	Nº componentes reutilizados por producto / Nº componentes totales
	Alargar la vida útil	%	Nº componentes remanufacturados por producto / Nº componentes totales
		%	Nº componentes reacondicionados por producto / Nº componentes totales
		%	Nº componentes que se le ha dado otro uso por producto / Nº componentes totales
	Cierre de ciclos	%	Reciclaje de componentes-materiales / Componentes-materiales totales

Indicador	Estrategias de EC	Unidad de medida	Forma de cálculo
		%	Reutilización de componentes-materiales / Componentes-materiales totales
		%	Dar otro uso a los componentes-materiales / Componentes-materiales totales
		%	Componentes que van a vertedero-materiales / Componentes-materiales totales
	Genérica	Valor absoluto	Eficiencia del componente-producto
		Lista	Listado de componentes con mayor tasa de fallo
General	Genérica	Valor absoluto	Digitalización de la información

**Tabla 70:** Indicadores definidos para el área funcional de Recursos Humanos

Indicador	Estrategias de EC	Unidad de medida	Forma de cálculo
		%	Nº de formaciones sobre EC / Nº formaciones generales
		%	Nº personas formadas en EC / Nº de trabajadores
Personal	Genérica	%	Nº personas contratadas con conocimiento en EC / Nº de personas totales contratadas
		%	Tasa de abstención
		Valor absoluto	Digitalización de la información
General	Genérica	-	Número de personas expuestas a niveles de ruido insalubres (día/noche)

**Tabla 71:** Indicadores definidos para todas las áreas funcionales considerando la operativa

Indicador	Estrategias de EC	Unidad de medida	Forma de cálculo
Cantidad de papel por persona trabajadora	Regenerar	%	Unidades de papel reciclado utilizadas (de origen renovable, certificados, etc.) / Unidades de papel total
	Optimizar recursos	%	Unidades de papel por persona trabajadora / Unidades de papel total departamento
	Alargar la vida útil	%	Unidades de papel reutilizadas / Unidades de papel total
	Cierre de ciclos	%	Unidades de papel recicladas / Unidades de papel totales
Consumo eléctrico	Optimizar recursos	%	Horas de encendido de dispositivos eléctricos por persona trabajadora / Horas de trabajo
		%	Horas de luz consumida por departamento / Horas de trabajo del departamento
Transporte sostenible	Regenerar	%	Unidades de vehículos cero emisiones o híbridos / Unidades de vehículos totales
	Optimizar recursos	%	Kilómetros recorridos en transporte público / Kilómetros totales recorridos
	Alargar la vida útil	%	Unidades de vehículos reacondicionados-remanufacturados / Unidades de vehículos totales
	Cierre de ciclos	%	Número de unidades vendidas para segunda mano / Número de unidades totales en su fin de vida
	Genérica	%	Número de reuniones online / Número de reuniones totales
Teletrabajo	Genérica	%	Número de días de teletrabajo / Número días totales trabajados
Residuos	Cierre de ciclos	%	Residuos Sólidos Urbanos (RSU) que se reciclan / RSU total
		%	RSU que se reutilizan / RSU total
		%	RSU que se obtienen coproductos / RSU total
		%	RSU que se valorizan / RSU total
		%	RSU que va a vertedero / RSU total
Mejora	Genérica	Valor absoluto	Nº de nuevas propuestas por persona/año



