

Análisis comparativo de las políticas nacionales de economía circular en el ámbito europeo

Vicente Sanz Torró,
Consuelo Calafat Marzal y
José Manuel Guaita Martínez

3.1. Introducción

La neutralidad climática requiere un compromiso universal encaminado a lograr la tan deseada transición ecológica, modificando los hábitos de producción y consumo para orientarlos hacia prácticas sostenibles. En este sentido, la Unión Europea (UE) aspira a liderar esta etapa y convertirse en un referente a nivel mundial, estableciendo las directrices necesarias para garantizar soluciones reales a la emergencia climática del planeta. Al amparo del Pacto Verde Europeo se ha marcado una senda política de trabajo, buscando herramientas jurídicas que favorezcan no solo aportar más de lo consumido, sino también la plena implicación de todos los territorios (European Commission, 2019), objetivo materializado mediante la Ley Europea del Clima (European Commission, 2021a). La apuesta por reducir las emisiones en al menos un 55% en 2030 (*Fit for 55*), el 90% en 2040 y el 100% en 2050, exige someter a todos los sectores eco-

nómicos a una profunda transformación, asignando un precio creciente a la contaminación (Comisión Europea, 2021b).

Esta transición requiere un modelo respetuoso con el medio ambiente, modificando el sistema económico tradicional basado en la linealidad de «extraer, producir, utilizar y desechar», otorgándole circularidad (Schot y Kanger, 2018; Boonman *et al.*, 2023). El objetivo último de la economía circular (EC) es ampliar la vida útil de los productos mediante la reutilización, renovación, reparación y reciclaje de materiales, reduciendo al máximo la generación de residuos (Arieniwa *et al.*, 2024). Las cifras hablan por sí solas, actualmente cada europeo origina casi 180 kg de envases al año, la industria es responsable del 9,10% de las emisiones de gases de efecto invernadero, mientras que la gestión de residuos tan solo representa el 3,32%. Problemática agravada por el déficit comercial de materias primas, en 2021 las importaciones superaban a las exportaciones en más de 35.500 millones de euros (European Parliament, 2023).

Esta necesaria evolución hacia la circularidad exige desacoplar el crecimiento económico del uso de recursos, instaurando la EC en todos los niveles de la vida cotidiana y la industria. Ello permitirá suavizar la presión existente sobre las materias primas, así como la pérdida de biodiversidad (European Commission, 2020a). Sin embargo, queda mucho por hacer, las estimaciones de Bianchi y Cordella (2023) revelan que los recursos vinculados al crecimiento cuatuplican el ahorro conseguido por las distintas iniciativas de EC. Se precisa un gran esfuerzo de todas las partes implicadas, fomentando la innovación y el apoyo social a los más vulnerables para conseguir su completa implantación (European Commission, 2023). El fomento de la educación y la comunicación ayudan a la concienciación de la población y a la adopción de medidas encaminadas a reducir la demanda de bienes naturales (Cooney *et al.*, 2023).

La EC ha despertado un gran interés en la comunidad científica buscando evidencias que faciliten y mejoren su expansión. Así, por ejemplo, autores como Piscicelli (2023) y Neligan *et al.* (2022) analizan el papel de las nuevas tecnologías digitales como vía para maximizar el uso de recursos, minimizando las emisiones y los residuos. Otros se han centrado en sectores concretos como la construcción (Ding *et al.*, 2023), la industria textil (Reike *et al.*, 2023), la cadena de suministros de alimentos (Kumar *et al.*, 2023) e incluso en la vinculación de la EC con un desempeño empresarial sostenible (Yin *et al.*, 2023). Todos ellos con el propósito común de allanar la ardua tarea de frenar el cambio climático.

Igualmente ha levantado un gran debate el estudio de la posible conexión entre la EC y las principales variables macroeconomías, crecimiento y empleo (Moreno-Mondéjar *et al.*, 2021; Sulich y Soloduch-Pelc, 2022). Se ha demostrado que determinadas políticas tributarias obstaculizan y amplían simultáneamente la adopción de nuevas tecnologías verdes. En este sentido, Ren y Albrecht (2023) verifican el papel dual de los impuestos ambientales, argumentando el efecto directo negativo sobre los fondos que podrían destinarse a la innovación en EC, y de forma paralela su posible vía de estímulo empresarial conducente a actividades potenciadoras de ahorro de recursos. Sin embargo, Aguilar-Hernández *et al.* (2021) confirman el impacto positivo de la presión fiscal sobre el PIB, el empleo y la reducción de emisiones, comprobando que limita la extracción y supone una fuente de ingresos públicos destinados a fomentar la eficiencia de las materias utilizadas. Por su parte, Caramilleri (2020) evalúa los planes de EC enfocados a cumplir con la neutralidad climática marcada por la Comisión Europea, sin obviar la competitividad internacional. Bongers y Casas (2022) demuestran la existencia de una relación positiva entre la circularidad de la economía y el desarrollo, cristalizado este último en producción y bienestar social.

La literatura confirma el nexo positivo existente entre políticas macroeconómicas e implementación de instrumentos de EC (Melo *et al.*, 2022; González Forastero, 2023; Murano y Tavares, 2023; Agovino *et al.*, 2024). Sin embargo, existe un gran vacío en torno a la evaluación de las medidas adoptadas para incrementar la eficiencia de los recursos naturales utilizados. Esta investigación trata de cubrirlo, realizando un estudio dirigido a cuantificar el grado de idoneidad de las estrategias adoptadas en materia de EC, identificando aquellos ítems que precisan mayor atención. Dado el liderazgo e implicación de la UE en la lucha contra el cambio climático, el estudio se ha centrado en aquellos países europeos que han aprobado políticas nacionales de EC. Concretamente, se han analizado 19 Estados miembros de la UE durante 2010-2022. Los resultados permitirán dar respuesta a las siguientes cuestiones de investigación:

Q1. ¿Las políticas nacionales se han traducido en sistemas de EC más eficientes? En caso afirmativo, ¿han logrado avances en productividad?

El desarrollo empírico del estudio planteado se ha realizado mediante el Data Envelopment Analysis (DEA), técnica no paramétrica ampliamente testada en la literatura. Además, se propone el Índice de Malmquist Secuencial (IMS) para obtener una valoración de las posibles mejoras en productividad, así como su origen. Las estadísticas de las variables que definen las actividades de EC de los países europeos han sido obtenidas de Eurostat

entre 2010 y 2022. Esta investigación realiza aportaciones novedosas que podrán ser directamente aplicables por los organismos públicos de la UE. Concretamente destacan las siguientes evidencias a nivel nacional: (1) se obtiene una medida cuantitativa del impacto de las políticas implementadas, permitiendo a los responsables conocer la valía de sus esfuerzos; y (2) se detectan los avances en productividad acaecidos durante el periodo analizado.

El artículo se estructura de la siguiente forma: en el apartado 2 se realiza una revisión de la literatura para determinar el marco conceptual del estudio; en el 3 se presenta la metodología y las variables utilizadas; en el 4 se analizan los resultados obtenidos en el análisis empírico, así como una discusión con el paradigma existente; y, por último, las conclusiones, contribución del estudio y limitaciones se resumen en el apartado 5.

3.2. Marco conceptual de economía circular

Las exigencias climáticas acordadas en las sucesivas reuniones de la Conferencia de las Partes (COP) celebradas anualmente desde 1995 han posicionado la EC como uno de los instrumentos prioritarios para frenar el declive medioambiental. Sin embargo, y a pesar de la gran implicación de sus 197 países miembros, su materialización en medidas concretas no está consiguiendo una expansión uniforme. Así, por ejemplo, mientras China ha centrado su foco de actuación en los residuos, la UE considera primordial el consumo y diseño de productos, siendo la durabilidad, la reparación y el reciclaje elementos esenciales (McDowall *et al.*, 2017). Estados Unidos, por su parte, está fomentando la innovación en energía nuclear como fuente limpia y fiable a incorporar en las iniciativas de EC (Hassan *et al.*, 2023). En ocasiones, la inclusión de leyes y regulaciones que chocan con las prioridades territoriales provocan ritmos de avance desiguales, si cabe más lentos en los países en desarrollo (Toker y Görener, 2023).

Los responsables de la formulación de las normas gubernamentales analizan las barreras existentes para conseguir superarlas y lograr el impulso demandado en esta transición. Los aspectos sociales y políticos deben ir asociados a otros técnicos y medioambientales, buscando estrategias concretas para cada material y sinergias viables que limiten los posibles fracasos debido a la falta de capacidad (Marsh *et al.*, 2022). Metzger *et al.* (2023) abogan por defender la libre circulación de conocimiento en aras del bien común mundial, de manera que todos los actores de la innovación compartan sus avances. Estudios como el de Siderius y Zink (2023) defienden la eficiencia técnica por encima de la eficiencia de mercado para que las políticas de economía circular no estén abocadas al fracaso. Los

nuevos modelos circulares reclaman formas de producir verdes, donde se refuerce el control de la contaminación y la gestión de recursos, debiendo superar innumerables obstáculos institucionales, organizativos, sociales y tecnológicos (Díaz-López *et al.*, 2019).

La colaboración entre gobiernos, universidades y empresas brinda grandes oportunidades, encauzadas a reforzar los efectos de la EC sobre la calidad del aire y el agua, el consumo de energía, los residuos e incluso el uso de la tierra, favoreciendo el cuidado del planeta (Yang *et al.*, 2022). El éxito dependerá del grado de participación de todas las partes interesadas (organismos gubernamentales, industrias manufactureras y empresas individuales) y del entendimiento de los desafíos enfrentados en los diferentes sectores (Grafström y Aasma, 2021). Según Gedam *et al.* (2021), la falta de *know-how*, innovación y beneficios económicos constituyen las principales trabas que ralentizan el avance de la EC.

Existe, por tanto, una imperiosa necesidad de modificar todos los sistemas productivos, obligando a las empresas a innovar para conseguir ofrecer productos competitivos y ambientalmente adecuados (Suchek *et al.*, 2021). La digitalización facilita la cooperación entre las partes acelerando la transición hacia modelos limpios y eficientes (Khatami *et al.*, 2023). Sin embargo, su grado de implantación y la normativa requerida están condicionados por el sector industrial y el tamaño de las empresas, destacando las manufactureras por la limitada utilización de tecnología digital capaz de respaldar acciones sostenibles (Schöggl *et al.*, 2023).

Las directrices oficiales, los modelos de negocio y la concienciación de la población constituyen el eje central sobre el que gira el éxito de esta transición (Wasserbaur *et al.*, 2022). Los estudios de la comunidad científica han arrogado luz a los responsables públicos y privados para suavizar este camino de no retorno. La situación del planeta exige cambios radicales a todos los niveles con la finalidad de intentar frenar el deterioro medioambiental, cuyas consecuencias son cada vez más visibles. Ante esta situación existe un deber universal de modificar los modelos de producción y consumo, para hacerlos más respetuosos. Sin embargo, la realidad revela grados de implicación diferentes con retrasos en el cumplimiento de los objetivos marcados en las COPs. De ahí la importancia de disponer de una valoración de las políticas nacionales adoptadas por una de las entidades geopolíticas más comprometidas con el cambio climático, la UE.

3.3. Datos y metodología

La necesidad de definir un modelo circular se hace evidente, considerando aspectos como el carácter finito de las materias primas, su demanda creciente, la dependencia exterior y el desgaste medioambiental. El modelo ha sido diseñado para poder evaluar el desempeño alcanzado por cada país en las fases definidas, así como el posible impacto de las políticas naciones de EC. El objetivo final está orientado a garantizar la sostenibilidad global, la resiliencia y la participación internacional a través del comercio. La información estadística de todas las variables ha sido obtenida de Eurostat, abarcando un periodo de 13 años, desde 2010 hasta los últimos datos disponibles, 2022.

3.3.1. Métodos: Análisis envolvente de datos e índice secuencial de Malmquist

El DEA es una técnica no paramétrica de programación lineal enfocada a medir la eficiencia relativa de un conjunto de unidades de decisión (DMUs), definidas por múltiples *inputs* y *outputs*. El origen de esta metodología se atribuye a Charnes *et al.* (1978), como extensión directa del trabajo de Farrell (1957). Consiste en construir, a partir de una función de producción, una frontera eficiente formada por aquellas DMUs que han sido capaces de maximizar sus *outputs* con los recursos disponibles (orientación *output*, oo) o viceversa, minimizar los recursos para obtener un volumen de *output* establecido (orientación *input*, oi). El grado de ineficiencia del resto de DMUs se mide mediante su distancia a la frontera definida. Inicialmente se le otorgó un carácter lineal, atribuyéndole rendimientos constantes a escala, es decir, modificaciones proporcionales de *inputs* y *outputs*. Ante esta limitación, Banker *et al.* (1984) desarrolló el DEA en un entorno de rendimientos variables a escala (VRS), aportándole mayor flexibilidad. Esta metodología está siendo ampliamente utilizada en estudios de sostenibilidad como el ahorro de suministros (García-Mollá *et al.*, 2021), innovación (Puertas *et al.*, 2022), social *start-ups* (Sanchez-Robles *et al.*, 2023) e incluso políticas de seguridad hídrica (Castro-Pardo *et al.*, 2022).

En esta investigación, dadas las características de las cuestiones planteadas, se propone un DEA con oo y VRS, buscando maximizar los *outputs* con los recursos disponibles y permitiendo la libre modificación de las variables que definen el modelo. Además, se le ha otorgado carácter intertemporal, habilitando las comparaciones entre los distintos niveles de eficiencia (Cruz-Cázares *et al.*, 2013; Bresciani *et al.*, 2022). El DEA evalúa las DMUs, detectando las similitudes entre todas aquellas que definen la muestra, de ahí la necesidad de construir una sola frontera eficiente y contemplar

la amplitud de los años de estudio, evitando construir fronteras anuales que impediría el estudio de analogías. Las DMUs eficientes serán aquellas que obtengan una puntuación igual a 1, siendo el exceso sobre la unidad el nivel de ineficiencia de la DMU en cuestión. La segunda cuestión de investigación se resuelve realizando un análisis individualizado de todas las variables que han definido el modelo propuesto, comparando su *target* con el valor original.

El Índice de Malmquist, originariamente propuesto por Caves *et al.* (1982) y desarrollado por Färe *et al.* (1998), determina el cambio en productividad y su origen, es decir, si este se debe a mejoras tecnológicas (T_c) y/o de eficiencia (E_c). Se calcula midiendo la distancia respecto de la frontera tecnológica de cada DMU en dos periodos de tiempo consecutivos (t , $t+1$). Concretamente se ha utilizado el IMS, contemplando la acumulación de conocimiento en el tiempo, evitando así tener que considerar pérdidas tecnológicas. Esto último sería difícilmente explicable en un sector que está constantemente introduciendo herramientas novedosas (Tulkens y Vanden Eeckaut, 1995). IMS alcanza valores mayores, iguales o inferiores a la unidad: $IMS > 1$ refleja crecimientos en productividad ($1 - IMS$), $IMS = 1$ cuando se ha mantenido estable, y $IMS < 1$ evidencia descensos en productividad ($IMS - 1$).

Se ha formulado un modelo en dos etapas para aportar información adicional y evitar el tratamiento de «black boxes» de las DMUs, aportando luz a los pasos intermedios hasta alcanzar los *outputs* deseados (Omrani *et al.*, 2022). De esta forma, los *inputs* iniciales se utilizan para obtener los *outputs* de la fase intermedia y, posteriormente, estos últimos facilitarán la generación del producto final (Tavana *et al.*, 2018). La estructura propuesta en la figura 3.1 refleja adecuadamente las etapas de la EC. Sin perder el objetivo final de alcanzar la limpieza ambiental, se evalúa la autosuficiencia, así como el grado de colaboración internacional.

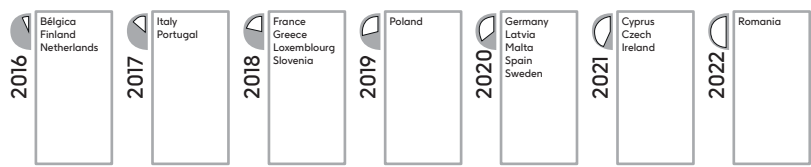
3.3.2. Datos

La UE ha demostrado un intenso compromiso con el cambio climático desde 2015, aprobando distintos planes de acción encaminados a crear un marco sólido y coherente para luchar contra el consumo excesivo de materias primas, potenciando la gestión de residuos desde las fases iniciales del diseño de los productos (European Commission, 2015, 2020b). Sin embargo, dada la complejidad aneja al desarrollo de las políticas de EC, su traslación a normativas institucionales ha conllevado un *decalaje*, reflejo del grado de implicación de los distintos Gobiernos. Este diferencial de tiempo ha marcado las desigualdades en el avance de cada territorio. En la

figura 3.1 se señalan los 19 Estados miembros que han adoptado políticas nacionales de EC y su año de aprobación (Geerken *et al.*, 2022).

Figura 3.1

Políticas nacionales de EC adoptadas por los Estados miembros de la UE



Rumanía ha sido eliminada de la muestra por carecer de información estadística posterior a 2022, impidiendo la valoración del efecto de sus normativas. Las variables utilizadas han buscado conformar las distintas fases de la EC, desde el inicio, donde se contempla la extracción, gestión de residuos e importación de materia prima, hasta sus impactos globales sobre el territorio (tabla 3.1). Se han expresado en términos per cápita, evitando que el tamaño de los países pudiera condicionar los resultados.

Tabla 3.1

Variables de las fases de economía circular

Fase 1. Generación EC			
Input	Extracción nacional	Material natural extraído para su incorporación al proceso productivo	Toneladas per cápita
Input	Residuos generados	Residuos generados por hogares, comercio, oficinas, instituciones públicas	Kilogramos per cápita
Input	Importación materiales	Compra de recursos naturales a otros países	Toneladas per cápita
Output	Tasa de circularidad	Porcentaje de material reciclado y reincorporado a la economía en el uso total de materiales	Porcentaje
Output	Productividad recursos	Producto interior bruto dividido por el consumo interno de materiales	Euro por kilogramo

Fase 2. Impacto EC			
Input	Tasa de circularidad	Porcentaje de material reciclado y reincorporado a la economía en el uso total de materiales	Porcentaje
Input	Productividad recursos	Producto interior bruto dividido por el consumo interno de materiales	Euro por kilogramo
Output indeseado	Huella de consumo	El impacto medioambiental del consumo	Weighted Score per inhabitant
Output indeseado	Emisiones GEI	Emisiones de GEI procedentes de todas las actividades productivas	Kilogramos per cápita
Output	Autosuficiencia material	Grado de independencia del país respecto al resto del mundo en lo que se refiere a varias materias primas	Porcentaje
Output	Exportación residuos	Comercio de residuos entre países para su posterior tratamiento	Toneladas per cápita

Nota: GEI, Gases de efecto invernadero.

Las variables de la fase 1 permiten calcular el nivel de eficiencia de los países al transformar sus recursos en productividad y circularidad. Mientras que en la fase 2 se mide si dichas prácticas han sido capaces de reducir la dependencia exterior, contribuyendo a alcanzar la neutralidad climática y ayudando al comercio de materias primas reciclables. Los estadísticos descriptivos corroboran las discrepancias existentes entre los países analizados (Anexo. Tabla 1A).

3.4. Resultados y discusión

Q1. ¿Las políticas nacionales se han traducido en sistemas de EC más eficientes? En caso afirmativo, ¿han logrado avances en productividad?

A pesar del intenso compromiso de la UE con el cambio climático, los Estados miembros han precisado un desfase más o menos amplio para adaptar sus normativas internas a estas exigencias comunitarias, quedando todavía algunos territorios por regular. La investigación realizada busca, en primer lugar, determinar el grado de idoneidad de estas políticas, calculando

para ello el nivel de eficiencia alcanzado en las distintas etapas de la EC, antes y después de su aplicación. En la tabla 3.2 se recogen los resultados obtenidos mediante el DEA intertemporal. Concretamente, se expone en la columna: (2) el año de adopción de las políticas nacionales (t); (3), (4) y (5) los niveles de eficiencia medios alcanzados en las etapas 1, 2, así como en el global EC respectivamente, durante (2010 - t); (6), (7) y (8) siguiendo el patrón, los resultados medios desde $t + 1$ hasta 2022; y, por último, (9) las consecuencias de las normativas gubernamentales, calculadas por la diferencia entre (8) y (5). El exceso sobre la unidad refleja el grado de ineficiencia. Así, cabe destacar que, en Bélgica, antes de las directrices de EC, el sistema alcanzaba una ineficiencia del 30,2%, donde el 16% correspondía a la primera etapa y el 12,2% a la segunda. Tras aprobar la normativa en 2016, la ineficiencia cae al 6,2%, demostrando que las políticas nacionales de EC han mejorado la circularidad en 24 puntos porcentuales.

De forma casi generalizada se aprecia un impacto positivo, destacando el comportamiento de Alemania e Irlanda, países en los que, a pesar de haber dilatado la introducción de la normativa específica de EC, muestran avances que superan el 31 y el 29%, respectivamente. En términos medios, los efectos en la UE han sido superiores en la primera etapa (18,3 - 9,5 = 8,8%) que en la segunda (1,4%), alcanzando una mejora conjunta del 13,3% (tabla 3.2). Estos resultados permiten confirmar que la implementación de políticas nacionales de EC se ha traducido en sistemas más eficientes, optimizando las tasas de circularidad y productividad, y en menor medida, pero también con un impacto notable, la limpieza climática, así como el nivel de autosuficiencia y cooperación internacional.

A pesar de que todas las normativas aplicadas se rigen por la causa común de lograr la neutralidad climática, las tácticas utilizadas difieren según territorios. La estrategia de EC alemana recogida en el Programa de Eficiencia de Recursos-ProgRes III aprobado en 2020 actúa bajo los siguientes principios rectores: (1) asociar las necesidades ecológicas a las oportunidades económicas, innovadoras y de compromiso social; (2) guiar la política nacional de recursos hacia la responsabilidad global; (3) reducir la dependencia de las materias primas y potenciar el reciclaje; (4) apoyar el crecimiento cualitativo fortaleciendo el uso sostenible de recursos a largo plazo (Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection, 2020). Mientras que, en Irlanda, la estrategia adoptada combina la eliminación de los combustibles fósiles y la introducción de la circularidad en los procesos de fabricación, mediante medidas orientadas a la producción y el consumo sostenible. Su normativa se ha centrado en la preservación de recursos, sensibilizando a los hogares, empresas y particulares sobre la importancia de la EC. El Gobierno ha

respaldado el aumento de la inversión en todos los territorios, abordando activamente la eliminación de las barreras económicas, regulatorias y sociales de esta transición (Government of Ireland, 2021).

Tabla 3.2
Impacto de las políticas nacionales de EC

EFF antes de políticas nacionales					EFF después de políticas			Efecto de las políticas nacionales (%)
País	Políticas nacionales	EFF Etapa1 [2010-t]	EFF Etapa2 [2010-t]	EFF EC [2010-t]	EFF Etapa1 [(t+1)-2022]	EFF Etapa2 [(t+1)-2022]	EFF EC [(t+1)-2022]	
Bélgica	2016	1,160	1,122	1,302	1,007	1,054	1,062	24,0
Chipre	2021	1,321	1,124	1,484	1,224	1,127	1,379	10,5
Rep. Checa	2021	1,119	1,033	1,155	1	1,057	1,057	9,8
Dinamarca	2018	1,298	1,114	1,445	1,174	1,131	1,327	11,8
Finlandia	2016	1,277	1,054	1,345	1,266	1,019	1,290	5,5
Francia	2018	1,180	1,081	1,276	1,127	1,033	1,164	11,2
Alemania	2020	1,264	1,235	1,560	1,077	1,153	1,241	31,9
Grecia	2018	1,203	1,012	1,218	1,138	1,021	1,162	5,6
Irlanda	2021	1,287	1,167	1,502	1,073	1,128	1,210	29,2
Italia	2017	1,154	1,126	1,299	1,082	1,123	1,216	8,4
Letonia	2020	1,182	1,016	1,200	1,060	1	1,060	14,0
Luxemburgo	2018	1,101	1,303	1,435	1,014	1,477	1,498	-
Malta	2020	1,081	1,113	1,203	1	1,002	1,002	20,2
Países Bajos	2016	1,015	1,104	1,120	1,009	1,081	1,091	2,9
Polonia	2019	1,040	1,012	1,053	1,072	1,024	1,097	-
Portugal	2017	1,280	1,031	1,319	1,177	1,029	1,211	10,8
Eslovenia	2018	1,170	1,017	1,191	1,119	1,014	1,134	5,6
España	2020	1,111	1,051	1,167	1,055	1,027	1,083	8,4
Suecia	2020	1,238	1,047	1,296	1,134	1	1,134	16,2
Promedio		1,183	1,093	1,293	1,095	1,079	1,180	13,3

Otros, como Países Bajos, cuyo programa se aprobó en 2016, están más orientados al diseño de productos circulares, donde se impulse la utilización de materias primas renovables reduciendo la dependencia (Ministry

of Infrastructure and Water Management, 2016). Por su parte, Francia ha puesto el foco en los métodos de recogida de residuos, prestando especial atención a los envases de plástico y al residuo biodegradable municipal. Se exige a los ciudadanos una mayor participación en su clasificación, ofreciéndoles los instrumentos necesarios para ello. El Gobierno respalda estos objetivos con incentivos sobre precios para la gestión de residuos, un impuesto general sobre actividades contaminantes y, en definitiva, un marco regulatorio eficiente. Estas iniciativas se han traducido en un aumento progresivo de las tasas de reciclaje, disminuyendo los biorresiduos (Ministerio de la Transición Ecológica y la Solidaridad, 2018). En la tabla 3.2 se constata una notable mejora de la eficiencia francesa (11,2%), siendo menor en Países Bajos (2,9%).

Dinamarca, por su parte, ha impulsado la transición mediante el apoyo económico a la recirculación de materiales y a la innovación medioambiental, manifestando la necesidad de mayores estímulos estatales para potenciar la reparación y la transacción con fines sociales (Danish Government, 2018). En Portugal ha sido el sector público el que ha demostrado una gran vinculación con la agenda circular, no apoyada por el sector privado (República Portuguesa, 2017). A diferencia de España, donde existe una implicación conjunta de la población, los sectores productivos y las autoridades, demandando esfuerzos para reducir el uso de materias primas y la producción de residuos, así como la descarbonización mediante la adaptación de infraestructuras y consumo local (Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, 2020). En definitiva, se puede concluir que las características propias de cada país condicionan las estrategias implementadas y, en ocasiones, el resultado de las mismas, cuyo éxito en términos de eficiencia oscila entre el 31,9% de Alemania y el 2,9% de Países Bajos.

En segundo lugar, se han calculado los cambios en productividad acaecidos tras la implantación de las políticas nacionales. En la tabla 3.3 se muestra un leve crecimiento del 2,3% en el global de la EC (IMS, columna 9), donde el 4,3% (IMS, columna 3) corresponde a la primera etapa, experimentándose una ligera caída en la segunda (IMS, columna 6). Además, se comprueba que estos cambios se deben exclusivamente a la mejora tecnológica que llega a alcanzar el 5,8% en la primera etapa (Tc, columna 4) y el 2,5% en la segunda (Tc, columna 7), aumento, este último, atribuido casi en exclusividad a Irlanda (36,8%), y en menor medida a Finlandia (8,2%) y Luxemburgo (2,5%). Sin embargo, la eficiencia no ha experimentado crecimientos visibles en ninguna de las etapas analizadas, hecho que confirma la necesidad de realizar un uso más adecuado de los recursos para poder mejorar los resultados de circularidad potenciando los crecimientos en productividad.

Según Hailemariam y Erdiaw-Kwasie (2023), los Gobiernos deben predicar con el ejemplo, incitando a las empresas a adoptar prácticas que reduzcan las emisiones. Esto requiere marcos regulatorios sólidos, así como un programa educativo con firmes valores ambientales, sin escatimar recursos destinados a subvenciones, subsidios o créditos fiscales para alcanzar la neutralidad climática. En este sentido, UI-Durar *et al.* (2023) evidencian la conexión entre innovación ambiental y EC, siendo los gestores de políticas sostenibles los que han de alentar el aprendizaje para orientar a las organizaciones hacia prácticas circulares. Jesus y Jugend (2023) consideran que la innovación abierta podría ser el instrumento idóneo para alcanzar las metas propuestas, necesitando la colaboración entre las partes interesadas para conseguir alinear objetivos.

Tabla 3.3
Crecimientos en productividad tras la aprobación de las políticas nacionales de EC

País	Políticas nacionales t	Fase 1			Fase 2			EC		
		IMS [(t+1)-2022]	Tc [(t+1)-2022]	Ec [(t+1)-2022]	IMS [(t+1)-2022]	Tc [(t+1)-2022]	Ec [(t+1)-2022]	IMS [(t+1)-2022]	Tc [(t+1)-2022]	Ec [(t+1)-2022]
Bélgica	2016	1,024	1,024	1	0,977	1	0,977	1,001	1,024	0,977
Chipre	2021	1,075	1,120	0,960	0,877	1	0,877	0,943	1,120	0,842
Rep. Checa	2021	1,114	1,114	1	0,907	1	0,907	1,011	1,114	0,907
Dinamarca	2018	1,035	1,053	0,984	1	1	1	1,035	1,053	0,984
Finlandia	2016	1,023	1,053	0,972	1,106	1,082	1,020	1,131	1,139	0,993
Francia	2018	1,019	1,034	0,986	0,991	1	0,992	1,010	1,034	0,977
Alemania	2020	1,044	1,060	0,985	0,956	1	0,957	0,998	1,060	0,942
Grecia	2018	1,022	1,046	0,978	0,977	1	0,976	0,999	1,046	0,955
Irlanda	2021	1,071	1,073	0,998	1,110	1,368	0,811	1,188	1,468	0,810
Italia	2017	1,012	1,032	0,981	1,009	1	1,009	1,021	1,032	0,990
Letonia	2020	1,098	1,099	0,999	0,989	1	0,988	1,085	1,099	0,987
Luxemburgo	2018	1,041	1,041	1	1,101	1,025	1,034	1,147	1,067	1,075
Malta	2020	1,030	1,037	0,994	0,829	1	0,829	0,854	1,037	0,824
Países Bajos	2016	1,044	1,044	1	0,973	1	0,974	1,016	1,044	0,973
Polonia	2019	1,024	1,045	0,980	0,985	1	0,985	1,009	1,045	0,965
Portugal	2017	1,026	1,056	0,972	0,993	1	0,992	1,019	1,056	0,965
Eslovenia	2018	1,031	1,050	0,982	0,979	1	0,979	1,009	1,050	0,961
España	2020	1,036	1,053	0,984	0,899	1	0,902	0,932	1,053	0,885
Suecia	2020	1,038	1,062	0,978	0,982	1	0,982	1,020	1,062	0,961
Promedio		1,043	1,058	0,986	0,981	1,025	0,957	1,023	1,084	0,946

En el trabajo de Chioatto y Sospiro (2022), a diferencia de lo mostrado en las tablas 3.2 y 3.3, se han obtenido evidencias de la existencia de una leve convergencia positiva de los países europeos hacia la gestión sostenible de residuos, presentando un gran déficit en cuanto a la fabricación de materias primas secundarias. Además, los autores manifiestan la necesidad de enfocar los esfuerzos en el diseño de productos ambientalmente respetuosos, proporcionando más ayuda financiera a las industrias para solventar las barreras tecnológicas existentes. Según Marino y Parisino (2020), la reducción de la brecha existente entre los países analizados exige estructuras económicas fuertes, mayor voluntad de los Gobiernos y cultura empresarial apoyada por una concienciación más intensa de la población.

3.5. Conclusiones

El planeta se halla en estado de alarma, el cambio climático es una realidad que exige a toda la población una modificación de los hábitos de consumo y producción para frenar la degradación medioambiental. La EC ha sido diseñada como instrumento clave para reducir la extracción de materias primas y alcanzar la neutralidad climática, alargando la vida útil de los productos. Sin embargo, su aplicación exige compromisos y esfuerzos que, en ocasiones, contradicen las pretensiones privadas y públicas de los territorios. La UE está capitaneando esta batalla, obligando a sus Estados miembros a aprobar leyes cada vez más estrictas sobre el reciclaje, los envases, la reparación y el impulso de los productos sostenibles.

En esta investigación se ha realizado un análisis del impacto de las normativas de EC aplicadas en los distintos países, con objeto de poder detectar desviaciones e intensificar las medidas. Los resultados revelan que, a pesar de la gran recepción de las directrices aprobadas, todavía queda mucho por hacer. Los diferentes ritmos de implementación son claro reflejo del grado de implicación de los países, en ocasiones con metas particulares contrarias a los objetivos globales de la Comisión Europea.

La Comisión Europea ha marcado un listón muy rígido a todos sus miembros, exigiendo nuevas formas de producir que, en muchas ocasiones, se están traduciendo en grandes quebrantos para los empresarios. Alcanzar las metas exigidas impone la necesidad de asociar importantes ayudas financieras y una normativa más estricta al comercio exterior, evitando la pérdida de competitividad frente a productos ajenos a la UE.

Las investigaciones apoyadas en información estadística presentan limitaciones sujetas a su divulgación. Concretamente, el estudio realizado podría verse reforzado si se dispusiera de datos correspondientes a 2023, así como

un mayor detalle de los estímulos y/o gravámenes impuestos por los diferentes gobernantes.

3.6. Bibliografía

Agovino, M., Cerciello, M., Musella, G. y Garofalo, A. (2024). European waste management regulations and the transition towards circular economy. A shift-and-share analysis. *Journal of Environmental Management*, 354, 120423. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120423>

Aguilar-Hernández, G. A., Dias Rodrigues, J. F. y Tukker, A. (2021). Macroeconomic, social and environmental impacts of a circular economy up to 2050: A meta-analysis of prospective studies. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123421. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123421>

Arijeniwa, V. F., Akinsemolu, A. A., Chukwugozie, D. C., Onawo, U. G., Ochulor, C. E., Nwauzoma, U. M., Kawino, D. A. y Onyeaka, H. (2024). Closing the loop: A framework for tackling single-use plastic waste in the food and beverage industry through circular economy —a review. *Journal of Environmental Management*, 359, 120816. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120816>

Banker, R. D., Charnes, A. y Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30, 1078-1092. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>

Bianchi, M. y Cordella, M. (2023). Does circular economy mitigate the extraction of natural resources? Empirical evidence based on analysis of 28 European economies over the past decade. *Ecological Economics*, 203, 107607. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107607>

Bongers, A. y Casas, P. (2022). The circular economy and the optimal recycling rate: A macroeconomic approach. *Ecological Economics*, 199, 107504. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107504>

Boonman, H., Verstraten, P. y Van der Weijde, A. H. (2023). Macroeconomic and environmental impacts of circular economy innovation policy. *Sustainable Production Consumption*, 35, 216-228. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.10.025>

Bresciani, S., Puertas, R., Ferraris, A. y Santoro, G. (2021). Innovation, environmental sustainability and economic development: DEA-Bootstrap and

multilevel analysis to compare two regions. *Technological Forecasting and Social Change*, 172, 121040. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121040>

Castro-Pardo, M., Fernández Martínez, P. y Pérez Zabaleta, A. (2022). An initial assessment of water security in Europe using a DEA approach. *Sustainable Technology and Entrepreneurship*, 1, 100002. <https://doi.org/10.1016/j.stae.2022.100002>

Caves, D. W., Christensen, L. R. y Diewert, W. E. (1982). Multilateral comparisons of output, input, and productivity using superlative index numbers. *Economic Journal*, 92, 73-86. <https://doi.org/10.2307/2232257>

Charnes, A., Cooper, W. W. y Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operation Research*, 2, 429-444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)

Chioatto, E. y Sospiro, P. (2023). Transition from waste management to circular economy: the European Union roadmap. *Environment, Development and Sustainability*, 25, 249-276. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-02050-3>

Cooney, R., Baptista de Sousa, D., Fernández-Ríos, A., Mellett, S., Rowan, N., Morse, A. P., Hayes, M., Laso, J., Regueiro, L., Wan, A. H. L. y Clifford, E. (2023). A circular economy framework for seafood waste valorisation to meet challenges and opportunities for intensive production and sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 392, 136283. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136283>

Cruz-Cázares, C., Bayona-Sáez, C. y García-Marco, T. (2013). You can't manage right what you can't measure well: *Technological innovation efficiency*. *Research Policy*, 42, 1239-1250. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2013.03.012>

Danish Government (2018). Strategy for circular economy. https://circular-economy.europa.eu/platform/sites/default/files/eng_mfvm_cirkulaer_oekonomi_as5_uk_final_web.pdf

Díaz-López, F. J., Ton Bastein, T. y Tukker, A. (2019). Business model innovation for resource-efficiency, circularity and cleaner production: What 143 cases tell us. *Ecological Economics*, 155, 20-35. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.03.009>

Ding, L., Wang, T. y Chan, P. W. (2023). Forward and reverse logistics for circular economy in construction: A systematic literature review.

Journal of Cleaner Production, 388, 135981. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135981>.

European Commission (2015). *Closing the loop. An EU action plan for the circular economy*. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF

European Commission (2019). *The European Green Deal*. Brussels.

European Commission (2020a). *Changing how we produce and consume: New Circular Economy Action Plan shows the way to a climate-neutral, competitive economy of empowered consumers. New Circular Economy Action Plan*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_420

European Commission (2020b). *A new circular economy action plan for a cleaner and more competitive Europe*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/DOC/?uri=CELEX:52020DC0098>

European Commission (2021a). *European climate law*. Brussels. <http://data.europa.eu/eli/reg/2021/1119/oj>

European Commission (2021b). *'Fit for 55': delivering the EU's 2030 climate target on the way to climate neutrality*. Brussels.

European Parliament (2023). *Circular economy: definition, importance and benefits*. <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20151201S-TO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits>

Färe, R., Grosskopf, S. y Roos, P. (1998). Malmquist productivity indexes: A survey of theory and practice. En R. Färe, S. Grosskopf y R. R. Russell (Eds.), *Index Numbers: Essays in Honour of Sten Malmquist* (pp. 127-190). Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4858-0_4

Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A*, 120, 253-290. <https://doi.org/10.2307/2343100>.

Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection (2020). *The German Resource Efficiency Program III*. <https://www.bmuv.de/en/publication/deutsches-ressourceneffizienzprogramm-iii-2020-bis-2023>

García-Mollá, M., Puertas, R. y Sanchis-Ibor, C. (2021). Application of Data Envelopment Analysis to evaluate investments in the modernization of collective management irrigation systems in Valencia (Spain). *Water Resources Management*, 35, 5011-5027. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02986-1>

Gedam, V. V., Raut, R. D., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Tanksale, A. N. y Narkhede, B. E. (2021). Circular economy practices in a developing economy: Barriers to be defeated. *Journal of Cleaner Production*, 311, 127670. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127670>

Geerken, T., Manoochchhri, S. y Di Francesco, E. (2022). *Circular economy policy innovation and good practice in Member States. ETC CE working paper*. European Environmental Agency. https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-ce/products/draft-report-for-dg-env_final.pdf

González Forastero, A. (2023). Resources, conservation and recycling advances circular economy in Andalusia: A review of public and non-governmental initiatives. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 17, 200133. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200133>

Government of Ireland (2021). *Whole of government circular economy strategy 2022-2023. Living more, using less*. <https://www.gov.ie/pdf/?file=https://assets.gov.ie/207622/bd90130d-494e-4d32-8757-46d36c77b912.pdf#page=null>

Grafström, J. y Aasma, S. (2021). Breaking circular economy barriers. *Journal of Cleaner Production*, 292, 126002. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126002>

Hailemariam, A. y Erdiaw-Kwasie, M. O. (2023). Towards a circular economy: Implications for emission reduction and environmental sustainability. *Business Strategy and the Environment*, 32, 1951-1965. <https://doi.org/10.1002/bse.3229>

Hassan, S. T., Wang, P., Khan, I. y Zhu, B. (2023). The impact of economic complexity, technology advancements, and nuclear energy consumption on the ecological footprint of the USA: Towards circular economy initiatives. *Gondwana Research*, 113, 237-246. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2022.11.001>

Jesus, G. M. K. y Jugend, D. (2023). How can open innovation contribute to circular economy adoption? Insights from a literature review. *European*

Journal of Innovation Management, 26, 65-98. <https://doi.org/10.1108/EJIM-01-2021-0022>

Khatami, F., Vilamová, Š., Cagno, E., De Bernardi, P., Neri, A. y Cantino, V. (2023). Efficiency of consumer behaviour and digital ecosystem in the generation of the plastic waste toward the circular economy. *Journal of Environmental Management*, 325, 116555. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116555>

Kumar, M., Raut, R. D., Jagtap, S. y Choubey, V. K. (2023). Circular economy adoption challenges in the food supply chain for sustainable development. *Business Strategy and the Environment*, 32, 1334-1356. <https://doi.org/10.1002/bse.3191>

Marino, A. y Pariso, P. (2020). Comparing European countries' performances in the transition towards the circular economy. *Science of the Total Environment*, 729, 138142. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138142>

Marsh, A. T. M., Velenturf, A. P. M. y Bernal, S. A. (2022). Circular Economy strategies for concrete: implementation and integration. *Journal of Cleaner Production*, 362, 132486. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132486>.

McDowall, W., Geng, Y., Huang, B., Barteková, E., Bleischwitz, R., Türkeli, S., Kemp, R. y Doménech, T. (2017). Circular Economy Policies in China and Europe. *Journal of Industrial Ecology*, 21, 651-661. <https://doi.org/10.1111/jiec.12597>

Melo, T. A. C., Oliveira, M. A., de Sousa, S., Vieira, R. K. y Amaral, T. S. (2022). Circular Economy Public Policies: A Systematic Literature Review. *Procedia Computer Science*, 204, 652-662. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.08.079>

Metzger, P., Mendonça, S., Silva, J. A. y Damásio, B. (2023). Battery innovation and the Circular Economy: What are patents revealing? *Renewable Energy*, 209, 516-532. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.03.132>.

Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (2018). *Roadmap for the circular economy: 50 measures for a 100% circular economy*. https://circular-economy.europa.eu/platform/sites/default/files/frec_anglais.pdf

Ministry of Infrastructure and Water Management (2016). *Government-wide programme for circular Dutch economy by 2050*. <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-a6ce8220-07e8-4b64-9f3d-e69bb4ed2f9c/pdf>

Moreno-Mondéjar, L., Triguero, A. y Cuerva, M. C. (2021). Exploring the association between circular economy strategies and green jobs in European companies. *Journal of Environmental Management*, 297, 113437. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113437>

Neligan, A., Baumgartner, R. J., Geissdoerfer, M. y Schöggel, J. P. (2023). Circular disruption: Digitalisation as a driver of circular economy business models. *Business Strategy and the Environment*, 32(3), 1175-1188. <https://doi.org/10.1002/bse.3100>

Omrani, H., Emrouznejad, A., Shamsi, M. y Fahimi, P. (2022). Evaluation of insurance companies considering uncertainty: A multi-objective network data envelopment analysis model with negative data and undesirable outputs. *Socio-Economic Planning Sciences*, 82 (Part B), 101306. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101306>

Piscicelli, L. (2023). The sustainability impact of a digital circular economy. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 61, 101251. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101251>

Puertas, R., Carracedo, P., Garcia-Mollá, M. y Vega, V. (2022). Analysis of the determinants of market capitalisation: Innovation, climate change policies and business context. *Technological Forecasting and Social Change*, 179, 121644. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121644>

Reike, D., Hekkert, M. P. y Negro, S. O. (2023). Understanding circular economy transitions: The case of circular textiles. *Business Strategy and the Environment*, 32(3), 1032-1058. <https://doi.org/10.1002/bse.3114>

Ren, Q. y Albrecht, J. (2023). Toward circular economy: The impact of policy instruments on circular economy innovation for European small medium enterprises. *Ecological Economics*, 207, 107761. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.107761>

República Portuguesa (2017). Lending the transition. Action plan for circular economy in Portugal: 2017-2020. Council of Ministers Resolution nº 190-A/2017. https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/strategy_-_portuguese_action_plan_paec_en_version_3.pdf

Sanchez-Robles, M., Soriano, D. R., Puertas, R. y Guaita Martínez, J. M. (2023). The role of social start-ups in entrepreneurial behaviour: the search for efficiency. *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*, 29(9/10), 2005-2022. <https://doi.org/10.1108/IJEBR-06-2023-0600>

Schögl, J. P., Rusch, M., Stumpf, L. y Baumgartner, R. J. (2023). Implementation of digital technologies for a circular economy and sustainability management in the manufacturing sector. *Sustainable Production and Consumption*, 35, 401-420. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.11.012>

Schot, J. y Kanger, L. (2018). Deep transitions: Emergence, acceleration, stabilization and directionality. *Research Policy*, 47(6), 1045-1059. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.03.009>

Siderius, T. y Zink, T. (2023). Markets and the future of the circular economy. *Circular Economy and Sustainability*, 3(3), 1569-1595. <https://doi.org/10.1007/s43615-022-00196-4>

Suchek, N., Fernandes, C. I., Kraus, S., Filser, M. y Sjögrén, H. (2021). Innovation and the circular economy: A systematic literature review. *Business Strategy and the Environment*, 30(8), 3686-3702. <https://doi.org/10.1002/bse.2834>

Sulich, A. y Sołoducho-Pelc, L. (2022). The circular economy and the Green Jobs creation. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 14231-14247. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16562-y>

Tavana, M., Izadikhah, M., Di Caprio, D. y Farzipoor Saen, R. (2018). A new dynamic range directional measure for two-stage data envelopment analysis models with negative data. *Computers & Industrial Engineering*, 115, 427-448, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.11.024>

Toker, K. y Görener, A. (2023). Evaluation of circular economy business models for SMEs using spherical fuzzy TOPSIS: an application from a developing countries' perspective. *Environment, Development and Sustainability*, 25, 1700-1741. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02119-7>

Tulkens, H. y Vanden Eeckaut, P. (1995). Non-parametric efficiency, progress and regress measures for panel data: Methodological aspects. *European Journal of Operational Research*, 80(3), 474-499. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)00132-V](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)00132-V)

Ul-Durar, S., Awan, U., Varma, A., Memon, S. y Mention, A.-L. (2023). Integrating knowledge management and orientation dynamics for organization transition from eco-innovation to circular economy. *Journal of Knowledge Management*, 27(8), 2217-2248. <https://doi.org/10.1108/JKM-05-2022-0424>

Wasserbaur, R., Sakao, T. y Milios, L. (2022). Interactions of governmental policies and business models for a circular economy: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 337, 130329. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130329>

Yang, M., Chen, L., Wang, J., Msigwa, G., Osman, A. I., Fawzy, S., Rooney, D. W. y Yap, P. S. (2023). Circular economy strategies for combating climate change and other environmental issues. *Environmental Chemistry Letters*, 21, 55-80. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01499-6>

Yin, S., Jia, F., Chen, L. y Wang, Q. (2023). Circular economy practices and sustainable performance: A meta-analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 190, 106838. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106838>

Anexo

Tabla 1A
Características descriptivas

	Extrac- ción nacio- nal	Resi- duos gene- rados	Impor- tación mate- riales	Tasa de circu- laridad	Pro- ducti- vidad recur- sos	Auto- sufi- ciencia mate- rial	Emi- siones GEI	Huella de consu- mo	Ex- por- tación resi- duos
Promedio	13,86	533,67	2,09	9,63	2,14	57,69	8,266,29	1,06	0,38
DT	8,64	126,32	1,04	6,82	1,09	20,04	3,034,54	0,18	0,31
Min	3,28	272,00	0,50	0,60	0,48	8,10	3,620,34	0,68	0,06
Max	45,99	862,00	4,65	29,00	5,44	84,70	16767,33	1,45	1,28
Nº obs.	247	247	247	247	247	247	247	247	247