



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ICADE

TRABAJO FIN DE GRADO.

**Relevancia de la industria del plástico en la
economía circular española.**

Autor:

Ballester Mirete, Antonio

Directora:

Martín Bujack, Karin Alejandra Irene

MADRID | JULIO 2023

Tabla de contenido

Resumen.....	1
Abstract	1
Introducción	2
1.1. Motivación del proyecto	2
1.2. Hipótesis del proyecto.....	3
1.3. Objetivos de investigación	3
2. Contextualización	4
2.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la Economía Circular	4
2.2. Gestión de residuos y reciclaje. Industria del plástico.....	6
2.3. Industria del plástico y de su reciclaje en España	8
3. Marco Teórico	9
4. Análisis Estadístico	12
4.1. Objetivo del análisis	12
4.2. Descripción del modelo estadístico	12
4.2.1. Tipología del Modelo.....	12
4.3. Variables del Modelo	13
4.4. Ejecución y resultados del análisis	24
4.4.1. Antecedentes del modelo	24
4.4.2. Resultados	26
4.4.3. Comprobación del modelo.....	28
5. Comparativa con otros países europeos.....	30
6. Conclusiones.....	35
6.1 Conclusiones de los hallazgos y resultados del modelo español	35
6.2 Limitaciones del estudio y áreas para futuras investigaciones	37
7. Bibliografía	39

Tabla de Figuras

Figura 1. Proceso de producción y reciclaje de plástico. Fuente: Plastics Europe, 2022a.....	6
Figura 2. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable VAB España Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT	15
Figura 3. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable RESTON España Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT	16
Figura 4. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable RES España Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT	16
Figura 5. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable RECTON España Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT	17
Figura 6. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable REC España Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT	17
Figura 7. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable RECRATE España Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT	18
Figura 8. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable RECOTON España. Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT.....	18
Figura 9. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable RECO España. Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT	19
Figura 10. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable INVMILL España Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT	19
Figura 11. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable INV España Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT	20
Figura 12. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable PIBABS España. Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT	20
Figura 13. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable PIB España Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT	21
Figura 14. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable BERDMILL España Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT.....	21
Figura 15. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable BERD España Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT	22
Figura 17. Resumen de variables. Elaboración propia.	23
Figura 18. Test Chi-cuadrado. Distribución normal de los residuos. Modelo 2 -España Elaboración propia.	30

Resumen

La economía circular emerge como una respuesta esencial a los desafíos globales de sostenibilidad, buscando maximizar la eficiencia en el uso de recursos y minimizar los residuos. Este estudio se centra en el análisis de la economía circular en España, con un enfoque profundo en el sector del plástico. El objetivo principal es identificar y analizar los factores estratégicos, tanto de carácter económico como los vinculados a la generación y al reciclaje de residuos plásticos, que influyen en la economía circular española. Se plantean preguntas cruciales: ¿Cómo puede impulsarse la sostenibilidad? ¿Qué factores realmente influyen en la economía circular? ¿Cuáles son los sectores más influyentes y desafiantes? ¿Tiene la industria del plástico un impacto significativo en el medio ambiente y en la economía circular de España?

El estudio establece las hipótesis y los objetivos de investigación, seguido de una contextualización de la economía circular, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), la gestión de residuos y el sector del plástico a nivel global, europeo y español. Se procede con una revisión de la literatura que sienta las bases teóricas para la implementación de un modelo de regresión lineal múltiple y la selección de las variables finales de modelado. Se ejecuta el modelo y se obtienen resultados para identificar las variables clave en la economía circular española. Finalmente, se presentan conclusiones y se realiza una comparativa del modelo en países miembros de la Unión Europea.

Palabras Clave: Economía circular, industria del envasado plástico, modelo de regresión lineal múltiple, Producto Interior Bruto (PIB), sector del plástico, Valor Agregado Bruto (VAB)

Abstract

The circular economy emerges as an essential response to global sustainability challenges, aiming to maximize resource efficiency and minimize waste. This study focuses on the analysis of the circular economy in Spain, with a deep emphasis on the plastic sector. The primary objective is to identify and analyze the strategic factors, both of an economic nature and those linked to the generation and recycling of plastic waste, that influence the Spanish circular economy. Crucial questions are posed: How can sustainability be promoted? What factors truly influence the circular economy? Which sectors are the most influential and challenging? Does the plastics industry have a significant impact on the environment and the circular economy in Spain?

The study establishes research hypotheses and objectives, followed by contextualization of the circular economy, the Sustainable Development Goals (SDGs), waste management, and the plastic sector on a global, European, and Spanish level. It proceeds with a literature review that lays the theoretical groundwork for implementing a multiple linear regression model and selecting the final modeling variables. The model is executed, yielding results to identify the key variables in the Spanish circular economy. Finally, conclusions are presented, and a comparative analysis of the model is conducted among the European Union member countries.

Keywords: Circular economy, Gross Domestic Product (GDP), Gross Value Added (GVA), multiple linear regression model, plastic packaging industry, plastic sector.

Introducción

La economía circular, la gestión de residuos, y el reciclaje de plástico son temas de creciente importancia en el contexto actual. La producción y el consumo insostenibles han llevado a la generación masiva de residuos, incluyendo la gran producción de plásticos de un solo uso, lo que ha generado graves problemas medioambientales. Los residuos contribuyen con un 3% al total de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial. Representan el cuarto sector más grande en términos de emisiones, quedando por detrás de la quema de combustibles (77%), la agricultura (10%) y los procesos industriales (8%). [Eurostat, 2020].

En España, al igual que en muchos otros países, la gestión adecuada de los residuos y la transición hacia una economía circular se han convertido en prioridades estratégicas sociales, medioambientales y económicas. La economía circular se basa en el principio de cerrar los ciclos de materiales y minimizar la generación de residuos, promoviendo la reutilización, el reciclaje y la valorización de los recursos. En este contexto, la industria del envasado plástico juega un papel crucial, ya que es uno de los principales generadores de residuos y, a su vez, presenta oportunidades significativas para la implementación de prácticas más sostenibles.

Este trabajo hace un breve recorrido por los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS), la economía circular, la gestión de residuos y la industria del reciclaje, seguido de un estudio del mercado del plástico y su reciclaje en España. El objetivo principal es analizar y cuantificar el impacto de diferentes factores estratégicos en la economía circular en España, con un enfoque específico en la industria del plástico y del envasado plástico. Primero, se realizará una revisión literaria de todos los estudios relevantes para después hacer un análisis econométrico que permitirá evaluar la relación entre estos factores y su contribución al desarrollo de una economía circular más sólida y sostenible.

1.1. Motivación del proyecto

La motivación de este proyecto se basa en la necesidad de abordar los desafíos ambientales y económicos asociados con la gestión de residuos y promover la adopción de prácticas más sostenibles en la industria del envasado plástico. La gestión inadecuada de los residuos plásticos ha generado problemas como la contaminación del suelo, del agua y la amenaza a la vida marina.

Existe una brecha significativa en la investigación que aborde de manera integral la relación entre la industria del envasado plástico y su impacto en la economía circular en España. Este estudio propone llenar ese vacío y descubrir nuevos conocimientos sobre cómo la industria del envasado plástico que, a pesar de su tamaño aparentemente modesto en comparación con otros sectores, desempeña un papel esencial en la economía circular del país.

Este trabajo tiene un alcance amplio que beneficia a la sociedad, a los tomadores de decisiones gubernamentales, a las empresas del sector plástico, a las organizaciones ambientales y a la comunidad académica. Ofrece orientación y datos concretos para avanzar hacia una economía circular más eficiente y una gestión de recursos más sostenible en España, lo que también se traduce en la generación de oportunidades económicas, como la creación de empleo, el desarrollo de nuevas tecnologías y la mejora de la competitividad empresarial. Al mismo tiempo aborda problemas críticos como la contaminación plástica y la conservación de nuestros recursos naturales.

El agotamiento de los recursos naturales y la dependencia de materias primas vírgenes plantean una urgencia para avanzar hacia una economía circular, donde los residuos se conviertan en recursos y se minimice la generación de nuevos residuos.

1.2. Hipótesis del proyecto

El objeto de la investigación es descubrir cómo afectan distintos factores estratégicos a la economía circular española. Las variables se categorizan según sean factores de carácter económico o factores vinculados a la generación y el reciclaje de residuos plásticos. De tal forma, planteamos las siguientes hipótesis:

La hipótesis inicial establece que la relación entre los factores vinculados a la generación y el reciclaje de residuos plásticos es positiva con la evolución de la economía circular en España. Se postula que una mayor generación de residuos plásticos y un mayor porcentaje de envases plásticos reciclados estará positivamente relacionado con un mayor Valor Agregado Bruto (VAB) en los sectores relacionados con la economía circular.

Asimismo, la hipótesis inicial también constituye que la relación entre los factores de carácter económico es positiva con el desarrollo de la economía circular. Se espera que una mayor inversión privada en dichas industrias esté asociada con un mayor VAB en la economía circular, y que la variación del PIB español sea directamente proporcional y positiva a dichos sectores.

El análisis estadístico de estos factores ayudará a confirmar o refutar estas hipótesis y proporcionará información valiosa para la toma de decisiones y la implementación de políticas en este ámbito.

1.3. Objetivos de investigación

Objetivo principal

1. Analizar el impacto que tienen factores de carácter económico y factores vinculados a la generación y al reciclaje de residuos plásticos en la economía circular española. Se va a cuantificar la relación del sector de envases plásticos – generación y reciclaje de residuos plásticos –, la inversión privada y la economía – evolución y variación del Producto Interior Bruto (PIB) – con la evolución y desarrollo – valor agregado bruto (VAB) - de la economía circular española en épocas de estabilidad, utilizando un modelo de regresión lineal múltiple.

Subobjetivos

- 1.1. Evaluar el impacto específico de factores vinculados a la generación y el reciclaje de residuos con enfoque en el sector de envases plásticos en la economía circular española.
 - Recopilar datos sobre la producción y el reciclaje de envases plásticos en España.
 - Analizar y cuantificar la contribución del sector del plástico, generación de residuos y porcentaje de reciclaje, con la generación de valor agregado en la economía circular.

1.2. Determinar el impacto de factores de índole económica como la inversión privada y la evolución y variación del Producto Interior Bruto (PIB) en el desarrollo de la economía circular en España.

- Recopilar datos sobre la inversión privada en proyectos relacionados con la economía circular en España.
- Recopilar datos históricos sobre el PIB español y su variación.
- Analizar y cuantificar la contribución de la inversión privada y el efecto de las variaciones del PIB a la generación de valor agregado de la economía circular española.

1.3. Identificar y clasificar las variables finales en función de su significación al modelo para entender que factores son más críticos en la economía circular española con el fin de focalizar en aquellos que influyen más en la evolución de estas industrias.

- Realizar un modelo de regresión lineal múltiple utilizando las variables finales seleccionadas.
- Evaluar la significancia estadística de cada variable en el modelo.

Objetivo adicional

2. Identificar posibles brechas entre los resultados del análisis y la realidad del mercado, y proponer recomendaciones o áreas de mejora.

- Contrastar los resultados obtenidos en el análisis estadístico con el contexto de la economía circular y la industria del plástico en España. Realizar una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre el mercado del de plástico en España.
- Comparar los resultados del análisis estadístico con las tendencias y desafíos identificados.

2. Contextualización

En este capítulo se establece la contextualización que sustenta la investigación, brindando una comprensión profunda de los conceptos clave en los que se basa este estudio. Se exploran los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, se analiza el concepto de economía circular y su pertinencia en la transición hacia un modelo económico más sostenible, y se profundiza en la gestión de residuos y el reciclaje, con un enfoque en el sector del plástico.

2.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la Economía Circular

"El desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas" [Brundtland,1978]. Esta es la definición de desarrollo sostenible más utilizada y consensuada a nivel global.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son un conjunto de metas globales adoptadas en 2015 por las Naciones Unidas. Estos objetivos representan un llamamiento unificado a nivel mundial para hacer frente a los problemas más críticos que afectan al desarrollo sostenible de la humanidad. Conformado por 17 objetivos interrelacionados y 169 metas específicas, los ODS abordan una amplia gama de desafíos [United Nations, 2015].

Estos objetivos se basan en la premisa de que el desarrollo sostenible no se trata solo de proteger el medio ambiente, sino también de promover la prosperidad económica y el bienestar social de las comunidades en todo el mundo. Cada ODS aborda una dimensión específica del desarrollo sostenible y busca equilibrar las necesidades actuales con la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades [United Nations Development Programme (UNDP), 2022].

Los ODS son relevantes para esta investigación ya que proporcionan un marco global que vincula directamente la gestión de residuos, la economía circular y el reciclaje con los esfuerzos mundiales para lograr un desarrollo más sostenible. Este estudio y análisis se vincula directamente con los ODS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles), 12 (Producción y Consumo Responsables) y 13 (Acción por el Clima) e indirectamente con el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura).

La economía circular es un sistema económico que sustituye el concepto de "fin de vida" con la reducción, la reutilización, el reciclaje y la recuperación de materiales en los procesos de producción, distribución y consumo. Opera a nivel micro (productos, empresas, consumidores), nivel meso (parques eco industriales) y nivel macro (ciudades, regiones, naciones) con el objetivo de lograr un desarrollo sostenible, al mismo tiempo que crea calidad ambiental, prosperidad económica y equidad social, en beneficio de las generaciones actuales y futuras. [Kirchherr et al., 2019, p229].

El concepto de economía circular surge para abordar los desafíos actuales de sostenibilidad, donde se busca transformar la economía tradicional lineal (extraer, fabricar, usar y desechar) en un sistema más circular y regenerativo. En este nuevo paradigma, los recursos se utilizan de manera más eficiente y sostenible, reduciendo al mínimo la generación de residuos y maximizando la reutilización y el reciclaje [Romero,2019]. La Economía Circular busca no solo reducir el impacto ambiental, sino también impulsar la innovación, la competitividad económica y la creación de empleo [Ellen MacArthur Foundation, 2015].

La economía circular presenta una serie de ventajas significativas, tanto en términos medioambientales como económicos. En primer lugar, reduce la generación de residuos y optimiza la utilización de recursos, lo que se traduce en una disminución de la presión sobre los vertederos y una menor contaminación ambiental (Stahel, 2016). Además, fomenta la innovación en el diseño de productos y servicios, impulsando la competitividad económica y generando empleo, lo que contribuye al crecimiento económico. Asimismo, su enfoque en la eficiencia en el uso de recursos conduce a ahorros sustanciales en costos de materias primas (Korhonen et al., 2018). Por último, la Economía Circular también tiene un impacto positivo en la reducción de la huella de carbono, ya que disminuye la demanda de materias primas y energía, lo que contribuye a la mitigación del cambio climático (Ghisellini et al., 2016).

2.2. Gestión de residuos y reciclaje. Industria del plástico.

La Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo define la gestión de residuos como un conjunto de acciones que abarcan desde la recolección y transporte de residuos hasta su valorización y eliminación. Esto también incluye la supervisión de estas actividades y el mantenimiento de vertederos después de su cierre [Parlamento Europeo, 2008]. Este conjunto de acciones busca determinar la mejor manera de gestionar los residuos generados en una región específica, teniendo en cuenta factores como sus características, cantidad, origen, capacidad de recuperación y venta, costo de tratamiento y cumplimiento de regulaciones, con el objetivo de tomar decisiones que sean económicamente viables y respetuosas con el medio ambiente. [André & Cerdá, 2006].

Según el Banco Mundial, los desechos a nivel global aumentarán en un 70% para el año 2050, de 2,01 billones de toneladas de residuos anuales en 2018 a 3,4 billones de toneladas, si se mantiene el ritmo de producción de residuos actual y el bajo nivel de gestión y reciclaje a nivel mundial. [Kaza et al, 2018].

La gestión de los desechos de plástico a nivel global se enfrenta a notables desafíos debido al continuo incremento en la producción de estos materiales. Se estima que se han generado más de 8,3 mil millones de toneladas métricas de plástico desde su invención. Sin embargo, solo se recicla aproximadamente el 9% de la producción total, mientras que el 12% se somete a incineración segura. El 79% restante se dispone de forma inadecuada, ya sea mediante vertidos al medio ambiente, su deposición en vertederos o su abandono en espacios naturales [Geyer et al., 2017].

En 2020, la producción de plástico alcanzó 367 millones de toneladas, con más de 150 millones de toneladas de estos residuos en ríos y océanos [Kosior y Mitchell, 2020]. En 2021, la cifra aumentó hasta los 390 millones de toneladas producidas. Pese a que la producción de este material, que tiene un impacto negativo y prolongado en el medio ambiente, se superó significativamente en 2021, la utilización de plástico reciclado en nuevos productos y componentes aumentó en un 20% en comparación con el año anterior. En 2021 el 10% del plástico utilizado en productos nuevos era reciclado, alcanzando la cifra de 5,5 millones de toneladas. [Plastics Europe, 2022a]

La figura 1 presenta el proceso de producción y reciclaje de plástico.

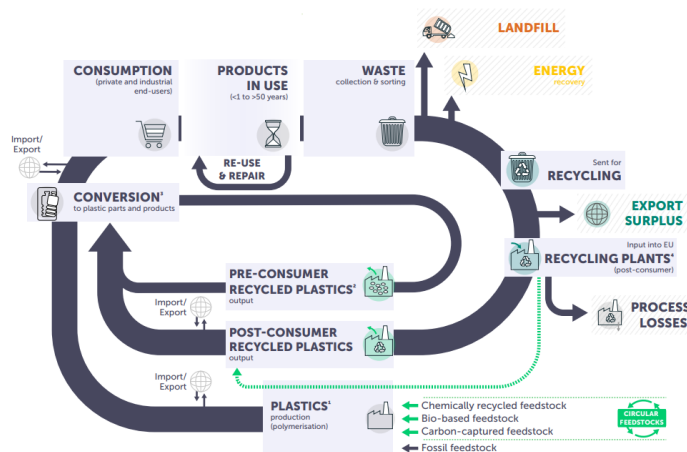


Figura 1. Proceso de producción y reciclaje de plástico. Fuente: Plastics Europe, 2022a.

La producción y gestión inadecuada de estos residuos tiene efectos destructivos en el planeta Tierra. Un gran problema es la contaminación del suelo y del agua, representando una amenaza para los ecosistemas terrestres y acuáticos [Jambeck et al., 2015]. La contaminación marina, incluyendo la existencia de grandes acumulaciones de plásticos como el "Gran Parche de Basura del Pacífico", provoca daños en los ecosistemas marinos [Lebreton et al., 2017].

Teniendo en cuenta todo lo mencionado con anterioridad y conociendo que el tiempo de descomposición del plástico es de 450 años [do Rosario et al, 2014], la gestión de residuos plásticos es una cuestión crítica y una necesidad para el mundo entero.

Es fundamental destacar que una de las industrias más destacadas dentro del sector es la del envasado plástico. Este subsector, que abarca una amplia gama de productos de un solo uso, ha ganado notoriedad, como se desarrolla más adelante, debido a su impacto desmesurado en la generación de residuos y su potencial para implementar soluciones sostenibles. La economía circular se encuentra en una encrucijada donde el envasado plástico representa un desafío significativo, pero al mismo tiempo, una oportunidad esencial para transformar prácticas y avanzar hacia un futuro más sostenible y responsable con el medio ambiente.

El sector del envasado plástico adquiere una relevancia significativa dentro del contexto de la economía circular, justificada por varios factores de gran relevancia. En primer lugar, según los datos proporcionados por la Comisión Europea en noviembre de 2022, se estima que cada ciudadano europeo genera en promedio 180 kg de residuos de envases plásticos anualmente, lo que evidencia la notoria aportación de estos envases al flujo global de desechos [European Commission, 2022]. Al contrastar esta cifra con el total de residuos urbanos recolectados en España durante el año 2022, que ascendió a 473.3 kilogramos por habitante, resulta evidente que los envases plásticos representan aproximadamente un 40% del conjunto de los residuos generados, lo cual enfatiza la magnitud de este sector en comparación con su dimensión, subrayando la urgente necesidad de reconocer su relevancia y mitigar sus efectos [Instituto Nacional de Estadística, 2022].

Además, es importante destacar que el 40% de los plásticos consumidos en la Unión Europea están destinados a la fabricación de envases. Sin intervenciones adecuadas, se proyecta un aumento del 19% en los residuos de envases para el año 2030, y un incremento aún más notable del 46% en los residuos de envases plásticos [European Commission, 2022].

Por otro lado, el Parlamento Europeo, en su informe de marzo de 2023, destaca que entre 2009 y 2020, la cantidad total de residuos de envases generados en la Unión Europea (UE) aumentó en un 20%, alcanzando los 79 millones de toneladas en 2020, lo que resalta aún más la importancia de abordar este desafío. El plástico ha experimentado el crecimiento más pronunciado desde 2009, con un aumento del 27%. A pesar de este aumento en la generación de este tipo de envases, la tasa de reciclaje solo aumentó ligeramente del 63% en 2009 al 64% en 2020, habiendo dejado de aumentar desde 2016. [European Parliament, 2023a].

El aumento significativo de envases de un solo uso, como los plásticos desechables, es un problema que trasciende fronteras y afecta a nivel mundial [European Parliament, 2023b]. Se están implementando medidas a nivel global para abordar este desafío y mitigar su impacto. Estas acciones reflejan la importancia de esta industria en cuestiones cruciales como la contaminación, la preservación del medio ambiente, la sostenibilidad y la protección de la salud pública. Las nuevas regulaciones propuestas, como las presentadas por la Comisión Europea, buscan abordar este desafío con una perspectiva holística. Para los consumidores, estas regulaciones pretenden ofrecer opciones de envases reutilizables, reducir los envases

superfluos, limitar el sobre envasado y proporcionar etiquetas claras que faciliten el proceso de reciclaje. En paralelo, para la industria, estas medidas plantean la creación de nuevas oportunidades comerciales, en particular para las pequeñas y medianas empresas, al reducir la dependencia de materias primas vírgenes y al impulsar la capacidad de reciclaje en Europa. Adicionalmente, estas iniciativas buscan disminuir la dependencia de recursos primarios y proveedores externos, al tiempo que encaminan el sector de envasado hacia la neutralidad climática para el año 2050 [European Commission, 2022]. Además, las regulaciones europeas han establecido objetivos de reciclaje ambiciosos en la Directiva sobre Envases y Residuos de Envases, con metas específicas para el reciclaje del plástico que exigen el 50% para 2025 y el 55% para 2030 [European Parliament, 2023a].

2.3. Industria del plástico y de su reciclaje en España

La gestión de residuos en España plantea desafíos cruciales en el contexto de la economía circular y la sostenibilidad ambiental. España se enfrenta al reto de gestionar un promedio de 473,3 kilogramos de residuos per cápita anuales, una cifra que, aunque representa una disminución del 2,0% con respecto a 2019, sigue siendo muy elevada [INE, 2022]. A nivel europeo, España se encuentra en una situación desafiante en cuanto a la gestión de residuos. Alrededor del 56,7% de los residuos generados en el país se destinan a vertederos, lo que plantea preocupaciones ambientales y de sostenibilidad. El 13,5% se somete a valorización energética, el 18,3% se recicla y el 11,5% se utiliza en procesos de compostaje y digestión [Eurostat, 2023a].

En este contexto, la industria del plástico en España emerge como un elemento crítico y estratégico. Su aplicación en una amplia variedad de productos, especialmente en envases y bienes de consumo cotidiano, hacen que este sector sea un desafío y una oportunidad en función de cómo se lleve a cabo la gestión de estos residuos materiales.

En Europa, el sector del plástico emplea a más de 1,5 millones de personas y comprende alrededor de 52,000 empresas, generando un volumen de negocios de 405 mil millones de euros [Plastics Europe, 2022a]. España ocupa el cuarto lugar en Europa en términos de demanda de productos plásticos, representando el 7,8% de la demanda total de la Unión Europea. Esto se traduce en un consumo anual nacional de 3,95 millones de toneladas de plástico. [Castillo Banegas, 2022]

La industria del plástico en España es un sector de gran envergadura que desempeña un rol importante en la economía nacional. Con un valor estimado de 27 mil millones de euros, este sector está compuesto por un total de 3.704 empresas, empleando a más de 125.000 personas y contribuyendo en un 2,5% al Producto Interno Bruto (PIB) del país. Además, dentro de esta industria, encontramos 168 empresas que fabrican maquinaria y equipos para su producción, y 162 compañías especializadas en el reciclaje de este material. En resumen, el plástico representa aproximadamente el 4,59% de los ingresos totales de la industria en España y el 45% de la industria plástica española se compone de pequeñas y medianas empresas (PYMES) [EQUIPLAST, 2023].

De acuerdo con el informe emitido por Plastic Europe en 2022, España se encuentra entre los cuatro países europeos que han alcanzado tasas de reciclaje excepcionales, superando el 40%. Desde 2006 hasta 2020, en España, hemos observado un incremento del 137% en la cantidad de plástico destinado al reciclaje, un aumento del 73% en la recuperación de energía a partir de

estos materiales y una notable disminución del 45% en la disposición de residuos plásticos en vertederos. Estos logros se deben, en parte, a la implementación de regulaciones y medidas tanto a nivel nacional como internacional. Un ejemplo significativo de estas medidas es la Ley 293/2018, que prohíbe la distribución gratuita de bolsas de plástico en establecimientos comerciales desde mayo de 2018 [Poveda & Lozano, 2018]. Estos datos demuestran el compromiso de España en avanzar hacia una gestión más efectiva y sostenible de los residuos plásticos, contribuyendo al objetivo de la economía circular y a la reducción de impactos ambientales negativos.

La industria del envasado plástico en España, aunque en ocasiones pueda parecer un sector de menor envergadura en comparación con otras ramas de la industria de materiales, es un componente esencial de la economía nacional y juega un papel fundamental en la transición hacia un modelo económico más sostenible. En términos de aplicación, el plástico se extiende ampliamente en diversos sectores económicos, destacando especialmente en el ámbito del envasado y embalaje, donde genera un valor de negocio estimado en 7.500 millones de euros, siendo este su mayor nicho de mercado. [EQUIPLAST, 2023].

Para poner esto en perspectiva, el sector del envasado y embalaje representa aproximadamente el 2,65% del Producto Interno Bruto (PIB) del país. Dentro de este sector, el envasado y embalaje de plástico sobresale como el subsector de mayor impacto económico, albergando la mayor cantidad de empresas, con un total de 737 compañías dedicadas a la fabricación de envases y materiales de envase de plástico [Gómez, 2022]. Estas cifras subrayan de manera significativa la relevancia económica y la contribución destacada de la industria del envasado plástico al panorama financiero de España.

En el año 2020, se generaron aproximadamente 1,705,166 toneladas de residuos de envases de plástico en el país, lo que equivale a unos 36 kg per cápita anuales. De manera alentadora, alrededor del 41.3% de estos residuos se reciclaron, representando un total de 704,811 toneladas al año, es decir, 14.88 kg per cápita anuales. Estas cifras demuestran el compromiso significativo de España con la sostenibilidad y la economía circular en el sector del envasado plástico, superando la media europea del 37.6% en términos de reciclaje de envases plásticos [Eurostat, 2023b].

Por tanto, aunque existen muchas industrias dentro de la industria del plástico y del sector del envasado y embalaje, el subsector del envasado plástico en España tiene un impacto significativo en la economía nacional y en la transición hacia una economía más circular. Su contribución es fundamental para liderar la gestión de plásticos de un solo uso, lo que lo convierte en un actor destacado en la promoción de un futuro más sostenible en España.

3. Marco Teórico

En este capítulo, se lleva a cabo una revisión sistemática de la literatura que abarca todos los aspectos relevantes para la investigación propuesta. El marco teórico se dedica a proporcionar un análisis conciso de la evolución del concepto de economía circular, seguido por una recopilación de estudios que establecen conexiones entre el sector del plástico y la economía circular. Por último, se realiza una revisión de investigaciones y modelos estadísticos previos que guardan similitudes con los objetivos y análisis que conforman este proyecto.

En 1960 el interés por la economía circular surgió como objeto de investigación. Seis años más tarde Boulding destacó la importancia de equilibrar la actividad económica con la sostenibilidad ambiental, sentando así las bases conceptuales clave. [Boulding, 1966]. Stahel y Reday, en 1981, avanzaron aún más en el concepto de la economía circular centrándose en su aplicación en un contexto industrial. Imaginaron una economía que opera como un círculo cerrado, en el que los materiales se reutilizan continuamente, reduciendo así la generación de residuos. Este enfoque fomenta la eficiencia de recursos, la desmaterialización y la creación de nuevas oportunidades laborales [Stahel & Reday, 1981]. Sin embargo, no fue hasta el año 1990 que este término fue incorporado formalmente por primera vez en un modelo económico por Pearce y Turner. En su investigación, exploraron la interacción entre los recursos naturales y los sistemas económicos, contribuyendo significativamente a los primeros avances en este campo. Estos autores destacaron la necesidad de transitar desde un modelo lineal basado en recursos agotables hacia uno más sostenible [Pearce & Turner, 1990].

Inicialmente, la economía circular se asociaba al principio de las 3R: reducir, reutilizar, reciclar. En los últimos años, este concepto ha evolucionado hasta convertirse en el principio de las 6R: reutilizar, reciclar, rediseñar, remanufacturar, reducir, recuperar [Jawahir et al., 2016]. Esta transformación refleja una respuesta a las limitaciones del modelo económico lineal. La Fundación Ellen MacArthur la concibe como una economía industrial regenerativa diseñada para crear productos, componentes y materiales con el mayor valor de servicio a lo largo del tiempo, lo que es coherente con la idea de mantener el valor de los productos durante el mayor tiempo posible, minimizando la generación de residuos y promoviendo la sostenibilidad [Ellen MacArthur, 2015]

Las investigaciones sobre economía circular han ido ampliándose para abarcar diversos ámbitos y sectores. En particular, en el sector de los plásticos, se han llevado a cabo numerosos estudios que establecen vínculos entre este sector y los principios de la economía circular.

En 2021, diversos estudios centran su enfoque en la adopción de un modelo de economía circular para la gestión de plásticos. Describen la transición desde un modelo lineal - tomar, hacer y desechar - a un enfoque circular que promueve el reciclaje efectivo de los plásticos. Se destacan los avances en tecnologías de reciclaje y la creciente conciencia ambiental. También señalan desafíos como la falta de un sistema global de gestión de residuos y estándares internacionales para el reciclaje efectivo de productos plásticos [Shamsuyeva & Endres, 2021]. Por otro lado, se enfatiza en la importancia del reciclaje de plástico en la economía circular y la variabilidad de las tecnologías de reciclaje según el tipo de polímero. Mencionan que algunos polímeros tienen un menor impacto ambiental cuando se reciclan mediante gasificación a monómeros, lo que cuestiona la jerarquía de reciclaje tradicional. Además, se centran en aspectos medioambientales, pero reconocen que se necesitan más investigaciones en cuanto a consideraciones económicas del reciclaje de plástico [Schwarz et al., 2021].

En 2022, Fellner y Brunner cuestionan la eficacia de la economía circular en la gestión de residuos plásticos. Argumentan que, si bien la economía circular es un enfoque valioso, no debe ser considerada un objetivo en sí misma, sino un medio para alcanzar objetivos de conservación de recursos y protección ambiental. Los autores identifican desafíos importantes relacionados con la gestión de residuos plásticos, como el aumento en la producción de plástico, la falta de reciclaje efectivo y la acumulación de plásticos de larga duración. Además, plantean la idea de que la utilización térmica de plásticos con captura de carbono podría ser una alternativa más sostenible que el reciclaje [Fellner & Brunner, 2022]. Aunque abogan por la economía circular

como una estrategia necesaria, reconocen que existen desafíos en su implementación, especialmente en países de bajos y medianos ingresos [Babaremu et al., 2022].

La investigación en cuestión se apoya en dos estudios previos de significativa importancia a nivel europeo, realizados por Trica et al. en 2019 y Sverko Grdic et al. en 2020. Estas investigaciones componen la base fundamental sobre el cual se construye el análisis y modelado económico de esta investigación en cuestión.

En el año 2019, Trica et al. llevaron a cabo una investigación centrada en la evaluación económica de distintos factores ambientales y la economía circular en la Unión Europea. Para ello, utilizaron un enfoque estadístico implementando un modelo de regresión lineal múltiple, con el propósito de comprobar sus hipótesis iniciales. Estas hipótesis defienden que el crecimiento económico está influenciado positivamente por el número de empleados en actividades de protección ambiental, y que la actividad de reciclaje y la innovación tienen un impacto positivo en el crecimiento económico.

El estudio presentó resultados significativos al demostrar que la economía circular en la Unión Europea guarda una relación directa con factores como la productividad de recursos, el empleo ambiental, la tasa de reciclaje y la innovación e investigación ambiental, los cuales, según los resultados del trabajo, ejercen un impacto positivo en el crecimiento económico de la Unión Europea. Asimismo, se destaca la importancia de invertir en infraestructura de reciclaje y en recursos innovadores como elementos clave para alcanzar un crecimiento económico sostenible y, al mismo tiempo, salvaguardar el medio ambiente. Sin embargo, es importante señalar que este estudio presenta una limitación temporal al abarcar únicamente el período entre 2007 y 2016, lo que deja espacio para futuras investigaciones a partir de estos años. Además, cabe destacar que este estudio se centró en Europa en su conjunto, sin profundizar en los diferentes países miembros que la componen, lo que hace relevante una posterior investigación centrada en cada país miembro, como es el caso de España.

En el año 2020, Sverko Grdic et al. prosiguió con la investigación anterior, expandiendo el análisis y abordando cuestiones que el estudio previo dejó sin resolver. En su investigación, se emplea un modelo de regresión lineal más completo que incorpora un conjunto específico de variables para examinar la relación entre el desarrollo económico y los indicadores de la economía circular en el conjunto de países de la Unión Europea. Las variables utilizadas en esta investigación incluyeron el Producto Interno Bruto (PIB) per cápita, el valor agregado (VAB) en millones de euros, el número de patentes, la generación de residuos municipales per cápita en kilogramos, la tasa de reciclaje de residuos municipales, la tasa de reciclaje de residuos de envases por tipo de envase, la cantidad de residuos orgánicos reciclados per cápita, y la tasa de reciclaje de residuos electrónicos.

En este estudio, se plantearon tres hipótesis esenciales. La primera hipótesis sostuvo que un mayor PIB per cápita genera más residuos por habitante. La segunda hipótesis planteó que una mayor tasa de utilización de materias primas secundarias se traduce en una menor generación de residuos municipales per cápita al año. La tercera hipótesis postuló que el número de patentes en una economía circular se relaciona con un mayor PIB. Los resultados de esta investigación confirmaron las tres hipótesis, estableciendo una conexión entre el desarrollo económico y los indicadores de la economía circular en los países de la Unión Europea. Este cambio hacia una economía circular exige cambios sistémicos en diversos sectores y requiere la colaboración activa de gobiernos, empresas y ciudadanos. Aunque resulta complejo implementar un modelo idéntico en todos los países de Europa, el estudio sugiere que los países

miembros pueden extrapolar los resultados del análisis y considerar estas variables como significativas para el desarrollo y crecimiento de sus economías nacionales. No obstante, el estudio reconoce ciertas limitaciones y señala que factores como la nacionalidad pueden desempeñar un papel más influyente, lo que justifica la necesidad de investigaciones adicionales profundizando en cada país miembro. El estudio subraya la importancia de invertir en la difusión de la información, la educación, la tecnología y el espíritu empresarial para facilitar la transición hacia una economía circular.

Ambos estudios previos han desempeñado un papel fundamental investigando y analizando sobre la relación entre la economía circular y numerosos factores económicos y ambientales en un contexto europeo. Sin embargo, una de las limitaciones identificadas en estos estudios es la falta de un enfoque específico en los países miembros de la Unión Europea, lo que lleva a una escasa comprensión de las dinámicas y desafíos individuales de cada nación. Por otra parte, ambos estudios analizan diversos sectores de la economía, pero sin profundizar en el impacto individual de ninguna de estas industrias en la economía circular. Además, las investigaciones se limitaron a un período temporal reducido y desactualizado, abarcando el periodo entre 2007 y 2016. Por lo tanto, el presente trabajo de investigación se sitúa en un marco que busca ampliar y adaptar este conocimiento acumulado a la realidad española, en un periodo más actualizado de estabilidad entre 2011 y 2020, y con un enfoque en el sector del envasado plástico. Este enfoque específico es esencial porque, si bien los estudios previos proporcionan una comprensión general de la economía circular en Europa, no han profundizado en las particularidades que pueden influir en el contexto español. Por lo tanto, esta investigación busca llenar ese vacío y brindar un enfoque más específico y detallado sobre la economía circular en España, lo que permitirá identificar oportunidades y desafíos únicos, y tomar decisiones informadas para el futuro sostenible de la economía en el país. Asimismo, tal y como se ha planteado en los anteriores trabajos, se utilizará un modelo de regresión lineal múltiple para realizar el análisis del presente proyecto.

4. Análisis Estadístico

4.1. Objetivo del análisis

El objetivo de la investigación es cuantificar la relación del sector de envases plásticos – generación y reciclaje de residuos plásticos –, la inversión privada, y la economía – evolución y variación del Producto Interior Bruto (PIB) – con la evolución y desarrollo – valor agregado bruto (VAB) - de la economía circular española en épocas de estabilidad, utilizando un modelo de regresión lineal múltiple.

4.2. Descripción del modelo estadístico

4.2.1. Tipología del Modelo

Con el fin de medir la relación entre una variable de respuesta o dependiente (Y) y diferentes variables predictoras o independientes (X) se ha utilizado un modelo estadístico de regresión lineal múltiple.

El objetivo principal de un modelo de regresión lineal múltiple es encontrar la mejor combinación lineal de las variables independientes que se ajuste a los datos observados de la

variable dependiente. Esta combinación lineal se representa mediante una ecuación matemática que incluye los coeficientes de regresión asociados a cada variable independiente [Abuín, 2007; Granados, 2016].

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_K X_{iK} + U_i$$
$$i = 1, \dots, n$$

- * Y: variable dependiente o endógena que se quiere predecir o explicar.
- * X: variables independientes, exógenas o explicativas que se utilizan para predecir o explicar la variable dependiente.
- * β_0 : coeficiente de intersección o término constante que representa el valor esperado de la variable dependiente (Y) cuando todas las variables explicativas (X) tienen un valor de cero. Es el punto de partida inicial de la línea de regresión.
- * β : coeficientes de regresión asociados a cada una de las variables explicativas (X) en el modelo. Estos coeficientes representan el cambio esperado en la variable dependiente (Y) por cada unidad de cambio en la correspondiente variable explicativa.
- * U: variable aleatoria, residuo, perturbación o error que captura las diferencias entre el valor observado de la variable dependiente (Y) y el valor predicho por el modelo.
- * i: número de observaciones.

Para estimar los coeficientes de regresión en un modelo de regresión lineal múltiple, se utilizan métodos estadísticos como el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). Este busca minimizar la suma de los errores al cuadrado entre los valores observados y los valores predichos por el modelo [Chirivella González, 2015; Molina, 2021].

Todo modelo de regresión lineal múltiple estimado por el método de mínimos cuadrados tiene una serie de supuestos e hipótesis que se deben cumplir para que los resultados de dicho modelo sean válidos. Se debe comprobar que el modelo creado verifique las siguientes **hipótesis básicas**: [Chirivella González, 2015; Molina, 2021]

1. Linealidad del modelo: la relación entre las variables independientes y la variable dependiente es lineal.
2. Ausencia de autocorrelación o dependencia entre residuos: los errores o residuos no están relacionados entre sí y no siguen ningún patrón sistemático.
3. Homocedasticidad: la varianza de los errores es constante para todos los niveles de las variables independientes, siendo la dispersión de los residuos constante a lo largo de los valores de dichas variables.
4. Ausencia de multicolinealidad: no hay una relación lineal exacta entre las variables independientes.
5. Distribución normal de los residuos y valor medio residual nulo.

4.3. Variables del Modelo

Este estudio propone analizar críticamente las complejas interacciones que influyen en la economía circular en España, con un énfasis particular en la industria del plástico y su sector de envasado. Para lograrlo, se han seleccionado cuidadosamente un conjunto de variables que se consideran fundamentales para comprender cómo los distintos factores estratégicos pueden moldear la economía circular en este país. La elección de estas variables no es un mero ejercicio de selección aleatoria. En cambio, cada una de estas variables se ha identificado debido a su relevancia y su papel en la economía circular. Estas serán sometidas a un proceso de evaluación

dentro del modelo para determinar cuáles de ellas son las más pertinentes y adecuadas para la construcción del modelo en cuestión.

Se utiliza como variable dependiente el Valor Agregado Bruto (VAB) de los sectores de la economía circular española. Esta variable se utiliza en el estudio de Sverko Grdic et al. de 2020 para medir la evolución de la economía circular en Europa. El VAB se considera una medida adecuada para evaluar el efecto de otras variables en la economía circular porque refleja el valor generado por las actividades económicas de distintos sectores en un país. El VAB es una medida integral que abarca toda la producción económica de un país. Al sumar el valor de producción de todos los sectores económicos, proporciona una visión holística de la actividad económica del país [DELSOL, 2019]. Esta variable posibilita evaluar de manera global el efecto de todas las prácticas circulares dentro de las industrias y sectores de la economía española. Permite evaluar cómo las prácticas circulares impactan en la economía en su conjunto, considerando factores tanto económicos como no económicos. Su capacidad para proporcionar una visión integral de la relación entre la economía circular y otros factores lo convierte en una herramienta recomendable para comprender y medir el impacto de estos factores en la evolución de sectores que desarrollan prácticas circulares en la economía española [Jara, 2015].

Además, esta variable es altamente sensible a las fluctuaciones económicas, lo que lo convierte en una herramienta idónea para medir los efectos de otras variables en esta última. Su sensibilidad se traduce en su capacidad para reflejar variaciones notables cuando otras variables o factores están relacionados de manera significativa con esta. Por tanto, se podrá observar cómo cambios en múltiples factores de España pueden influir en la economía circular del país. Asimismo, el VAB es un indicador económico ampliamente reconocido. Su estandarización y reconocimiento a nivel internacional garantizan que los resultados obtenidos sean comprensibles, comparables y confiables. [Guerra Espinosa et al., 2015]

Se emplea el Producto Interno Bruto (PIB) como variable en el estudio. Su elección se justifica por su importancia en la medición del crecimiento económico, como se ha demostrado en los estudios previos de Trica et al. en 2019 y Sverko Grdic et al. en 2020. Ambos estudios concluyen que existe una relación directa y positiva entre el PIB y la economía circular, es decir, que un crecimiento económico de la Unión Europea viene ligado a un crecimiento en la economía circular de los países miembros.

Con enfoque detallado de este estudio en el sector del plástico y del envasado plástico se utilizan las variables que representan los residuos de envases plásticos generados, los envases plásticos reciclados y los recuperados. La definición de economía circular respalda el uso de estas variables, ya que la economía circular se centra en la reducción, reutilización y reciclaje de materiales, así como la utilización de los recursos disponibles de manera más eficiente y sostenible, reduciendo al mínimo la generación de residuos y maximizando la reutilización y el reciclaje. Además, en estudios previos, como los llevados a cabo por Trica et al. y Sverko Grdic et al., se han evaluado factores relacionados con la regeneración de residuos, la tasa de reciclaje y la reutilización en diversos sectores, incluyendo los sectores de materiales electrónicos y orgánicos, y la industria del envasado de diferentes materiales. Ninguno de estos trabajos profundiza en un sector en concreto como es el objeto de este estudio y su claro enfoque en la industria del plástico.

Se ha incorporado la inversión privada como una variable significativa en el estudio. La inversión privada se revela como un factor crítico en el marco de la economía circular, en línea con los hallazgos de las investigaciones previas, como las realizadas por Trica et al. y Sverko Grdic et al..

Estos estudios resaltan la importancia de dirigir recursos económicos hacia la infraestructura de reciclaje y la innovación como componentes esenciales para el logro de un crecimiento económico sostenible en el contexto de la economía circular. Aunque este factor no fue específicamente medido en las investigaciones anteriores, la inclusión de la inversión privada como variable en este estudio es congruente con las conclusiones generales que emergen de las investigaciones previas.

Por último, se utiliza como factor los gastos en Investigación y Desarrollo empresarial (I+D). Esta variable está respaldada por los estudios previos que enfatizan la importancia del desarrollo, la investigación y la innovación en la economía circular. Tanto el estudio de Trica et al. en 2019 como el de Sverko Grdic et al. en 2020 reconocen la relación positiva y significativa de estos factores con el crecimiento económico en sectores relacionados con la economía circular en el ámbito europeo. Además, el estudio de Sverko Grdic et al. utiliza la variable de número de patentes para medir el impacto de este factor en la economía circular.

Las variables utilizadas en el desarrollo del modelo y aquellas finalmente utilizadas en el modelo final se clasifican según a que factor estratégico de la economía circular hacen referencia. Todos los datos obtenidos para cada una de las variables proceden de la Oficina Estadística de la Unión Europea (EUROSTAT).

Para medir el impacto real de las distintas variables explicativas sobre el desarrollo y evolución de la economía circular se utiliza la siguiente variable dependiente:

- **Valor Agregado Bruto (VAB) de los sectores de la economía circular (% del PIB)**
[Variable VAB]

Esta variable representa el Valor Agregado Bruto generado por los sectores de la economía circular como porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB). El VAB es una medida económica que cuantifica el valor económico generado por la producción de bienes y servicios en un determinado sector. En este caso, mide la importancia económica de todos los sectores que contribuyen a la economía circular.

Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable VAB en España.

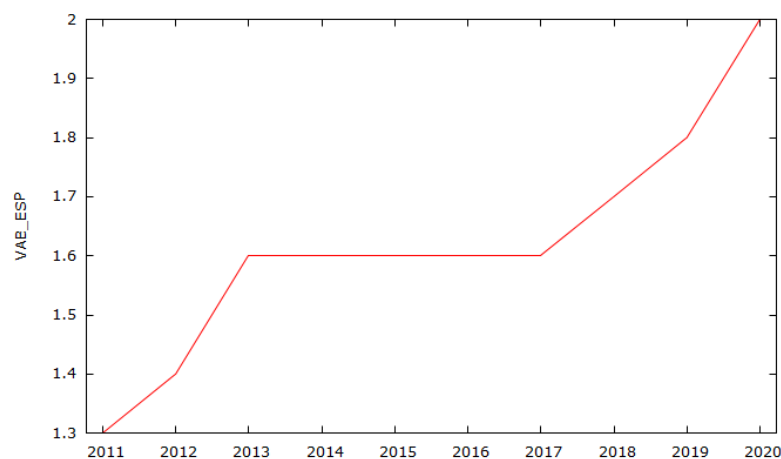


Figura 2. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable VAB España
Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT

Para cuantificar el impacto que tienen factores vinculados a la generación y el reciclaje de residuos, con un enfoque decidido en el sector de envases plásticos, sobre el VAB de los sectores de la economía circular española se plantean las siguientes variables:

- **Residuos de envases plásticos generados (toneladas) [Variable RESTON]**

Esta variable representa la cantidad total de residuos de envases plásticos que se generan anualmente. Este indicador evalúa directamente el impacto ambiental de la generación de envases plásticos y la necesidad de implementar prácticas de gestión de residuos efectivas.

Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable RESTON en España.

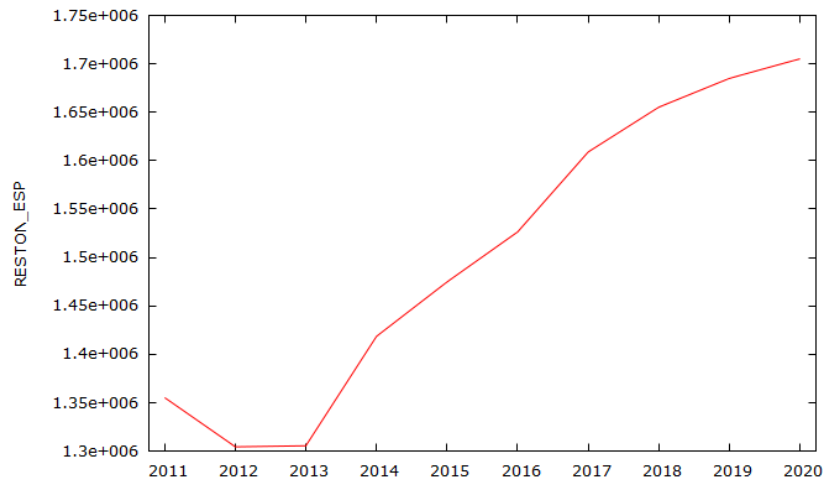


Figura 3. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable RESTON España
Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT

- **Residuos de envases plásticos generados (Kg per cápita) [Variable RES]**

Esta variable proporciona una medida per cápita de la generación de residuos de envases plásticos. Sirve para evaluar y comparar el consumo y la producción de envases de plástico real por persona dentro de una misma región geográfica.

Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable RES en España.

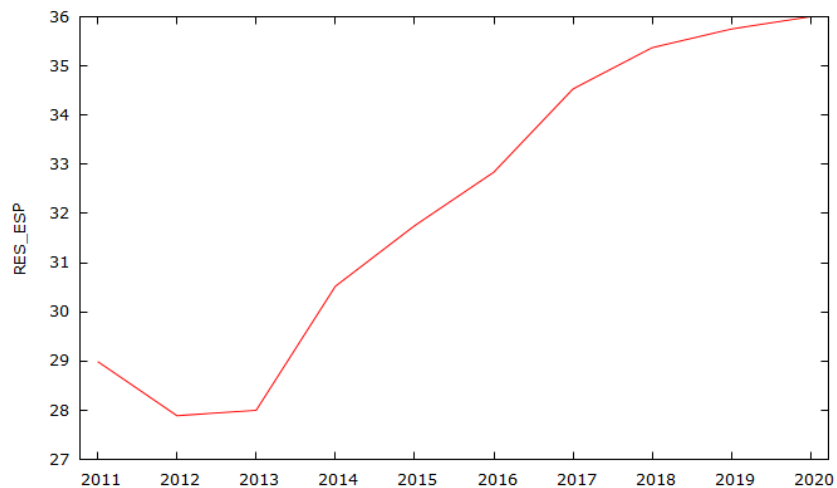


Figura 4. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable RES España
Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT

- **Envases plásticos reciclados (toneladas) [RECTON]**

Esta variable indica la cantidad de envases plásticos que han sido recolectados y procesados para su reciclaje. Presenta la eficacia del sistema de reciclaje y la reducción de residuos.

Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable RECTON en España.

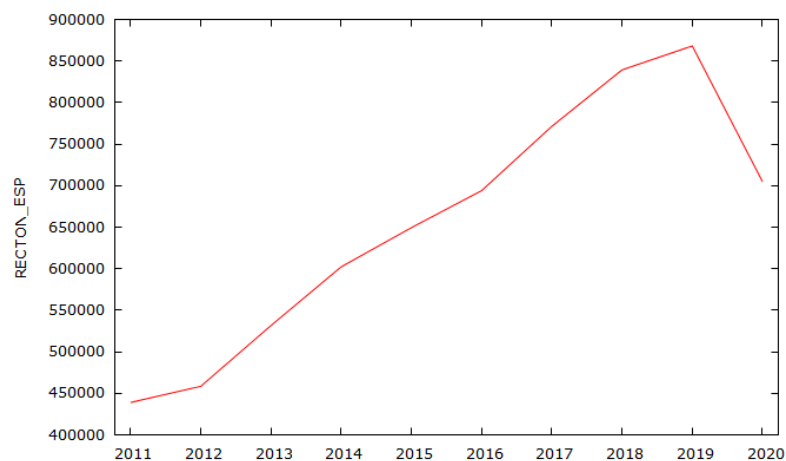


Figura 5. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable RECTON España
Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT

- **Envases plásticos reciclados (Kg per cápita) [Variable REC]**

Esta variable presenta la cantidad de envases plásticos reciclados per cápita. Esta medida permite evaluar cuánto plástico se recicla por habitante e indica el nivel de participación de las personas en el reciclaje de plásticos.

Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable REC en España.

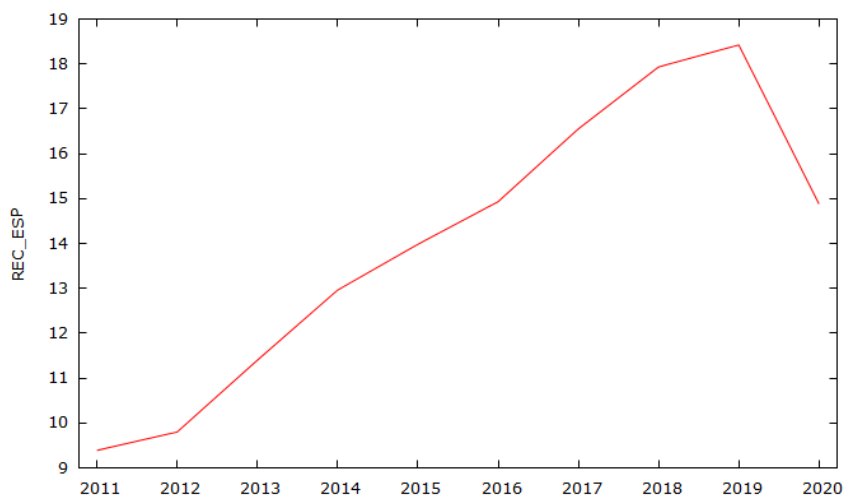


Figura 6. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable REC España
Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT

- **Envases plásticos reciclados (%totales) [Variable RECRATE]**

Esta variable representa el porcentaje de envases plásticos que son sometidos a un proceso de reciclaje en relación con el total de envases plásticos utilizados.

Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable RECRATE en España.

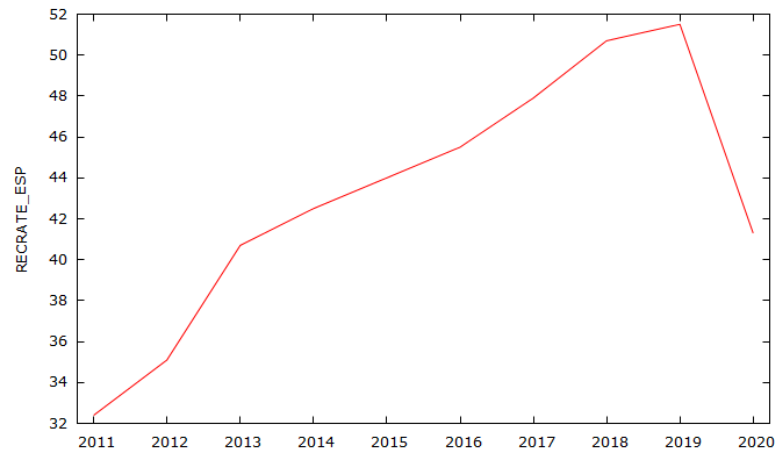


Figura 7. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable RECRATE España
Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT

- **Envases plásticos recuperados (toneladas) [Variable RECOTON]**

Esta variable indica la cantidad de envases plásticos que han sido recuperados en su totalidad. La "recuperación" en este contexto no se limita exclusivamente al reciclaje, sino que abarca todas las acciones que permiten sacar los envases de plástico del flujo de desechos, incluyendo su recuperación para otros usos, como la recuperación de energía o la incineración controlada.

Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable RECOTON en España

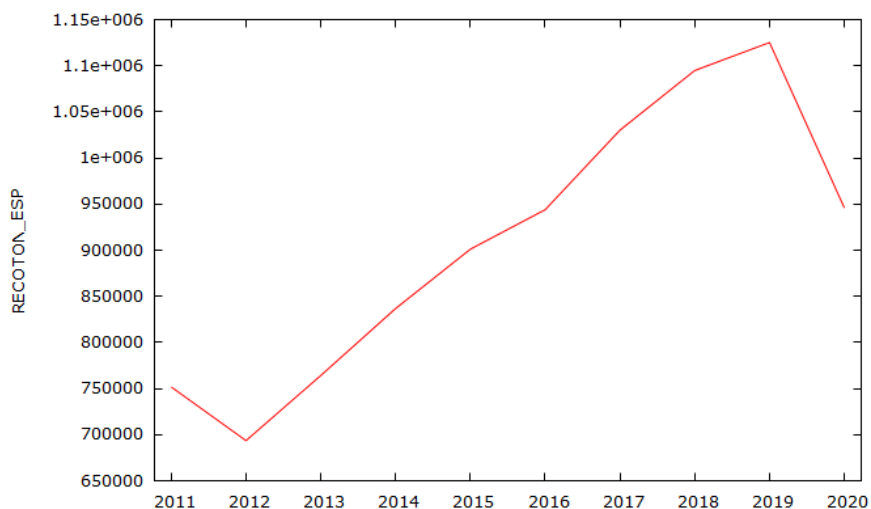


Figura 8. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable RECOTON España.
Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT

- **Envases plásticos recuperados (%totales) [Variable RECO]**

Este indicador muestra el porcentaje de envases de plástico que se recuperan de manera general, lo que significa que se retiran del flujo de residuos y se les da un destino que puede incluir la reutilización, el reciclaje, la valorización energética o su disposición final en vertederos. Este indicador evalúa la eficacia general de la gestión de envases de plástico para evitar que terminen en vertederos o se descarten de manera inapropiada.

Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable RECRATE en España

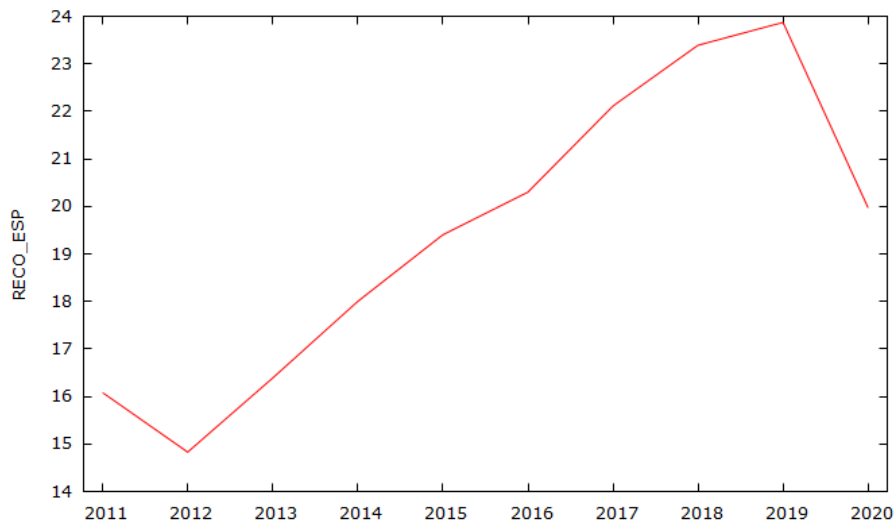


Figura 9. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable RECO España.
Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT

Para cuantificar el impacto que tiene factores de carácter económico, como la evolución y variación de la inversión privada, los gastos en investigación y desarrollo empresarial (I+D) y la variación del PIB sobre el desarrollo del VAB de los sectores que contribuyen a la economía circular española se plantean las siguientes variables:

- **Inversión privada en sectores de la economía circular (Millones de euros)**
[Variable INVMILL]

Esta variable representa el nivel de inversión económica realizada por el sector privado en actividades relacionadas con la economía circular, como proyectos de reciclaje, reutilización y reducción de residuos.

Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable INVMILL en España.

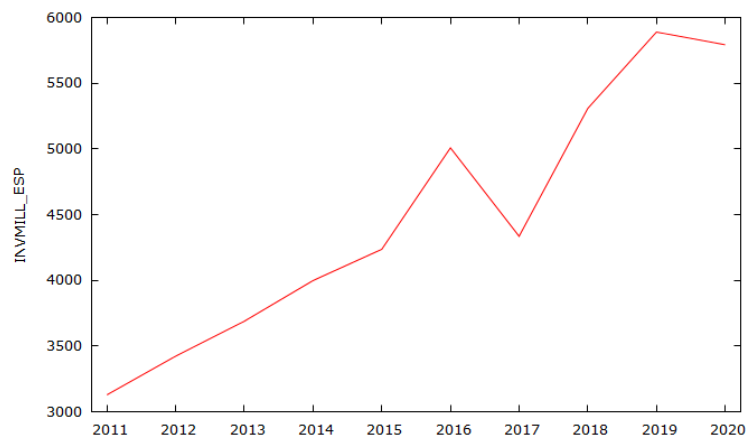


Figura 10. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable INVMILL España.
Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT

- Inversión privada en sectores de la economía circular (% del PIB) [Variable INV]**
 Esta variable muestra la proporción de la inversión económica realizada por el sector privado en relación con la producción total de bienes y servicios del país (PIB). Refleja la importancia relativa de la inversión en la economía circular en relación con la economía en su conjunto.

Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable INV en España.

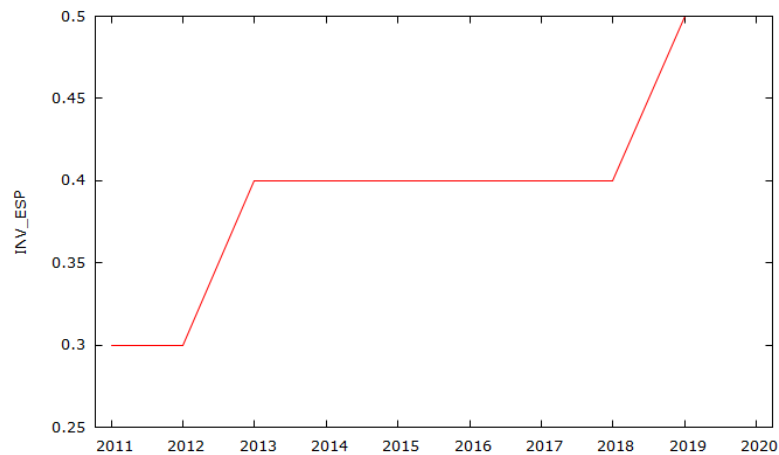


Figura 11. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable INV España
Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT

- Producto Interior Bruto (PIB) per cápita (Miles de euros) [Variable PIBABS]**
 Esta variable representa el valor económico promedio generado por cada habitante en España en un año dado, expresado en miles de euros.

La evolución temporal (2011 – 2020) de la variable PIBABS en España.

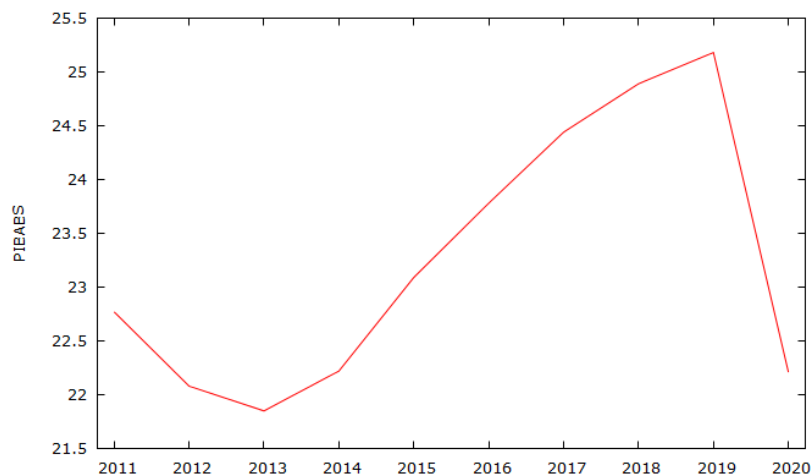


Figura 12. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable PIBABS España.
Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT

- Variación del Producto Interior Bruto (PIB) (%) [Variable PIB]**
 Esta variable representa la tasa o variación porcentual en el Producto Interno Bruto (PIB). El PIB es una medida amplia de la actividad económica de un país y se utiliza para evaluar el crecimiento económico.

La evolución temporal (2011 – 2020) de la variable PIB en España.

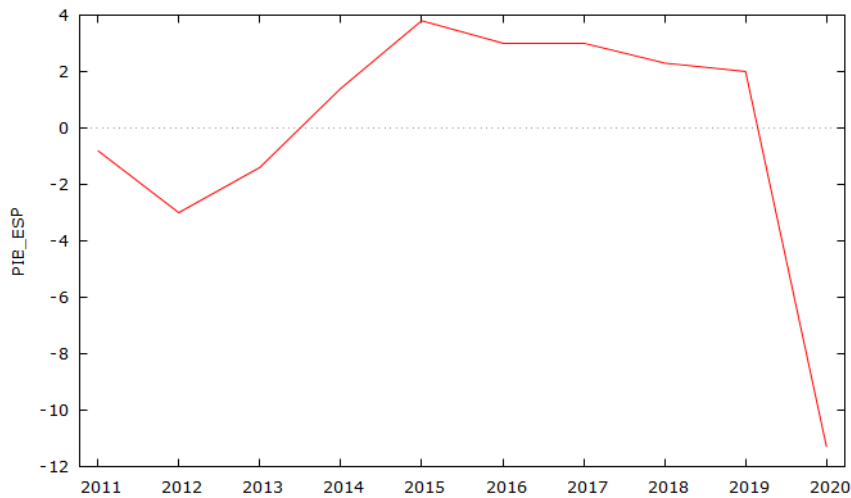


Figura 13. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable PIB España
Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT

- **Gastos en Investigación y Desarrollo Empresarial (Millones de euros) [Variable BERDMILL]**

Esta variable representa el gasto en Investigación y Desarrollo empresarial (I+D) en millones de euros.

La evolución temporal (2011 – 2020) de la variable BERDMILL en España.

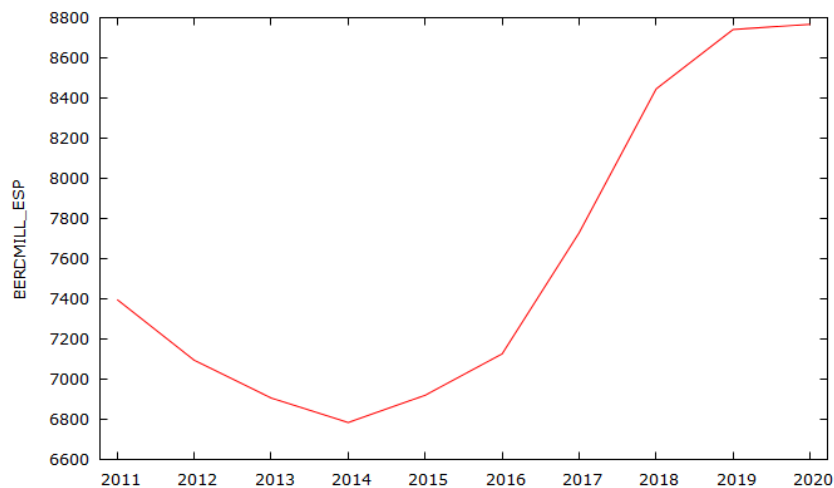


Figura 14. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable BERDMILL España
Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT

- **Gastos en Investigación y Desarrollo Empresarial (%) [Variable BERD]**

Esta variable representa el gasto en Investigación y Desarrollo empresarial (I+D) como porcentaje del PIB español.

La evolución temporal (2011 – 2020) de la variable BERD en España.

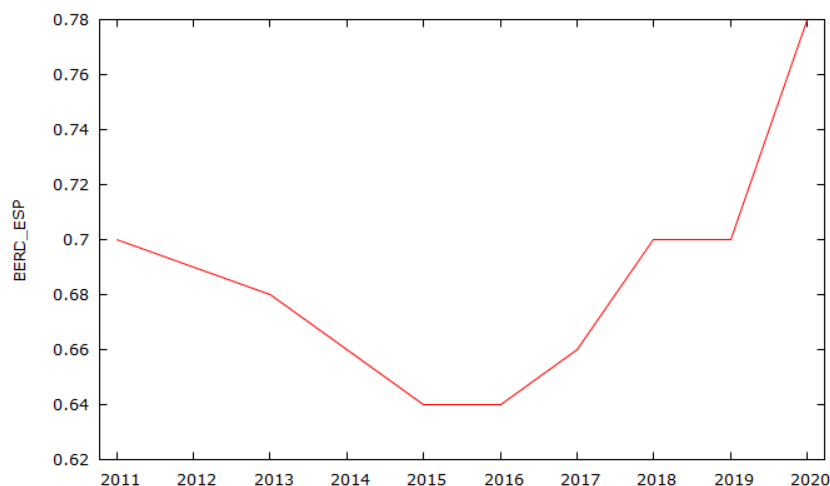


Figura 15. Evolución temporal (2011 – 2020) de la variable BERD España
Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT

La **serie temporal** utilizada para todas estas variables comprende el **periodo entre 2011 y 2020**. Se ha excluido del análisis los años previos al año 2011 por perturbaciones indeseadas en los datos y predicciones del modelo causados por la volatilidad de estos datos debido a un evento extraordinario como la crisis de 2008-2010. Por esta misma razón, también se ha excluido del modelo aquellos datos posteriores al año 2020 debido al impacto significativo y desestabilizador de la pandemia del COVID-19. El análisis se enfoca en una **época de estabilidad en España**.

Después de concluir el proceso de selección de variables, se han obtenido las variables finales del modelo y aquellas que quedan descartadas por diversas razones. Es importante destacar que todas las variables evaluadas son las presentadas en el capítulo anterior como parámetros influyentes de la economía circular en España.

Las variables descartadas son [PIBABS], [RESTON], [RECTON, REC, RECOTON y RECO] y [INNV MILL, BERDMIL y BERD] por no cumplir la hipótesis básica de multicolinealidad con las variables [PIB], [RES], [RECRATE] y [INV] respectivamente. En estos casos, se observó una relación lineal entre las variables independientes, lo que requirió la elección de una de las dos variables afectadas por este problema. Además, algunas de las variables rechazadas exhibieron signos de autocorrelación o dependencia entre residuos. En cada caso, se seleccionó el parámetro que más redujo el p-valor del conjunto del modelo, aumentando así su significación global. Dado que se trata de un modelo de regresión lineal múltiple, el proceso fue iterativo hasta alcanzar la combinación de variables óptima que cumpliera con las hipótesis básicas de modelado. Por lo tanto, las variables finalmente seleccionadas para el análisis son [PIB], [RES], [RECRATE] y [INV].

La Figura 17 muestra un resumen de las variables planteadas para el modelo estadístico.

Variable	Descripción	Unidades	Escogida o Descartada	Razón de Descarte	
Y	VAB	Valor Agregado Bruto (VAB) de los sectores de la economía circular	%	Escogida	
X1	PIBABS	PIB per cápita	Miles de euros	Descartada	No cumple con la hipótesis de ausencia de multicolinealidad. Relación con la variable X2: PIB. Descartada por tener una significación inferior a X2: PIB en el modelo.
X2	PIB	Variación del PIB	%	Escogida	
X3	RESTON	Residuos de envases plásticos generados	Toneladas	Descartada	No cumple con la hipótesis de ausencia de multicolinealidad. Relación con la variable X4: RES. Descartada por tener una significación inferior a X4:RES en el modelo.
X4	RES		Kg per cápita	Escogida	
X5	RECTON		Toneladas	Descartada	No cumple con la hipótesis de ausencia de multicolinealidad. Relación con la variable X7: RECRATE. Descartada por tener una significación inferior a X7: RECRATE en el modelo.
X6	REC	Envases plásticos reciclados	Kg per cápita	Descartada	
X7	RECRATE		%	Escogida	
X8	RECOTON	Envases plásticos recuperados	Toneladas	Descartada	No cumple con la hipótesis de ausencia de autocorrelación o dependencia entre residuos. No cumple con la hipótesis de ausencia de multicolinealidad. Relación con la variable X7: RECRATE. Descartada por tener una significación inferior a X7: RECRATE en el modelo.
X9	RECO		%	Descartada	
X10	INVMILL	Inversión privada en sectores de la economía circular	Millones de euros	Descartada	No cumple con la hipótesis de ausencia de multicolinealidad. Relación con la variable X11: INV. Descartada por tener una significación inferior a X11: INV en el modelo.
X11	INV		%	Escogida	
X12	BERDMILL	Gastos en Investigación y Desarrollo Empresarial	Millones de euros	Descartada	No cumple con la hipótesis de ausencia de multicolinealidad. Relación con la variable X11: INV. Descartada por tener una significación inferior a X11: INV en el modelo.
X13	BERD	<i>BERD(Business Expenditure on Research and Development)</i>	%	Descartada	

Figura 16. Resumen de variables. Elaboración propia.

4.4. Ejecución y resultados del análisis

Gretl (Gnu Regression, Econometrics and Time-series Library) es la herramienta utilizada para crear y validar el modelo estadístico propuesto. Es un programa de estadística de código abierto de lenguaje de programación C++ creado para realizar análisis y modelos estadísticos y econométricos [Esteban et al., 2009].

4.4.1. Antecedentes del modelo

En el modelo final planteado, la regresión lineal múltiple se define con la siguiente ecuación matemática:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + \beta_4 X_{i4} + \beta_5 X_{i5} + \beta_6 X_{i6} + \beta_7 X_{i7} + \beta_8 X_{i8} + \beta_9 X_{i9} + \beta_{10} X_{i10} + \beta_{11} X_{i11} + \beta_{12} X_{i12} + \beta_{13} X_{i13} + U_i$$
$$i = 1, \dots, n$$

La serie temporal utilizada para todas las variables comprende los años entre 2011 y 2020 incluidos. Por tanto, el número de observaciones anuales [i] para cada variable es de 10 observaciones. Sustituyendo las incógnitas por las variables finalmente escogidas, la ecuación final del modelo de regresión lineal múltiple es:

$$VAB_i = \beta_0 + \beta_2 PIB_i + \beta_4 RES_i + \beta_7 RECRATE_i + \beta_{11} INV_i + U_i$$
$$i = 1, \dots, 10$$

Coefficientes de regresión

Los coeficientes (β_0 , β_2 , β_4 , β_7 y β_9) representan las estimaciones de los efectos de las variables independientes (PIB, RES, RECRATE e INV) sobre la variable dependiente (VAB). Cada coeficiente muestra cuánto cambia la variable dependiente en respuesta a un cambio unitario en la variable independiente, manteniendo todas las otras variables constantes [Esteban et al., 2009].

P-valor

En análisis estadístico, el nivel de significación es el umbral establecido para determinar si se rechaza o no la hipótesis nula. Se representa generalmente por α (alfa) y es el riesgo de cometer un error de tipo I, es decir, rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera. Los niveles de significación, más comunes son 1%, 5% y 10% [Manterola & Pineda, 2008; Díaz, 2016].

El P-valor o valor de P representa la probabilidad de obtener un resultado igual o más extremo que el observado, asumiendo que la hipótesis nula es verdadera. Un p-valor menor que el nivel de significación α establecido sugiere que los datos proporcionan suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, cuanto más pequeño sea el p-valor, más fuerte será la evidencia en contra de la hipótesis nula y más probable será que los resultados sean estadísticamente significativos [Manterola & Pineda, 2008; Díaz, 2016].

Gretl utiliza un sistema de asteriscos (*) para indicar el resultado del análisis [Esteban et al., 2009].

- P-valor < 1% (***) : Indica que el coeficiente es muy significativo. La variable independiente tiene un efecto altamente significativo en la variable dependiente.
- P-valor ∈ [1%, 5%] (**): Indica que el coeficiente es significativo. La variable independiente tiene un efecto significativo en la variable dependiente.
- P-valor ∈ [5%, 10%] (*): Indica que el coeficiente es parcialmente significativo. La variable independiente muestra cierta significancia con respecto a la variable dependiente, pero con un margen de error mayor.
- P-valor > 10% (): Indica que el coeficiente no es significativo. La variable independiente no tiene un efecto estadísticamente significativo en la variable dependiente

R² & R² corregido

El coeficiente de determinación (R²) es una medida estadística utilizada en el análisis de regresión para evaluar la bondad de ajuste de un modelo de regresión. Representa la proporción de la variabilidad total de la variable dependiente que es explicada por el modelo de regresión. En otras palabras, el R² indica qué porcentaje de la variabilidad de la variable dependiente es explicada por las variables independientes incluidas en el modelo.

El R² tiene un valor entre 0 y 1, donde:

- R² = 0: El modelo no explica ninguna variabilidad en la variable dependiente, lo que significa que las variables independientes no tienen poder predictivo sobre la variable dependiente.
- R² = 1: El modelo explica toda la variabilidad en la variable dependiente, lo que significa que las variables independientes predicen perfectamente los valores de la variable dependiente.

Por otro lado, el R² corregido (R² ajustado) es una versión ajustada del R² que tiene en cuenta la cantidad de variables independientes incluidas en el modelo. A medida que se agregan más variables independientes a un modelo de regresión, el R² tiende a aumentar incluso si las variables adicionales no aportan una mejora significativa en la predicción. El R² corregido compensa este problema penalizando el valor del R² cuando se incluyen más variables en el modelo.

El R² corregido es una medida más conservadora y útil cuando se comparan modelos de regresión con diferentes números de variables independientes, ya que permite evaluar cuál modelo se ajusta mejor a los datos teniendo en cuenta la complejidad del modelo. [Esteban et al., 2009].

4.4.2. Resultados

Modelo 1: MCO, usando las observaciones 2011-2020 (T = 10)					
Variable dependiente: VAB					
	<i>Coefficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>valor p</i>	
Const (β_0)	0.368036	0.137916	2.669	0.0444	**
PIB (β_2)	-0.0210819	0.00609016	-3.462	0.0180	**
RES (β_4)	0.000374385	0.00882192	0.04244	0.9678	
RECRATE (β_7)	0.0145202	0.00687675	2.111	0.0885	*
INV (β_{11})	1.52780	0.437174	3.495	0.0174	**
Media de la vble. dep.	1.620000	D.T. de la vble. dep.		0.193218	
Suma de cuad. residuos	0.007781	D.T. de la regresión		0.039449	
R-cuadrado	0.976841	R-cuadrado corregido		0.958314	
F(4, 5)	52.72548	Valor p (de F)		0.000281	
Log-verosimilitud	21.60369	Criterio de Akaike		-33.20738	
Criterio de Schwarz	-31.69446	Crit. de Hannan-Quinn		-34.86706	
rho	-0.113391	Durbin-Watson		2.105487	

Interpretación de los coeficientes

El coeficiente constante (β_0) de 0.368036 indica que, cuando todas las variables independientes son cero, el valor agregado bruto (VAB) tiene un valor esperado de 0.368036, con una alta significancia estadística con un p-valor de 4.44% (**).

El coeficiente del PIB (β_2) de -0.0210819 señala que un aumento del 1% en el Producto Interior Bruto (PIB) español está asociado con una disminución de 0.0210819 en el VAB, con una alta significancia estadística con un p-valor de 1.80% (**).

El coeficiente RES (β_4) de 0.000374385 con p-valor de 0.9678 () revela que el cambio en los residuos de envases plásticos generados (Kg per cápita) no es significativo en el VAB, ya que el valor p es mayor al 10%.

El coeficiente RECRATE (β_7) de 0.0145202 señala que un aumento del 1% en el porcentaje de envases plásticos reciclados está asociado con un aumento de 0.0145202 en el VAB, aunque la significancia estadística es más débil, siendo el p-valor de 8.85%.

El coeficiente INV (β_{11}) de 1.52780 indica que un aumento del 1% en la inversión privada en sectores de la economía circular está asociado con un aumento de 1.52780 en el VAB, con una alta significancia estadística con un p-valor de 1.74% (**).

Medidas de ajuste del modelo

El R-cuadrado (R^2) de 0.976841 indica que aproximadamente el 97.68% de la variabilidad en el VAB se explica por las variables incluidas en el modelo.

El R-cuadrado corregido (R^2 corregido) de 0.958314 es una versión ajustada del R-cuadrado que tiene en cuenta el número de variables independientes en el modelo. El R-cuadrado corregido es ligeramente más bajo que el R-cuadrado, pero sigue mostrando un buen ajuste.

Prueba de significancia global

El F(4, 5) de 52.72548 con un p-valor (de F) de 0.000281 (***) indica que el modelo en su conjunto es altamente significativo.

Para resumir, el modelo de regresión lineal múltiple muestra que el PIB y la inversión privada (INV) son variables estadísticamente significativas que tienen un impacto negativo y positivo respectivamente en el valor agregado bruto (VAB) de los sectores de la economía circular en España. Mientras tanto, la cantidad de residuos de envases plásticos generados (RES) no es significativa, y el porcentaje de envases plásticos reciclados (RECRATE) muestra una significancia estadística marginal (p-valor entre 5% y 10%). El modelo explica el 97.68% de la variabilidad en el VAB de la economía circular española, y no muestra autocorrelación significativa en los residuos.

Se puede concluir que un mayor crecimiento económico general está asociado a un impacto negativo en la economía circular española. En otras palabras, un aumento en el PIB está relacionado con un empeoramiento del VAB de la economía circular. Por tanto, se rechaza la hipótesis inicial sobre la relación directamente proporcional y positiva entre PIB y la economía circular.

El coeficiente de la variable RES en el modelo de regresión no muestra una significancia estadística. Esto indica que, dentro del contexto de las otras variables consideradas en el modelo, no se encontró una relación estadísticamente significativa entre la cantidad de residuos de envases plásticos generados per cápita y el valor agregado bruto (VAB) de los sectores de la economía circular en España. Por tanto, se rechaza la hipótesis inicial de que una mayor generación de residuos tendría un impacto significativo sobre la economía circular española.

Los resultados de la variable RECRATE sugieren que existe una relación entre el porcentaje de envases plásticos reciclados y el valor agregado bruto (VAB) de los sectores de la economía circular en España, aunque esta relación no alcanza la significancia estadística convencional (5%). Este hallazgo coincide con la hipótesis inicial de la relación positiva entre ambas variables, pero siendo la relación entre ambas variables marginal.

Los resultados del modelo indican que la inversión privada (INV) en sectores relacionados con la economía circular tiene un impacto sólido y positivo en la economía circular española. Este resultado coincide con la hipótesis inicial de la relación muy positiva entre ambas variables.

4.4.3. Comprobación del modelo

Todo modelo de regresión lineal múltiple estimado por el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) debe verificar el cumplimiento de las hipótesis básicas.

1. Linealidad del modelo

	coeficiente	Desv. típica	Estadístico t	valor p
const	-0.0510464	0.0370262	-1.379	0.2618
PIB_ESP	-0.679407	0.567785	-1.197	0.3174
RES_ESP	0.000170698	0.000130539	1.308	0.2822
RECRATE_ESP	0.00467389	0.00403358	1.159	0.3304
INV_ESP	0.494580	0.411867	1.201	0.3160
yhat^2	-1913.46	1772.63	-1.079	0.3594
yhat^3	38510.7	38158.0	1.009	0.3872

Estadístico de contraste: $F = 2.091051$,
con valor $p = P(F(2,3) > 2.09105) = 0.27$

El p-valor para el test de linealidad del modelo es de 0,27, mayor que 0,05. Por tanto, no se puede rechazar la hipótesis básica de linealidad del modelo y se concluye que el modelo es lineal.

2. Ausencia de autocorrelación o dependencia entre residuos

Estadístico de Durbin-Watson = 2.10549 valor p = 0.124185
--

El p-valor para el test de ausencia de autocorrelación entre residuos es de 0,124, mayor que 0,05. Por tanto, no se puede rechazar la hipótesis básica de ausencia de autocorrelación entre residuos y se concluye que no existe dependencia entre residuos. Además, esto también se puede comprobar observando el valor estadístico del test de Durbin-Watson*, con un valor de 2.105.

**El valor de Durbin-Watson varía en un rango de 0 a 4. Un valor de Durbin-Watson cercano a 2 indica que no hay evidencia de autocorrelación serial en los residuos. En otras palabras, los residuos se consideran aleatorios y no muestran un patrón discernible. Un valor por debajo de 2 sugiere autocorrelación positiva en los residuos y un valor por encima de 2 indica autocorrelación negativa en los residuos. [Kenton, 2023]*

3. Homocedasticidad

```
Contraste de heterocedasticidad de Breusch-Pagan
MCO, usando las observaciones 2011-2020 (T = 10)
Variable dependiente: uhat^2 escalado

      coeficiente  Desv. típica  Estadístico t  valor p
-----
const      -1.89046      3.90820      -0.4837      0.6490
PIB_ESP     33.5835      17.2581       1.946      0.1092
RES_ESP      0.166257      0.249992      0.6650      0.5355
RECRATE_ESP -0.257303      0.194871     -1.320      0.2439
INV_ESP     21.7044      12.3885       1.752      0.1402

Suma de cuadrados explicada = 7.35056

Estadístico de contraste: LM = 3.675281,
con valor p = P(Chi-cuadrado(4) > 3.675281) = 0.451731
```

El p-valor para el test de heterocedasticidad es de 0,452, mayor que 0,05. Por tanto, no se puede rechazar la hipótesis básica de homocedasticidad y se concluye que la varianza de los errores es constante.

4. Ausencia de multicolinealidad

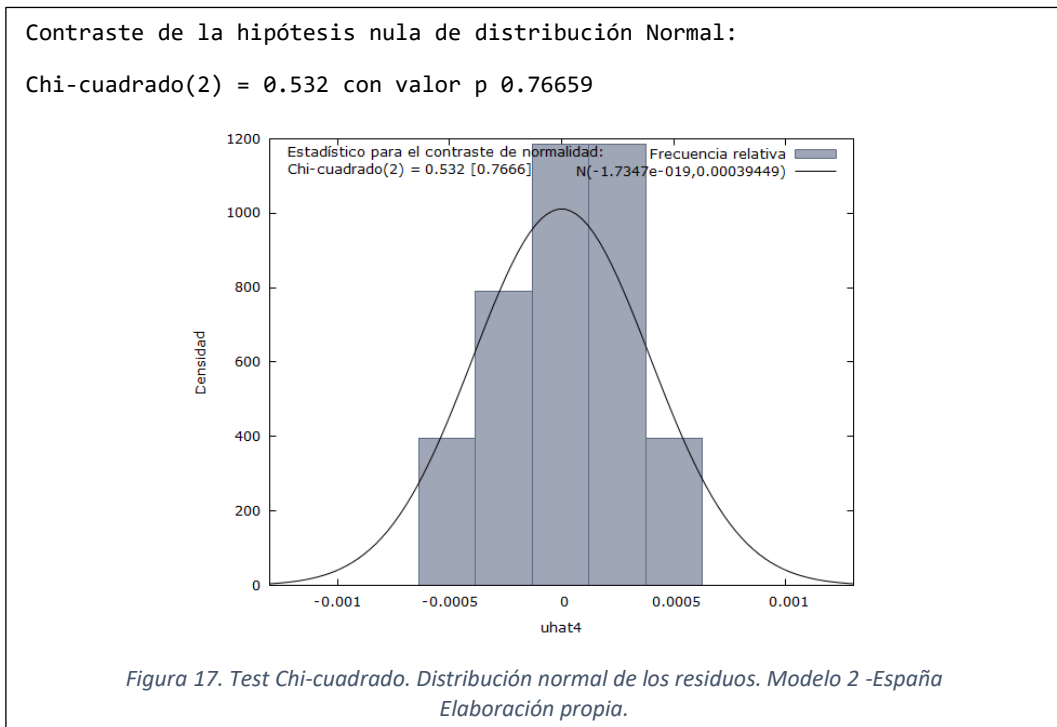
```
Mínimo valor posible = 1.0
Valores mayores que 10.0 pueden indicar un problema de colinealidad

      PIB_ESP      4.359
      RES_ESP      4.624
RECRATE_ESP     10.506
      INV_ESP      4.912

De acuerdo con BKW, cond >= 30 indica "fuerte" dependencia casi lineal,
y cond entre 10 y 30 "moderadamente fuerte".
```

De los datos extraído del modelo podemos concluir que las variables finales escogidas no muestran ningún tipo de multicolinealidad fuerte entre sí porque el test de multicolinealidad muestra que ninguna variable sobrepasa el valor crítico de 10.

5. Distribución normal de los residuos y valor medio residual nulo.



El p-valor para el test de Chi-cuadrado es de 0,767, mayor que 0,05. Por tanto, no se puede rechazar la hipótesis básica de distribución normal de los residuos.

Estadísticos principales, usando las observaciones 2011 - 2020 para la variable Residual (10 observaciones válidas)			
Media	Mediana	Mínimo	Máximo
-1.7347e-019	6.9965e-006	-0.00050949	0.00050177
Desv. Típica.	C.V.	Asimetría	Exc. de curtosis
0.00029404	indefinido	-0.059107	-0.64009
Porc. 5%	Porc. 95%	Rango IQ	Observaciones
indefinido	indefinido	0.00044797	0

El valor medio de los residuos es de -1.7347e-019, aproximadamente cero. Por tanto, se cumple la hipótesis básica del valor medio residual nulo.

5. Comparativa con otros países europeos

Este estudio ha desarrollado un modelo estadístico con el propósito de medir el impacto de diversas variables en la economía circular española, con un enfoque detallado en el sector del envasado plástico. El modelo será duplicado para abarcar los 27 países miembros de la Unión Europea, y Reino Unido, miembro de la UE en el periodo de análisis, con el fin de realizar una comparativa entre los distintos países miembros y España en materia de economía. Para ello, primero se debe garantizar que los modelos de cada país cumplan con las hipótesis básicas de

un modelo de regresión lineal múltiple estimado mediante mínimos cuadrados y que dicho modelo tenga una significancia en su conjunto. En caso de que estos modelos resulten válidos, se puede llevar a cabo una comparativa directa con el modelo español. Si los modelos no pasan las pruebas de validez y no cumplen con estas hipótesis, la comparativa con el modelo español no podrá realizarse. Cabe recordar que el modelo fue aplicado con anterioridad al conjunto de la Unión Europea y este resultó no ser válido porque no cumplía con las hipótesis básicas.

Los 27 países que conforman la Unión Europea son Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Polonia, Portugal, República Checa, Rumanía y Suecia. Además, también se implementará el modelo a datos del Reino Unido como país miembro en el periodo de análisis. Todos los datos obtenidos provienen de Eurostat para el periodo entre 2011 y 2020.

Tras la implementación del modelo y sus variables a los datos de cada uno de los países descritos, algunos modelos mostraban desde su inicio invalidez en el modelo por falta de significancia y relevancia del mismo. Los países con un p valor del conjunto por encima del 5% y con un R-cuadrado corregido sin relevancia se consideran modelos no válidos. Estos países son: Austria (p valor de 0.403970 y R-cuadrado corregido de 0.092774), Bélgica, (p valor de 0.394483 y R-cuadrado corregido de 0.103803), Dinamarca, (p valor de 0.147033 y R-cuadrado corregido de 0.439882), Eslovaquia (p valor de 0.419542 y R-cuadrado corregido de 0.074806), Eslovenia (p valor de 0.209974 y R-cuadrado corregido de 0.340491), Estonia (p valor de 0.485298 y R-cuadrado corregido de 0.000401), Finlandia (p valor de 0.824521 y R-cuadrado corregido de -0.392781), Francia (p valor de 0.569963 y R-cuadrado corregido de -0.093560), Hungría (p valor de 0.716730 y R-cuadrado corregido de -0.259174), Letonia (p valor de 0.295304 y R-cuadrado corregido de 0.224363), Países Bajos (p valor de 0.978756 y R-cuadrado corregido de -0.669843), Portugal (p valor de 0.339054 y R-cuadrado corregido de 0.169810), Rumanía (p valor de 0.118876 y R-cuadrado corregido de 0.490791) y Suecia (p valor de 0.462488 y R-cuadrado corregido de 0.025991).

De los países restantes, con significancia en su conjunto, algunos no cumplieron las hipótesis básicas de un moldeo de regresión lineal. Los modelos para Bulgaria, Polonia, Grecia y Reino Unido no cumplen con la hipótesis 4, ausencia de multicolinealidad. En el caso de Croacia, no se cumple la hipótesis 5, distribución normal de los residuos. Los modelos de Italia e Irlanda no cumplen la hipótesis 2, ausencia de autocorrelación o dependencia entre residuos porque su valor p del estadístico Durbin Watson es inferior al 5%. Por último, el modelo para la República Checa no cumple la hipótesis 1, linealidad del modelo.

Los países de los cuales se ha obtenido un modelo significativo y válido que cumple con todas las hipótesis básicas de un modelo de regresión lineal múltiple son Alemania, Chipre, Lituania, Luxemburgo y Malta. Se presentan los resultados de dichos modelos y una comparativa frente al modelo español objeto de esta investigación.

Modelo: Alemania

Modelo 1: MCO, usando las observaciones 2011-2020 (T = 10)					
Variable dependiente: VAB					
	<i>Coefficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>valor p</i>	
Const (β_0)	1.06459	0.750864	1.418	0.2154	
PIB (β_2)	0.00600038	0.00799792	0.7502	0.4869	
RES (β_4)	0.0646284	0.0158658	4.073	0.0096	***
RECRATE (β_7)	-0.0360099	0.00842260	-4.275	0.0079	***
INV (β_{11})	0.343964	0.118552	2.901	0.0337	**
Media de la vble. dep.	1.970000	D.T. de la vble. dep.		0.235938	
Suma de cuad. residuos	0.008987	D.T. de la regresión		0.042396	
R-cuadrado	0.982061	R-cuadrado corregido		0.967711	
F(4, 5)	68.43250	Valor p (de F)		0.000149	
Log-verosimilitud	20.88331	Criterio de Akaike		-31.76663	
Criterio de Schwarz	-30.25370	Crit. de Hannan-Quinn		-33.42630	
rho	-0.212496	Durbin-Watson		1.793764	

El modelo de Alemania tiene un R-cuadrado corregido elevado similar al modelo español, y un p valor de F significativo e inferior al de España, concluyendo así que el modelo alemán es un modelo más significativo en su conjunto.

En el modelo alemán, el producto Interior Bruto (PIB) no es una variable significativa. Sin embargo, se observa que dicha variable si es significativa y relevante en la economía circular española, siendo su relación negativa. Esto indica que, para Alemania, a diferencia de España, la economía del país no afecta significativamente a la evolución de la economía circular, son independientes entre sí, y que, en España, además de tener un impacto, la variación positiva del PIB afecta de manera inversa a la evolución de estos sectores de la economía circular.

Ademas, para la economía circular alemana los residuos de envases plásticos generados (RES) es una variable muy significativa (***), con coeficiente positivo, mientras que esta variable no tiene ninguna relevancia en el modelo español. Por tanto, se observa que, en Alemania, a medida que aumenta la generación de residuos, aumenta el VAB de los sectores de la economía circular dentro del país.

Los envases plásticos reciclados (RECRATE), es una variable significativa para ambos modelos, siendo altamente significativa para Alemania (***), con un coeficiente negativo, y parcialmente significativa (*) para España, con un coeficiente positivo. Es decir, ambos modelos destacan la importancia y el impacto de esta variable en la economía circular, pero siendo su efecto distinto en ambos países. Asimismo, ambos modelos coinciden que la inversión privada (INV) tiene una relación positiva y significativa (**) para la economía circular española y alemana.

Modelo: Chipre

Modelo 1: MCO, usando las observaciones 2011-2020 (T = 10)				
Variable dependiente: VAB				
	<i>Coeficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>valor p</i>
Const (β_0)	-0.754650	0.503106	-1.500	0.1939
PIB (β_2)	0.0104690	0.00582947	1.796	0.1325
RES (β_4)	0.134099	0.0243624	5.504	0.0027 ***
RECRATE (β_7)	-0.00431022	0.00296882	-1.452	0.2063
INV (β_{11})	-0.215451	0.128470	-1.677	0.1544
Media de la vble. dep.	1.520000	D.T. de la vble. dep.		0.187380
Suma de cuad. residuos	0.015212	D.T. de la regresión		0.055158
R-cuadrado	0.951861	R-cuadrado corregido		0.913350
F(4, 5)	24.71666	Valor p (de F)		0.001718
Log-verosimilitud	18.25195	Criterio de Akaike		-26.50391
Criterio de Schwarz	-24.99098	Crit. de Hannan-Quinn		-28.16358
rho	-0.350308	Durbin-Watson		2.586237

El modelo de Chipre tiene un R-cuadrado corregido elevado similar al modelo español, y un p valor del F significativo y superior al de España, concluyendo así que el modelo chipriota es un modelo menos significativo en su conjunto.

Según los resultados del modelo, la única variable significativa (***) para la economía circular de Chipre es la generación de residuos de envases plásticos (RES), siendo dicho coeficiente positivo. Para el modelo español esta variable no tiene relevancia alguna. Por tanto, se concluye que, en Chipre, a diferencia de España, ni el PIB ni la inversión privada ni los envases de plástico reciclados son relevante para la evolución de la economía circular chipriota, siendo el único factor relevante los residuos totales de envases plásticos generados.

Modelo: Lituania

Modelo 1: MCO, usando las observaciones 2011-2020 (T = 10)				
Variable dependiente: VAB				
	<i>Coeficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>valor p</i>
Const (β_0)	0.211060	0.166801	1.265	0.2615
PIB (β_2)	-0.00952877	0.0154459	-0.6169	0.5643
RES (β_4)	0.0343519	0.00743858	4.618	0.0057 ***
RECRATE (β_7)	0.0103332	0.00346144	2.985	0.0306 **
INV (β_{11})	0.0930593	0.194100	0.4794	0.6519
Media de la vble. dep.	1.660000	D.T. de la vble. dep.		0.275681
Suma de cuad. residuos	0.019366	D.T. de la regresión		0.062235
R-cuadrado	0.971687	R-cuadrado corregido		0.949036
F(4, 5)	42.89924	Valor p (de F)		0.000463
Log-verosimilitud	17.04469	Criterio de Akaike		-24.08937
Criterio de Schwarz	-22.57645	Crit. de Hannan-Quinn		-25.74905
rho	-0.427290	Durbin-Watson		2.559755

El modelo de Lituania tiene un R-cuadrado corregido elevado similar al modelo español, y un p valor del F significativo y superior al de España, concluyendo así que el modelo lituano es un modelo menos significativo en su conjunto.

El modelo indica que, para la economía circular de Lituania, el PIB del país y la inversión privada, a diferencia del modelo español, no son factores estratégicos relevantes. Además, la significancia de la variable RES difiere entre moldeos, siendo muy significativa (***) para la economía circular lituana e irrelevante para la española. Según el modelo, esta variable tiene un impacto positivo en la economía circular lituana. Por último, ambos modelos coinciden que el porcentaje de envases plásticos reciclados (RECRATE) es una variable significativa y con coeficiente positivo, siendo más significativa para la economía circular de lituana que para la española.

Modelo: Luxemburgo

Modelo 1: MCO, usando las observaciones 2011-2020 (T = 10)					
Variable dependiente: VAB					
	<i>Coficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>valor p</i>	
Const (β_0)	3.93912	1.26814	3.106	0.0267	**
PIB (β_2)	-0.0183188	0.0291044	-0.6294	0.5567	
RES (β_4)	-0.0332986	0.0149362	-2.229	0.0762	*
RECRATE (β_7)	-0.0420358	0.0268059	-1.568	0.1776	
INV (β_{11})	0.0912649	0.186473	0.4894	0.6453	
Media de la vble. dep.	1.070000	D.T. de la vble. dep.		0.149443	
Suma de cuad. residuos	0.049505	D.T. de la regresión		0.099504	
R-cuadrado	0.753705	R-cuadrado corregido		0.556669	
F(4, 5)	3.825218	Valor p (de F)		0.086831	
Log-verosimilitud	12.35192	Criterio de Akaike		-14.70384	
Criterio de Schwarz	-13.19092	Crit. de Hannan-Quinn		-16.36352	
rho	-0.187386	Durbin-Watson		1.722826	

El modelo de Lituania tiene un p valor del conjunto parcialmente significativo, inferior al 10% y superior al 5%) con un R-cuadrado corregido del 55.67%. Esto indica que este modelo es menos significativo y representativa que el modelo español. No obstante, pese a su parcial significación, la comparación entre ambos modelos es posible.

Según los resultados, la única variable significativa, y en este caso, parcialmente relevante, para la economía circular de Luxemburgo es RES. Esto indica que, al contrario de España, en Luxemburgo la generación de residuos plásticos si es una variable importante para la evolución de los sectores de la economía circular dentro del país.

Modelo: Malta

Modelo 1: MCO, usando las observaciones 2011-2020 (T = 10)				
Variable dependiente: VAB				
	<i>Coeficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>valor p</i>
Const (β_0)	2.03112	1.65601	1.227	0.2746
PIB (β_2)	-0.00737288	0.0134200	-0.5494	0.6064
RES (β_4)	0.0126420	0.0366464	0.3450	0.7442
RECRATE (β_7)	-0.0308632	0.0127883	-2.413	0.0606 *
INV (β_{11})	0.733347	0.805449	0.9105	0.4043
Media de la vble. dep.	2.380000	D.T. de la vble. dep.		0.370585
Suma de cuad. residuos	0.177755	D.T. de la regresión		0.188549
R-cuadrado	0.856186	R-cuadrado corregido		0.741134
F(4, 5)	7.441761	Valor p (de F)		0.024632
Log-verosimilitud	5.960298	Criterio de Akaike		-1.920597
Criterio de Schwarz	-0.407671	Crit. de Hannan-Quinn		-3.580272
rho	-0.327815	Durbin-Watson		2.649950

El modelo de Malta tiene un p valor del conjunto significativo, bastante superior al modelo español y con un R-cuadrado corregido del 74.11%. Por ello, este modelo es menos significativo que el modelo español.

Según los resultados, el único factor relevante para la economía circular de Malta, y en este caso, parcialmente significativa, es el porcentaje de plásticos reciclados (RECRATE). Esto coincide con el modelo español, donde esta variable también es parcialmente significativa. Sin embargo, el coeficiente de esta variable difiere en ambos modelos, siendo su impacto positivo para la economía circular de España y negativo para la economía circular de Malta.

6. Conclusiones

6.1 Conclusiones de los hallazgos y resultados del modelo español

En relación con el objetivo principal del trabajo se ha logrado cuantificar la relación del sector de envases plásticos, la inversión privada, y la economía con la evolución y desarrollo de la economía circular española en épocas de estabilidad, utilizando un modelo de regresión lineal múltiple. Se presentan las siguientes conclusiones divididas según a que factor estratégico de la economía circular hacen referencia y atendiendo a los resultados de las variables finales por separado.

Economía circular vs PIB

Según los resultados con respecto a la variable PIB, se debe tener en cuenta que un enfoque exclusivo en el crecimiento económico general no es suficiente para impulsar la sostenibilidad y el desarrollo de la economía circular. Es necesario considerar políticas específicas y medidas

dirigidas a promover prácticas más sostenibles, reducir los residuos y mejorar el reciclaje de plástico, incluso en un contexto de crecimiento económico.

En lugar de depender únicamente del crecimiento económico general, es esencial identificar oportunidades y soluciones que impulsen la economía circular de manera más independiente y resiliente.

Economía circular vs Kg per cápita de residuos de envases plásticos generados [RES]

Se concluye que a pesar de los resultados obtenidos en este modelo respecto de la variable RES, la cual ha resultado no ser relevante para la economía circular de España, se continúe prestando atención a la gestión de residuos de envases plásticos como parte integral de las políticas de economía circular puesto que en los estudios anteriores mencionados de Trica et al. y Sverko Grdic et al. esta variable si es relevante a nivel europeo. Además, se abre una oportunidad para futuras investigaciones que profundicen en la relación entre la generación de residuos de envases plásticos y la economía circular en España, posiblemente considerando diferentes variables o enfoques metodológicos para obtener una comprensión más completa de esta dinámica.

Economía circular vs porcentaje de envases plásticos reciclados [RECRATE]

Es relevante reconocer el potencial impacto positivo del reciclaje de envases plásticos en la economía circular del país. El hecho de que exista una tendencia positiva en la relación entre ambas variables destaca la importancia de seguir promoviendo el reciclaje como una medida clave para el desarrollo sostenible y la gestión adecuada de los recursos.

Además, se destaca que la industria del plástico y, la subindustria del envasado plástico, son sectores altamente relevantes en el contexto de la economía circular en España. El hecho de que el porcentaje de envases plásticos reciclados tenga una relación marginal pero positiva con el valor agregado bruto (VAB) de los sectores de la economía circular indica que la industria del envasado de plástico muestra un papel crucial en la generación de valor económico dentro de la economía circular española. Esta conclusión resalta la importancia de prestar especial atención a la industria del envasado de plástico y su participación en la economía circular. Si bien esta industria puede parecer pequeña en comparación con otros sectores relacionados con la gestión de residuos, su impacto es significativo. Este hallazgo subraya la necesidad de implementar políticas y estrategias enfocadas en el reciclaje y la reutilización de envases plásticos, así como en la promoción de prácticas más sostenibles en esta industria.

Por tanto, se recomienda que el gobierno y otras instituciones continúen fomentando y fortaleciendo las políticas y programas destinados a aumentar el porcentaje de envases plásticos reciclados en España. Esto puede incluir campañas de concienciación ciudadana, la mejora de la infraestructura de reciclaje y la incentivación de prácticas sostenibles en la industria.

Economía circular vs % de inversión privada en sectores de la economía circular [INV]

Los resultados del modelo resaltan la importancia de la inversión privada como un factor estratégico clave para impulsar la economía circular en el país. La participación activa del sector privado en el desarrollo y fortalecimiento de actividades relacionadas con la economía circular representa una oportunidad valiosa para fomentar la sostenibilidad, la innovación y el crecimiento económico sostenible.

En consecuencia, se recomienda que el gobierno y las entidades pertinentes trabajen en colaboración con el sector privado para fomentar la inversión en proyectos relacionados con la economía circular. Esto puede incluir el establecimiento de incentivos fiscales, la creación de fondos de inversión específicos para proyectos sostenibles y la promoción de alianzas público-privadas que impulsen la adopción de prácticas más sostenibles y circulares en diversos sectores económicos.

Además, es esencial seguir monitoreando y evaluando el impacto de la inversión privada en la economía circular para garantizar que las políticas y estrategias implementadas sean efectivas y se ajusten a las necesidades cambiantes del país en materia de sostenibilidad y economía circular.

Como síntesis, en base a los resultados del modelo de regresión, se extraen conclusiones clave para la gestión de residuos y la economía circular en España. La relación entre el crecimiento económico general y la economía circular resalta la necesidad de diversificar enfoques en la gestión de residuos, enfocándose en estrategias específicas de sostenibilidad en lugar de depender exclusivamente del crecimiento económico del país. Aunque la cantidad de residuos de envases plásticos generados no mostró una relación directa, esto no disminuye la importancia de gestionar adecuadamente estos residuos, lo que enfatiza la necesidad de mejorar la infraestructura de reciclaje y promover prácticas de reducción de residuos. Además, el reciclaje se posiciona como un componente esencial de la sostenibilidad económica y debe ser promovido tanto por el gobierno como por las empresas.

En cuanto a las oportunidades, a pesar de su tamaño relativamente pequeño dentro de los diversos sectores de la economía española, la industria del envasado de plástico tiene un impacto significativo en la economía circular. Esto brinda posibilidades para el crecimiento, la innovación y la creación de empleo en este sector. Además, la inversión privada en proyectos sostenibles representa una oportunidad importante para el desarrollo sostenible. Las empresas pueden considerar invertir en proyectos que contribuyan a la economía circular, lo que no solo beneficia la sostenibilidad, sino también su propia competitividad empresarial en el futuro.

Por último, respecto de los modelos implementados en los 27 países miembros de la Unión Europea, así como en el Reino Unido, se obtienen diversas conclusiones. Mientras algunos modelos fueron significativos y comparables al español, otros no cumplieron con las hipótesis básicas de regresión lineal, evidenciando la complejidad y diversidad de la economía circular en Europa y la diferencia entre países miembros.

La comparativa entre modelos destacó a Alemania como un caso significativo y similar al español. Sin embargo, se identificaron diferencias notables, como la falta de significancia del PIB alemán, en contraste con su relevancia en España. Además, la generación de residuos plásticos mostró ser una variable crucial para Alemania, mientras que en España careció de relevancia. Otro grupo de países, entre ellos Chipre, Lituania, Luxemburgo y Malta, también presentaron modelos significativos, aunque con variaciones en la importancia de las variables. Estos resultados evidencian la clara necesidad de investigación profunda para cada nación en términos de gestión de residuos y economía circular.

6.2 Limitaciones del estudio y áreas para futuras investigaciones

El presente estudio ha identificado varias limitaciones que indican la necesidad de futuras investigaciones para una comprensión más profunda de la economía circular en España.

Una de las limitaciones que merece especial atención es la extensión del modelo aplicado al ámbito europeo. A pesar de que este estudio se ha centrado en datos específicos de España, se intentó ampliar la investigación a nivel europeo mediante la aplicación de un modelo de regresión lineal múltiple por mínimos cuadrados utilizando las mismas variables con datos europeos. No obstante, este intento no cumplió con las hipótesis básicas del modelo. Tal discrepancia podría atribuirse a las diferencias existentes en las estructuras económicas, las políticas gubernamentales y las prácticas de gestión de residuos entre los distintos países europeos. En vista de esta limitación, aparece una línea de investigación futura: la comparación internacional. Investigaciones posteriores podrían abordar esta cuestión a través de un análisis detallado de las dinámicas de la economía circular en diferentes contextos geográficos. Esta exploración facilitaría la identificación de variaciones sustanciales y la posible influencia de factores regionales en estas relaciones.

Otra limitación de consideración se centra en el enfoque exclusivo de este estudio en la industria del plástico, con especial énfasis en el sector del envasado plástico. A pesar de la relevancia de esta industria en el paradigma de la economía circular, otras áreas igualmente relevantes, como la industria de la energía, la construcción y la gestión de residuos de materiales alternativos, como el vidrio o el cartón, no han sido objeto de una exploración exhaustiva. Para obtener una comprensión más completa de la economía circular en el contexto español, resulta esencial investigar estas áreas adicionales. En consecuencia, una vía prometedora de investigación se relaciona con la exploración de otros sectores de la economía y, por tanto, considerando nuevas variables adicionales, habilitando así una visión integral de la contribución de diversas industrias a la economía circular.

Además, es oportuno considerar la posibilidad de incorporar nuevas variables en futuras investigaciones. En el presente estudio, se observó que la generación de residuos de envases plásticos no exhibió una significancia sustancial en el modelo. Por lo tanto, se abre una perspectiva para la investigación futura: la inclusión de nuevas variables que guarden relación con la gestión de residuos y la economía circular. Tienen el potencial de proporcionar una comprensión más detallada de cómo diversos factores impactan en la economía circular y, en consecuencia, podrían iluminar elementos no considerados en este estudio.

Adicionalmente, más allá de los enfoques cuantitativos empleados en esta investigación, se sugiere la consideración de un análisis cualitativo en futuras investigaciones. Esta aproximación podría abordar, mediante métodos como entrevistas y estudios de caso, la obtención de una comprensión profunda de las dinámicas y los desafíos específicos que caracterizan a la industria del plástico y la economía circular en España. Estos métodos cualitativos complementarían las investigaciones cuantitativas.

Por último, respecto de los modelos implementados en los 27 países miembros de la Unión Europea, así como en el Reino Unido, se observan limitaciones y áreas para futuras investigaciones. Las limitaciones del estudio incluyen la complejidad intrínseca de la economía circular, que abarca múltiples sectores y políticas, y puede no estar completamente reflejada en un modelo de regresión lineal múltiple. La falta de consideración de la dinámica temporal, puesto que el estudio se basa en un periodo temporal de estabilidad, también es una limitación, ya que las condiciones económicas y políticas evolucionan con el tiempo. En términos de futuras investigaciones, como ya se ha mencionado previamente, se sugiere explorar e incluir otros factores relevantes, como regulaciones específicas, comportamiento del consumidor y avances tecnológicos de cada uno de los países. Asimismo, complementar el enfoque cuantitativo con estudios cualitativos.

7. Bibliografía

Abuín, J. R. (2007). Regresión lineal múltiple. Instituto de Economía y Geografía, Madrid.

André, F. J. y Cerdá, E. (2006). Gestión de residuos sólidos urbanos: análisis económico y políticas públicas. Cuadernos económicos de ICE, 71.

Babaremu, K. O., Okoya, S. A., Hughes, E., Tijani, B., Teidi, D., Akpan, A., ... y Akinlabi, E. T. (2022). Sustainable plastic waste management in a circular economy. Heliyon, 8.

Brundtland, G.H. (1987). Our common Future. Oxford, Oxford University Press.

Castillo Banegas, M. D. (2022). Reciclaje de plástico PET (Master thesis, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales).

Chirivella González, V. (2015). Hipótesis en el modelo de regresión lineal por Mínimos Cuadrados Ordinarios.

DELSOL. (2019). Valor agregado bruto (VAB). Sdelsol.com.

Díaz, C. G. (2016). La significación estadística y los p-valores. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, 54(3), 60-62.

Ellen MacArthur Foundation. (2015). Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition.

EQUIPLAST. (2023). Informe Sectorial Del Plástico en España.

Esteban, M. V., Moral, M. P., Orbe, S., Regúlez, M., Zarraga, A. y Zubia, M. (2009). Análisis de regresión con Gretl. Departamento de economía Aplicada III, Universidad del País Vasco.

European Commission. (2019). Declaration of the Circular Plastics Alliance.

European Parliament. (2008). DIRECTIVE 2008/98/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives.

European Parliament. (2022). Revision of Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste. European Parliament. (2023a). Revision of the Packaging and Packaging Waste Directive.

European Parliament. (2023b). Packaging and packaging waste. Commission Impact Assessment.

Eurostat. (2011). Guidance on the interpretation of the term backfilling.

Eurostat. (2020). Greenhouse gas emissions from waste. Recuperado de <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20200123-1>

Eurostat. (2023a). Waste by waste packaging material. European Commission.

Gamez, M. J. (2015). Objetivos y metas de desarrollo sostenible. Desarrollo Sostenible. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Geyer, R., Jambeck, J. R. y Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. Science advances, 3(7), e1700782.

- Ghisellini, P., Cialani, C. y Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner production*, 114, 11-32.
- Granados, R. M. (2016). Modelos de regresión lineal múltiple. Granada, España: Departamento de Economía Aplicada, Universidad de Granada.
- Gómez, J. (2022). El plástico lidera la industria española del packaging. MundoPlast - Últimas noticias del Plástico. Recuperado de <https://mundoplast.com/informe-industria-packaging-plastico/>
- Guerra Espinosa, C.M. y González Torres, I.M. (2015). La relación dinámica del valor agregado bruto, la producción mercantil y el gasto material: Su importancia para la toma de decisiones. *Economía y Desarrollo*, 154(1), 118-131.
- Instituto nacional de Estadística (INE). 2022. Estadística sobre Recogida y Tratamiento de Residuos.
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A. y Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771.
- Jara, L. (2015). VAB – Valor Agregado Bruto. (Santa Fe). Observatorio Económico Social. Recuperado de: <https://observatorio.unr.edu.ar/vab-valor-agregado-bruto/>
- Jawahir, I.S. y Bradley, R. (2016). Technological Elements of Circular Economy and the Principles of 6R-Based Closed-Loop Material Flow in Sustainable Manufacturing,, 40, 103–108.
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P. y Van Woerden, F. (2018). What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050. World Bank Publications.
- Kenton, W. (2023). Durbin Watson Test: What It Is in Statistics, With Examples. Investopedia. Recuperado de <https://www.investopedia.com/terms/d/durbin-watson-statistic.asp>
- Kirchherr, J., Reike, D. Y Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, conservation and recycling*, 127, 221-232.
- Korhonen, J., Honkasalo, A. y Seppälä, J. (2018). Circular economy: the concept and its limitations. *Ecological economics*, 143, 37-46.
- Kosior, E. y Mitchell, J. (2020). Current industry position on plastic production and recycling. In *Plastic waste and recycling* (pp. 133-162). Academic Press.
- Lebreton, L. C., Van Der Zwet, Damsteeg, Slat, B., Andrady, A. y Reisser, J. (2017). River plastic emissions to the world's oceans. *Nature communications*, 8(1), 15611.
- Manterola, C. y Pineda, V. (2008). El valor de la p y de la significación estadística. Aspectos generales y su valor en la práctica clínica. *Revista chilena de cirugía*, 60(1), 86-89.
- Molina, M. (2021). La distancia más corta. El método de los mínimos cuadrados. *Revista electrónica AnestesiaR*, 13(1), 3.
- Pearce, D.W. and R.K. Turner (1990), *Economics of Natural Resources and the Environment*, Hemel Hempstead: Harvester Wheatsheaf.
- Poveda, G. P., Lozano, C. B. (2018). REAL DECRETO 293/2018 SOBRE REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE BOLSAS DE PLÁSTICO.

- Romero, G. D. (2019). Progresando hacia un modelo de economía circular. *ECONOMIA Y MEDIO AMBIENTE*, 211.
- Rincón-Moreno, J., Ormazábal, M., Álvarez, M. J. y Jaca, C. (2021). Advancing circular economy performance indicators and their application in Spanish companies. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123605.
- Schwarz, A. E., Ligthart, T. N., Bizarro, D. G., De Wild, P., Vreugdenhil, B. y Van Harmelen, T. (2021). Plastic recycling in a circular economy; determining environmental performance through an LCA matrix model approach. *Waste Management*, 121, 331-342.
- Shamsuyeva, M. y Endres, H. J. (2021). Plastics in the context of the circular economy and sustainable plastics recycling: Comprehensive review on research development, standardization and market. *Composites Part C: open access*, 6, 100168.
- Stahel, W. (2016) The circular economy. *Nature* 531, 435–438.
- Stahel, W. R. and Reday-Mulvey, G. (1981) *Jobs for tomorrow: The potential for substituting manpower for energy*, Vantage Press.
- Suárez Rodríguez, S. R. (2019). El problema de los plásticos de un sólo uso en España: situación actual y estrategias futuras.
- Sverko Grdic, Z., Krstinic Nizic, M. y Rudan, E. (2020). Circular economy concept in the context of economic development in EU countries. *Sustainability*, 12(7), 3060.
- Trica, C. L., Banacu, C. S. y Busu, M. (2019). Environmental factors and sustainability of the circular economy model at the European Union level. *Sustainability*, 11(4), 1114.
- United Nations. (2015). Resolution Adopted by the General Assembly on 25 September 2015. Seventieth session. A/70/L.1.
- United Nations Development Programme (UNDP). (2022). Sustainable Development Goals. Sustainable Development Goals; United Nations. Recuperado de <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>
- Kosior, E., y Mitchell, J. (2020). Current industry position on plastic production and recycling. In *Plastic waste and recycling* (pp. 133-162). Academic Press.
- Plastics Europe. (2022a). Plastics - the Facts 2022. Recuperado de <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/>
- Plastics Europe. (2022b). Quarterly report Q2/2022. Recuperado de <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/quarterly-report-q2-2022/>
- Plastics Europe. (2022a). Plastics - the Facts 2022. Recuperado de <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/>
- Plastics Europe. (2022b). Quarterly report Q2/2022. Recuperado de <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/quarterly-report-q2-2022/>
- United Nations. (2015). Resolution Adopted by the General Assembly on 25 September 2015. Seventieth session. A/70/L.1.
- United Nations Development Programme (UNDP). (2022). Sustainable Development Goals.

Sustainable Development Goals; United Nations. Recuperado de <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>

Yao, L., Bhada-Tata, P. y Van Woerden, F. (2018). What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050. World Bank Publications.