

# Universidad de Huelva

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Térmica, de  
Diseño y Proyectos



**Desarrollo de un sistema de soporte a la decisión para  
optimizar la planificación y gestión de los residuos  
sólidos urbanos en zonas insulares, basado en dinámica  
de sistemas y teoría de la decisión multicriterio (Fuzzy  
Topsis)**

**Memoria para optar al grado de doctor  
presentada por:**

**Charles Keller Estay Ossandón**

Fecha de lectura: 9 de abril de 2021

Bajo la dirección del doctor:

Ángel Isidro Mena Nieto

**Huelva, 2021**





**Universidad  
de Huelva**

# **TESIS DOCTORAL**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE SOPORTE A LA  
DECISIÓN PARA OPTIMIZAR LA PLANIFICACIÓN Y  
GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN  
ZONAS INSULARES, BASADO EN DINÁMICA DE  
SISTEMAS Y TEORÍA DE LA DECISIÓN  
MULTICRITERIO (FUZZY TOPSIS)**

**DOCTORADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
INDUSTRIAL Y AMBIENTAL**

Presenta:

Charles K. Estay Ossandón

Director:

Angel Mena Nieto

Huelva, Diciembre 2020

# Índice General

<b>Índice General</b> .....	<b>2</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>5</b>
<b>Índice de Tablas</b> .....	<b>7</b>
<b>Abreviaturas</b> .....	<b>8</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>11</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>12</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>15</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>18</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>21</b>
<b>1.1 Justificación de la investigación</b> .....	<b>29</b>
<b>1.2. Los principios ambientales</b> .....	<b>31</b>
<b>1.3 Objetivos</b> .....	<b>35</b>
<b>2. ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>37</b>
<b>2.1 Los residuos sólidos urbanos</b> .....	<b>41</b>
2.1.1 Conceptualización sobre sostenibilidad.....	45
2.1.2 Educación para el desarrollo sostenible.....	49
2.1.3 Factores que afectan el desempeño del sistema de gestión de RSU .....	54
<b>2.2 Situación actual de los residuos solidos urbanos en Europa</b> .....	<b>57</b>
2.2.1 Generación, tratamiento y composición .....	57
2.2.2 Cantidad de residuos generados a nivel per capita en el mundo en 2017.....	60
2.2.3 Incineración, vertido, reciclaje y compostaje UE 1995-2017 .....	64
2.2.4 Comparativa: Costes compostaje, reciclaje e incineración (2017) .....	69
2.2.5 Generación de RSU en España.....	78

<b>3. ANÁLISIS DEL MARCO LEGAL .....</b>	<b>90</b>
<b>3.1. Normativa europea .....</b>	<b>90</b>
<b>3.2 Legislación Europea .....</b>	<b>92</b>
<b>3.3 Legislación nacional .....</b>	<b>96</b>
<b>3.4 Plan Nacional Integrado de Residuos (2008-2015) .....</b>	<b>102</b>
<b>3.5 Objetivos del Plan Nacional Integrado de Residuos 2008 - 2015 ....</b>	<b>103</b>
<b>3.6 Programa Estatal de Prevención de Residuos 2014-2020 .....</b>	<b>105</b>
<b>3.7 Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos 2016-2022 .....</b>	<b>108</b>
<b>3.8. Normativa de las CC.AA. insulares Baleares y Canarias .....</b>	<b>111</b>
3.8.1. Islas Canarias .....	111
3.8.2 Islas Baleares .....	112
<b>4. ÁREAS DE ESTUDIO .....</b>	<b>114</b>
<b>4.1 Las Islas Baleares .....</b>	<b>114</b>
<b>4.2 Las Islas Canarias .....</b>	<b>118</b>
<b>5. MATERIALES Y METODOLOGIA .....</b>	<b>123</b>
<b>5.1 Materiales .....</b>	<b>123</b>
5.1.1. Problemática asociada a ambos casos de estudio .....	123
<b>5.2 Metodología propuesta .....</b>	<b>125</b>
5.2.1 Aplicación del método Delphi .....	128
5.2.2 Aplicación del modelo econométrico .....	131
5.2.3 Aplicación de Dinámica de Sistemas .....	135
<b>6. RESULTADOS .....</b>	<b>147</b>
<b>6.1. Resultados para el caso Canarias .....</b>	<b>147</b>
<b>6.2. Resultados para el caso Baleares .....</b>	<b>152</b>
<b>7. DISCUSIÓN .....</b>	<b>157</b>

<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>163</b>
<b>9. PRODUCTOS DE LA TESIS .....</b>	<b>168</b>
<b>9.1 Publicación .....</b>	<b>169</b>
<b>ISI Journal of Cleaner Production.....</b>	<b>169</b>
<b>9.2 Publicación.....</b>	<b>185</b>
<b>ISI Waste Management .....</b>	<b>185</b>
<b>9.3 Capítulo libro .....</b>	<b>198</b>
<b>Springer Nature .....</b>	<b>198</b>
<b>9.4 Idoneidad Tesis .....</b>	<b>214</b>
<b>10. FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>217</b>
<b>11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>218</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>235</b>
<b>Anexo 1. Canarias.....</b>	<b>236</b>
Anexo A. Delphi Technique.....	237
Anexo B. Fuzzy Topsis Algorithm .....	239
Anexo C. System Dynamics.....	246
Anexo D. Model validation.....	248
<b>Anexo 2. Baleares.....</b>	<b>249</b>
Anexo A. Econometric Model.....	250
Anexo B. Hodrick Prescott filter. Sensitivity adjustment graphic.....	261
Anexo C: System Dynamics.....	266

## Índice de Figuras

Figura 1. Jerarquía de los RSU (Fuente: ambilamp.es) .....	39
Figura 2. Factores que influyen a los componentes de sistemas de gestión de RSU.....	55
Figura 3. Factores que influyen al rendimiento de sistemas de gestión de RSU. ....	56
Figura 4. Residuos generados per cápita por países en la UE (1995-2017) .....	63
Figura 5. Posible panorama mundial de la generación de RSU en 2050 .....	65
Figura 6. Ratios de reciclaje en Europa en 2017.....	66
Figura 7. Composición de los RSU en función de la renta per capita. ....	67
Figura 8. Cantidades de reciclaje de RSU en Europa en 2018. ....	68
Figura 9. Recogida de RSU en España en 2018.....	80
Figura 10. Generación de RSU por habitante en España en 2018. ....	80
Figura 11. Recogida de RSU por tipo en España en 2018.....	81
Figura 12. Recogida de RSU en miles de toneladas por CC.AA. en España en 2018.....	83
Figura 13. Recogida RSU en kg/ hab. por CC.AA. en España en 2018. ....	83
Figura 14. Tratamiento de los residuos solidos urbanos por CC.AA en España .....	85
Figura 15. Composición media de los RSU en España 2017. ....	86
Figura 16. Modelo de recogida de residuos domiciliarios en España. ....	88
Figura 17. Esquema general de un sistema integrado de gestión de RSU en España.....	89
Figura 18. Mapa de las Islas Baleares. ....	114
Figura 19. Indicadores de los principales tipos de residuos generados en Baleares. ....	116
Figura 20. Modelo de gestión de residuos en Baleares .....	117
Figura 21. Mapa de las Islas Canarias.....	118
Figura 22. Indicadores de los principales tipos de residuos generados en Canarias. ...	120

Figura 23. Modelo de gestión de residuos en Canarias. ....	121
Figura 24. Metodología propuesta para Canarias. ....	126
Figura 25. Metodología propuesta para Baleares.....	127
Figura 26: Pasos para realizar un análisis de escenarios. ....	144
Figura 27. Vidrio, papel/cartón y plástico. ....	150
Figura 28. Fracción orgánica y fracción resto. ....	151
Figura 29. Ecuación del modelo econométrico para Baleares .....	152
Figura 30: Generación de RSU población residente vs. población turística. ....	153
Figura 31: Evolución de la población turística. ....	154
Figura 32. Generación total de RSU per capita .....	155
Figura 33. Tratamiento de RSU. ....	156

## Índice de Tablas

Tabla 1. Residuos sólidos urbanos generados en UE (kg per cápita).....	62
Tabla 2. Incineración, vertido, reciclaje y compostaje UE 1995-2017 .....	64
Tabla 3. Costes de unidad para compostaje (€ por tonelada de RSU en la U.E.).....	69
Tabla 4. Costes de recogida residuos biológicos en varios países de U.E. ....	72
Tabla 5. Costes de vertedero en varios países de UE (€/ton) .....	73
Tabla 6. Costes de incineración en varios países de U.E.....	75
Tabla 7. Costes recogida de residuos en varios países de UE.....	75
Tabla 8. Costes de recogida seca de reciclaje en España (UE-27).....	77
Tabla 9. Recogida de RSU por tipo en España en 2018. ....	82
Tabla 10. Recogida de RSU por tipos y CC.AA. en España en 2018.....	84
Tabla 11. Tratamiento de RSU. ....	87
Tabla 12. Objetivos establecidos por la directiva 2008/98/CE. ....	91
Tabla 13. Normativas y objetivos europeos en relación a los RSU.....	92
Tabla 14. Normativa nacional más relevante en materia de RSU.....	97
Tabla 15. Objetivos cualitativos y cuantitativos del PNIR.....	103
Tabla 16. Datos estadísticos relacionadas a generación de RSU Baleares 2000-2018...	115
Tabla 17. Datos estadísticos relacionados a la generación de residuos 2000-2018. ....	119
Tabla 18. Output de la defuzzificación con las cuatro alternativas más favorables.....	148

## Abreviaturas

RSU	Residuos Sólidos Urbanos
DS	Dinámica de sistemas
ME	Modelo Econométrico
BAU	Bisness and ususal scenario
AE	Análisis de escenarios
EC	Economía circular
O.C.D.E	Organización para la Cooperación y Desarrollo
A.E.M.A	Agencia Europea de Medioambiente
INE	Instituto Nacional de Estadísticas
ISTAC	Instituto Canario de Estadísticas
IBESTAT	Instituto Balear de Estadísticas
MARM	Ministerio de Medioambiente Rural y Marino
PIRCAN	Plan Integrado de Residuos Canaria
PNIR	Plan Nacional Integral de Residuso
CC.AA	Comunidades Autonomas
EDS	Educación para el Desarrollo Sostenible
MAPE	Mean Absolute Percentaje Error
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
RICIA	Residuos institucionales, comerciales e industriales asimilables a los urbanos

PEMAR	Plan Estatal Marco de Residuos
DAFO	Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades
Sc	Escenarios
TMB	Tratamiento Mecánico Biológico
MARM	Ministerio de Medioambiente Rural y Marino
MAGRAMA	Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
IDH	Indice de Desarrollo Humano
LER	Lista Europea de Residuos
RAEE	Residuos de Aparatos Electricos y Electrónicos

“En la naturaleza nada ocurre en forma aislada. cada fenómeno afecta a otro y es, a su vez, influenciado por éste; y es generalmente el olvido de este movimiento y de ésta interacción universal lo que impide a nuestros naturalistas percibir con claridad las cosas mas simples”.

E. Friedrich

“Los científicos pueden describir los problemas que afectarán el medio ambiente basándose en la evidencia disponible. Sin embargo, su solución no es la responsabilidad de los científicos, sino de la sociedad en su totalidad”.

M. Molina

Premio Nobel por descubrimiento de las causas del agujero de ozono

## **Agradecimientos**

Quiero expresar sinceramente todos mis agradecimientos a quienes de una u otra manera han confiado en que este proyecto de futuro resultara posible, en especial mi tutor, mi familia y mis amigos.

Agradezco cada palabra , cada consejo de mi familia y también de mi tutor por su apoyo y constancia, ya que con ello hicieron posible que las proyecciones hacía un futuro mejor sean más tangibles.

Gracias y espero haberles hecho partícipe de este logro.

## Resumen

La mejora de la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) es un tema importante para la sostenibilidad de cualquier territorio, y más importante aún en islas turísticas. Baleares y Canarias constituyen casos de estudio interesantes ya que pueden ser consideradas como sistemas casi cerrados. La insularidad implica una triple repercusión desde el punto de vista socioeconómico, político y medioambiental.

Una adecuada gestión de RSU exige disponer de infraestructuras de almacenamiento y tratamiento de residuos para su minimización, reutilización, valorización y eliminación, con el objetivo de poder cumplir con las metas establecidas por la Unión Europea en cuanto a lograr reutilizar o reciclar un 55% de los RSU en 2025, un 60% en el 2030 y un 65% en 2035. Además, hay que limitar el envío a vertederos de los RSU hasta un 10% en 2035, y reducir la generación de residuos orgánicos en un 30% en 2025 y el 50% en el año 2030. Actualmente, ambos archipiélagos están lejos de dichas metas. En Baleares los ratios de reciclaje solo alcanzan el 15.81% y en Canarias el 11.18% en 2018.

El objetivo de esta investigación ha sido obtener una metodología y una serie de herramientas prospectivas que proporcionen instrumentos para mejorar la planificación y gestión de los RSU en zonas insulares. Se aplican modelos econométricos para determinar las variables claves que afectan a la generación de residuos, el método fuzzy TOPSIS para encontrar la mejor alternativa (tratamiento de residuos) del problema de decisión multicriterio planteado, reduciendo la incertidumbre ya que la información a analizar es obtenida de manera cualitativa y

cuantitativa. Por último, se aplican la Dinámica de Sistemas y el Análisis de Escenarios, ya que ambos son métodos efectivos para estudiar las condiciones dinámicas y cambios en sistemas complejos. La Dinámica de Sistemas nos ayuda a predecir el comportamiento futuro de ciertas variables bajo diferentes escenarios y a aplicar distintas estrategias para su mejora, mejorando la toma de decisiones y la planificación estratégica.

Los modelos econométricos fueron validados mediante test estadísticos, tales como: normalidad en los residuos, autocorrelación, multicolinealidad, heterocedasticidad, causalidad de Granger, entre otros, permitiendo encontrar los principales “driving forces” de la generación de residuos e identificar cuales tenían mayor influencia sobre la misma. Para la validación del modelo en Dinámica de Sistemas se utilizaron los test de verificación de la estructura, verificación de los parámetros y el test de condiciones extremas sobre los parámetros.

Las previsiones esperadas para el escenario base tendencial hasta 2035 sin aplicar mejoras al sistema actual, muestran bajas tasas de recuperación, separación, reciclaje e incineración; por el contrario, aplicando las estrategias establecidas en los escenarios alternativos proyectados, a corto y largo plazo, se obtendrían mejoras mas consistentes, pero para ello es necesario implementar nuevos modelos de gestión mas sostenibles para frenar y controlar la generación de residuos.

La principal conclusión de esta investigación es que los actuales modelos de gestión de residuos en estas áreas de estudio deben ser mejorados. Los altos niveles de generación son consecuencia de hábitos de consumo insostenible, un mercado interno limitado y una economía muy dependiente del sector turístico. El resultado

es que las tasas de generación aumenten, y los residuos siguen siendo derivados a vertederos incontrolados. En síntesis, la gestión de RSU en zonas insulares presenta una serie de problemas que pueden ser analizados mediante la metodología y herramientas de apoyo a la toma de decisiones desarrolladas con el fin de mejorar su gestión.

## **Abstract**

The improvement of the municipal solid waste (MSW) management is an essential issue for the sustainability of any territory, and even more critical in tourist islands. The Balearic Islands and the Canary Islands constitute interesting case studies since they can be considered as almost closed systems. Insularity implies a triple impact from the socio-economic, political and environmental point of view.

Proper MSW management requires the availability of waste storage and treatment infrastructures for its minimization, reuse, recovery and elimination, to be able to meet the goals established by the European Union in terms of achieving reuse or recycling 55% of MSW in 2025, 60% in 2030 and 65% in 2035. Besides, it is mandatory to reduce landfilling to 10% by 2035 and the organic waste generation by 30% in 2025 and 50% in 2030. Currently, both archipelagos are far from these goals. In the Balearic Islands, the recycling ratios only reached 15.81% and in the Canary Islands 11.18% in 2018.

The objective of this research has been to obtain a methodology and a series of prospective tools that provide instruments to improve the planning and management of MSW in island areas. Econometric models are applied to determine the key variables that affect the generation of waste, the fuzzy TOPSIS method to find the best alternative (waste treatment) of the multi-criteria decision problem posed, reducing uncertainty since the information to be analysed is obtained from the qualitative and quantitative way. Finally, System Dynamics and Scenario Analysis are applied, since both are effective methods for studying dynamic conditions and

changes in complex systems. Systems Dynamics helps us to predict the future behaviour of certain variables under different scenarios and to apply different strategies for their improvement, improving decision-making and strategic planning. The econometric models were validated using statistical tests, such as normality in the residuals, autocorrelation, multicollinearity, heteroscedasticity, Granger causality, among others, allowing to find the main “driving forces” of the generation of waste and to identify which ones had the most significant influence on the same. For the System Dynamics model validation, the verification tests of the structure, verification of the parameters and the test of extreme conditions on the parameters were used.

The expected forecasts for the trend base scenario until 2035 without applying improvements to the current system, show low rates of recovery, separation, recycling and incineration; On the contrary, applying the strategies established in the projected alternative scenarios, in the short and long term, would obtain more consistent improvements, but for this, it is necessary to implement new, more sustainable management models to curb and control the generation of waste.

The main conclusion of this research is that current waste management models in these study areas must be improved. The high levels of generation are the consequence of unsustainable consumption habits, a limited domestic market and an economy highly dependent on the tourism sector. The result is that generation rates increase, and waste continues to be diverted to uncontrolled landfills.

In summary, the management of MSW in island areas presents a series of problems that can be analysed using the methodology and decision-support tools developed in

order to improve their management.

## Zusammenfassung

Die Verbesserung der Verwaltung der städtischen festen Abfälle ist ein wichtiges Thema für die Nachhaltigkeit eines Territoriums und noch wichtiger auf touristischen Inseln. Die Balearen und die Kanarischen Inseln stellen interessante Fallstudien dar, da sie als nahezu geschlossene Systeme betrachtet werden können. Insellagen implizieren eine dreifache Auswirkung von sozioökonomisch, politisch und ökologisch.

Eine ordnungsgemäßes Abfallmanagement erfordert die Verfügbarkeit von Speicherinfrastrukturen und Abfallbehandlung mit dem Ziel der Minimierung, Wiederverwendung, Verwertung und Beseitigung, um zu sein können erfüllen im Hinblick auf die von der EU vorgeschriebenen Erreichung der Wiederverwendung oder Recycling von 55 % des Haushaltsmülls im Jahr 2025, von 60% im Jahr 2030 und von 65% im Jahr 2035. Darüber hinaus muss die Lagerung in Müllhalden auf 10% im Jahr 2035 reduziert werden, und die Erzeugung von organischen Abfällen auf 30% im Jahr 2025 und auf 50% im Jahr 2030. Derzeit sind beide Archipele weit entfernt von diesen Zielen. Auf den Balearen erreichten die Recyclingquoten 2018 nur 15,81% und auf den Kanarischen Inseln 11,18%.

Das Ziel dieser Forschungsarbeit ist der Entwurf einer Methodik und eine Reihe von prospektiven Planungs- und Verwaltungstools zur Verbesserung des Abfallmanagements in Inselgebieten. Es wird ein ökonometrisches Modell angewendet, um die Schlüsselvariablen zu bestimmen, die sich auf die Abfallerzeugung auswirken. Die Methode Fuzzy TOPSIS dient, um die beste

Alternative (Abfallbehandlung) für die Entscheidung in Bezug auf die multikriterielle Problematik zu finden und auf diese Weise die Unsicherheit als zu analysierende wird qualitative und quantitative Information mit einzubeziehen. In einem letzten Schritt werden System Dynamics und eine Szenarien-Analyse angewandt. Beide Methoden sind wirksam, um die dynamischen Bedingungen und Veränderungen in komplexen Systemen zu untersuchen. System Dynamics hilft, um das Verhalten bestimmter Variablen in verschiedenen Szenarien vorherzusagen. Auf diese Weise können unterschiedliche Strategien für die Verbesserung, die Entscheidungsfindung und die strategische Planung angewandt werden.

Das ökonometrische Modell wurde durch statistische Verfahren validiert, wie z.B. Normierung, Autokorrelation, Multikollinearität, Heteroskedastizität, Granger-Kausalität, u.a.. Dies ermöglicht die Identifikation der stärksten „driving forces“ der Abfallerzeugung und ihren Einfluss auf das System. Zur Validierung des Modells mit Hilfe von System Dynamics wurden strukturelle und parametrische Verifikationsverfahren angewandt, sowie Abhängigkeitstests durchgeführt.

Die erwarteten Prognosen für das Trendbasisszenario bis 2035 ohne Verbesserungen des derzeitigen Systems zeigen niedrige Rückgewinnungs-, Trennungs-, Recycling- und Verbrennungsraten. Die kurz- und langfristige Anwendung der in den projizierten alternativen Szenarien festgelegten Strategien hingegen würde zu konsequenteren Verbesserungen führen. Dazu müssen jedoch neue, nachhaltigere Bewirtschaftungsmodelle implementiert werden, um die Abfallerzeugung zu stoppen und zu kontrollieren.

Die wichtigste Schlussfolgerung dieser Forschungsarbeit ist, dass die aktuellen

Abfallbewirtschaftungsmodelle in diesen Untersuchungsgebieten verbessert werden müssen: Die hohen Abfallerzeugungsraten sind die Folge nicht nachhaltiger Konsumgewohnheiten, eines begrenzten Binnenmarktes und einer stark vom Tourismussektor abhängigen Wirtschaft. Das Ergebnis ist, dass die Erzeugungsraten steigen und die Abfälle weiterhin auf unkontrollierte Deponien umgeleitet werden. Zusammenfassend stellt das Management von Hausmüll in Inselgebieten eine Reihe von Problemen dar, die mithilfe der Methodik und der Tools zur Entscheidungsunterstützung analysiert werden können. Daraus ergeben sich Möglichkeiten für die Verbesserung des Abfallmanagements.

# 1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población, la rápida urbanización y el aumento en los estándares de vida han acelerado significativamente la generación de residuos sólidos municipales (RSU) (Song et al., 2015). Por lo tanto, se necesita una estrategia sostenible y eficiente de manejo de RSU para equilibrar el desarrollo económico, la calidad de la vida humana y el medio ambiente (Tan et al., 2014). Una gestión óptima para este problema creciente y complejo requiere enfoques que ofrezcan resultados consistentes y sólidos para la toma de decisiones.

El concepto de residuo viene definido de diversas formas: Según la O.C.D.E. (Organización de Cooperación y Desarrollo Económico, 2015) se define residuo como “aquellas materias generadas en las actividades de producción y consumo que no tienen, en el contexto en el que son producidas, ningún valor económico”.

La creciente preocupación acerca de los efectos que tiene la generación de residuos sobre la sostenibilidad del medio ambiente por el modo de vida moderno y la producción industrial es evidente, en todos los países y en sectores cada vez más amplios de la población a través de los llamados “movimientos verdes”, de la actitud de la opinión pública y de las legislaciones que poco a poco comienzan a tomar más conciencia sobre este asunto.

Los efectos ambientales de los RSU se perciben desde los hogares (puntos de generación) y a lo largo de todos los sitios que recorren antes de su disposición final, ya que fomentan el crecimiento de fauna nociva (vectores de enfermedades). Es la intervención humana la que rompe este ciclo natural de la materia, cuando el hombre

quiere obtener estos bienes que necesita para progresar y mejorar su calidad de vida. De esta manera, el hombre extrae las primeras materias y después de procesarlas y de utilizarlas deja una serie de restos que no son asimilables sino que se acumulan o se depositan en zonas y lugares en muchas ocasiones sin ningún tipo de tratamiento. La disposición inadecuada de los RSU es una de las más graves amenazas para los suelos y fuentes de abastecimiento de agua debido a su gran potencial contaminante. Las soluciones a los problemas derivados del manejo inadecuado implican relaciones interdisciplinarias complejas entre la ciencia política, el urbanismo, la planificación regional, la geografía, la economía, la salud pública, la sociología, la demografía, las comunicaciones y la conservación, así como la ingeniería y la ciencia de los materiales (Tchobanoglous et al., 1994). Consecuentemente, un sistema de gestión de RSU eficiente y sostenible es esencial para la salud de la población, para la protección del medio ambiente y para su conservación (Gonzalez-Martínez, Bräutigam y Seifert 2012). A medida que el crecimiento económico conduce a niveles crecientes de consumo, esto a su vez provoca una mayor generación de RSU, conduciendo a aumentar la degradación ambiental (Afroz et al., 2011 ; Márquez et al., 2008).

Es evidente que la gestión de los RSU representa un problema complejo que integra conceptos ambientales, económicos, públicos, privados, culturales y sociales (Vehlow et al., 2007; Mingua et al. 2009).

Las fallas del mercado (el mercado no es capaz de asignar los recursos de forma eficiente) asociadas a las externalidades ambientales se han convertido en un tema de estudio recurrente dentro de la ciencia económica, a raíz de la creciente perceptibilidad que ha tenido el problema ambiental en las recientes décadas. Desde

esta perspectiva, los procesos característicos del sistema económico como la extracción, transformación, distribución, comercialización, el consumo y la disposición final de materiales, impactan o afectan de manera directa o indirectamente al medio ambiente. El manejo de este impacto, hace necesario el diseño de políticas públicas adecuadas para su control (Chía, 2008). No es suficiente plantear medidas al final del proceso de manejo de los RSU (end of pipe), como la disposición final; es prioritario desarrollar e implementar políticas públicas que estén orientadas a desincentivar la generación de residuos sólidos. Seoánez (2000) afirma que la prioridad fundamental es seguir una línea “anti contaminante”, es decir, la reducción o eliminación de residuos en origen. Reducir es la exigencia sustentable hoy, legalmente, contaminar no es otra cosa que generar residuos por sobre las normativas ambientales establecidas y desaprovechar recursos (Friedmann, 1997). Es importante señalar que, desde una perspectiva a nivel mundial, la situación muestra algunas diferencias en gestión de RSU. Los sistemas son bastante diversos según el nivel de desarrollo del país, los factores económicos, la sostenibilidad ambiental, la disponibilidad de información, así como los factores individuales como la cultura, la educación a nivel, el nivel de capacitación, el lugar de trabajo, etc. (Barr et al., 2010; Barrena et al., 2014; Couch and Trois, 2010). Las soluciones o respuestas al problema son muy diversas a nivel mundial, e incluso regional, dependiendo de las características económicas, geográficas, políticas, educativas, etc. Sin embargo, aún no puede decirse que el problema está controlado, o en vías de resolverse, en ningún lugar del planeta.

Algunos países de la Unión Europea se ocupan, desde hace varias décadas, de los

problemas generados por la creciente generación de residuos y principalmente del excesivo consumo de envases que se detecta dentro de los residuos domiciliarios, por lo que han puesto en marcha diversos programas encaminados a la disminución de este problema. Las tendencias mundiales para el tratamiento de los residuos visualizan como la mejor opción la reutilización y el reciclaje de los materiales orgánicos e inorgánicos.

Uno de los países europeos con más avances es Alemania, ya que desde inicios de 1970 le ha dado a su política un enfoque ambientalista, hecho que se manifiesta en el tema de producción de residuos de envases en 1991 bajo el decreto “Töpfer”, llamado así por el Ministro de Medio Ambiente Klaus Töpfer que lo puso en vigor. Este decreto insiste en la importancia de la separación, prevención y reciclado de envases, tratamiento que se apoya en tres principios básicos -el de precaución, “el que contamina paga” y el de cooperación- de gran trascendencia, pues se responsabiliza de sus acciones a todos los agentes que intervienen en el ciclo de producción-consumo de envases.

La problemática de la producción creciente de residuos es ya un asunto de interés mundial. Reducir los residuos en el lugar donde se producen y reciclarlos son los mejores métodos para parar la creciente oleada de producción de desechos a todos los niveles.

La eliminación inadecuada de RSU causa un impacto negativo en todos los componentes del ambiente y en la salud humana (Chen et al., 2018). Es por eso que la gestión de RSU necesita adaptarse a nuevos cambios para garantizar la sostenibilidad global.

A nivel general, el método de tratamiento de RSU predominante es el almacenamiento (Sharholy et al., 2008; Guerrero et al., 2013). Referente a la UE, en el año 2017, se produjo una media de 486 kg de RSU por habitante europeo (Eurostat, 2019). La mayoría de los países almacenan RSU, aunque el relleno sanitario es la opción menos favorable en la jerarquía de gestión de RSU. Esto es un desperdicio de recursos valiosos que genera un mayor impacto en el medio ambiente en comparación con la situación en la que se podría incinerar esta cantidad de desechos y la energía resultante se podría aprovechar en diferentes actividades industriales y económicas. Una situación similar se registra en el Reino Unido (Jeswani y Azapagic, 2016). Austria y Alemania, por otro lado, se alinean con los objetivos de la UE, registrando una tasa de reciclaje mayor al 60%. A pesar de eso, se necesitarán importantes medidas tecnológicas sobre recolección y clasificación para aumentar la competitividad de la gestión de RSU (Van Eygen et al., 2018). Por ejemplo, Finlandia genera 460 kg de residuos por habitante y año, y el reciclaje es impulsado por la necesidad de cerrar el material del bucle, alcanzando así el principio de economía circular (Dahlbo et al., 2018).

En la sociedad del año 2050, las industrias de reciclaje y las que utilicen tecnologías limpias habrán reemplazado a las contaminantes industrias actuales.

Se debe evitar todo aquello que no sea esencial. La jerarquía del uso de las materias en el futuro ha de llegar a ser según la secuencia: utilizar y reutilizar al máximo los materiales; reciclaje para elaborar nuevos productos; incineración segura, si hace falta, para aprovechar la energía y, finalmente, depósito en vertederos seguros y controlados. Con la cultura del "úselo y tírelo" y la invención de nuevos materiales,

la capacidad de autodepuración propia de la naturaleza se ha visto amenazada. Nadie duda que los materiales plásticos, metales, vidrios, detergentes, fertilizantes, etc., son útiles para el hombre. Sin embargo, la falta de mecanismos de control sobre su uso y la inexistencia de sistemas de recolección, reciclaje y disposición final adecuada, hacen que estos nuevos materiales se transformen en un problema para la sustentabilidad global del planeta. Producir más con menos, con el fin de evitar el sobre-consumo y agotamiento de recursos, debe ser una cualidad de los Sistemas de Gestión de los RSD (Bruntland, 1987). En tal sentido, a partir de los 90's, la minimización de residuos ha cobrado una importancia creciente para las empresas, los gobiernos, y las comunidades.

La mejora de la gestión de los RSU es un tema importante para la sostenibilidad de cualquier territorio, y más importante aún en zonas turísticas o insulares debido a la influencia que ejercen las personas en el entorno y a la contribución del turismo al producto interior bruto (PIB) que en algunos casos alcanzan niveles de hasta un 45%. El impacto del turismo en las zonas de estudio esta muy marcada, es así como la población turística ejerce gran influencia sobre la generación de residuos (Nair und Jayakumar 2008; Zorpas et al., 2014).

En las áreas de este estudio (Baleares y Canarias) la mejora y la planificación de la gestión de RSU ha sido poco investigada. Sólo un par de autores han estudiado el cumplimiento de los objetivos europeos en cuanto a consumo de energía y a las emisiones de dióxido de carbono, así como turismo y contaminación ambiental (Saenz-de-Miera y Roselló 2014; Bakhat y Roselló 2011). Se debe tener en cuenta que la comprensión detallada de quiénes son los actores y cuáles son sus

responsabilidades es un paso importante para establecer un sistema eficiente y efectivo de gestión de RSU (Abarca, Mass y Hogland 2012), en este sentido Villavicencio et al., (2014) analizan la importancia de externalidades como la educación y el turismo, así como la combinación de factores socioeconómicos que influyen en la gestión de los RSU. Con respecto a la gestión óptima de RSU, Lilai et al. (2012) sugieren que la predicción exacta de la generación de RSU es crucial y fundamental para la planificación, operación y optimización de cualquier sistema de gestión de RSU. Por otro lado, la implementación de políticas públicas en materia de gestión de residuos son indispensables para mejorar la gestión de estos (Triguero et al., 2016 ; Sue et al., 2007).

Para nuestras investigaciones hemos utilizado varias metodologías combinadas, partiendo desde la aplicación de modelos econométricos basándonos en el método stepwise para generar modelos e identificar a las variables claves que afectan directamente a la generación de RSU. Aquí hay que mencionar varios estudios: Ali-Abdoli et al. (2011) igual que Weng et al. (2011) desarrollan modelos basados en un enfoque econométrico multivariante que considera las fuerzas motrices de la generación de RSU. Ghinea et al. (2016) estima la generación de RSU aplicando una herramienta pronóstica y un análisis regresivo al igual que en Beigl et al., (2008) donde se muestra algunos modelos de regresión simples y múltiples con el objetivo de explicar o estimar la generación de residuos presente o futura. Iuras y col. (2020) aplicó análisis de dispersión y regresión a datos estadísticos de una región turística de Ucrania, y encontró que el número de turistas, el PIB per cápita y la población son los principales factores de generación de MW dentro de Ucrania. En nuestro estudio

también hemos aplicado la metodología fuzzy TOPSIS para hallar el mejor método de tratamiento de RSU ya que nos permite combinar criterios cuantitativos y cualitativos en el proceso de toma de decisiones reduciendo la vaguedad y la incertidumbre que se presentan en los juicios cualitativos emitidos por expertos. En la mayoría de las veces el decisor no es capaz de definir la importancia de cada criterio o la bondad de cada alternativa con respecto a cada criterio de una manera estricta: En muchas situaciones se usan medidas o cantidades que no son exactas, pero son aproximadas. Yong (2006) identifica al fuzzy TOPSIS como el mejor método para problemas de toma de decisiones grupales. El objetivo de aplicar ese método fue de encontrar la mejor alternativa de un problema de decisión mediante la identificación de ponderaciones para cada criterio, la normalización de las puntuaciones para cada criterio y el cálculo de la distancia geométrica entre cada alternativa y la alternativa ideal. Referente a la Dinámica de Sistemas y el Análisis de Escenarios, se tratan de métodos efectivos para estudiar condiciones dinámicas y cambios en sistemas complejos, como el sistema de gestión de RSU. Estas pueden ayudar a predecir el comportamiento futuro de las variables que afectan un sistema bajo la creación de diferentes escenarios y a pronosticar la futura generación de RSU siendo esto fundamental para la toma de decisiones y la planificación estratégica.

En base al contexto antes expuesto, el tema de investigación principal de la presente Tesis Doctoral, se desarrolla en la línea de ciencias y tecnología del medio ambiente, con foco principal en áreas de tratamiento, planificación y gestión de residuos. Con ello se logra alcanzar un diseño robusto y consistente para mejorar la toma de decisiones y que además pueda ser extrapolable a otras áreas de similares

características. La investigación está alineada con las necesidades reales de las empresas que gestionan los RSU en estas áreas específicas y cuenta con la experiencia profesional del doctorando en la Universidad de Münster, Alemania, en cuanto a temas ambientales. Los principales resultados del trabajo de investigación, resumidos en esta Tesis Doctoral, son: Dos artículos científicos ISI – JCR publicados y un capítulo libro en la editorial Springer.

### **1.1 Justificación de la investigación**

Como se ha mencionado anteriormente, la inadecuada gestión de los RSU es un problema de dimensiones mundiales con consecuencias previsibles en cuanto al deterioro ambiental y el bienestar social.

La problemática en cuanto a manejo y disposición final de los RSU se agudiza cada vez más en ambas zonas de estudio, una por ser las dos zonas que más residuos per cápita generan en España y también por no contar con infraestructuras adecuadas para la óptima gestión de los residuos y por otra parte su acelerado crecimiento demográfico producto de un sector turístico en constante cambio, desarrollo y crecimiento, lo que se traduce al final como un incremento en los montos de RSU generados y de presentar una composición más compleja y heterogénea.

Es en este sentido y por tratarse de zonas insulares (lejanía del continente: caso Canarias) en que los altos flujos de turismo (overturismo) y los altos costes de transporte de productos hacia las islas complican en cierta medida el buen funcionamiento de planes y estrategias para mejorar sus gestiones en temas de residuos. Actualmente ambas Islas presentan bajas tasas de reciclaje y de recogida

selectiva, no tienen incorporada la recogida de fracción orgánica y para el caso de Canarias (78%) la dependencia del uso de vertedero es la opción mas simple.

Los planes y politicas locales sobre gestión de residuos no están funcionando muy bien, existe poca participación ciudadana y una educación ambiental muy debil.

El problema se ha agravado en los ultimos años, la creciente generación de residuos va acompañada de una creciente demanda turistica, por tratarse de zonas que ofrecen un turismo de sol y playa de primera calidad. Esto describe una situación en el cual el impacto del turismo, en ciertos lugares y momentos podría exceder los umbrales de capacidad fisica, ecologica, social y economica.

Para tener una visión global, ambas zonas se componen en: 7 islas en Canarias y 4 islas en Baleares en conjunto suman una poblacion residente de 3,5 millones de habitantes, además reciben mas de 15 millones de turistas año, lo que incrementa la población flotante diaria y la su capacidad de carga diaria se ve muy afectada, esto justifica la importancia que tienen estos mercados, no solo a nivel estatal sino a nivel Europeo, es importante probar valternatiuvas de mejora en la gestión de residuos y seguir las iniciativas de los países mas desarrollados en temas de gestión de residuos.

## **1.2. Los principios ambientales**

En el caso que nos ocupa, la necesidad de aplicación de principios reguladores ocurrió tras la activa industrialización de los países que introdujeron constantemente nuevas modalidades de productos de consumo de lenta degradabilidad e incluso algunos de ellos conformados con componentes peligrosos, con consecuencias para la salud humana y para los ecosistemas, lo que llevó a cambiar el tipo de regulaciones al respecto para prevenir y reducir nuevos riesgos a la salud y al ambiente. Estos principios constituyen la herramienta ideal a través de la cual se internalizan los costes ambientales de todos aquellos responsables de causar una contaminación. El costo deberá ser capaz de evitar o reducir esa contaminación y de manera que los productores cumplan con las normas y medidas de calidad ambiental. Sin embargo, estas regulaciones deberán servir también como un aliciente para elevar la competitividad de las empresas, mejorar la efectividad de la intervención de los gobiernos, disminuir costos injustificados y promover la innovación tecnológica.

El principio de “quien contamina paga”, adoptado por primera vez a nivel internacional en 1972 por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), no persigue determinar culpables, busca simplemente incorporar a los costos internos de las actividades o procesos productivos aquellos costos que actualmente son externos a ellos y que generan deseconomías sociales, es decir, incorporar las externalidades ambientales negativas.

“Estas externalidades negativas guardan estrecha relación con los llamados ‘costos externos’ y se producen, generalmente, con motivo de la utilización de recursos

escasos sobre los que nadie puede invocar derechos exclusivos de propiedad o de aprovechamiento, los que no tienen un precio asignado, representando una economía para quienes se sirven de ellos". En otras palabras, el propósito de este principio, es que las personas que sufren las consecuencias del deterioro o degradación de los bienes comunes y que no han contribuido en modo alguno a provocar estos efectos, dejen de hacerse cargo de su reparación. Esto es, que los "costos sociales" sean asumidos y contabilizados como costos internos por parte de quienes producen o contribuyen a producir su degradación, de tal manera que estos costos internos reflejen costos reales.

Los principales instrumentos regulatorios de que disponen los poderes públicos para poner en ejecución el principio "quien contamina, paga" son las normas y los cánones. El primer instrumento, es decir las normas, son instrumentos más característicos de la regulación directa, destinados a precisar la forma en que se deben aplicar las disposiciones contenidas en las leyes, para que los particulares les den cumplimiento y para que quienes verifican dicho cumplimiento no lo hagan en términos discrecionales. Existen a grandes rasgos tres tipos de normas en el caso de los residuos: de calidad ambiental, de producto y de proceso.

- Las normas de calidad ambiental son las que prescriben los niveles máximos de contaminación o de perturbación ambiental tolerables en un medio o en parte de un medio determinado.
- Las normas de producto pueden apuntar a varios objetivos, como la de fijar los niveles máximos permisibles de contaminantes presentes en la composición de un producto; establecer las propiedades o las características de su

fabricación; determinar sus modalidades de utilización, y disponer especificaciones relativas a los métodos de prueba, al envasado, a las marcas y al etiquetado de los productos.

- Las normas de proceso se refieren, en particular, a las instalaciones fijas, y comprenden los subtipos llamados normas de emisión, que establecen los límites máximos tolerables de emisiones o descargas contaminantes; normas de concepción de construcción, que determinan las especificaciones que deben cumplirse en su diseño y edificación con miras a la protección del ambiente, y normas de explotación, que fijan, con igual propósito, las condiciones a que deben ceñirse sus procesos productivos o manufactureros.

Complementando la aplicación de las normas, los cánones constituyen el otro instrumento de mayor eficacia de que disponen las autoridades para aplicar el principio. Éstos imponen la obligación de efectuar pagos periódicos de una determinada suma de dinero, de monto generalmente progresivo, y están llamados a cumplir dos funciones bien definidas: una función de incitación y una función de redistribución.

Tras el establecimiento del principio “quien contamina paga” las regulaciones ambientales de los países industrializados se basaron exclusivamente en el control de la contaminación generada por cada planta industrial, sin poner atención en la contaminación proveniente de otros estadios del ciclo de vida de los productos. Pero a medida que las regulaciones ambientales se hacen más estrictas -ejemplo de ello es la aparición en 1991 en Alemania del decreto Töpfer sobre la correcta eliminación de los envases-, la extensión de la responsabilidad del productor a lo largo del ciclo de

vida del producto ha seguido aumentando.

El objetivo del principio de “responsabilidad del productor”, como lo menciona Sotelo (2001), es estimular a los productores a prevenir la contaminación reduciendo la utilización de recursos y energía en cada etapa del ciclo de vida del producto, a través de cambios en el diseño y en las tecnologías empleadas. En un sentido más amplio, a través de este principio los productores mantienen un grado de responsabilidad por todos los impactos ambientales elección de materiales, proceso de fabricación, consecuencias de utilización y disposición final- de sus productos. De este modo, al verse forzados los productores a hacerse responsables por la disposición final de sus productos, incorporan mayores consideraciones ambientales en el momento de su diseño. Las herramientas utilizadas para hacer efectivo el principio de “responsabilidad del productor” son en realidad instrumentos que buscan desincentivar las conductas que pudieran resultar dañinas para el medio ambiente y la salud humana.

Por su parte, el “Principio preventivo” nace en la Declaración de Río sobre Medio Ambiente e introduce la obligatoriedad a toda compañía que en su proceso productivo utilice algún componente químico del cual se desconozcan todas sus posibles consecuencias sobre el medio ambiente y la salud humana. El objetivo central de éste principio es permitir la actuación antes de que el daño exista o en cuanto suceden, de forma que sea posible prevenir o reducir las consecuencias negativas mientras se analizan y evalúan las posibles causas del daño y los procesos sean corregidos. Con este principio y de acuerdo a los programas de la O.C.D.E para la prevención de los residuos y sus efectos sobre el medio ambiente y la sociedad, se

deberá de tomar en cuenta el impacto por su cantidad, peligrosidad y contenido de energía de los materiales y productos que se convertirán en residuos, para lo que habrá de definir cambios que incluyan la prevención, reducción y en caso de ser necesario, la eliminación de ciertos materiales.

### **1.3 Objetivos**

El objetivo general de esta investigación es obtener una metodología y una serie de herramientas prospectivas que proporcionen instrumentos para mejorar la planificación y gestión de RSU en zonas insulares.

En efecto, en las dos comunidades insulares españolas, el turismo presenta ciertas diferencias que derivan de las condiciones climáticas de ambas regiones: mientras que el turismo en Baleares está concentrado sobre todo en verano, en Canarias existe un movimiento más continuado de turistas a lo largo de todo el año, gracias a la bonanza de las temperaturas incluso durante los meses de invierno.

Utilizando como casos de estudio el archipiélago canario y el de las Islas Baleares, se plantean los siguientes objetivos:

- Analizar los problemas que presenta la gestión de RSU en ambos territorios.
- Calcular cuanti- y cualitativamente la cantidad y los diferentes tipos de RSU generados en ambos territorios de estudio, lo cual ayudará a mejorar la planificación, así como a seleccionar el tipo, la cantidad y el dimensionamiento de las infraestructuras necesarias para realizar una adecuada gestión de los RSU.
- Identificar las principales variables y su grado de influencia en cuanto a la

generación de RSU.

- Diseñar, construir y modelar un modelo matemático mediante Dinámica de Sistemas que permita simular el comportamiento de las variables del sistema a lo largo de un periodo de estudio de modo que pueda ayudar a estudiar cómo disminuir los impactos negativos sobre el medio ambiente y a reducir sus costes, es decir, a optimizar la gestión de los RSU de ese territorio.
- Estimar y pronosticar la evolución futura de la generación de RSU bajo diferentes supuestos y escenarios, aplicando el modelo matemático desarrollado y basándose en datos históricos oficiales, verificando si se superarán las capacidades de tratamiento de los vertederos actuales en ambos territorios, y evaluando el cumplimiento de las metas regionales, nacionales y de la Unión Europea en materia de RSU.
- Incluir en los escenarios de simulación propuestas alternativas de gestión de RSU que pudieran ponerse en marcha para mejorar la gestión de los RSU en zonas insulares, tales como la implantación de sistemas para la autogestión de la fracción orgánica, la incorporación de procesos biotecnológicos, el establecimiento de modelos de recogida puerta a puerta, la promoción de instalaciones de tratamiento de pequeña escala, la creación de impuestos sobre los tratamientos finalistas o el ajustamiento de las tasas sobre la generación de los RSU.

## 2. ESTADO DEL ARTE

Actualmente, la generación de residuos se ha incrementado debido al crecimiento de la población, el desarrollo de la sociedad, los cambios en el estilo de vida y la rápida urbanización. Además, esto se ve reforzado por el modelo de desarrollo actual, el cual se basa en una producción desmesurada de productos de consumo sin tener en cuenta los impactos ambientales o sobre la salud que esto genera en la sociedad.

Décadas anteriores, la gestión de residuos consistía en su eliminación mediante depósito en vertedero, puesto que se pensaba que la tierra era capaz de asimilarlos de forma ilimitada. No obstante, en los últimos años ha sufrido una gran evolución para adaptarse a los principios del desarrollo sostenible, centrándose en la reducción de la generación, el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos y la minimización de la cantidad enviada a vertedero.

En los últimos años, los objetivos para la correcta gestión de los RSU se centran en la reducción de la generación y en el aprovechamiento al máximo de los recursos contenidos en los mismos, buscando con ello minimizar la cantidad enviada a vertedero. Por ello, tanto en España como en otros países europeos, la legislación obliga a tratar por diferentes vías todos los RSU antes de su disposición final. No obstante, en todos los sistemas de tratamiento aparecen varias corrientes de rechazos cuyo principal destino es el vertedero. Estas están compuestas por aquellos materiales que no han podido ser separados o no son reciclables desde un enfoque técnico, económico y/o ambiental.

Cada vez más, la gestión de los residuos se ha ido convirtiendo en uno de los

principales retos a los que se debe enfrentar la sociedad actual, dada su generación creciente y su gran impacto ambiental, social y económico.

En la Unión Europea (UE), la gestión sostenible de los RSU es una de las principales preocupaciones medioambientales, por lo que la regulación en materia de gestión de residuos desempeña un papel fundamental (Sastre et al., 2018). En este sentido, la Directiva 2008/98/CE sobre residuos (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2008), son las piezas principales de la legislación en este contexto. En ellas se establece la obligación para los estados miembros de fomentar el desarrollo de tecnologías limpias, la prevención de la generación de residuos y la valorización de los mismos mediante políticas de reutilización, reciclaje y recuperación energética, de manera que se minimice la cantidad de residuos enviada a vertedero y se fomente el resto de alternativas de gestión más sostenibles. En este sentido, la actual política de gestión de residuos en la UE gira entorno a la Jerarquía de gestión de residuos. La Unión Europea, en su Paquete sobre la Economía Circular y en su Directiva de Residuos 2008/98/CE, señala que la valorización energética es posterior a la prevención y el reciclaje de residuos y anterior a la eliminación mediante el depósito en vertedero. Tal y como se está comprobando en la UE27, el reciclado y la valorización energética son complementarios en la gestión eficiente de los residuos urbanos.

La Jerarquía parte de la base de que la generación de residuos debe prevenirse o evitarse y los residuos generados deben reutilizarse, reciclarse o valorizarse, siendo la eliminación en vertedero la última opción y la más nociva para el medio ambiente y la salud humana. Además, este orden de prioridad optimiza el uso de recursos en la

gestión de los residuos y también refleja la opción preferible desde el punto de vista de las emisiones de gases de efecto invernadero (European Commission, 2017).

Con ello, un sistema moderno y sostenible de gestión integrada de RSU tienen que incluir la prevención efectiva de la generación de residuos. Aquí se desglosan los siguientes puntos (también compara Figura 1):

- Prácticas eficaces de separación en origen y de todas las actividades de reciclado, sin que ello implique un consumo excesivo de recursos.
- El tratamiento biológico eficiente de las fracciones orgánicas.
- La recuperación energética de aquellos materiales que no puedan reciclarse de manera eficiente.
- La eliminación únicamente de aquellos materiales que no puedan reciclarse, valorizarse o recuperarse energéticamente.
- Prevención



Figura 1. Jerarquía de los RSU (Fuente: ambilamp.es)

Conjunto de medidas adoptadas en la fase de concepción y diseño, de producción, de

distribución y de consumo de una sustancia, material o producto, para reducir:

1. La cantidad de residuo, incluso mediante la reutilización de los productos o el alargamiento de la vida útil de los productos.
2. Los impactos adversos en el Medio Ambiente y la salud humana de los residuos generados, incluyendo el ahorro en el uso de materiales o energía.
3. El contenido de sustancias nocivas en materiales o productos

#### Preparación para reutilización

Es la operación de valorización que consiste en la comprobación, limpieza o reparación, mediante la cual productos o componentes de productos que se hayan convertido en residuos se preparan para que puedan reutilizarse sin ninguna transformación previa.

#### Reciclado

Toda operación de valorización mediante la cual los materiales de residuos son transformados de nuevo en productos, materiales o sustancias, tanto si es con la finalidad original como con cualquier otra finalidad.

Incluye la transformación del material orgánico, pero no la valorización energética ni la transformación en materiales que se vayan a utilizar como combustibles o para operaciones de relleno.

#### Otro tipo de valorización, incluida la energética

Valorización es cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales, que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función en la instalación o en la economía en general.

## Eliminación

Es cualquier operación que no sea la valorización, incluso cuando la operación tenga como consecuencia secundaria el aprovechamiento de sustancias o energía.

### **2.1 Los residuos sólidos urbanos**

La generación de RSU ha estado asociada a la actividad humana desde sus inicios, específicamente cuando se empezó con los asentamientos los cuales con el paso de los tiempos dieron lugar a pueblos y ciudades.

Los problemas con la eliminación de los RSU se fueron agravando fundamentalmente por el hecho de ir creciendo exponencialmente los núcleos de población y no disponer de sistemas de recogida apropiados ni lugares para su almacenamiento y destrucción. Durante siglos, las sociedades de carácter rural y agrícola producían residuos de fácil descomposición los cuales solían acumularse en grandes cantidades y que afectaban de manera directa sobre el ambiente. Tal es el ejemplo a mediados de siglo XIV de la famosa peste bubónica que asoló Europa en ese entonces. Hoy día se sabe que el desconocimiento del control sanitario y la falta de higiene (se acumulaban grandes cantidades de basuras alrededor de las ciudades) condujeron al incremento del número de infecciones y enfermedades. Esto demostró que los avances en cuanto a higiene urbana decayeron más aún durante la edad media.

A finales del siglo XVIII cuando se inició la Revolución Industrial, gracias al desarrollo de la ciencia y la técnica, surgieron nuevas actividades industriales y se desarrolló extraordinariamente el comercio. Se produjo entonces una auténtica explosión demográfica y económica que se manifestó en el imparable desarrollo de

la urbanización. En esta época se empezaron a arbitrar las primeras medidas con vistas a tratar técnicamente el incipiente problema de los RSU que se generaron ahora como resultado de los nuevos procesos productivos en tal ritmo y de tal manera que ya no pudieron asimilarse por los ciclos naturales como hasta entonces.

A mediados del siglo XIX coincidió con la revolución industrial un aumento considerable tanto de RSU como de población. A la vez, las medidas de salud pública llegaron a considerarse de vital trascendencia para los funcionarios públicos, quienes empezaron a darse cuenta de que los residuos de comidas tenían que ser recogidos y evacuados de forma sanitaria con el fin de controlar la aparición de roedores, moscas y otros transmisores de enfermedades.

En los últimos años, los objetivos para la correcta gestión de los RSU se centran en la reducción de la generación y en el aprovechamiento al máximo de los recursos contenidos en los mismos, buscando con ello minimizar la cantidad enviada a vertedero. Por ello, tanto en España como en otros países europeos, la legislación obliga a tratar por diferentes vías todos los RSU antes de su disposición final. No obstante, en todos los sistemas de tratamiento aparecen varias corrientes de rechazos cuyo principal destino es el vertedero. Estas están compuestas por aquellos materiales que no han podido ser separados o no son reciclables desde un enfoque técnico, económico y/o ambiental.

Cada vez más, la gestión de los residuos se ha ido convirtiendo en uno de los principales retos a los que se debe enfrentar la sociedad actual, dada su generación creciente y su gran impacto ambiental, social y económico.

Los RSU son aquellas sustancias u objetos de los cuales su poseedor se desprende o

tenga la intención o la obligación de desprenderse dentro del ámbito urbano. En España, la Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados no establece una definición propia para los RSU, sino que define por separado los dos grandes grupos que los forman: los residuos domésticos y los residuos comerciales. En ella los residuos domésticos se definen como: "los generados en los hogares como consecuencia de las actividades domésticas". Además, también son considerados residuos domésticos los "similares a los anteriores generados en servicios e industria"; los que se generan en los hogares de aparatos eléctricos y electrónicos, ropa, pilas, acumuladores, muebles y enseres así como los residuos y escombros procedentes de obras menores de construcción y reparación domiciliaria", y los procedentes de limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas, los animales domésticos muertos y los vehículos abandonados". Mientras que los residuos comerciales se definen como: "los generados por la actividad propia del comercio, al por mayor y al por menor, de los servicios de restauración y bares, de las oficinas y de los mercados, así como del resto del sector servicios". La cantidad y composición de los RSU generados es muy variable y depende de numerosos factores, tales como: el nivel de desarrollo, nivel de renta y modo de vida de la población, época del año, climatología, grado y tipo de actividad comercial y de servicios existente, estacionalidad de la población por el turismo, tipo de población (urbana, rural, etc.) y tipo de vivienda (Colomer and Gallardo, 2007; Tchobanoglous et al., 1994). Además, los RSU también tienen características diferentes dependiendo donde se hayan originado dentro del núcleo urbano (Gallardo, 2000), pudiéndose clasificar en función de su origen en los siguientes tipos (Tchobanoglous et al., 1994).

- **Residuos domésticos:** originados en las distintas actividades desarrolladas en los hogares. Suelen incluir restos de comida, papel, cartón, plásticos de diferentes tipos, textiles, goma, cuero, celulosa sanitaria, madera, vidrio, metales, residuos de jardinería y otros elementos comunes del consumo residencial. También se incluyen algunos residuos que tienen recogidas especiales como pilas, medicamentos, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), fluorescentes, aceites, residuos voluminosos, etc.
- **Residuos comerciales y de servicios:** originados en las actividades de los diferentes circuitos de distribución de bienes de consumo y servicios como: restaurantes, bares, tiendas, mercados, oficinas, hoteles, gasolineras, centros comerciales, etc. Estos residuos están compuestos por los mismos materiales que los residuos domésticos, pero su composición es diferente y depende del sector comercial.
- **Residuos institucionales:** incluyen los residuos generados en las instituciones públicas como escuelas, ayuntamientos, institutos, universidades, cárceles, centros administrativos, etc. Así como los originados en los hospitales o centros sanitarios y que son residuos asimilables a urbanos.
- **Residuos sanitarios hospitalarios:** corresponden a los residuos generados en cualquier establecimiento o servicio en el que se desarrollen actividades de atención a la salud humana y que no son asimilables a urbanos. Incluyen los residuos clínicos o biológicos como textiles manchados de fluidos corporales, contenedores vacíos de sangre o suero, goteros, jeringuillas, etc. Así como los residuos especiales patógenos y/o infecciosos.

- Residuos de construcción y demolición: son residuos procedentes de la construcción, remodelación y reparación de viviendas individuales, edificios comerciales, arreglos en la vía pública u otras estructuras. Están compuestos principalmente por piedras, ladrillos, hormigón, madera, piezas de fontanería, electricidad o calefacción, vidrios, etc.
- Residuos de servicios municipales: provienen de la limpieza viaria, residuos de jardinería, limpieza de mercados, vaciado de papeleras, etc. También se incluyen otros residuos de origen más difuso como animales muertos o vehículos abandonados.
- Residuos industriales asimilables a urbanos: tienen la misma composición que los RSU, pero el porcentaje de cada material depende del tipo de actividad industrial donde se ha originado. Las fuentes generadoras son: talleres mecánicos, talleres de pintura, carpinterías, establecimientos de reparación, etc. También incluyen los residuos de este tipo generados en los polígonos industriales.
- Conocer la generación y composición de los RSU es imprescindible para llevar a cabo una gestión eficiente de los mismos, además, a partir de esta información se deben definir las estrategias a seguir para alcanzar los objetivos marcados por la legislación.

### **2.1.1 Conceptualización sobre sostenibilidad**

La conceptualización moderna del término "sostenibilidad" propone cinco etapas en las que se logra una mayor sostenibilidad pasando de la etapa uno a la cinco. Ellos

son:

- Etapa uno, cumplimiento, las empresas operan como de costumbre y las acciones de sostenibilidad se toman solo si es legalmente requerido.
- La segunda, la sostenibilidad centrada en el negocio, se adopta para el caso de negocio (imagen, beneficio propio, costo, reputación, por ejemplo) para aumentar la competitividad estratégica y el objetivo sería “hacer menos mal”.
- La tercera etapa, sistémica, adopta una visión externa de la sostenibilidad e incorpora sus tres ámbitos (ambiental, económico y social), donde el objetivo es “hacer más el bien”.
- La cuarta etapa, regenerativa, mira más allá del crecimiento y el consumo, integra la ciencia ambiental y ecológica y adopta prácticas para reparar los daños de la economía industrial-consumista.
- Finalmente, la etapa cinco, coevolutiva, va más allá de la restauración del daño y evita “manejar” la relación humano-naturaleza hacia una relación de armonía y equilibrio.

El Desarrollo Sostenible o sustentable, es un concepto que se enmarca bajo un contexto macroeconómico. Las normas y legislaciones en temáticas medioambientales vienen a reforzar el cuarto engranaje de los factores que contribuyen en el crecimiento económico de cualquier nación: recursos humanos, recursos naturales, formación de capital y tecnología e iniciativas empresariales. Así las restricciones impuestas por las naciones respecto a la temática medioambiental pueden superarse con nuevas tecnología

Desde una perspectiva microeconómica el desarrollo sostenible pasa a ser una

apuesta empresarial en torno a la orientación a la sustentabilidad, de cara a la obtención de ganancias tanto empresariales como de calidad del medio ambiente.

Los nuevos conceptos ligados al medio ambiente se vienen tratando de manera responsable por las Naciones Unidas, grupos empresariales y destacadas ONGs desde hace tres décadas. El desarrollo sostenible ha pasado a ser el principal concepto de los estudios y publicaciones con relación al medio ambiente. Este concepto descansa en tres pilares fundamentales: desarrollo económico, desarrollo social y protección del medio ambiente. “El desarrollo sostenible es un desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas”. Este concepto ha sido base de los informes de la O.N.U. y ha tenido una aplicabilidad en los distintos gobiernos que hoy implementan políticas de desarrollo sostenible dentro de sus naciones.

La necesidad de implementar una estrategia jerarquizada y la gestión integral, se basa en el impacto social, económico y ambiental que genera la actual gestión de los residuos. Por ejemplo, los elevados montos que deben gastar los municipios en el manejo de los residuos; las emisiones al aire, al agua y al suelo que generan las instalaciones de disposición final, los consumos de combustible y consiguientes emisiones generadas por los camiones recolectores; los problemas de salud pública que implican la forma en que hoy se hace reciclaje, los riesgos para los operarios que manipulan bolsas de desechos donde no sólo se introducen residuos domiciliarios y el desaprovechamiento de recursos contenidos en los residuos como materia prima para nuevos procesos o como fuente de energía.

Para tomar las decisiones de tratamiento y/o disposición final de los RSD, es

necesario, tomar en cuenta alguna de las propiedades que los residuos poseen, para así elegir la mejor forma de manejo o algún sistema de segregación en el caso de residuos que generen algún riesgo especial a la población o al medioambiente, como son los residuos sólidos peligrosos.

La posición de la Unión Europea respecto al tratamiento de los Residuos: El papel de la Unión Europea es contribuir a prevenir la acumulación de residuos, fomentar el reciclaje informando a los consumidores, apoyar la investigación y el desarrollo tecnológico de productos respetuosos con el medio ambiente y fomentar formas de suministrar productos y servicios utilizando menos recursos. En definitiva, romper el lazo que une el desarrollo económico y el aumento de los residuos. El objetivo de la Unión Europea es reducir la acumulación de residuos finales en un 20% para el año 2010 y en un 50% para el año 2050 (tomando como referencia los valores del año 2000). Para hacerlo, ha diseñado una estrategia que establece las siguientes prioridades:

- Prevención de la generación de residuos.
- Recuperación de residuos por medio de la reutilización, el reciclaje y la recuperación de energía.
- Mejora de las condiciones de tratamiento. · Regulación del transporte. La Unión Europea actúa siguiendo cuatro principios fundamentales:
- El principio de prevención: hay que limitar la generación de residuos desde su punto de origen, animando a las empresas a producir (y a los consumidores a elegir) productos y servicios que generen menos residuos. También desarrollando y promocionando una estrategia de reciclaje de residuos a nivel

europeo.

- El principio “quien contamina paga”: aquellos que produzcan contaminación tienen que correr con los gastos que ocasione combatirla. Por lo tanto, hay que identificar las sustancias peligrosas y el contaminador, y éste debe encargarse de recoger, tratar y reciclar sus residuos.
- El principio preventivo: cuando se detecte un riesgo potencial, hay que intentar evitarlo.
- El principio de proximidad: hay que tratar los residuos lo más cercano posible a su lugar de generación

### **2.1.2 Educación para el desarrollo sostenible**

A lo largo de las dos últimas décadas, se han multiplicado los llamamientos de diversos organismos y conferencias internacionales para que los educadores contribuyan a que los ciudadanos y ciudadanas adquieran una correcta percepción de los problemas y desafíos a los que se enfrenta la vida en nuestro planeta y puedan así participar en la necesaria toma de decisiones fundamentadas (Simón et al., 2010). Se llama desarrollo sostenible aquél desarrollo que es capaz de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer los recursos y posibilidades de las futuras generaciones. Intuitivamente una actividad sostenible es aquella que se puede mantener. Hoy sabemos que una buena parte de las actividades humanas no son sostenibles a medio y largo plazo tal y como hoy están planteadas (Sánchez et al., 2013). Esta definición es la del informe de la Comisión Brundlandt. La señora Brundlandt fue Primer Ministro de Noruega en el año 1981 y luego en los periodos

1986-1989 y 1990-1996, en el año 1990 recibió el encargo de la ONU de redactar un primer informe para preparar la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro dos años más tarde (Escobar, 2006).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (2015): "La Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) permite que cada ser humano adquiera los conocimientos, las competencias, las actitudes y los valores necesarios para forjar un futuro sostenible. Educar para el desarrollo sostenible significa incorporar los temas fundamentales del desarrollo sostenible a la enseñanza y el aprendizaje, por ejemplo, el cambio climático, la reducción del riesgo de desastres, la biodiversidad, la reducción de la pobreza y el consumo sostenible. Asimismo, la EDS exige métodos participativos de enseñanza y aprendizaje que motiven a los alumnos y les doten de autonomía, a fin de cambiar su conducta y facilitar la adopción de medidas en pro del desarrollo sostenible. Por consiguiente, la EDS promueve la adquisición de competencias tales como el pensamiento crítico, la elaboración de hipótesis de cara al futuro y la adopción colectiva de decisiones. La EDS exige cambios de gran calado en los métodos pedagógicos que se aplican actualmente".

Como ya se ha venido comentando en páginas anteriores, todas las civilizaciones que han poblado el planeta han establecido una relación directa con la naturaleza, sin embargo, no todas han mantenido una relación de equilibrio y armonía, siendo siempre la naturaleza la más perjudicada.

En la actualidad se habla de educación ambiental como el medio más efectivo para concienciar a la población sobre la necesidad de preservar el ambiente con miras a

lograr una mejor calidad de vida en las generaciones actuales y por venir. Pese a los esfuerzos por conservar los recursos naturales no se ha podido frenar el deterioro ambiental, debido, posiblemente, a que no logramos tener conciencia y actitud de respeto hacia la naturaleza. Se hizo una revisión sobre las investigaciones más recientes acerca de la trascendencia de la educación ambiental como base para optimizar la cultura presente y futura. El presente artículo de revisión tiene como principal analizar cualitativamente la literatura científica disponible en las bases de datos Science Direct, Scielo, Redalyc y páginas Web oficiales, empleando como palabras de búsqueda: ambiente, cultura, educación, sociedad, sostenibilidad. Se obtuvo información pertinente relacionada con el objetivo propuesto, la cual se presenta en 3 secciones: la educación ambiental, un eje transversal, cultura y educación ambiental y educación para el desarrollo sostenible, estableciendo además la dimensión ambiental como estrategia para el avance en aspectos sociales, económicos y su contribución al desarrollo sostenible de nuestra sociedad. La educación ambiental es pilar fundamental de la generación de cambios de actitud y aptitud y de lograr un equilibrio entre el ser humano y su entorno. Se requiere del apoyo de casi todas las disciplinas, por lo que la resolución de los problemas ambientales debe contar con la participación activa de un amplio conjunto de personas e instituciones.

Hoy día se ha dado una gran importancia al medio ambiente y a su conservación, y se busca que las acciones realizadas por el hombre dentro de su ámbito social, económico y cultural no vayan en deterioro de los recursos agua, suelo y aire. Pese a los esfuerzos por conservar los recursos naturales no se ha podido frenar el deterioro

ambiental, debido, posiblemente, a que no logramos tener conciencia y actitud de respeto hacia la naturaleza. El tema ambiental ocupa un lugar controversial en la investigación social, debido a que involucra la participación de diversos actores, quienes en el mismo escenario desarrollan una serie de acciones en ocasiones sinérgicas, en otras contradictorias. Al respecto, los científicos sociales han desarrollado diferentes aproximaciones conceptuales para abordar el tema del comportamiento sustentable, reconociéndose la importancia de la conducta individual y colectiva en los resultados ambientales (Noguera y Olivero, 2010; Maldonado et al., 2011; Severiche y Acevedo, 2013).

El problema ambiental no es un asunto menor. En el pasado se limitaba al análisis de efectos por contaminación del agua, del suelo y del aire, sin embargo, la complejidad aumentó en la medida en que se fueron conociendo mejor tanto causas como efectos, pero además, a partir de reconocer que los ciclos naturales podrían no ser capaces de devolverle la vitalidad necesaria al planeta (Eschenhagen, 2007). Los efectos son muy variados y de diversa índole: hambrunas; inundaciones extremas; huracanes, terremotos, erupciones e incendios inéditos e incontrolables; agrietamientos de la corteza terrestre, deslaves y maremotos; descongelamiento, calentamiento global y cambio climático son solo algunos efectos que tienen a científicos y estudiosos ocupados en encontrar explicaciones más adecuadas (Zabala y García, 2008; Bocco y Palacio, 2014).

La utilización del término “Educación Ambiental” por primera vez fue en el año 1972, en Estocolmo, durante la realización de la Conferencia Internacional sobre el Medio Ambiente y desde entonces se le ha concedido la preponderancia para generar los

cambios, mediante la adquisición de conocimientos, actitudes y valores, que permitan enfrentar seriamente la crisis ambiental del mundo con miras a alcanzar una mejor calidad de vida para las actuales y futuras generaciones (Vega y Álvarez, 2005; Gutiérrez y Pozo, 2006; Zabala y García, 2008; Ortega et al., 2010; Sosa et al., 2010; Sandoval, 2012). La educación ambiental es la herramienta elemental para que todas las personas adquieran conciencia de la importancia de preservar su entorno y sean capaces de realizar cambios en sus valores, conducta y estilos de vida, así como ampliar sus conocimientos para impulsarlos a la acción mediante la prevención y mitigación de los problemas existentes y futuros; por ello, concebimos y practicamos la educación ambiental desde las corrientes resolutiva y práxica (Hernández y Tílbury, 2006; Parker, 2007; Velásquez, 2009). La primera agrupa proposiciones para la solución de las problemáticas ambientales, donde se trata de informar y conducir a las personas para que desarrollen habilidades para resolverlas. La segunda corriente pone énfasis en la acción, por y para mejorarla. El aprendizaje invita a reflexionar en la acción y en el proyecto en curso, cuyo objetivo esencial es el de operar un cambio en un medio (en la gente y en el ambiente) y cuya dinámica es participativa, implicando los diferentes actores de una situación por transformar (Rodríguez, 2005; Llorente y Pérez, 2006; Valero, 2008; Rivera y Rodríguez, 2009; Espejel et al., 2012; Sarmiento, 2013).

La educación ambiental como elemento transversal tiene que ser abordado desde las diferentes áreas del conocimiento, es decir, buscar la masificación del concepto por ingenieros, profesionales de las ciencias sociales, ciencias artísticas, población de ciencias básicas y los habitantes propios de nuestro país en vía de desarrollo, todos

podemos hablar de lo ambiental y volverlo un tema de debate cotidiano (Acuña, 2006; Rentería, 2008).

### **2.1.3 Factores que afectan el desempeño del sistema de gestión de RSU**

Figura 2 y Figura 3 resumen los factores reportados en la literatura que afectan el desempeño de los sistemas de manejo de desechos sólidos. Algunos factores influyen en los elementos individuales, mientras que otros afectan al sistema completo de gestión de residuos. Algunos factores han sido mencionados en la literatura por varios autores (Guerrero et al., 2013).

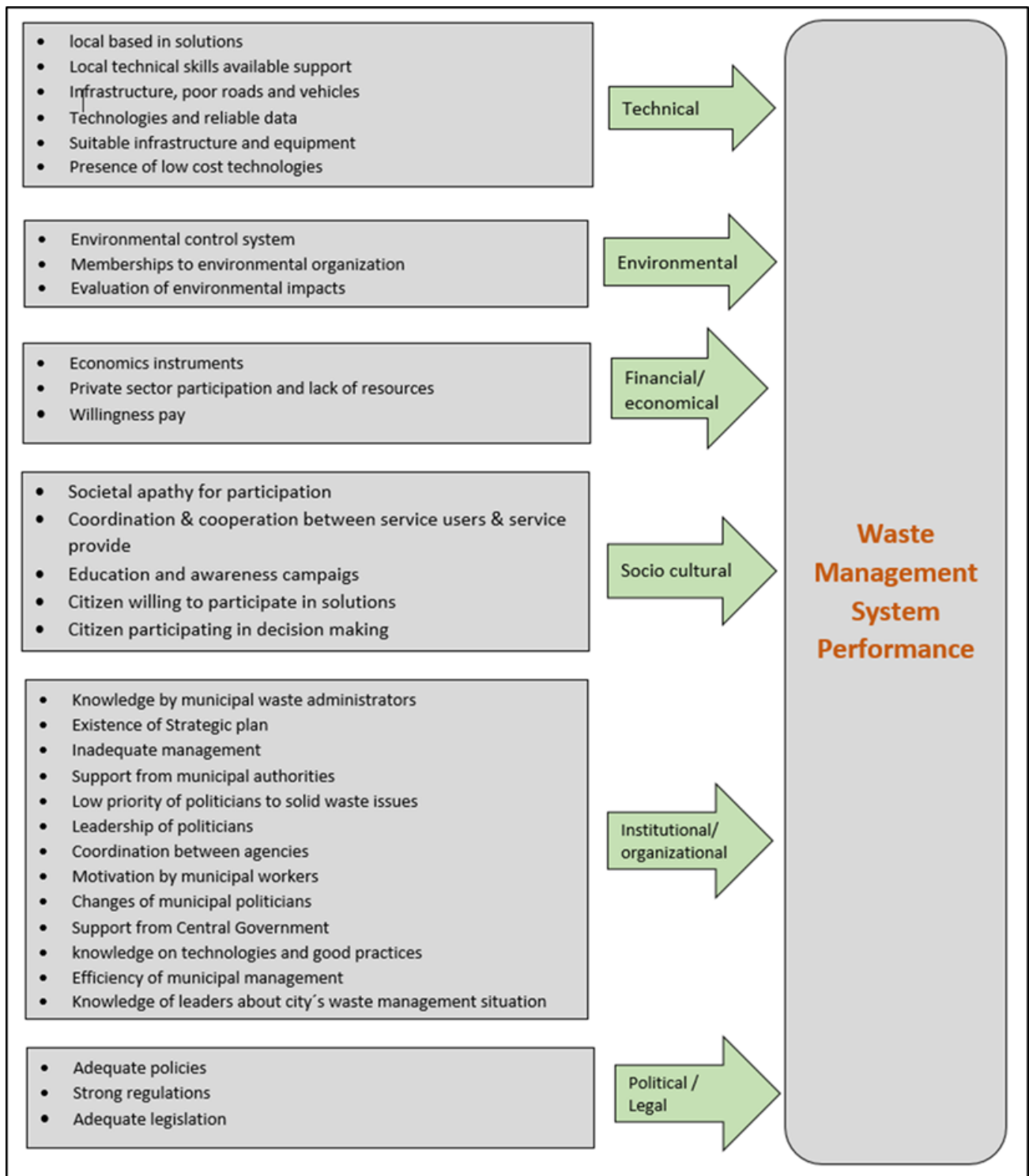


Figura 2. Factores que influyen a los componentes de sistemas de gestión de RSU.

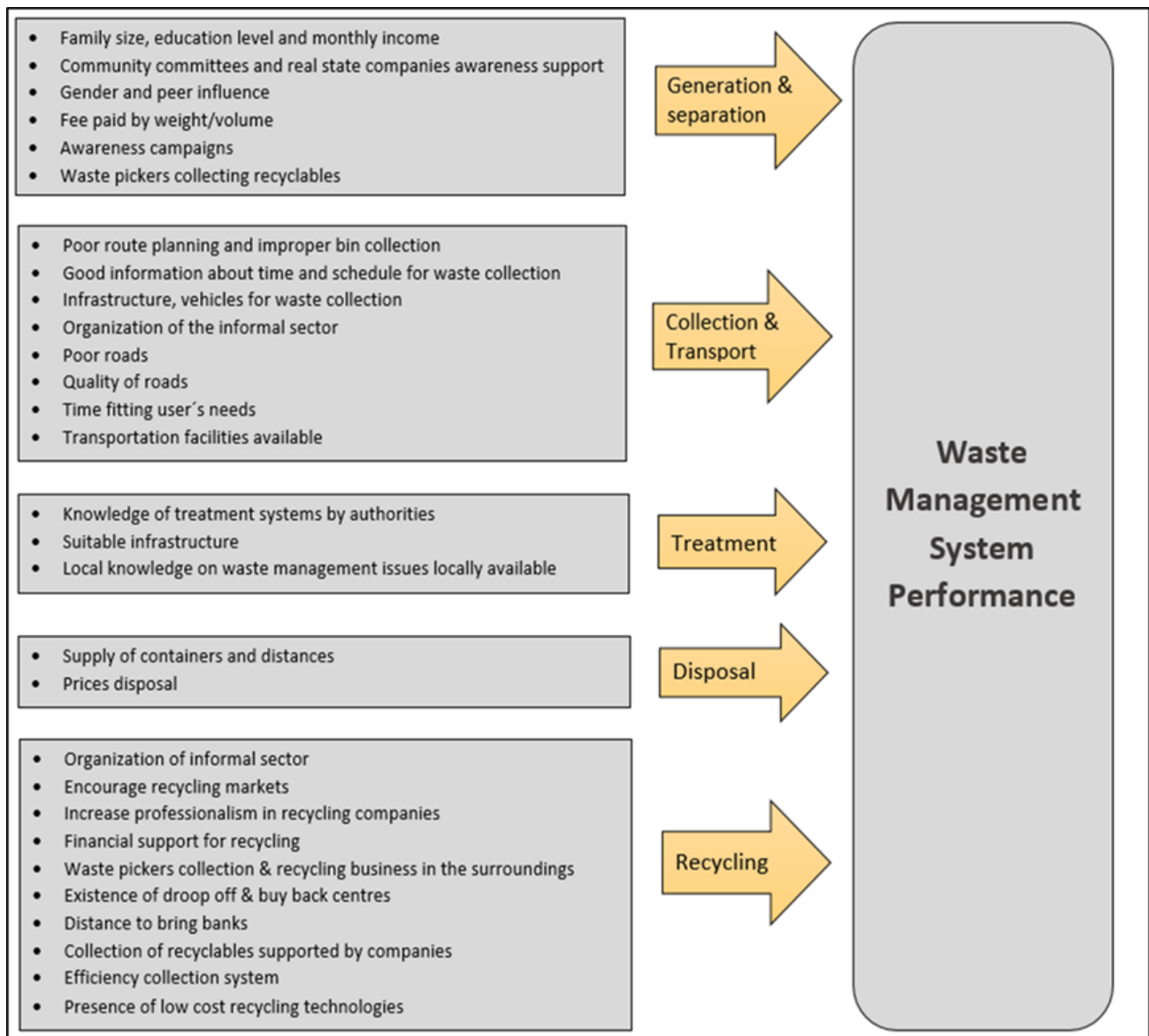


Figura 3. Factores que influyen al rendimiento de sistemas de gestión de RSU.

## **2.2 Situación actual de los residuos solidos urbanos en Europa**

### **2.2.1 Generación, tratamiento y composición**

La gestión de los residuos en la actualidad El siglo XXI se caracteriza por la preocupación y concienciación de la sociedad sobre su medio ambiente y los posibles daños que le ocasionan las actividades humanas. En relación con la producción de residuos la preocupación se ha centrado en los efectos que origina la mala gestión que se hace de ellos, efectos que se visualizan principalmente en la salud pública y la contaminación del suelo, agua y aire. Convertida la gestión en uno de los grandes problemas de la sociedad actual, debido principalmente al incremento constante de la producción, el público demanda cada vez mayores y mejores controles y reglamentaciones, que ofrezcan alternativas de tratamiento encaminadas a minimizar el problema. Como objetivo adicional la sociedad comienza también a reclamar que la gestión de los residuos contribuya a reducir el uso de materias primas y a ahorrar energía. “En la actualidad, se entiende por gestión de residuos al conjunto de operaciones encaminadas al aprovechamiento de los materiales y la energía contenida en la basura de forma medioambientalmente segura y la eliminación responsable de la parte no aprovechable” (Bermúdez 2001).

El estudio de las cantidades de residuos generadas y recogidas en un determinado municipio, región o país es el punto de partida de la gestión de los RSU (Gallardo, 2000). No obstante, debido a que la generación no es constante y depende de diferentes factores, su correcta estimación a largo plazo no es muy simple..

El crecimiento de la población, junto con la mejora del nivel de vida y el auwento del

consumo y de la cultura del "usar y tirar", provocaron que la generación de residuos domiciliarios aumente considerablemente (Colomer and Gallardo, 2007).

En el caso de los RSU, en la EU-28 durante el año 2017 se generaron 486 kg/hab (1,31 kg/hab-día) (Eurostat, 2019). Los países donde la generación fue mayor son Dinamarca, Noruega y Suiza, con valores entre los 800 – 700 kg/hab. Por el contrario, en Rumania, Polonia y la Republica Checa se dieron los valores más bajos, entre 250 – 350 kg/hab. En España la generación de RSU fue de 462 kg/hab (1,27 kg/hab-día), valor que se encuentra por debajo de la media europea.

El Banco Mundial (1992) hace mención a tres fases para la minimización de residuos: (i) reducción en la fuente, (ii) reciclaje o reuso y (iii) tratamiento. El componente sustancial de este concepto es la reducción en la fuente, que comprende actividades como la sustitución de insumos, control del proceso productivo, adaptación de nuevas tecnologías y cambio de hábitos de consumo de la población.

Entre los aspectos relacionados con el medio ambiente que demandan una rápida atención está el problema del manejo y disposición de los residuos. La importancia que se le concede crece paralelamente al enorme volumen de residuos que se producen en las zonas urbanas y a las dificultades para eliminarlos. Esta situación despierta preocupación en diferentes sectores de la sociedad que tratan de alertar y sensibilizar a la población y a las autoridades sobre los efectos ambientales y repercusiones sanitarias que están provocando.

Los residuos en Europa no dejan de crecer, es así como la media europea per cápita en 2017 fué de 487 kg ,y solo un 29% de residuos fueron reciclados. Para el caso de España, en 2017 se recicló solo un 47% y se vertió un 25%, el resto fué incinerado y

compostado (de un total de 20 millones de toneladas de RSU recogidos en 2017).

Según el informe del banco mundial, los desechos a nivel mundial crecerán un 70% para el 2050 (De 2010 millones de toneladas en el 2016 a 3.400 millones de toneladas en los próximos 30 años).

A pesar de que se están generando más residuos en la UE-28, la cantidad total de residuos municipales en vertederos ha disminuído. En el período de referencia, el total de residuos municipales vertidos en la UE-28 se redujo en 85 millones de toneladas, o el 59%, de 145 millones de toneladas (302 kg per cápita) en 1995 a 58 millones de toneladas (114 kg per cápita) en 2017. Esto corresponde a un descenso medio anual del 4,1%. Para el período más corto, 2005-2017, los vertederos han caído hasta un 5.3% por año en promedio.

Como resultado, la tasa de vertedero (residuos vertidos como proporción de los residuos generados) en comparación con la generación de residuos municipales en la UE-28 se redujo de 64% en 1995 a 23% en 2017.

Esta reducción puede atribuirse en parte a la implementación de la legislación Europea, por ejemplo, la Directiva 62/1994 sobre envases y residuos de envases. Para el año 2001, los Estados miembros tenían que recuperar un mínimo del 50% de todos los envases puestos en el mercado. Con el objetivo de recuperación revisado del 60% que se alcanzará para el 31 de diciembre de 2008, hubo un aumento adicional en la cantidad de residuos de envases recogidos por separado.

Además, la Directiva 31/1999 sobre vertederos estipulaba que los Estados miembros estaban obligados a reducir la cantidad de residuos municipales biodegradables destinados a vertederos al 75% para el 16 de julio de 2006, al 50% para el 16 de julio

de 2009 y al 35% para el 16 de julio de 2016. la reducción se calculó sobre la base de la cantidad total de residuos municipales biodegradables producidos en 1995. La Directiva ha llevado a los países a adoptar diferentes estrategias para evitar enviar la fracción orgánica de los residuos municipales al relleno sanitario, a saber, el compostaje (incluida la fermentación), la incineración y la preparación. tratamiento, como el tratamiento mecánico-biológico.

Como resultado, la cantidad de residuos reciclados aumentó de 25 millones de toneladas (52 kg per cápita) en 1995 a 74 millones de toneladas (144 kg per cápita) en 2017 a una tasa promedio anual del 5,1%. La proporción de residuos municipales reciclados en general aumentó del 11% al 30%. La Comisión Europea adoptó un ambicioso paquete de economía circular, que incluye propuestas legislativas revisadas sobre residuos con un objetivo común más alto para el reciclaje de residuos municipales y de embalaje y límites más bajos para el vertido de residuos municipales. La recuperación de material orgánico por compostaje ha crecido con una tasa promedio anual de 5.2% desde 1995 a 2017. El reciclaje y el compostaje en conjunto representaron el 47% en 2017 en relación con la generación de desechos.

La incineración de desechos también ha crecido de manera constante en el período de referencia, aunque no tanto como el reciclaje y el compostaje. Desde 1995, la cantidad de residuos municipales incinerados en la UE-28 ha aumentado en 36 millones de toneladas o 111% y representó 68 millones de toneladas en 2017. Los residuos municipales incinerados aumentaron de 67 kg per cápita a 133 kg per cápita.

### **2.2.2 Cantidad de residuos generados a nivel per capita en el mundo en**

**2017**

A continuación, la Tabla 1 y la Figura 4 muestran la cantidad de residuos generados por país y el tratamiento asociado a los residuos.

Tabla 1. Residuos sólidos urbanos generados en UE (kg per cápita)

	1995	2000	2005	2011	2017	change (%) 1995-2017
<b>EU-28</b>	473	521	515	497	487	:
Belgium	455	471	482	456	409	-10.1
Bulgaria	694	612	588	508	416	-40.1
Czechia	302	335	289	320	344	13.9
Denmark	521	664	736	781	781	50.0
Germany	623	642	565	626	633	1.6
Estonia	371	453	433	301	390	5.1
Ireland	512	599	731	616	:	:
Greece	303	412	442	503	:	:
Spain	505	653	588	485	462	-8.6
France	475	514	530	534	513	7.9
Croatia	:	262	336	384	416	:
Italy	454	509	546	529	489	7.8
Cyprus	595	628	688	672	637	7.1
Latvia	264	271	320	350	438	65.7
Lithuania	426	365	387	442	455	6.8
Luxembourg	587	654	672	666	607	3.3
Hungary	460	446	461	382	385	-16.3
Malta	387	533	623	589	604	55.9
Netherlands	539	598	599	568	513	-4.9
Austria	437	580	575	573	570	30.3
Poland	285	320	319	319	315	10.7
Portugal	352	457	452	490	487	38.4
Romania	342	355	383	259	272	-20.5
Slovenia	596	513	494	415	471	-21.0
Slovakia	295	254	273	311	378	28.2
Finland	413	502	478	505	510	23.5
Sweden	386	428	477	449	452	17.2
United Kingdom	498	577	581	491	:	:
Iceland	426	462	516	495	:	:
Norway	624	613	426	485	748	19.8
Switzerland	600	656	661	689	706	17.7
Montenegro	:	:	:	524	:	:
The former Yugoslav Republic of Macedonia	:	:	:	357	344	:
Serbia	:	:	:	375	306	:
Turkey	441	465	458	416	425	-3.6
Bosnia and Herzegovina	:	:	:	340	352	:
Kosovo*	:	:	:	:	228	:

\* This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244/1999 and the ICJ Opinion on the Kosovo declaration of independence

Source: Eurostat (online data code: env\_wasmun)

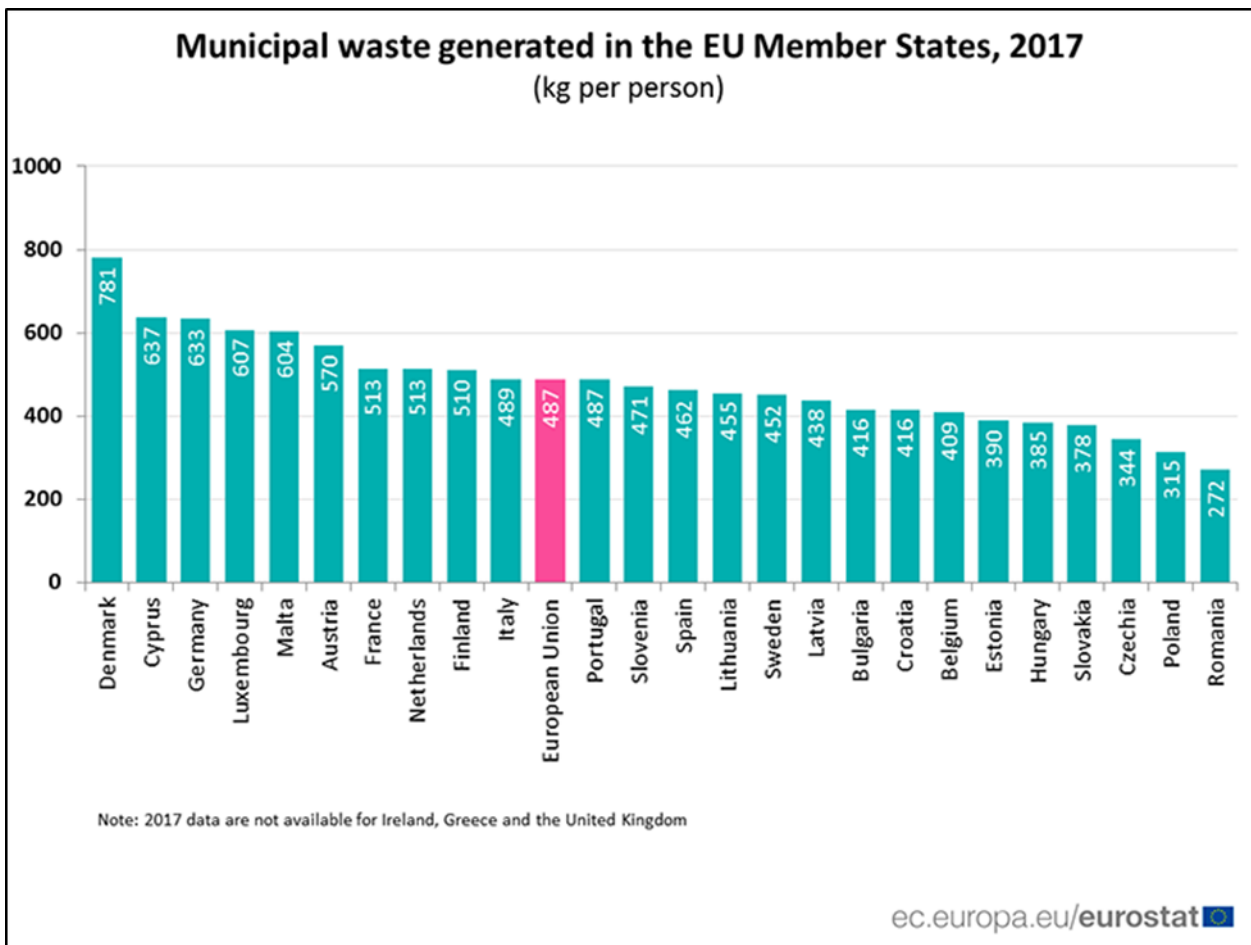


Figura 4. Residuos generados per cápita por países en la UE (1995-2017)

La cantidad de residuos municipales generados varía considerablemente en todos los Estados miembros de la UE. En cinco de los 25 países para los que se dispone de datos de 2017, se produjeron más de 600 kg de residuos municipales por persona: Dinamarca (781 kg/persona), seguida de Chipre (637 kg/persona), Alemania (633 kg/persona), Luxemburgo (607 kg/persona) y Malta (604 kg/persona).

### 2.2.3 Incineración, vertido, reciclaje y compostaje UE 1995-2017

La Tabla 2 (fuente: Eurostat) muestra el desarrollo del tratamiento de RSU en la UE de 1995 hasta 2017.

Tabla 2. Incineración, vertido, reciclaje y compostaje UE 1995-2017

	1995	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Change(%) 1995-2017
<b>Million tonnes</b>															
Landfill	145	110	108	107	101	98	93	86	79	73	68	64	60	58	-60
Incineration	32	48	51	52	55	54	57	60	59	62	64	65	68	68	111
Recycling	25	52	54	60	60	61	63	64	66	65	68	71	73	74	196
composting	14	29	31	32	34	35	36	34	35	36	38	38	41	43	205
other	10	16	13	11	11	9	6	5	6	6	5	7	6	6	-43
<b>Kg per capita</b>															
Landfill	302	221	220	215	201	195	185	171	156	145	134	126	117	114	-62
Incineration	67	98	104	104	109	111	114	119	118	122	126	127	134	133	97
Recycling	52	105	109	119	120	122	124	128	130	128	134	140	143	144	175
composting	30	59	62	64	70	68	69	67	70	72	74	75	81	81	175
other	22	33	27	22	21	15	12	12	12	12	10	12	11	15	-32

Desarrollo de un sistema de soporte a la decisión para optimizar la planificación y gestión de los residuos sólidos urbanos en zonas insulares, basado en dinámica de sistemas y teoría de la decisión multicriterio (fuzzy TOPSIS).

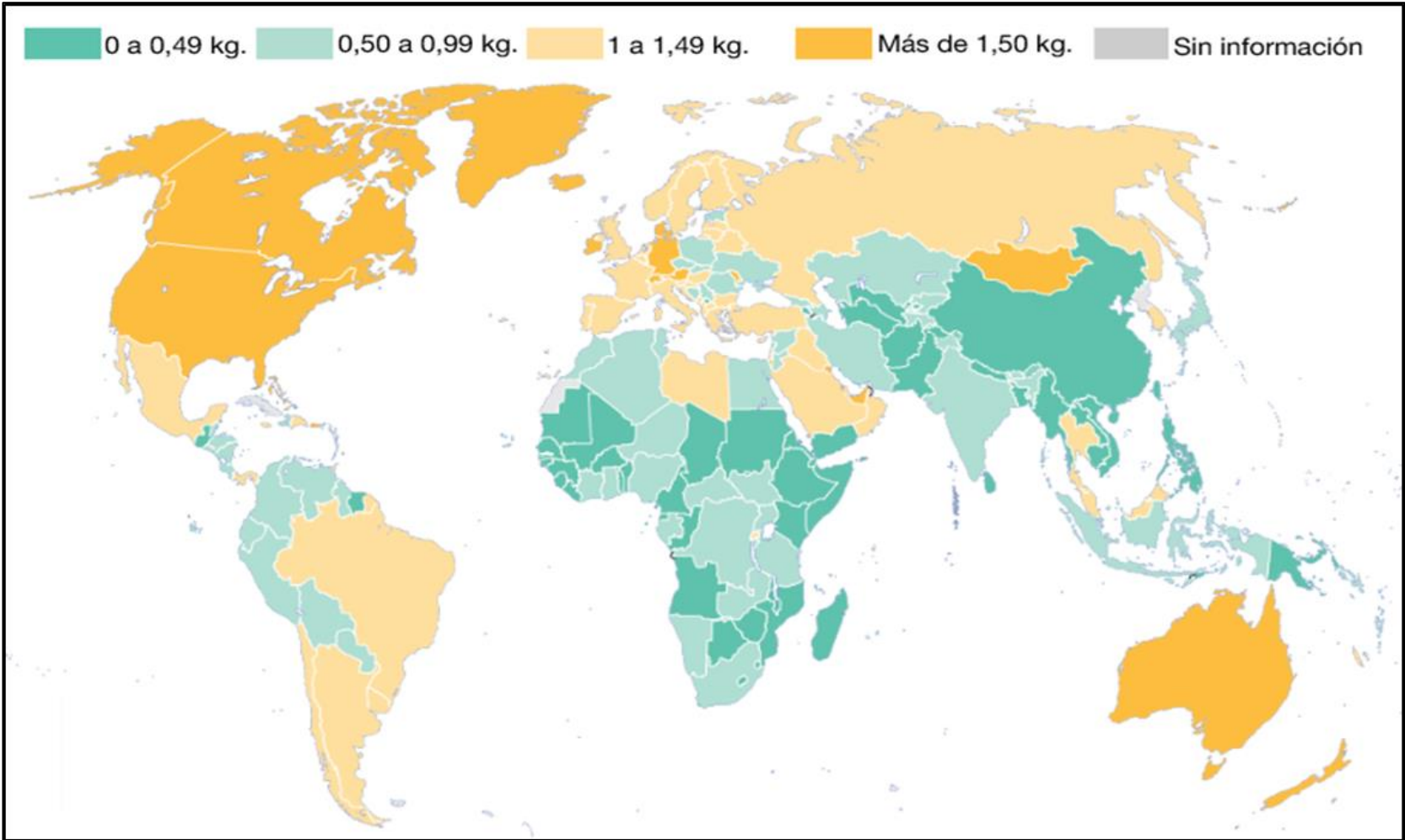


Figura 5. Posible panorama mundial de la generación de RSU en 2050 .

La Figura 5 (fuente: BBC) destaca que, también en un presumible futuro, las regiones mas desarrolladas e industrializadas, serán los que tienen mayores tasas de generación de residuos por habitante/día. Aquí vemos que países como Islandia, Singapur, puerto Rico y otros mas, se encuentran a la cabeza en generación de residuos per capita.

La Figura 6 (fuente: Eurostat) muestra los ratios de reciclaje en Europa en 2017, destacando los 5 países que mas reciclan en Europa.

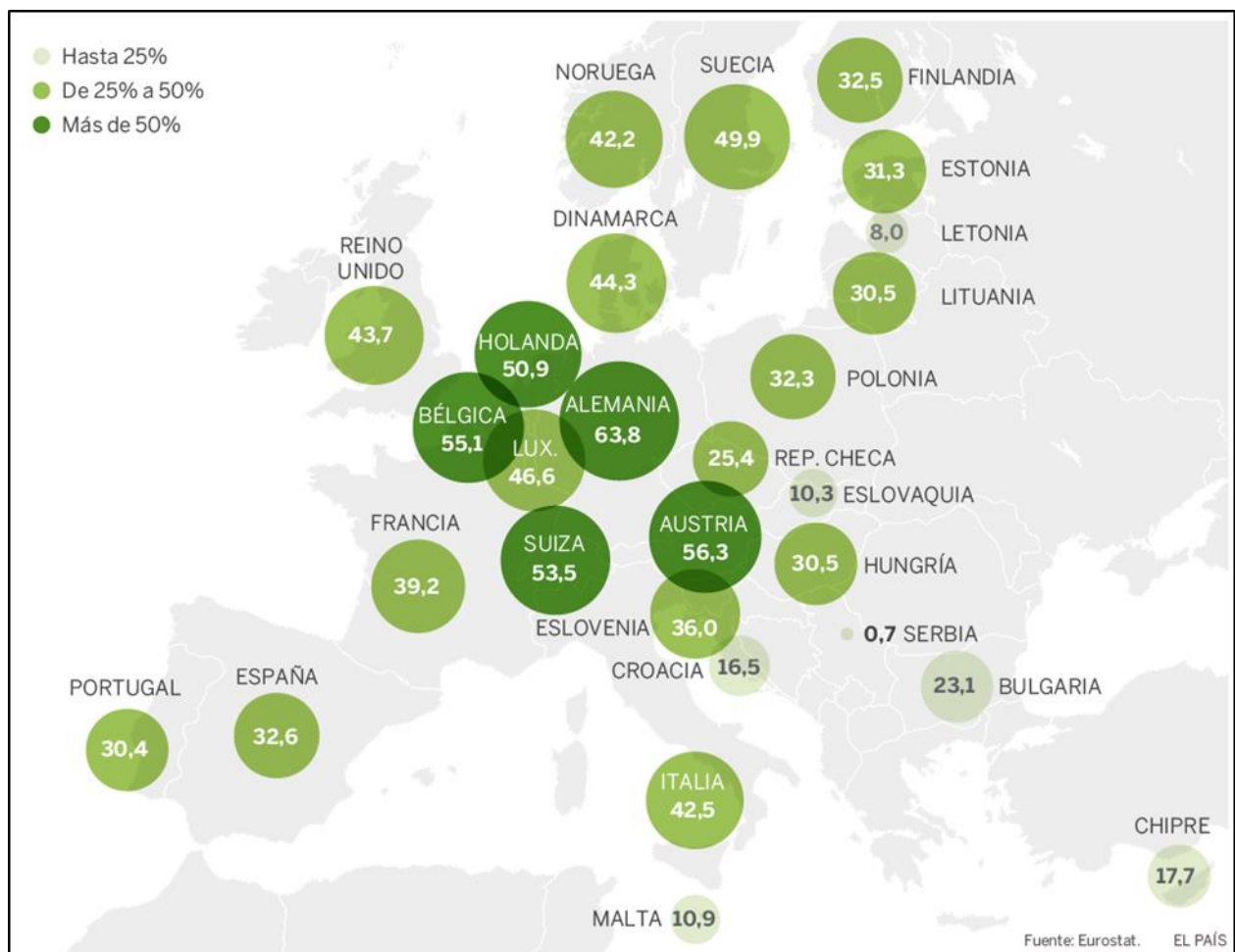


Figura 6. Ratios de reciclaje en Europa en 2017.

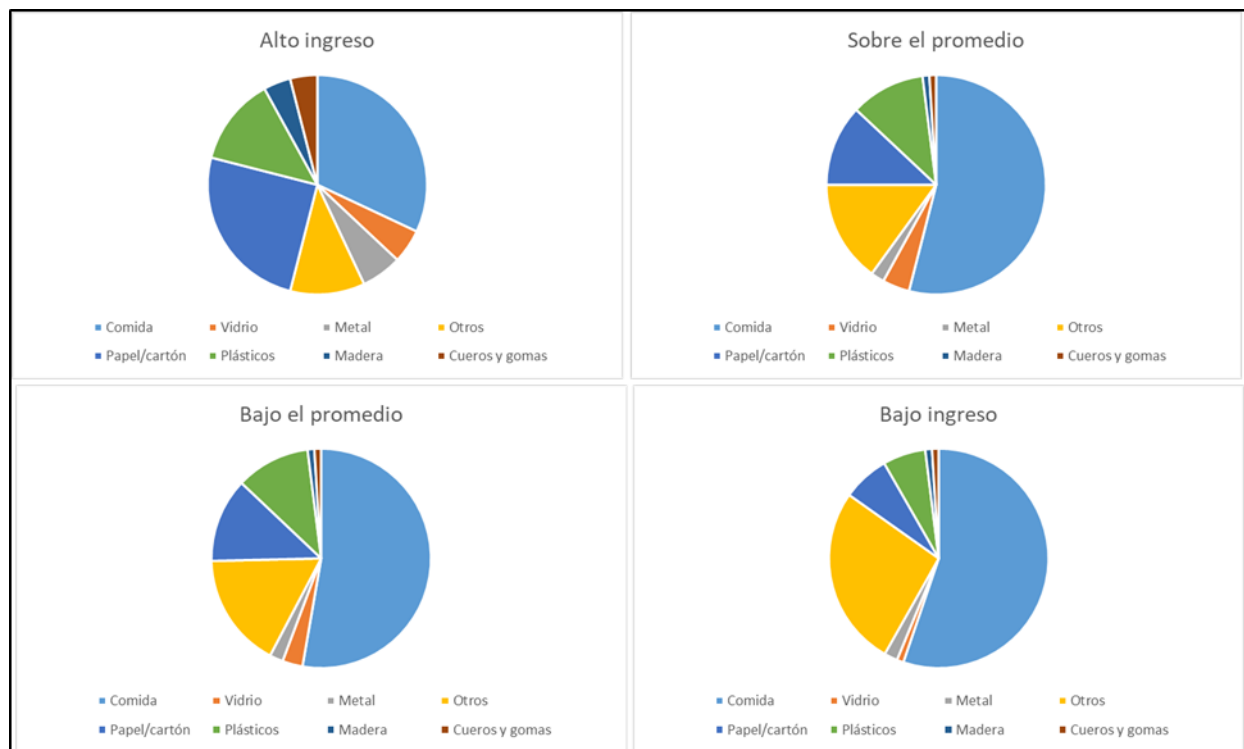


Figura 7. Composición de los RSU en función de la renta per capita.

En la Figura 7, se muestra la composición de los RSU en función del nivel de renta a nivel mundial (Kaza et al., 2018). En ella se observa que, a medida que el nivel de económico aumenta, el contenido en fracción orgánica disminuye. Además, los RSU de los países con mayores ingresos incluyen un mayor porcentaje de residuos de papel/cartón, metales, madera, gomas y cueros que los de ingresos más bajos. Este tipo de materiales son propios de los modelos de consumo de los países más desarrollados, mientras que en los países en desarrollo se generan en menor cantidad y son más valiosos, por lo que gran parte de los mismos son aprovechados y desviados del flujo de residuos.

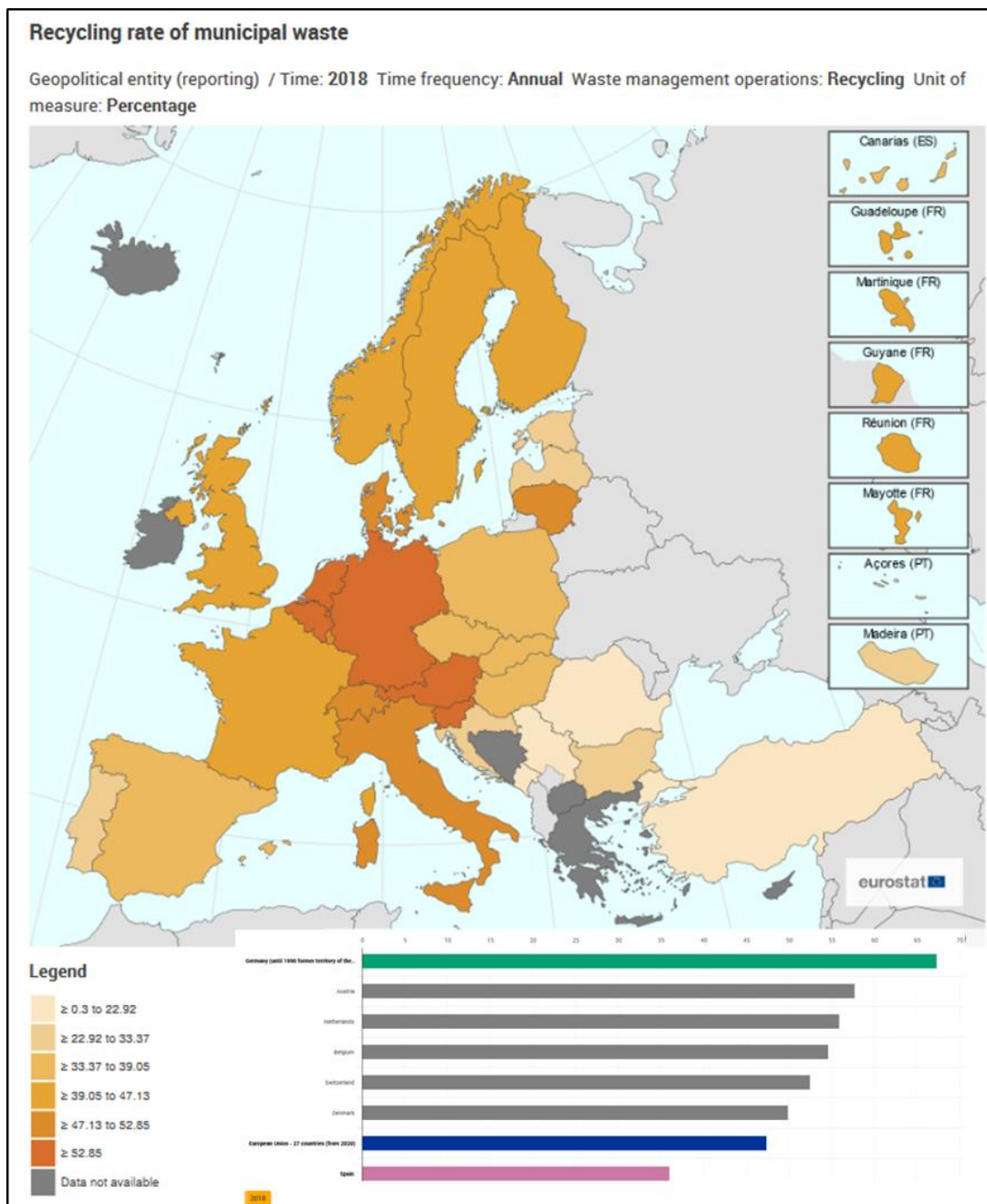


Figura 8. Cantidades de reciclaje de RSU en Europa en 2018.

En la Figura 8 (fuente: Eurostat 2019) se destacan 6 países de la UE por sobre el 50% de reciclaje en 2018, encabezados por Alemania con un 67%, la media de Europa es aproximadamente un 47.4% y España esta por debajo de ella con un 36%.

#### **2.2.4 Comparativa: Costes compostaje, reciclaje e incineración (2017)**

Las tablas siguientes se refieren a los países de la U.E. y muestran los costes de unidad para compostaje (Tabla 3), los costes de recogida residuos biológicos (Tabla 4), los costes de vertedero (Tabla 5), los costes de incineración (Tabla 6), los costes de recogida (Tabla 7) y los costes de recogida para reciclaje en España (Tabla 8).

Tabla 3. Costes de unidad para compostaje (€ por tonelada de RSU en la U.E.).

	Proceso	Costes	Comentarios
Austria	Planta de alta especificación para residuos biológicos Compostaje directo en granjas	94€/ton a 20.000 tpa 45-58€/ton a 5.000-20.000 tpa	
Bélgica	Compostaje de residuos verdes Compostaje de residuos VFJ (verduras, frutas, jardín)	25-37€/ton 62-74€/7ton	Todos cerrados con biofiltros, etc.
Dinamarca	Residuos de jardín Residuos de cocina	0-30€/ton 73-77€/ton a 10.000 tpa	Incluye ingreso de aprox. 11 € por tonelada de compost (4,5 toneladas de residuos) - ingresos varían entre 0-11 € por tonelada
Finlandia	Reactor de tambor para residuos biológicos Reactor de tambor y túnel para residuos biológicos Reactor de túnel	47€/ton a 60.000 tpa 189€/ton a 1.300 tpa 68-76€/ton a 7.000 tpa 37-54€/ton a 20.000 tpa	Excluye ingresos estimados a 6-10 € por metro cuadrado vendidos al público, pero más regularmente usados en aplicaciones de valor más bajo.
Francia	Residuos verdes (gavilla de aire libre) Residuos de cocina (gavilla de aire libre) Residuos de cocina (gavilla de aire libre, ventilación esforzada con filtro biológico)	50-85€/ton a 6.000 tpa 34-57€/ton a 12.000 tpa 63-95€/ton a 6.000 tpa 41-68€/ton a 12.000 tpa 50-91€/ton a 22.000 tpa	Incluye ingresos estimados en 0-8€ por tonelada para residuos de jardín, 0-6€ para residuos de cocina. Residuos presumidos de estar incinerados en todos casos
Luxemburgo	Residuos biológicos	71€/ton a 4.000 tpa	Parece de incluir solamente a costes de operación, excluye ingresos.

Alemania	Residuos de cocina y de jardín, tratamiento cerrado de olores, etc.	62€/ton a 40.000 tpa 56€/ton a 60.000 tpa	Presumiblemente no ingreso para compost y un 10% de ello botados a un coste de 91 € por tonelada.
Grecia	Nada de materiales separados por fuente		
Irlanda	Compostaje de residuos de comida y residuos verdes	16€/ton a 6.000 tpa (flujo) 25€/ton a 5.000 tpa	Estimaciones se refieren solamente a los costes de operación, no a amortización o ingresos. Excluye ingresos estimados a 10 € por tonelada de residuos. Excluye ingresos estimados a 10 € por tonelada de residuos. Presumiblemente hay pagos grandes a granjeros en partes de Italia para fomentar el uso de compostaje.
	Residuos verdes	23€/ton a 10.000 tpa	
Italia	Residuos de cocina y de jardín	53€/ton a 20.000 tpa	
	Residuos de jardín	34€/ton a 20.000 tpa	
Países Bajos	Compostaje al aire libre	30€/ton a 20.000 tpa	
	Compostaje cerrado de residuos biológicos	80€/ton a 10.000 tpa	
	Compostaje cerrado de residuos biológicos	30-60€/ton a 50.000 tpa	
	Sistemas "Buhler"	50-59€/ton	
	Sistemas "GICOM"	34-55€/ton	
	Sistemas "VAR"	38-45€/ton	
Sistemas "VAM"	38-41€/ton		
Polonia		No existen datos	
España		18-30€/ton	
Suiza		73€/ton a 3.000 tpa	
		30-45€/ton a 20.000 tpa	

Reino Unido	Residuos de jardín, gavilla de aire libre	
	Sistema de suministro por túnel (residuos biológicos)	22€/ton a 18.000 tpa
	Sistema de suministro por contenedor (residuos biológicos)	40€/ton a 20.000 tpa 47€/ton a 18.000 tpa 31€/ton a 20.000 tpa
	Sistema de compostaje en contenedores (residuos biológicos)	

Tabla 4. Costes de recogida residuos biológicos en varios países de U.E.

	Tipos de residuos compostables recogidos	Frecuencia	Coste estimado
Austria	Ambos	Semanalmente en verano, cada dos semanas en las otras estaciones	82 € por tonelada de residuos biológicos - compostaje doméstico muy común
Bélgica	VFJ (verduras, frutas, jardín) verdes	Semanalmente o cada dos semanas, pero aprox. 40 % recogidos como PCB (paga cuando botas)	45-146 € por tonelada media: 111 € por tonelada de VFJ, es decir 16 € por vivienda, 38 € por tonelada de residuos verdes, es decir 3,70 € por vivienda
Dinamarca	Jardín y cocina verde	Recogida dual (cada 14 días)	Costes del sistema de recogida incrementan un 25 % en relación a la recogida estándar semanal
Finlandia	Ambos	Semanalmente o cada dos semanas	63 € por tonelada
Francia	Ambos	Áreas rurales: semanalmente Áreas urbanas: 2 veces por semana (con 1 camión que tiene 2 compartimentos, es decir, sirve para recoger 2 tipos de residuos a la vez)	120-142 € por tonelada 36-45€ por tonelada
Alemania	Ambos	Alternando semanalmente con otros tipos de residuos, a veces semanalmente (p.ej. en verano)	67-159€ por tonelada (media: 100 € por tonelada) - compostaje doméstico muy común

Grecia	No se sabe	No se sabe	No se sabe
Irlanda	Ambos	Alternando con recogida de otros tipos de residuos	No incremento en comparación con “solamente RSU”, excepto 6-8€ por vivienda por año a razón de inversiones (contenedores y bolsas)
		Cada 14 días; recogida de residuos biológicos juntos con otros tipos de residuos	Aprox. 33 € por vivienda (estimadamente)
Italia	Cocina solamente	1 o 2 veces por semana	54-302 € por tonelada; 4,40-9,30€ por vivienda - costes de sistema de recogida no aumentan a razón de frecuencia reducida de recogida de residuos
Luxemburgo	No se sabe	No se sabe	No se sabe
Países Bajos	No se sabe	No se sabe	No se sabe
Polonia	No se sabe	No se sabe	No se sabe
España	Residuos húmedos y secos Recogida de residuos de cocina		40 € por tonelada
			Coste igual que en modelos simples de recogida
Suiza	No se sabe	No se sabe	No se sabe
Reino Unido	Ambos	Alternando con otros tipos de residuos (cada 2 semanas)	Costes del sistema de recogida aumentan según demanda 11 € por tonelada recogida, es decir 3,50 € por vivienda (350kg/vivienda)
		Semanalmente mediante co-recogida (= 1 camión que tiene 2 compartimentos, es decir, sirve para recoger 2 tipos de residuos a la vez, cp.:	Costes del sistema de recogida aumentan según demanda 11-33€ por tonelada de residuos biológicos recogidos según tasa de recogida.

Tabla 5. Costes de vertedero en varios países de UE (€/ton)

	Costes operación (con tasas) €/ton	Costes operación (sin tasas) €/ton	Costes entrega (sin tasas) €/ton	Tasas €/ton	Costes totales (con tasas) €/ton	Tendencia (costes sin tasas)
Austria		67		43	110	Aumentando, debido a tasas y

Bélgica	No existen datos		47.5	52 - 55	100	reformación de sitios antiguos. Además, estándares de pre-tratamiento causan menor importancia de vertederos. Llegando a menor importancia para RSU debido a derogación.
Dinamarca	No existen datos	45	3)		45	Llegando a menor importancia para RSU debido a derogación. Probable de llegar a menor
Finlandia	4		37 - 46	15	52 - 61	importancia para RSU debido a derogación.
Francia	3 - 5 (por 100 ktpa) 6 - 8 (por 20 ktpa)	31 - 85 (alto para bajas ratios de entrada)		9	40 - 94	Derogación de vertederos entrará pronto en funcionamiento. Pagos de entrada cambiantes, pero probables de quedarse
Alemania	7.3 (por 300 ktpa)	20 (por 300 ktpa) 51 (por 50 ktpa)	35 - 220		30 - 51	constantes. Estándares de pre-tratamiento causan menor importancia de vertederos. Costes probables de aumentar
Grecia	1.5 - 1.5				9.30	significativamente durante los próximos años debido a Directiva de Vertederos. Costes
Irlanda	13 (aprox. 100 ktpa)		35-78	19	60-954)	incrementaron significativamente durante los años pasados. Costes básicos
Italia	13	52		Variab le3)	70 - 75	incrementaron debido a Directiva de Vertederos.

Tabla 6. Costes de incineración en varios países de U.E.

	Costes netos de ingresos (sin tasas)	Tasas (para plantas con recuperación de energía)	Ingresos por suministro de energía (por kWh)	Costes de tratamiento de cenizas
Austria	326 a 60 € ktpa 159 a 150€ ktpa 97 a 300 € ktpa		Electricidad 0.036 Calor 0.018	Ceniza gruesa: 63 € por tonelada Residuos de gases de escape: 363 € por tonelada
Bélgica	71-75€ a 150 ktpa 83€ por ton.	12.7€/ton	Electricidad 0.025	No disponible
Dinamarca	30-45€/ton	44€/ton	Electricidad 0.05	Ceniza gruesa: 34 € por tonelada Residuos de gases de escape: 134 € por tonelada
Finlandia	Ninguno		Para gasificación, Electricidad 0.034 Calor 0.017	
Francia	118-129€ a 18.7 ktpa 91-101€ a 37.5 ktpa 86-101€ a 37.5 ktpa 80-90€ a 75 ktpa 67-80€ a 150 ktpa		Electricidad 0.023	13-18 € por tonelada de input
Alemania	250 € (debajo de 50 ktpa) 105 € (200 ktpa) 65 € a 600 ktpa		Electricidad 0.046€	Ceniza gruesa: 28,10 € por tonelada Control de contaminación atmosférica por ceniza fina: 255,60 € por tonelada

Tabla 7. Costes recogida de residuos en varios países de UE

Costes (€ por tonelada)			Costes (€ por vivienda)			Frecuencia
bajo	alto	mejor estimación	bajo	alto	mejor estimación	

Austria			70				Cada dos semanas, a veces más frecuentemente en verano.
Bélgica	58	92	75 56	14	22	18	Regularmente cada dos semanas, a veces semanalmente.
Dinamarca			126				Semanalmente.
Finlandia	15 u	32 r		17 u	37 r	62	Semanalmente, cada dos semanas o mensualmente por vivienda dependiente de la ruta o del área (excluye costes de contenedores en viviendas).
Francia	54 u 63 r	65 u 74 r	60 u 70 r				p.ej. 5 veces por semana en áreas urbanas p.ej. 2 veces por semana en áreas rurales
Alemania	39 u 48 r	81 u 91 r	67 u 71 r			30 u 40 r	Puede ser cada dos semanas hasta semanalmente en meses de verano. Costes más bajos probables de ser para recogidas bisemanales.
Grecia	25 u 40 r	36 u 67 r	30 u 55 r			32 u 57 r	Diariamente en algunas áreas urbanas, semanalmente en algunas áreas rurales. Coste más bajo por tonelada en sitios más poblados.
Irlanda	60	70	65	70	80	75	Semanalmente.
Italia	48	255	75	15	45	25	Variable - semanalmente o cada dos semanas en sistemas optimizados de coste recogiendo residuos de comidas (hay que pagar), puede

							ser tres o cuatro veces por día en algunos áreas sin recogida de residuos de comidas.
Luxemburgo	85	104	85				Cada dos semanas.
Países Bajos	75	123	100				Semanalmente.
Polonia			45e				
España	19	91	60	10	43	25	Probable de ser diario en áreas urbanas o en algunas comunidades o municipios Cada dos semanas en casas unifamiliares, semanalmente en áreas urbanas con edificios de multiuso.
Suiza	59	80	65				Normalmente semanalmente - algunas autoridades locales alternan recogida de residuos generales con la recogida de residuos biológicos (cada 14 días).
Reino Unido	32 u 50 r	50 u 80 r	42 u 69 r	24 u 38 r	38 u 60 r	31 u 45 r	

Tabla 8. Costes de recogida seca de reciclaje en España (UE-27).

	Tipo de Envase	Papel	Vidrio	Envases
España	Contenedores de calle, urbano	40-60 € por tonelada	30 € por tonelada	180€/ton
	Contenedores de calle, semi-urbano	50-70 € por tonelada		200€ /ton
	Contenedores de calle, rural.	(solamente papel y envases de cartón)	40-50€ por tonelada	270€ /ton

## **2.2.5 Generación de RSU en España**

Respecto a España, en la Figura 9 se muestra la evolución que ha sufrido la generación de RSU en los últimos años. En ella se puede observar que hasta el comienzo de la crisis en el año 2008 existía un incremento continuado de la cantidad de RSU generada anualmente. Sin embargo, desde el año 2008 la tendencia ha sido descendiente a pesar de que la población ha seguido aumentando.

En la actualidad, la cantidad total de RSU generados se encuentran en valores de 21,9 Mt. De ellas, 18,1 Mt corresponden a residuos recogidos de forma mezclada y 3,8 Mt a residuos recogidos selectivamente y la tasa de generación diaria (TGD) es de 1,29 kg/hab-día (Instituto Nacional de Estadística (INE), 2018).

Con respecto a la gestión integral de residuos, el objetivo es gestionar los residuos generados por la sociedad teniendo en cuenta el medio ambiente, la salud pública y los objetivos marcados en la legislación. Además, debe cumplir dos funciones fundamentales: la eliminación de los residuos y la recuperación de los recursos. Actualmente en España se lleva a cabo la gestión integral y tratamiento de prácticamente todos los residuos generados en el país, teniendo en cuenta siempre la jerarquía de gestión definida por la legislación.

### **2.2.5.1 Estadísticas sobre recogida y tratamiento de RSU en España**

La recogida de los RSU se puede clasificar en función de dos criterios: el tipo de prerrecogida y el grado de fraccionamiento en origen (Gallardo, 2000). Actualmente, las empresas gestoras de residuos urbanos recogieron 22,7 millones de toneladas de residuos en 2018, un 0,8% más que en el año anterior. De éstos, 18,3 millones

correspondieron a residuos mezclados y 4,4 millones a residuos de recogida separada.

En términos per cápita, en España se recogieron 485,9 kilogramos de residuos por persona y año, un 0,4% más que en 2017. De estos, 391,3 kilogramos por persona y año correspondieron a residuos mezclados y 94,6 kilogramos a recogida separada. Establecer un sistema de recogida eficiente para los RSU es imprescindible, puesto que supone entre el 60 – 80 % de los costes totales de la gestión (Fernández, 2010). Con respecto a la recogida selectiva, esta tiene un papel fundamental en la gestión integral de los RSU, puesto que favorece la recuperación de los recursos, minimiza la cantidad de residuos enviada a vertedero y permite alcanzar los objetivos marcados en la legislación respecto a la reutilización y el reciclaje de los materiales. El objetivo principal de este tipo de recogida es conseguir la separación en origen y la recogida diferenciada de la mayor cantidad de materiales (vidrio, papel-cartón, envases, fracción orgánica, ropa y/o aceites de cocina), lo que facilita el tratamiento posterior de estos materiales, de forma que se mejora su valorización mediante la reutilización, el reciclado, el compostaje o la biometanización. España tiene 5 modelos diferentes para la recogida de RSU que veremos en Figura 9 y Figura 10.

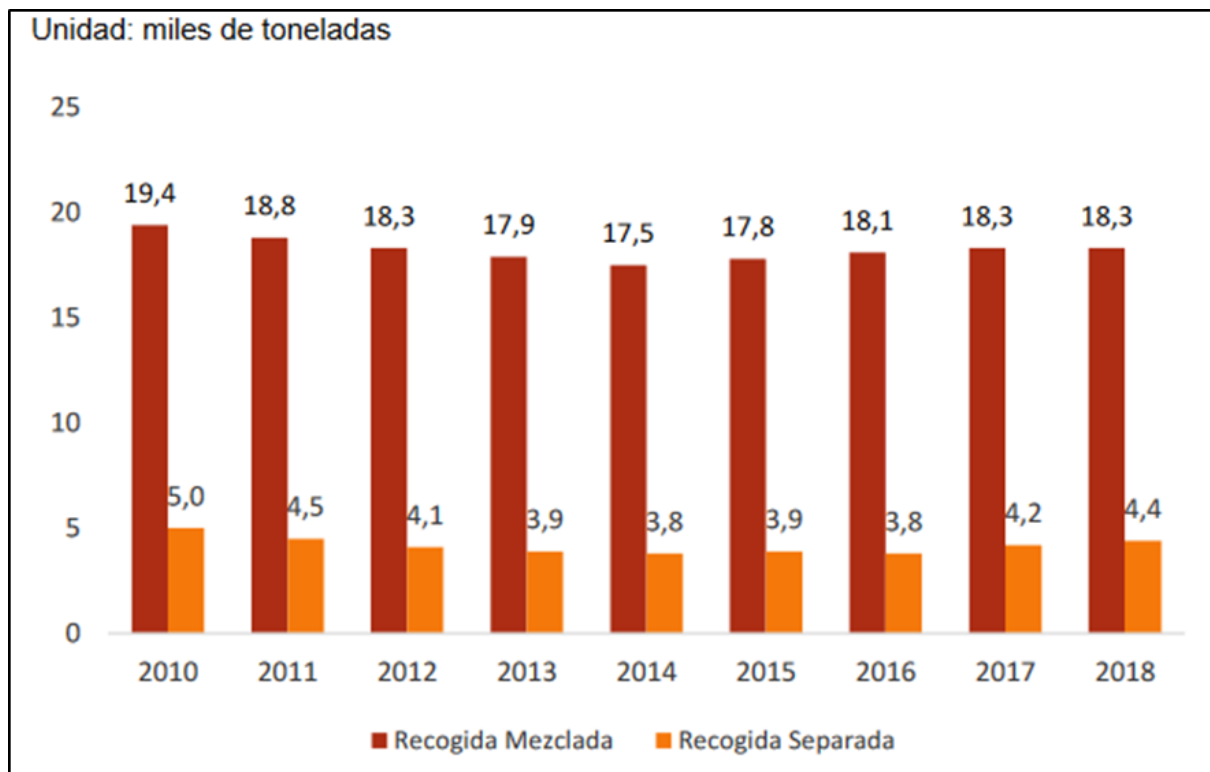


Figura 9. Recogida de RSU en España en 2018.

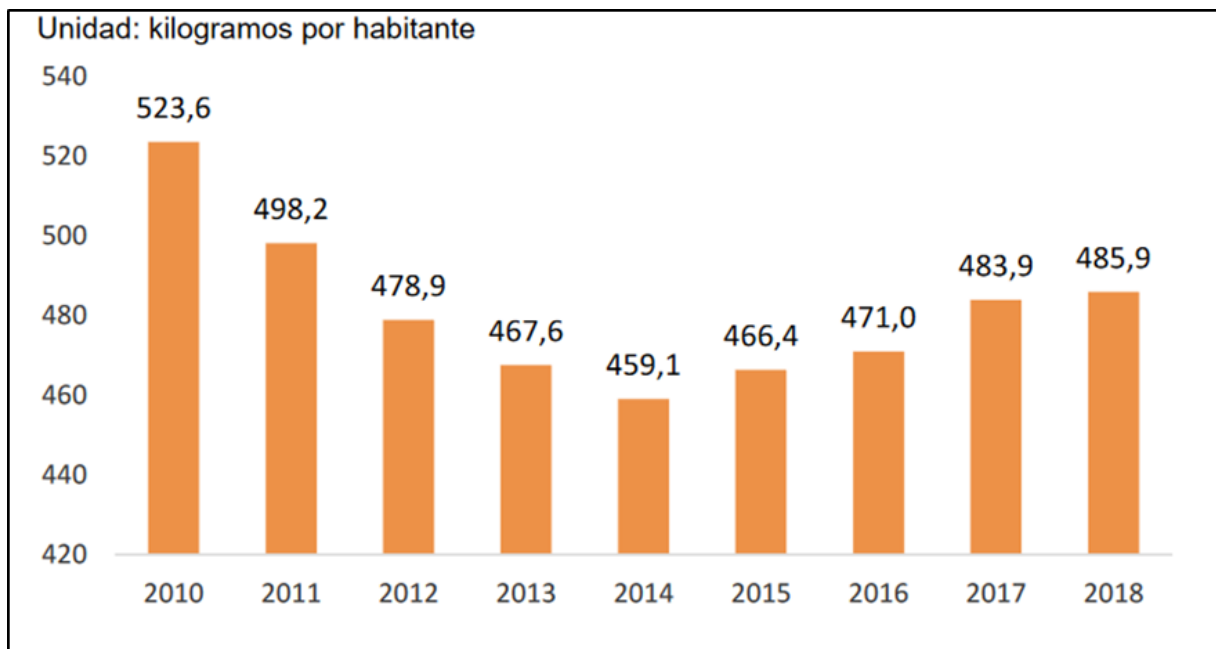


Figura 10. Generación de RSU por habitante en España en 2018.

Atendiendo a los residuos de recogida separada, el Papel y cartón alcanzó los 22,9 kilogramos por persona y año, Animales y vegetales 21,6 kilogramos, y el Vidrio 17,9 kilogramos por persona y año (cp. Figura 11).

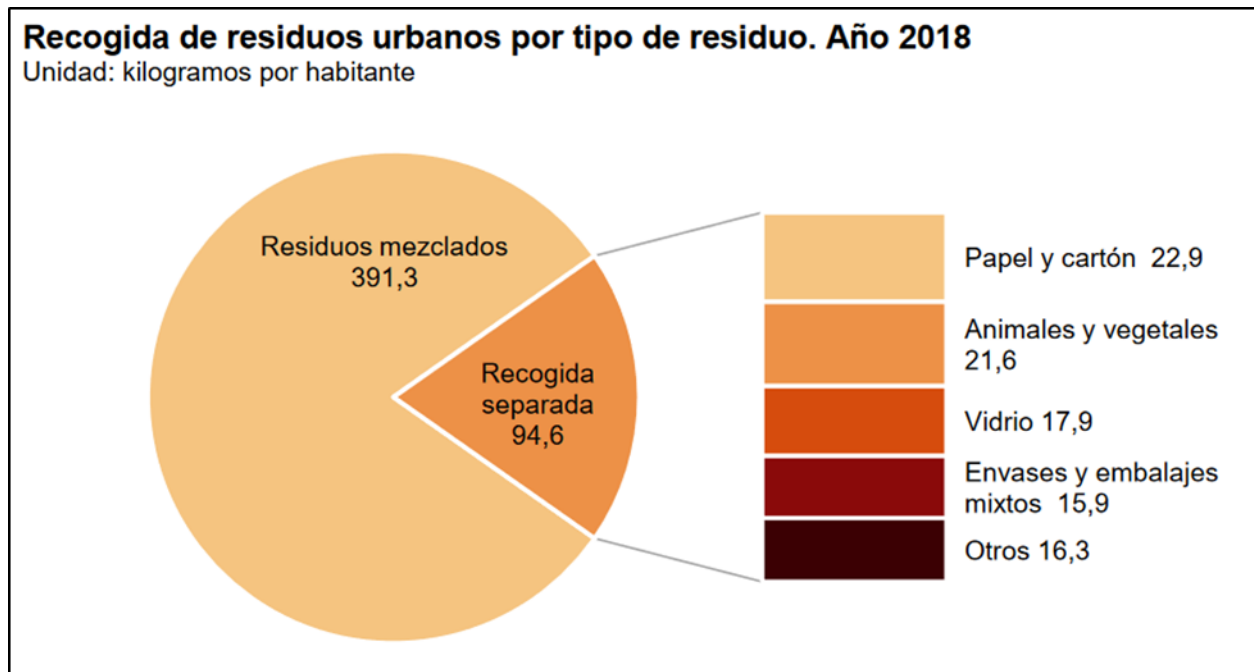


Figura 11. Recogida de RSU por tipo en España en 2018.

Los residuos recogidos de forma separada de Papel y cartón aumentaron un 0,6% respecto al año anterior, los de Animales y vegetales un 15,2%, y los de Vidrio un 2,3%. Por su parte, los Otros descendieron un 7,8% debido, especialmente, a la disminución de residuos de Madera, Construcción y demolición (cp. Tabla 9).

Tabla 9. Recogida de RSU por tipo en España en 2018.

<b>Recogida de residuos urbanos por tipo de residuo. Año 2018</b>			
Unidad: miles de toneladas			
	<b>Cantidad</b>	<b>% sobre el total</b>	<b>% variación anual</b>
<b>Total</b>	<b>22.703,8</b>	<b>100,0</b>	<b>0,8</b>
Residuos mezclados	18.284,6	80,5	0,1
Residuos de recogida separada	4.419,2	19,5	4,1
Papel y cartón	1.067,4	24,1	0,6
Animales y vegetales	1.010,0	22,9	15,2
Vidrio	834,8	18,9	2,3
Envases y embalajes mixtos	743,6	16,8	12,5
Otros	763,4	17,3	-7,8

### 2.2.5.2 Recogida de RSU en España por comunidades autónomas

Figura 12 y Figura 13 (fuente: Eurostat) muestran que las comunidades autónomas que más residuos urbanos recogieron durante 2018 fueron Andalucía (con más de 4,4 millones de toneladas), Cataluña (con casi 3,5 millones) y Comunitat Valenciana y Comunidad de Madrid (ambas con 2,5 millones).

Cataluña fue la comunidad donde se recogió la mayor cantidad de Papel y cartón (224,6 miles de toneladas) y Vidrio (168, 2miles). Por su parte, Comunidad de Madrid recogió el mayor volumen de envases mixtos (160,2 miles).

Islas Balears recogió la mayor cantidad de residuos per cápita (815,2 kilogramos) en 2018 y Comunidad de Madrid la menor (386,1 kilogramos).

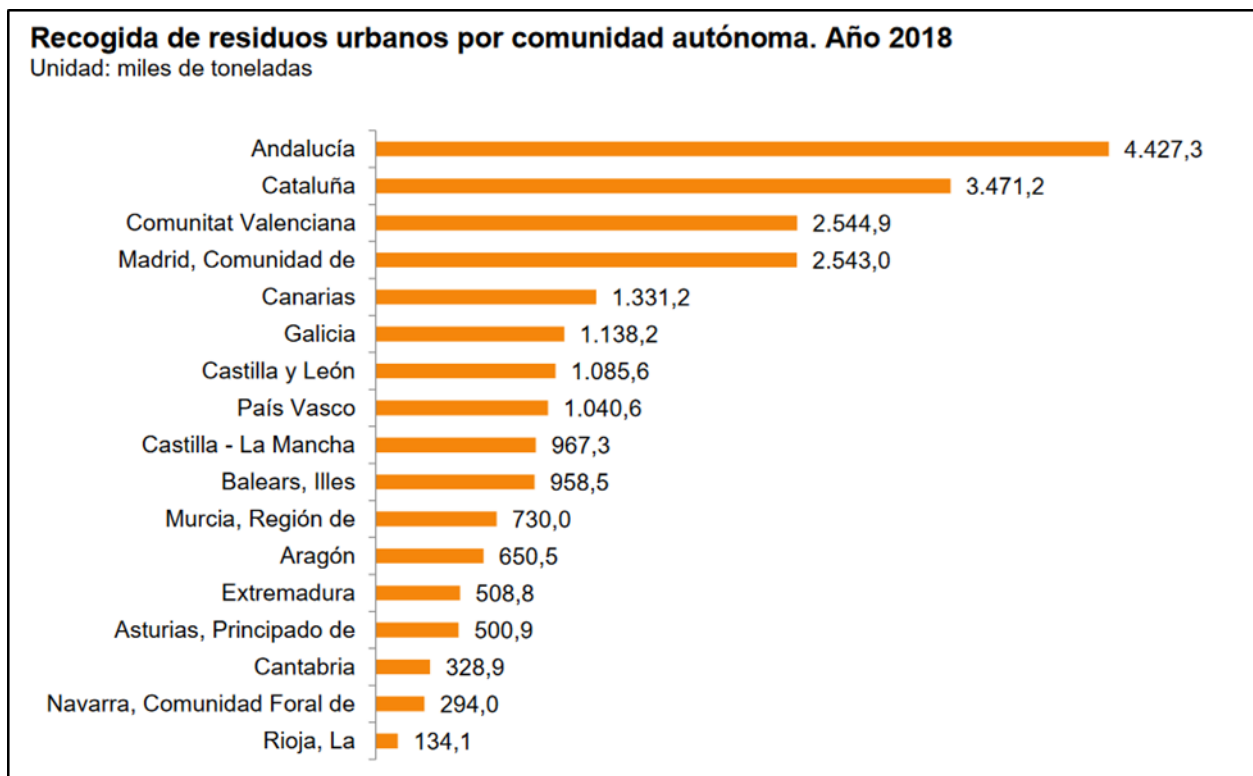


Figura 12. Recogida de RSU en miles de toneladas por CC.AA. en España en 2018.

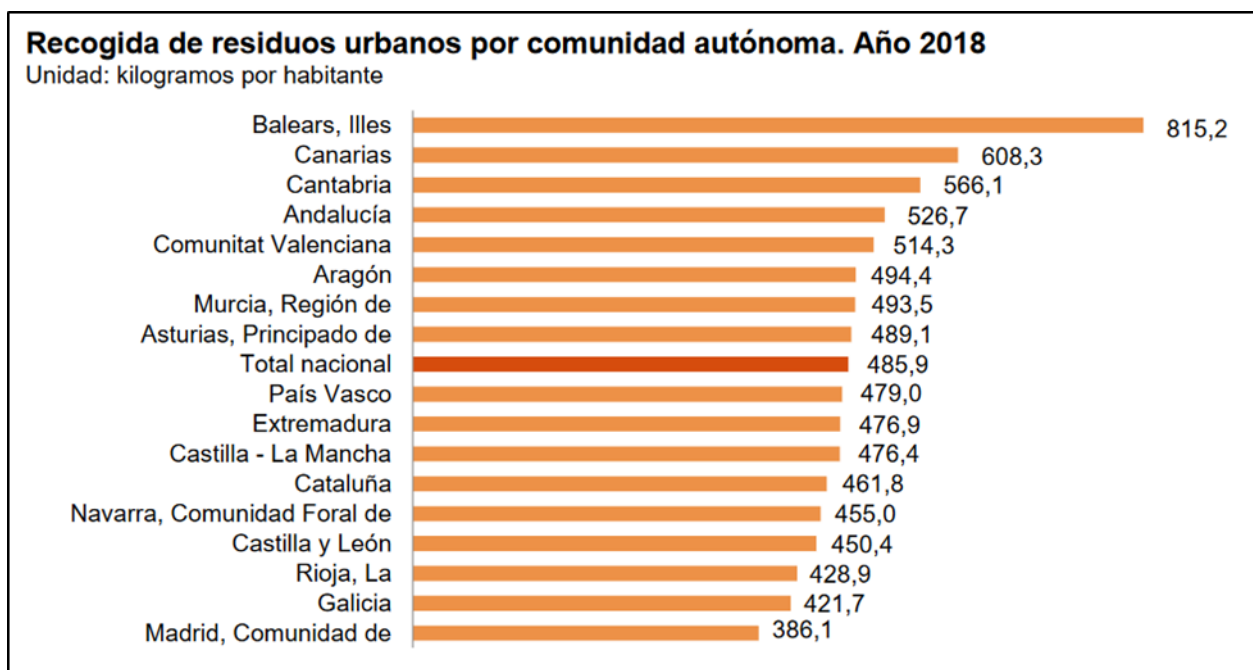


Figura 13. Recogida RSU en kg/ hab. por CC.AA. en España en 2018.

En Figura 12 y Figura 13 se aprecia, que Baleares y Canarias lideran la generación de residuos per capita, ambas comunidades ocupan la primera y segunda posición respectivamente. Esto es reflejo de una gestión integral algo deficiente experimentada en los últimos años. Tabla 10 muestra la recogida de RSU por tipos y CC.AA. en España en 2018

Tabla 10. Recogida de RSU por tipos y CC.AA. en España en 2018.

<b>Recogida de residuos urbanos por tipología de residuo y comunidad autónoma. Año 2018</b>					
Unidad: miles de toneladas					
	<b>Residuos mezclados</b>	<b>Vidrio</b>	<b>Papel y cartón</b>	<b>Envases mixtos</b>	<b>Total<sup>1</sup> residuos</b>
<b>Total nacional<sup>2</sup></b>	18.284,6	834,8	1.067,4	743,6	22.703,8
Andalucía	3.908,9	108,8	117,1	94,3	4.427,3
Aragón	499,7	18,9	28,9	19,1	650,5
Asturias, Principado de	403,9	16,4	41,8	12,7	500,9
Baleares, Illes	737,5	40,8	54,3	35,2	958,5
Canarias	1.154,2	41,2	40,5	22,7	1.331,2
Cantabria	270,2	11,3	10,4	6,3	328,9
Castilla y León	932,5	49,6	43,7	26,3	1.085,6
Castilla - La Mancha	859,5	21,4	28,1	22,4	967,3
Cataluña	2.333,7	168,2	224,6	158,8	3.471,2
Comunitat Valenciana	2.151,3	85,0	70,1	52,9	2.544,9
Extremadura	449,3	8,2	36,5	13,1	508,8
Galicia	953,9	45,8	37,5	25,9	1.138,2
Madrid, Comunidad de	2.023,9	104,9	121,4	160,2	2.543,0
Murcia, Región de	647,5	26,3	20,9	18,2	730,0
Navarra, Comunidad Foral de	173,4	16,8	27,9	22,4	294,0
País Vasco	634,3	61,7	147,7	47,7	1.040,6
Rioja, La	111,1	8,9	8,2	5,5	134,1

<sup>1</sup> El total de residuos incorpora los demás residuos de recogida separada.  
<sup>2</sup> Dentro del total se incluyen los datos relativos a las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla para preservar el secreto estadístico.

### 2.2.5.3 Tratamiento de RSU en España por comunidades autónomas

En Figura 14 (fuente: Research Gate) se aprecia, la situación actual por CC.AA respecto al porcentaje de las operaciones computables para la consecución del objetivo del 50% de preparación para la reutilización y reciclado de los residuos

domésticos y similares, en 2020.

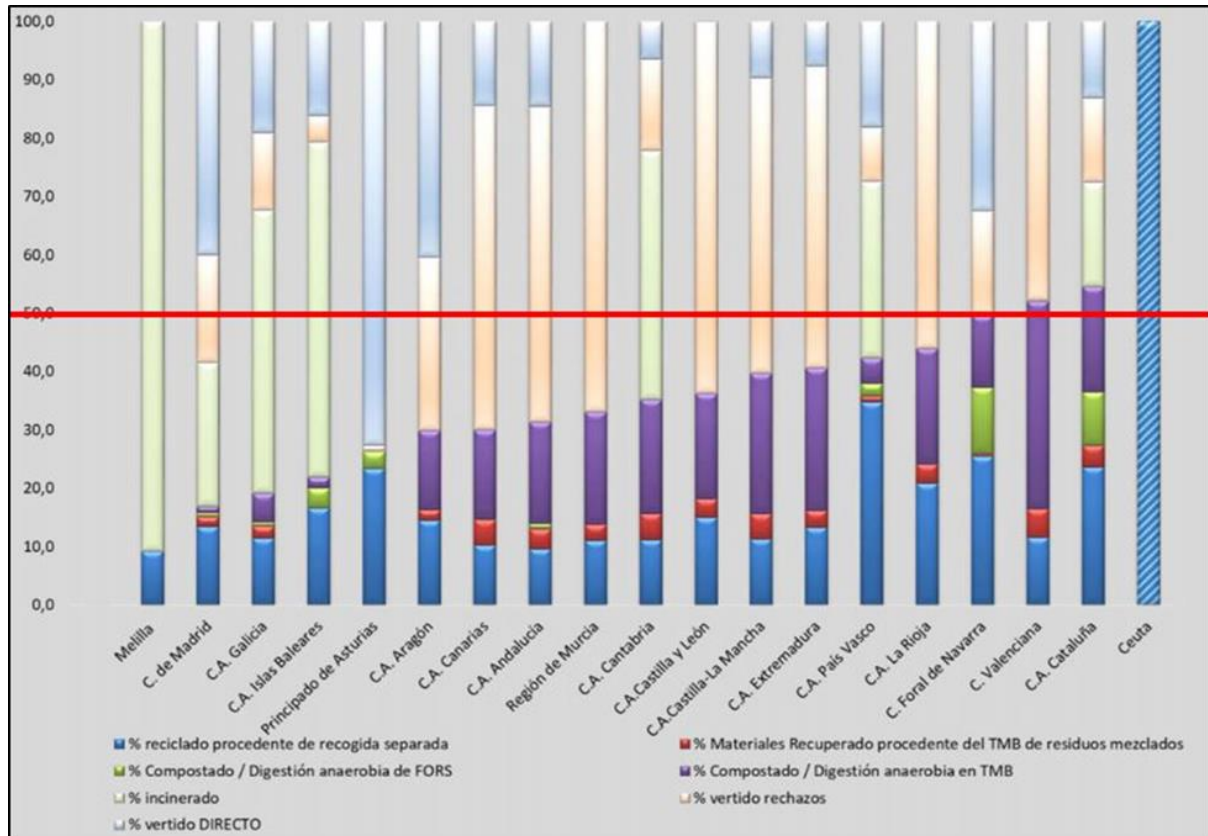


Figura 14. Tratamiento de los residuos sólidos urbanos por CC.AA. en España

La composición de los RSU no es constante y puede variar de una región, país o CC.AA. a otra, puesto que se ve afectada por aspectos como la estacionalidad y la climatología de la zona, el modo y nivel de vida de la población, el tipo de población y la actividad comercial y de servicios existente (Colomer and Gallardo, 2007).

En la Figura 15 se presenta la composición de los RSU para España. En ella se puede apreciar que el componente mayoritario corresponde a la fracción orgánica (47%), seguido por el papel/cartón (11%) y los plásticos (9%). Así pues, gran parte de los materiales presentes en los RSU mezclados aún pueden ser separados para su

reciclaje o valorización, lo que justifica la necesidad de someterlos a un tratamiento mecánico-biológico, minimizando de esta forma su depósito en vertedero y contribuyendo a la transición a una economía circular.

La siguiente figura resume la composición de RSU en España.

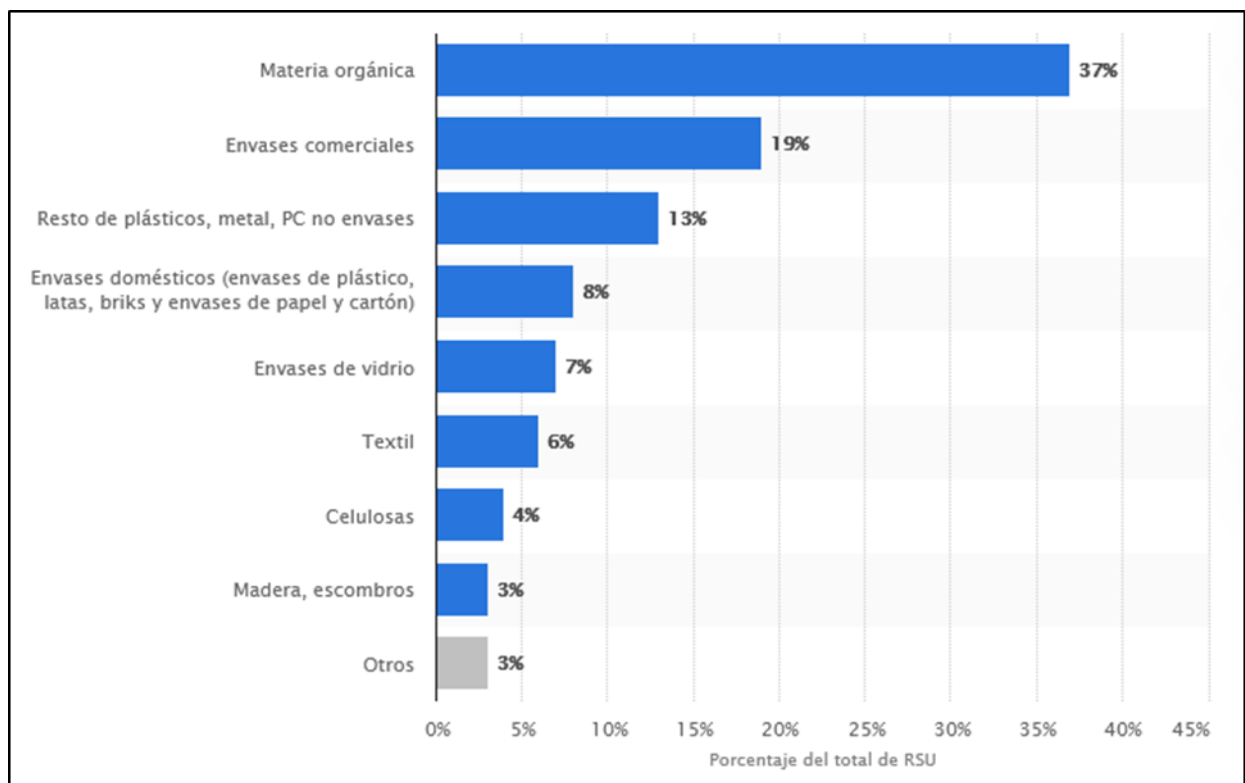


Figura 15. Composición media de los RSU en España 2017.

## Cómo se define “tratamiento”?

Generalmente, el tratamiento de RSU se compone de una serie de sucesos y operaciones que siguen ciertos objetivos. El tratamiento de los residuos es diferente en función del modo de recogida y separación en el origen de los distintos componentes de los residuos. Tabla 11 muestra el tratamiento de diferentes fracciones de RSU en España

Tabla 11. Tratamiento de RSU.

Fracción	Tipo de Tratamiento	Instalación de tratamiento
FORM	Biológico: Compostaje y Biometanización	Plantas de Compostaje Plantas de Biometanización y compost de FORS
RSU mezclados	Mecánico	Plantas de tiraje
	Mecánico-biológico	Plantas de recuperación y compost Plantas de recuperación, biometanización y compost Plantas de biosecado y recuperación
	Térmico	Plantas de incineración y recuperación energética
	Disposición final	Vertederos controlados
Envases ligeros	Mecánico	Plantas de selección de envases
Vidrio	Mecánico	Instalaciones de preparación vidrio
Papel/cartón	Mecánico	Instalaciones de preparación Papel/cartón

Figura 16 muestra un modelo de recogida de residuos domiciliarios en España. Figura 17 (fuente: Reseach Gate) muestra el Esquema general de un sistema integrado de gestión de RSU en España.

Desarrollo de un sistema de soporte a la decisión para optimizar la planificación y gestión de los residuos sólidos urbanos en zonas insulares, basado en dinámica de sistemas y teoría de la decisión multicriterio (fuzzy TOPSIS).

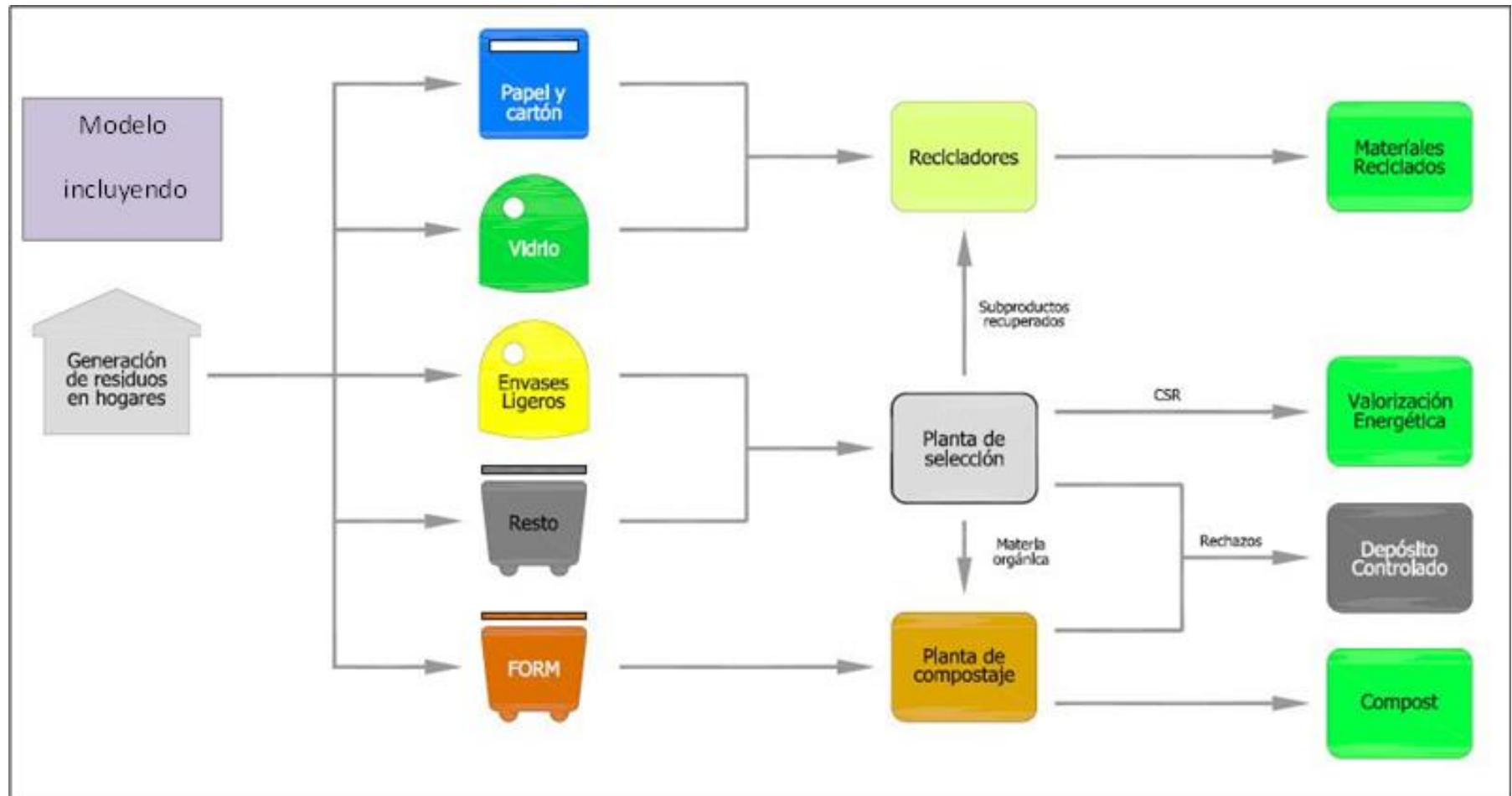


Figura 16. Modelo de recogida de residuos domiciliarios en España.

Desarrollo de un sistema de soporte a la decisión para optimizar la planificación y gestión de los residuos sólidos urbanos en zonas insulares, basado en dinámica de sistemas y teoría de la decisión multicriterio (fuzzy TOPSIS).

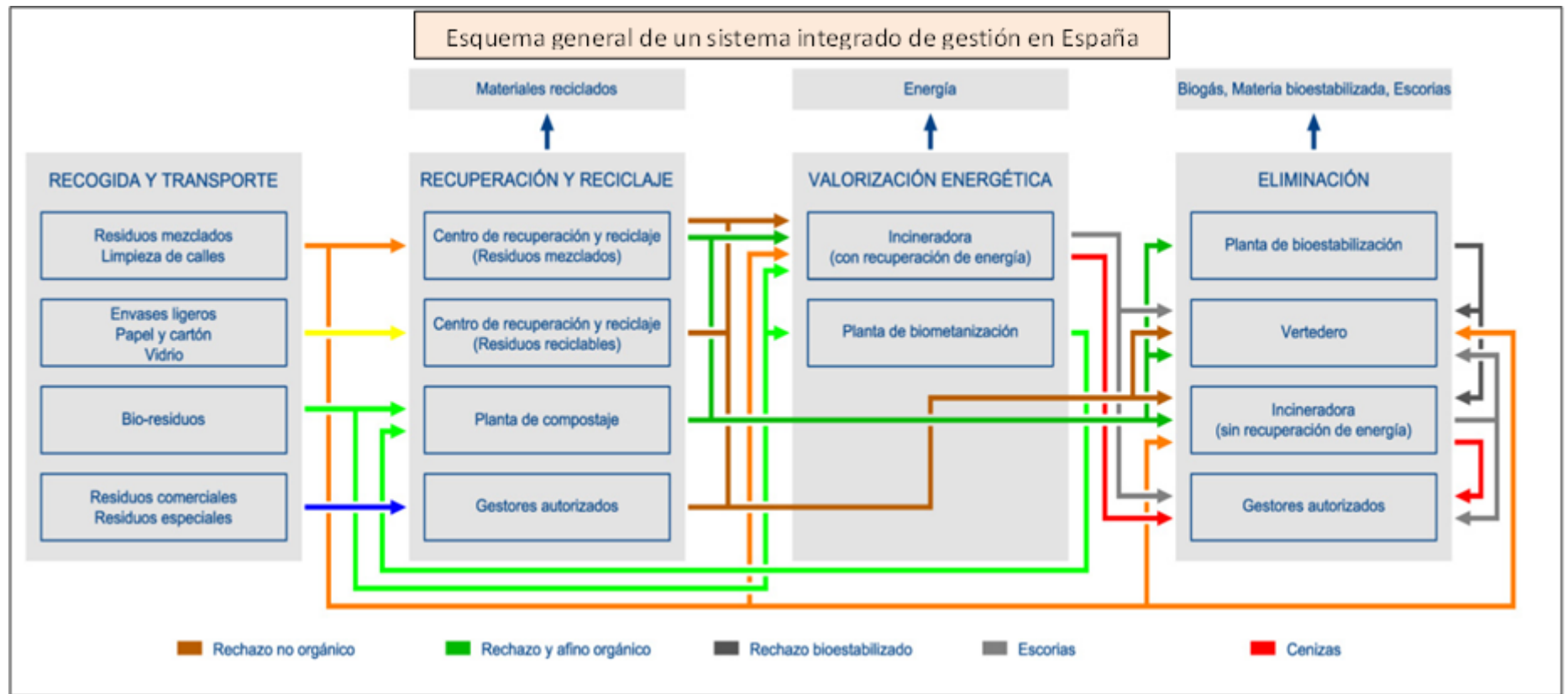


Figura 17. Esquema general de un sistema integrado de gestión de RSU en España.

### **3. ANÁLISIS DEL MARCO LEGAL**

A continuación se relacionan las principales normativas europeas y estatales en materia de residuos, centrándose en los aspectos más relevantes para este informe. Posteriormente, se analiza el marco legal en materia de residuos propio de Baleares y Canarias.

#### **3.1. Normativa europea**

A continuación se analizan los aspectos más fundamentales de la normativa europea. Dicha no contempla en ningún caso aspectos vinculados específicamente al hecho insular. La norma básica europea en materia de residuos es la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre residuos, conocida como Directiva Marco de Residuos. Uno de los principales aspectos de esta directiva es que establece la siguiente jerarquía de prioridades dentro de la gestión de los residuos:

- Prevención
- Preparación para la reutilización
- Reciclado
- Otro tipo de valorización, como la valorización energética
- Eliminación

Este aspecto proporciona un reconocimiento legal a una nueva cultura de los residuos e implica que, de entre todas las opciones existentes para la gestión de los mismos, la que debe ser prioritaria es la prevención, y la menos prioritaria (a adoptar solo

cuando las otras no sean posibles), es la eliminación. Otra característica interesante de esta normativa es que hace referencia específica a los residuos de origen institucional, comercial e industrial asimilables a los urbanos (RICIA), y los considera incluidos en el mismo nivel de obligación que los residuos domiciliarios.

Tabla 12 muestra los objetivos establecidos por la directiva 2008/98/CE.

Tabla 12. Objetivos establecidos por la directiva 2008/98/CE.

Líneas de gestión de residuos	Objetivo
Prevención	- «Los Estados miembros elaborarán (...), programas de prevención de residuos a más tardar el 12 de diciembre de 2013» (art. 29, apartado 1).
Preparación para la reutilización y reciclado	- «Antes de 2015 deberá efectuarse una recogida separada para, al menos, las materias siguientes: papel, metales, plástico y vidrio» (art. 11, apartado 1).
	- «Antes de 2020 deberá aumentarse como mínimo hasta un 50% global de su peso la preparación para la reutilización y el reciclado de residuos de materiales tales como, al menos, el papel, los metales, el plástico y el vidrio de los residuos domésticos y posiblemente de otros orígenes en la medida en que estos flujos de residuos sean similares a los residuos domésticos» (art. 11, apartado 2a).
	- «Antes de 2020, deberá aumentarse hasta un mínimo del 70% de su peso la preparación para la reutilización, el reciclado y otra valorización de materiales» (art. 11, apartado 2b).

### 3.2 Legislación Europea

En Tabla 13 se presentan diferentes normativas, planes y programas más relevante a nivel europeo, Nacional y por CC.AA en materia de gestión de RSU.

Tabla 13. Normativas y objetivos europeos en relación a los RSU.

Normativa Europea	Objetivos principales
<b>Directiva 2008/98/CE</b> del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas directivas.	Establece un marco jurídico para la gestión y tratamiento de los residuos en la Unión Europea. Su objetivo es proteger el medio ambiente y la salud humana mediante la prevención o la reducción de los impactos de la generación y gestión de los residuos (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2008).
<b>Directiva 2018/851/UE</b> del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos.	Normativa perteneciente a las nuevas directivas del paquete de economía circular y que modifica la Directiva 2008/98/CE. Destacan los nuevos objetivos para la preparación para la reutilización y la implementación de la recogida selectiva (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2018a).
<b>Directiva 1994/62/CE</b> del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de diciembre de 1994, relativa a los envases y residuos de envases.	Establece un marco jurídico para la gestión de envases y residuos de envases en la Unión Europea. Su objetivo proteger el medioambiente mediante la prevención de la producción de residuos de envases a través de su reutilización, reciclado y otras formas de valorización, reduciendo la eliminación final de estos residuos (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 1994).
<b>Directiva 2018/852/EU</b> del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 94/62/CE relativa a los envases y residuos de envases.	Normativa perteneciente a las nuevas directivas del paquete de economía circular y que modifica la Directiva 94/62/CE. Destacan los nuevos objetivos para el reciclaje de los residuos de envases (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2018b).
<b>Directiva 2015/720/UE</b> del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2015, por la que se modifica la Directiva 94/62/CE en lo que se refiere a la reducción del consumo de bolsas de plástico ligeras.	Modifica a la Directiva 94/62/CE. Establece las medidas que han de adoptar los estados miembros para reducir el consumo de bolsas de plástico ligeras (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2015).
<b>Directiva 2019/904/UE</b> del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, relativa a la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente.	Su objetivo es prevenir y reducir el impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente, especialmente en el medio acuático, y en la salud humana, así como fomentar la transición a una economía circular. Su ámbito de aplicación son los plásticos de un solo uso, los plásticos oxodegradables y los artes de pesca que contienen plástico. En algunos casos se establecen medidas para la reducción paulatina de su consumo, en otros se prohíbe su introducción en el mercado. Además se establecen condiciones espaciales para su diseño, etiquetado y recogida separada (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2019).

<p><b>Directiva 1999/31/CE</b> del Consejo, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos.</p>	<p>En ella se establecen medidas, procedimientos, orientaciones y requisitos técnicos para impedir o reducir los efectos negativos en el medioambiente del vertido de residuos, en concreto la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, el suelo, el aire, incluido el efecto invernadero, así como cualquier riesgo derivado para la salud humana. Destaca la necesidad de que los residuos hayan sido tratados antes de su disposición en vertedero (Consejo de la Unión Europea, 1999).</p>
<p><b>Directiva 2018/850/UE</b> del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 1999/31/CE relativa al vertido de residuos.</p>	<p>Normativa perteneciente a las nuevas directivas del paquete de economía circular y que modifica la Directiva 1999/31/CE. Su objetivo es garantizar la reducción progresiva del depósito de residuos en vertedero, en concreto de aquellos materiales aptos para el reciclado u otro tipo de valorización. Destacan los nuevos objetivos para la reducción de vertido (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2018c).</p>
<p><b>2003/33/CE: Decisión del Consejo</b>, de 19 de diciembre de 2002, por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos con arreglo al artículo 16 y al anexo II de la Directiva 1999/31/CE.</p>	<p>Establece los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos con arreglo a los principios establecidos en la Directiva 1999/31/CE, en particular en su anexo II (Consejo de la Unión Europea, 2003).</p>
<p><b>Directiva 2010/75/UE</b> del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación).</p>	<p>Establece las normas sobre la prevención y el control integrado de la contaminación procedente de las actividades industriales. En ella se establecen también normas para evitar o reducir las emisiones a la atmósfera, el agua y el suelo, y evitar la generación de residuos con el fin de alcanzar un nivel elevado de protección del medioambiente. En su Capítulo IV se incluye una disposición especial sobre las instalaciones de incineración y co-incineración de residuos (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2010).</p>

A nivel europeo, destaca la Directiva 2008/98/CE sobre residuos y la Directiva 2018/851/UE que la modifica. El objetivo y ámbito de aplicación de estas Directivas es establecer medidas destinadas a proteger el medio ambiente y la salud humana mediante la prevención y la minimización de los impactos adversos de la generación y gestión de los residuos, la reducción de los impactos globales del uso de los recursos y la mejora de la eficacia de dicho uso. Quedan excluidas de esta Directiva las emisiones gaseosas, los residuos radiactivos, explosivos desclasificados, aguas residuales, materiales fecales, subproductos animales, cadáveres de animales que no hayan sido sacrificados, residuos procedentes de la explotación minera y sustancias

que se destinen a ser utilizadas como material primas para piensos. En ellas se establece que los estados miembros deben adoptar medidas para la gestión y el tratamiento de los residuos de acuerdo con la siguiente jerarquía de prioridades:

1. Prevención
2. Preparación para la reutilización
3. Reciclado
4. Otro tipo de valorización, incluida la energética
5. Eliminación

Respecto a la valorización de los residuos, se establece que los estados miembros adoptarán las medidas necesarias para garantizar que los residuos sean objeto de preparación para la reutilización, de reciclado o de otras operaciones de valorización; siguiendo la jerarquía de tratamiento establecida y sin crear riesgos para el agua, el suelo, el aire, la fauna y la flora, sin provocar incomodidades por el ruido y los olores y sin atentar contra paisajes y lugares de especial interés. Además, los residuos se recogerán por separado para facilitar o mejorar su reutilización, reciclado o valorización siempre que resulte técnica, medioambiental y económicamente viable. La Directiva 2018/851/UE establece que los estados miembros deben tener implementada la recogida separada de textiles y residuos peligrosos de origen doméstico para el 1 de enero de 2025, que se suma a las ya existentes para el papel/cartón, vidrio, metales y plásticos. Asimismo, deberán garantizar la recogida selectiva de biorresiduos (materia orgánica) o su reciclaje en origen (por ejemplo, mediante el compostaje doméstico o comunitario) para el 31 de diciembre de 2023. Además, con el objetivo de avanzar hacia una economía circular en Europa, la

Directiva establece los siguientes objetivos de preparación para la reutilización y reciclaje de residuos municipales: - Un 55% en peso para el año 2025 - Un 60% para el año 2030 - Un 65% para el año 2035 Respecto a los residuos de envases, la Directiva 2018/852/EU establece nuevos objetivos específicos para el reciclaje de este tipo de residuos con el objetivo de contribuir a la transición hacia una economía circular, los cuales se exponen a continuación. Además, los estados miembros deberán establecer medidas para aumentar la cantidad de envases reutilizables comercializados y el uso de sistemas de reutilización de envases.

- Envases de todo tipo: un 65% en peso para el año 2025 y un 70% para el año 2030 - Plástico: un 50% para el año 2025 y un 55% para el año 2030
- Metales férreos: un 70% para el año 2025 y un 80% para el año 2030
- Aluminio: un 50% para el año 2025 y un 60% para el año 2030
- Vidrio: un 70% para el año 2025 y un 75% para el año 2030
- Papel/cartón: un 75% para el año 2025 y un 85% para el año 2030
- Madera: un 25% para el año 2025 y un 30% para el año 2030

Respecto a la reducción de vertido, la Directiva 2018/850/EU establece nuevos objetivos específicos de reducción de vertido, en este sentido para el año 2035 la cantidad de residuos municipales enviados a vertedero deberá ser de un 10% del total de los residuos municipales generados. Esto contribuirá a que los estados miembros inviertan más en nuevas técnicas o tecnologías para el reciclaje y valorización de los residuos, como puede ser la producción de CSR a partir de los rechazos generados en el TMB, puesto que actualmente se destinan a vertedero en su mayor parte. Además, a partir de 2030, los residuos municipales susceptibles de ser reciclados o

recuperados no serán admitidos en los vertederos, salvo aquellos residuos para los que el vertido es la mejor solución desde el punto de vista ambiental.

Dentro del marco de la estrategia Europa 2020, se pretende generar un crecimiento sostenible e integrador mediante el uso eficaz de los recursos. En diciembre de 2015 la Comisión Europea adoptó un ambicioso paquete de medidas para impulsar la transición de Europa hacia una economía circular. Las acciones propuestas contribuirán a cerrar el círculo de los ciclos de vida de los productos a través de un mayor reciclado y reutilización. En este sentido, en mayo de 2018 el Parlamento Europeo y el Consejo de la UE publicó las nuevas directivas del paquete de economía circular. En ellas se incluyen las nuevas propuestas legislativas del paquete de residuos, las cuales establecen nuevos objetivos más estrictos para el reciclaje de residuos y la reducción del vertido. Entre estos objetivos se encuentra:

- La preparación para la reutilización y el reciclaje del 55% de los RSU en 2025 y del 60% en 2030;
- El reciclaje de un 65% del total de los residuos de envases para el 2025 y del 70% para el 2030,
- Y la reducción del vertido de residuos al 10% para el 2030 (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2018b, 2018c, 2018d).

Por tanto, las entidades responsables de la gestión de residuos deberán encontrar y adoptar nuevas soluciones para el cumplimiento de los mismos.

### **3.3 Legislación nacional**

La Tabla 14 muestra la normativa nacional más relevante en materia de RSU.

Tabla 14. Normativa nacional más relevante en materia de RSU.

Normativa Nacional	Objetivos principales
<b>Ley 22/2011</b> , de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.	Establece un marco jurídico para la regulación de la gestión de los residuos en España. Tiene como objetivo la prevención de la generación de residuos y la minimización de los impactos negativos sobre la salud humana y el medioambiente asociados a la generación y gestión de los mismos. Además, también regula el régimen jurídico de los suelo contaminados (España, 2011).
<b>Ley 11/1997</b> , de 24 de abril, de envases y residuos de envases.	Esta Ley tiene como objetivo prevenir y reducir el impacto sobre el medioambiente de los envases y la gestión de los residuos de envases. Para ello establece medidas destinadas, en primer lugar, a la prevención de la producción de residuos de envases, y en segundo lugar, a la reutilización de los envases, su reciclado y demás formas de valorización, evitando o reduciendo su eliminación (España, 1997).
<b>Real Decreto 782/1998</b> , de 30 de abril, por el que se aprueba el Reglamento para el desarrollo y ejecución de la Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases.	Establece el reglamento necesario para el desarrollo y ejecución de la Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases (España, 1998).
<b>Real Decreto 252/2006</b> , de 3 de marzo, por el que se revisan los objetivos de reciclado y valorización establecidos en la Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases, y por el que se modifica el Reglamento para su ejecución, aprobado por el Real Decreto 782/1998, de 30 de abril.	Modifica los objetivos de reciclado y valorización establecidos en la Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases (España, 2006). Estos objetivos son los últimos que se han publicado en una legislación a nivel nacional para los residuos de envases, no obstante, han sido actualizados por el Plan Estatal Marco de Residuos 2016-2020.

<p><b>Real Decreto 293/2018</b>, de 18 de mayo, sobre reducción del consumo de bolsas de plástico y por el que se crea el Registro de Productores.</p>	<p>Tiene como objetivo adoptar las medidas necesarias para reducir el consumo de bolsas de plástico, con la finalidad de prevenir y reducir los impactos adversos que los residuos de dichas bolsas producen en el medioambiente, especialmente a los ecosistemas acuáticos. También tiene como objetivo evitar la pérdida de recursos materiales y económicos que supone el abandono de estas bolsas y su dispersión por el medio ambiente (España, 2018).</p>
<p><b>Real Decreto 1481/2001</b>, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.</p>	<p>Establece un marco jurídico y técnico para las actividades de eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. Regula las características de estas instalaciones y su correcta gestión y explotación con la finalidad de proteger la salud de las personas y el medio ambiente (España, 2001).</p>
<p><b>Real Decreto Legislativo 1/2016</b>, de 16 de diciembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de prevención y control integrados de la contaminación.</p>	<p>En él se aprueba el texto refundido de la Ley de prevención y control integrados de la contaminación, que se incluye en el anexo de la misma. Esta Ley tiene como objetivo evitar, reducir y controlar la contaminación de la atmósfera, del agua y del suelo, mediante el establecimiento de un sistema de prevención y control integrados de la contaminación para diferentes actividades industriales. Dentro del ámbito de esta Ley se encuentran las instalaciones para la valorización o eliminación de residuos (España, 2016).</p>
<p><b>Real Decreto 815/2013</b>, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.</p>	<p>Deroga el Real Decreto 653/2003, de 30 de mayo, sobre incineración de residuos. En este Real Decreto se establece el régimen jurídico aplicable a las emisiones industriales con el fin de proteger el medioambiente, así como las disposiciones para evitar y reducir la contaminación provocada por ciertas instalaciones industriales. En su Capítulo IV establece las disposiciones especiales para evitar y reducir la contaminación provocada por las instalaciones de incineración y co-incineración de residuos (España, 2013a).</p>
<p><b>Resolución de 20 de diciembre de 2013</b>, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 13 de diciembre de 2013, por el que se aprueba el <b>Programa Estatal de Prevención de Residuos 2014-2020</b>.</p>	<p>Aprueba el Plan Estatal de Prevención de Residuos 2014-2020. Este Plan desarrolla la política de prevención de residuos, conforme a la normativa vigente, para avanzar en el cumplimiento de reducción de los residuos generados en 2020 en un 10% respecto del peso de los residuos generados en 2010 (España, 2013b).</p>
<p><b>Resolución de 16 de noviembre de 2015</b>, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 6 de noviembre de 2015, por el que se aprueba el <b>Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022</b>.</p>	<p>Aprueba el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022. Este Plan es un instrumento para orientar la política de residuos en España durante el periodo de vigencia y junto con el Plan Estatal de Prevención de Residuos 2014-2020 configuran los instrumentos generales de prevención y gestión de residuos en España (España, 2015a; MAGRAMA, 2015).</p>

A nivel nacional, la Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados traspone a la legislación española la Directiva 2008/98/CE. El objetivo de esta Ley es la regulación

de la gestión de los residuos, impulsando medidas que prevengan su generación y minimicen los impactos asociados a su generación y gestión sobre la salud humana y el medioambiente, así como mejorando la eficiencia en el uso de los recursos. En ella se establece la jerarquía de residuos de cinco niveles (prevención, reutilización, reciclaje, valorización y eliminación) que debe aplicarse como principio rector en la gestión de los residuos para conseguir el mejor resultado ambiental global. La Ley establece que deben existir recogidas separadas para, al menos, el papel/cartón, plástico y vidrio. También promueve medidas para impulsar la recogida selectiva de los biorresiduos para destinarlos a compostaje o digestión anaerobia; de forma que se logre un uso seguro del compost producido a partir de los mismos en el sector agrícola, la jardinería y la regeneración de áreas degradadas, consiguiendo la sustitución de otras enmiendas orgánicas o fertilizantes minerales. Además, establece que la cantidad de residuos domésticos y comerciales que se destinan a la preparación para la reutilización y el reciclado de las fracciones de papel, metales, vidrio, plástico, biorresiduos u otras fracciones reciclables deberá alcanzar, en conjunto, el 50% antes de 2020. Asimismo, los residuos deberán ser tratados previamente a su eliminación, salvo que el tratamiento de los mismos no sea técnicamente viable o quede justificado por razones de protección de la salud humana y del medio ambiente. El vertido de los residuos está regulado mediante el Real Decreto 1481/2001, donde se establece que para el año 2016 la cantidad de residuos urbanos biodegradables destinada a vertedero debía ser menor al 35% de la cantidad destinada en 1995, lo que supone que no se debería haber vertido más de 4,18 Mt. No obstante, en 2016 se enviaron a vertedero 5,6 Mt de residuos urbanos biodegradables.

Por otro lado, con el fin de desarrollar las políticas de residuos y unificar objetivos en su gestión, en España se desarrolla el PEMAR 2016-2020. Este Plan tiene como objetivo orientar las políticas de residuos de España, impulsando las medidas necesarias para mejorar las deficiencias detectadas y promoviendo las actuaciones que proporcionan un mejor resultado ambiental y que aseguran la consecución de los objetivos establecidos en la legislación. El objetivo final del Plan es convertir a España en una sociedad eficiente en el uso de los recursos, que avance hacia una economía circular. Además, el plan incluye un conjunto de medidas que configuran la Estrategia de Reducción de Vertido de Residuos Biodegradables. Dentro del apartado de residuos domésticos y comerciales destacan los siguientes objetivos específicos: Alcanzar el 50% de preparación para la reutilización y el reciclado en 2020 de la fracción resto (no recogida selectivamente). Esto supone un reciclaje por material de: un 50% para los biorresiduos, un 60% para los metales, un 55% para los plásticos, un 70% para el papel/cartón, un 60% para el vidrio, un 55% para la madera, un 55% para los briks, un 50% para los textiles (incluye la reutilización) y un 10% para otros residuos (incluye la reutilización).

- Implantar de forma progresiva y gradual la recogida separada de biorresiduos para su tratamiento biológico y fomentar el autocompostaje.
- Regular el fin de la condición de residuo para el compost de calidad y promocionar su uso como producto.
- Incrementar la valorización energética en 2020 hasta el 15% de los RSU generados mediante la preparación de combustibles y el uso de residuos en instalaciones de incineración y co-incineración.

- Valorizar energéticamente parte de los rechazos producidos en las instalaciones de TMB, directamente o mediante su transformación en un CSR que puede ser utilizado en instalaciones de co-incineración.
- Incrementar la valorización energética del material bioestabilizado generado en instalaciones de incineración y co-incineración.
- Limitar el vertido total de los RSU generados al 35% en 2020.

Dentro del apartado de residuos de envases destacan los siguientes objetivos específicos para el reciclado que se deben alcanzar en el año 2020:

- Un 70% para el total de los envases
- 85% para el papel/cartón
- 75% para el vidrio
- 70% para los metales férricos
- 70% para el aluminio
- 40% para los plásticos
- 60% para la madera

### **3.4 Plan Nacional Integrado de Residuos (2008-2015)**

El Plan Nacional Integrado de Residuos 2008-2015 (PNIR) es el documento de planificación de referencia en materia de gestión de residuos del Estado Español, y es el instrumento previsto por la Ley 10/1998, de 21 de abril, de residuos para fijar objetivos concretos de reducción, reutilización, reciclado y otras formas de valorización y eliminación, así como para concretar qué medidas deben adoptarse para alcanzar dichos objetivos y sus medios de financiación. La finalidad del plan es, pues, promover una política adecuada en la gestión de los residuos. Para ello, prevé que se destine una dotación presupuestaria de 23 millones de euros en el presupuesto del MARM.

El plan contempla una serie de objetivos generales, entre los que destacan los siguientes:

- Modificar la tendencia actual de crecimiento en la generación de residuos.- Disminuir el vertido y fomentar otras formas de gestión (prevención, reutilización, etc.).
- Evaluar los instrumentos económicos y, en particular, los fiscales—que se han puesto en práctica para promover cambios en los sistemas de gestión existentes, e identificar la conveniencia de su implantación de forma armonizada en todas las comunidades autónomas.

El plan abarca varios flujos de residuos, entre los cuales se encuentran los residuos urbanos de origen domiciliario.

### 3.5 Objetivos del Plan Nacional Integrado de Residuos 2008 - 2015

Tabla 15 muestra los objetivos cualitativos y cuantitativos del PNIR

Tabla 15. Objetivos cualitativos y cuantitativos del PNIR.

Prevención				
Objetivos Cualitativos	Objetivos Cuantitativos			
Estabilizar la generación de residuos urbanos de origen domiciliario en una primera etapa y posteriormente tender a su reducción. Reducir la cantidad y nocividad de los residuos de envases.	2012: Reducción de las toneladas de residuos de envases respecto del 2006 en un 4%. Bolsas comerciales de un solo uso: disminución del 50% a partir del 2010, calendario de sustitución de plásticos no biodegradables y prohibición progresiva en vigor en 2010.			
Reutilización				
Objetivos Cualitativos	Objetivos Cuantitativos			
Conocer los niveles de reutilización de residuos urbanos de origen domiciliario, para fijar un programa de reutilización efectivo en la segunda revisión del Plan. Aumentar la reutilización de envases de vidrio para determinados alimentos líquidos, especialmente en el canal horeca y de envases industriales y comerciales.	Reutilización de envases de vidrio			
	Producto	Horeca %	Resto canales consumo %	
	Aguas envasadas	60	15	
	Cerveza	80		
	Bebidas, Refrescos	50		
	Vino			
Reciclado				
Objetivos Cualitativos	Objetivos Cuantitativos			
Aumento de compostaje y biometanización de la fracción orgánica recogida selectivamente. Conversión gradual de las plantas de tratamiento mecánico biológico previo a la eliminación. Aumentar las tasas de reciclado de los diferentes materiales presentes en los residuos urbanos de origen domiciliario. Incremento en las toneladas.	Durante el período de vigencia del Plan: Incrementar la cantidad de fracción orgánica recogida selectivamente como mínimo a 2 millones de toneladas para destinarlas a instalaciones de compostaje o biometanización de FORS.:			
		incremento año base	Kg/hab* año en 2006	Ton en 2015 Kg/hab* año
	Papel/Cartón(PM)	80	20	1.620.000
	Vidrio	80	12	996.300
	Plástico	100	3	230.000
	Metales	100	1	92.000

## Valorización Energética

### Objetivos Cualitativos

2012: incrementar la capacidad de incineración con recuperación de energía de las incineradoras de 2006. las nuevas incineradoras deberán cumplir el valor de eficiencia energética establecido en la DMR.  
 Valorar el aprovechamiento del contenido energético de la fracción rechazo procedente de las instalaciones de tratamiento de residuos urbanos en instalaciones de co-incineración en las condiciones establecidas o que puedan establecerse en las CC.AA.  
 Correcta gestión ambiental de los residuos generados en la valorización energética (escorias y cenizas), en particular.

### Objetivos Cuantitativos

#### Incineración de RSU

Capacidad de incineración en 2005 [Millon, de ton]  
 2,1

Capacidad Objetivo 2012 [Milon. de ton.]  
 2,7

## Vertido

### Objetivos Cualitativos

Reducir la cantidad de residuos destinados a vertido y en especial la fracción biodegradable, en particular la fracción orgánica y el papel-cartón. Erradicar el vertido ilegal que ocasiona danos al medio ambiente y a la salud humana, mediante la aplicación del programa de acción contra el vertido ilegal.  
 Incrementar el control de su cumplimiento mediante la aplicación del régimen de inspección y comprobación (caracterización y tratamiento previo), vigilancia y sanción.

### Objetivos Cuantitativos

Reducir la cantidad de residuos biodegradables municipales destinados al vertido en 2006, para cumplir el objetivo establecido en la normativa de vertido.

RMB vertidos 2006 [ton]  
 7.768.229

RMB vertidos 2016 [ton]  
 4.176.950

### **3.6 Programa Estatal de Prevención de Residuos 2014-2020**

La prevención en la generación de residuos es la apuesta de la política de residuos que más beneficios ambientales proporciona, por ello ocupa la primera posición en la jerarquía de residuos y es clave para avanzar en hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos de la Estrategia 2020 de la Unión Europea, como en la Directiva Marco de Residuos. Esta Directiva recoge obligaciones específicas en esta materia, conforme a las cuales los Estados miembros elaborarán, a más tardar el 12 de diciembre de 2023 programas de prevención de residuos, con el objetivo último de desvincular del crecimiento económico el incremento en la generación de residuos. Por lo que España tiene la obligación de disponer de un Programa de Prevención de Residuos, atendiendo a dicha exigencia comunitaria, antes del 12 de diciembre de 2023. Por su parte, la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, establece en su artículo 15 que las administraciones públicas, en sus respectivos ámbitos competenciales, aprobarán antes del 12 de diciembre de 2013 programas de prevención de residuos, en los que se establecerán los objetivos de prevención, de reducción de la cantidad de residuos generados y de reducción de la cantidad de sustancias peligrosas o contaminantes, se describirán las medidas de prevención existentes, y se evaluará la utilidad de los ejemplos de medidas que se indican en el anexo IV de la citada ley, u otras medidas adecuadas.

La prevención en materia de residuos ha de ser entendida como el conjunto de actuaciones adoptadas en las etapas de concepción y diseño, de producción, de distribución y de consumo para evitar la generación de residuos, disminuir el

contenido de sustancias nocivas de peligrosidad o minimizar los impactos sobre la salud humana y el medio ambiente de los residuos generados. Además la prevención tiene importantes consecuencias económicas tanto para los productores y prestatarios de bienes y servicios como para los consumidores y usuarios. En este sentido es crucial el papel de las administraciones públicas tanto en el desempeño de sus funciones de protección ambiental, como en el papel de impulsoras de una economía más eficiente, próspera y socialmente inclusiva. La prevención rinde beneficios tangibles que se manifiestan en un ahorro en los consumos de materias primas y una reducción en los costes de gestión de los residuos. Lo que supone un incremento en la rentabilidad de las actividades empresariales y un ahorro de costes para las administraciones. Asimismo, la prevención contribuye a la generación de nuevas oportunidades de negocio y de empleo. Las actividades de prevención de residuos promueven nuevas actividades económicas relacionadas con la reutilización, como son la reparación o los mercados de segunda mano. Muchas de estas actividades facilitan el autoempleo, la consolidación de la actividad de PYMES y microempresas o la integración de personas los riesgos de exclusión social.

El Programa Estatal de Prevención de Residuos 2014-2020, desarrolla la política de prevención de residuos, conforme a la normativa vigente para avanzar en el cumplimiento del objetivo de reducción de los residuos generados en 2020 en un 10 % respecto del peso de los residuos generados en 2010. El Programa Estatal describe la situación actual de la prevención en España, realiza un análisis de las medidas de prevención existentes y valora la eficacia de las mismas. Este programa se configura en torno a cuatro líneas estratégicas destinadas a incidir en los elementos clave de la

prevención de residuos:

- reducción de la cantidad de residuos
- reutilización y alargamiento de la vida útil de los productos
- reducción del contenido de sustancias nocivas en materiales y productos
- reducción de los impactos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente, de los residuos generados.

Cada línea estratégica identifica los productos o sectores de actividad en los que se actuará prioritariamente, proponiendo las medidas de prevención que se han demostrado más efectivas en cada una de las áreas, siguiendo la clasificación establecida en el Anexo IV de la Directiva Marco de Residuos y de la Ley de residuos (medidas que afectan al establecimiento de las condiciones marco de la generación de residuos (marco jurídico normativo, de planificación y de actuación de las administraciones), a la fase de diseño, producción y distribución de los productos, y a la fase de consumo y uso). La puesta en práctica de estas medidas depende de acciones múltiples en distintos ámbitos en las que están implicados los agentes siguientes:

- Los fabricantes, el sector de la distribución y el sector servicios,
- Los consumidores y usuarios finales
- Las Administraciones Públicas

Así mismo, el Programa prevé una evaluación bienal de sus resultados mediante una serie de indicadores.

El Programa Estatal de Prevención de Residuos se ha remitido a las Comunidades Autónomas, a los Departamentos Ministeriales y a los sectores interesados.

### **3.7 Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos 2016-2022**

Mediante Acuerdo del Consejo de Ministros de 6 de noviembre de 2015, y a propuesta del la Ministra de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, se ha aprobado el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022.

El citado Plan es el instrumento para orientar la política de residuos en España en los próximos años, que impulse las medidas necesarias para mejorar las deficiencias detectadas y promueva las actuaciones que proporcionan un mejor resultado ambiental y que aseguren que España cumple con los objetivos legales. Con este nuevo Plan, se cumple con:

- La obligación comunitaria de disponer de planes de gestión de residuos, ante la finalización en 2015, del Plan Nacional vigente (Plan Nacional Integrado de Residuos 2008-2015 (PNIR)).
- El cumplimiento de una de las condiciones ex ante del sector residuos para el acceso a fondos comunitarios destinados a este sector en el próximo período 2014-2020.
- La adaptación a los contenidos que la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados establece para el Plan Estatal Marco.

El objetivo final del Plan, al igual que lo es el de la política comunitaria de residuos, es convertir a España en una sociedad eficiente en el uso de los recursos, que avance hacia una economía circular. En definitiva, se trata de sustituir una economía lineal basada en producir, consumir y tirar, por una economía circular en la que se reincorporen al proceso productivo una y otra vez los materiales que contienen los

residuos para la producción de nuevos productos o materias primas.

El avance hacia la economía circular se refleja en el PEMAR a través de la aplicación, en todos los flujos de residuos incluidos, del principio de jerarquía establecido en la normativa comunitaria. Este principio, establece que la prevención debe ser la prioridad principal en relación con la política de residuos, seguida por este orden: por la preparación para la reutilización, el reciclado, otras formas de valorización, incluida la valorización energética, siendo la eliminación de residuos, fundamentalmente a través del depósito en vertedero, la última opción de la jerarquía para gestionar los residuos. Opción que debe reducirse para todos los flujos de residuos. Adicionalmente a este principio guía, son también comunes a todos los flujos de residuos las siguientes orientaciones:

- La coordinación entre todas las administraciones implicadas especialmente a través de la Comisión de Coordinación y sus grupos específicos de trabajo para evitar barreras.
- Mejorar la información y e incrementar la transparencia en el ámbito de los residuos. En este sentido juega un papel esencial la puesta en marcha del Registro de Producción y Gestión de residuos, registro único y compartido para todo el territorio del Estado.
- Fortalecer, incrementar y coordinar las actividades de inspección, control y vigilancia, especialmente para evitar las distorsiones del mercado asociadas a la gestión ilegal de residuos.
- Destinar más recursos humanos y económicos al sector de los residuos para, entre otros, mejorar conocimiento sobre tratamientos y basar las decisiones en

criterios técnicos.

- Mayor y mejor comunicación y sensibilización.
- Facilitar la reincorporación de materiales procedentes de residuos al mercado garantizando protección de la salud humana y del medio ambiente.

Como novedad de este Plan frente a los anteriores, es que se establece que para garantizar el cumplimiento de los objetivos nacionales, las CCAA deberán cumplir como mínimo esos objetivos con los residuos generados en su territorio, salvo que la normativa sectorial establezca criterios específicos de cumplimiento. Y cuando los objetivos afecten a residuos de competencia municipal, las entidades locales pondrán todos los medios a su alcance para el cumplimiento de dichos objetivos. En todo caso, las CCAA en sus planes autonómicos de gestión de residuos podrán establecer la contribución de las entidades locales, de forma independiente o asociada, al cumplimiento de los objetivos aplicables a los residuos de competencia municipal.

El Plan Estatal Marco consta de 25 capítulos, 15 de ellos dedicados a flujos de residuos con normativa específica. Para todos los flujos de residuos incluidos se describe la normativa y objetivos aplicables, la evolución de la gestión en los últimos años y la situación actual de la gestión de residuos y se establecen los objetivos y las orientaciones y líneas estratégicas para conseguirlos.

El PEMAR se podrá actualizar cuando se disponga de más información o cuando las circunstancias así lo aconsejen y, en todo caso, como máximo a los seis años de entrada en vigor con especial atención a la reutilización y reciclado.

En relación con la financiación y teniendo en cuenta el reparto competencial, el MAGRAMA financiará actuaciones incluidas en este Plan conforme a sus

disponibilidades presupuestarias.

La aplicación y desarrollo de las orientaciones establecidas en el PEMAR con lleva beneficios de carácter:

- **Ambiental:** la correcta gestión de los residuos garantiza la protección de la salud humana, de la atmósfera, de las aguas y del suelo y contribuye a proteger el clima.
- **Económico:** asociados a la actividad empresarial relativa a los residuos y al incremento de la disponibilidad de materias primas empeladas por la industria en condiciones seguras.
- **Social:** asociados a la creación de empleo derivada del fomento de la preparación para la reutilización y del reciclado.

### **3.8. Normativa de las CC.AA. insulares Baleares y Canarias**

#### **3.8.1. Islas Canarias**

La Comunidad Autónoma de Canarias dispone de una ley propia en materia de residuos, la Ley 1/1999, de 29 de enero, de Residuos de Canarias, cuyo objeto es la ordenación de los residuos generados en esta comunidad autónoma. Según esta Ley, «el Plan Integral de Residuos es el instrumento de planificación, control, coordinación y racionalización de todas las acciones relativas a los residuos importados, generados o gestionados en la Comunidad Autónoma de Canarias, teniendo en cuenta las características intrínsecas del archipiélago.

Canarias:

Plan Integral de Residuos de Canarias, Aprobado mediante Decreto 161/2001, de 30 de julio (BOC nº 134, de lunes 15/OCT/2001).

Se están desarrollando planes de ámbito insular. Ya están aprobados Planes insulares en materia de residuos, en Tenerife y Fuerteventura.

online:

[http://www.gobiernodecanarias.org/opencms/export/sites/piac/\\_recursos/galerias/galeriaDescargas/piac/Documentos/Residuos/DECRETO\\_161\\_PIRCAN.pdf](http://www.gobiernodecanarias.org/opencms/export/sites/piac/_recursos/galerias/galeriaDescargas/piac/Documentos/Residuos/DECRETO_161_PIRCAN.pdf)

### **3.8.2 Islas Baleares**

A nivel de planificación, las Islas Baleares tienen transferida la competencia en materia de residuos no peligrosos a los consejos insulares. La atribución de dichas competencias se regula mediante la Ley 2/2001, de 7 de marzo, de atribución de competencias a los Consejos Insulares en materia de Ordenación del Territorio. En virtud de esta atribución, cada consejo insular dispone de una planificación propia en materia de residuos urbanos.

Baleares:

- Mallorca:
  - Plan Director Sectorial de Residuos sólidos urbanos. Revisión aprobada por el Pleno de 6 de febrero de 2006, BOIB 35 de 09/03/2006.
  - Plan Director Sectorial para la Gestión de los Residuos de Construcción, Demolición, Voluminosos y Neumáticos fuera de uso de la isla de Mallorca. Aprobado por el Pleno de 08/04/2002, BOIB 05.16.2002, TEXTO REFUNDIDO BOIB 141 de 23/11/2002.

- Menorca: Plan Director Sectorial para la gestión de los residuos no peligrosos de Menorca(*BOIB Núm. 109, de 03/08/2006*).
- Ibiza y Formentera: Plan Director Sectorial para la gestión de los residuos urbanos de Eivissa Y Formentera. *Aprobado definitivamente mediante Decreto 46/2001, de 30 de marzo.*

online:

[http://www.conselldemallorca.net/?&id\\_parent=271&id\\_section=1518&id\\_son=6918&id\\_grandson=6920&id\\_greatgrandson=6937](http://www.conselldemallorca.net/?&id_parent=271&id_section=1518&id_son=6918&id_grandson=6920&id_greatgrandson=6937)



Desarrollo de un sistema de soporte a la decisión para optimizar la planificación y gestión de los residuos sólidos urbanos en zonas insulares, basado en dinámica de sistemas y teoría de la decisión multicriterio (fuzzy TOPSIS).

Tabla 16. Datos estadísticos relacionadas a generación de RSU Baleares 2000-2018

	Statistical data Balearic Islands																		
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Total MSW generated [ton/year]	721,664	663,207	711,610	761,371	776,044	863,515	1,085,874	985,858	706,330	613,827	806,341	849,096	783,690	795,588	815,565	835,542	855,519	845,531	850,525
Total Population Balearics[pers/year]	845,630	878,627	916,968	947,361	955,045	983,131	1,001,062	1,030,650	1,072,844	1,095,426	1,106,041	1,113,114	1,119,439	1,111,674	1,103,442	1,095,210	1,086,978	1,166,923	1,187,808
Tourist Arrivals Balearics [pers/year]	10,457,122	10,023,777	9,456,311	10,269,220	11,486,688	11,626,188	12,577,829	13,276,246	13,103,901	11,609,161	10,400,010	10,111,333	10,442,838	11,875,255	13,580,000	14,284,745	14,989,490	16,339,756	16,583,654
GDP per capita Balearics[€/year]	19,300	20,300	20,900	21,300	22,200	23,300	24,600	25,400	25,634	24,169	23,824	23,762	23,372	23,220	23,498	23,776	23,954	26,269	26,671
Mixed MSW Balearics [ton/year]	690,438	624,746	672,672	683,221	653,534	616,766	620,754	634,893	604,182	617,210	621,311	739,478	659,799	670,589	710,264	749,939	789,614	769,777	779,696
Selective collected Balearics [ton/year]	31,226	38,461	38,938	78,150	122,510	246,749	465,120	350,965	102,148	185,672	199,090	109,618	123,891	124,999	105,304	85,609	65,914	75,762	111,838

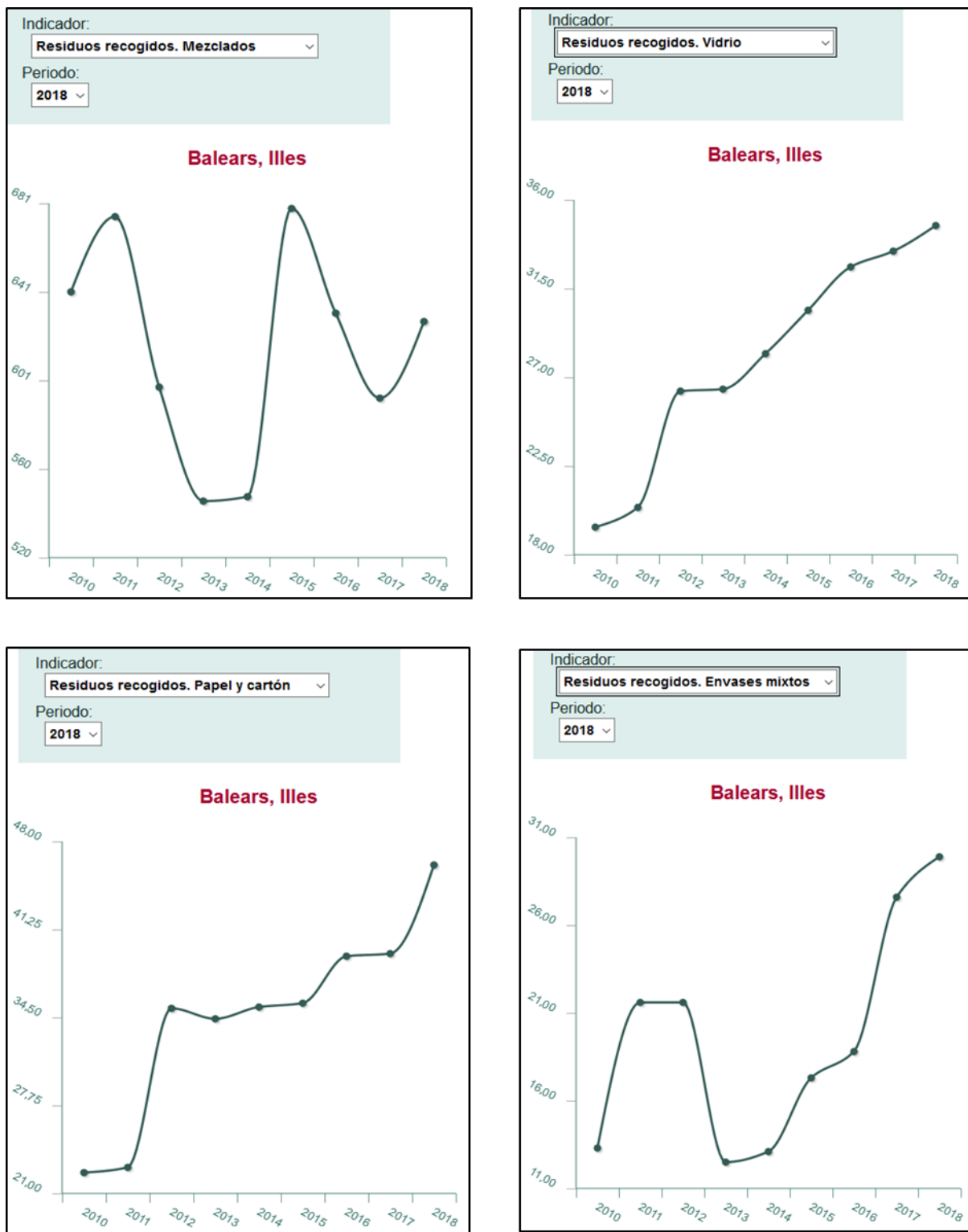


Figura 19. Indicadores de los principales tipos de residuos generados en Baleares.

A continuación la Figura 20 muestra en resumen el modelo de gestión de residuos para Baleares.

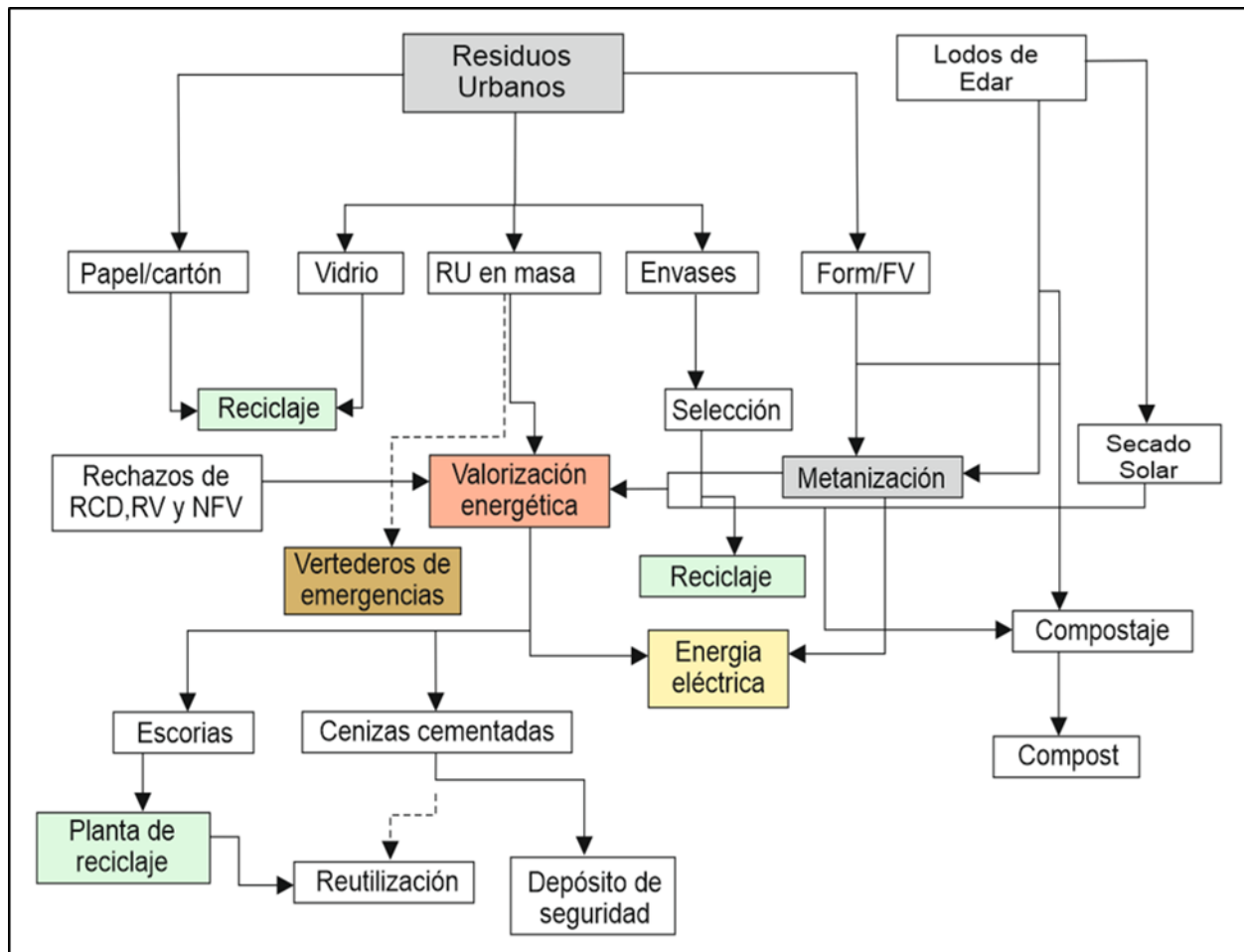


Figura 20. Modelo de gestión de residuos en Baleares

## 4.2 Las Islas Canarias



Figura 21. Mapa de las Islas Canarias.

El archipiélago de Canarias está situado en el océano Atlántico, conforma una comunidad autónoma española con estatus de nacionalidad histórica (cp. Figura 21). Es, además, una de las regiones ultraperiféricas de la Unión Europea. Canarias actualmente posee una población de 2 153 389 habitantes y una densidad de 283,08 hab./km<sup>2</sup>, siendo la octava autonomía en población. La población del archipiélago está concentrada mayoritariamente en las dos islas capitalinas, alrededor del 43 % en la isla de Tenerife y el 40 % en la isla de Gran Canaria. La superficie total del archipiélago es de, aproximadamente, 36 567 km<sup>2</sup>, estando esta compuesta por la superficie terrestre, de 7447 km<sup>2</sup>, y por la superficie marítima de las aguas canarias, de 29 120 km<sup>2</sup>. El PIB per cápita es de 21.031 € y su IDH es de 0,861. Su principal actividad económica es el sector servicio, siendo el turismo el principal factor de ingreso y empleo. La aportación del turismo al PIB de Canarias fué de un 35% en 2018 y un 40,4% al empleo (cp. Tabla 17 y Figura 22 – fuente: Eurostat).

Desarrollo de un sistema de soporte a la decisión para optimizar la planificación y gestión de los residuos sólidos urbanos en zonas insulares, basado en dinámica de sistemas y teoría de la decisión multicriterio (fuzzy TOPSIS).

Tabla 17. Datos estadísticos relacionados a la generación de residuos 2000-2018.

	Statistical data Canary Islands																		
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Total MSW generated Canaries [ton/year]	1,105,305	1,118,025	1,158,801	1,331,319	1,474,999	1,448,386	1,397,206	1,210,410	1,255,650	1,151,349	1,439,982	1,388,895	1,310,231	1,204,821	1,259,718	1,264,095	1,245,102	1,202,469	1,245,102
Total Population Canaries [pers./year]	1,672,689	1,716,276	1,781,366	1,843,755	1,894,868	1,915,540	1,968,280	1,995,833	2,025,951	2,075,968	2,103,992	2,118,519	2,126,769	2,118,344	2,110,109	2,104,815	2,100,306	2,177,048	2,207,225
Touristics Arrivals Canaries [pers./year]	9,855,592	9,972,184	10,137,202	9,778,512	9,836,785	9,427,265	9,276,963	9,530,039	9,328,546	9,216,585	7,982,256	8,590,081	10,318,178	10,591,269	11,511,108	13,332,465	13,301,251	15,975,507	14,752,624
GDP per capita Canaries[€/year]	14,200	15,570	16,759	17,476	18,227	18,778	19,595	20,422	21,167	21,186	20,006	20,091	19,792	19,115	18,965	18,803	19,233	19,898	20,018
Mixed MSW Canaries [ton/year]	1,114,598	1,069,521	959,675	1,179,366	1,162,450	1,169,504	1,105,084	992,184	1,045,068	994,498	1,250,983	1,181,424	1,162,173	1,072,168	1,127,565	1,144,978	1,096,600	1,145,477	1,121,039
Selective collected Canaries [ton/year]	129,239	129,047	129,310	128,662	312,549	278,882	292,122	218,226	210,582	156,851	188,999	207,471	148,058	132,653	132,153	119,117	148,502	149,992	149,247

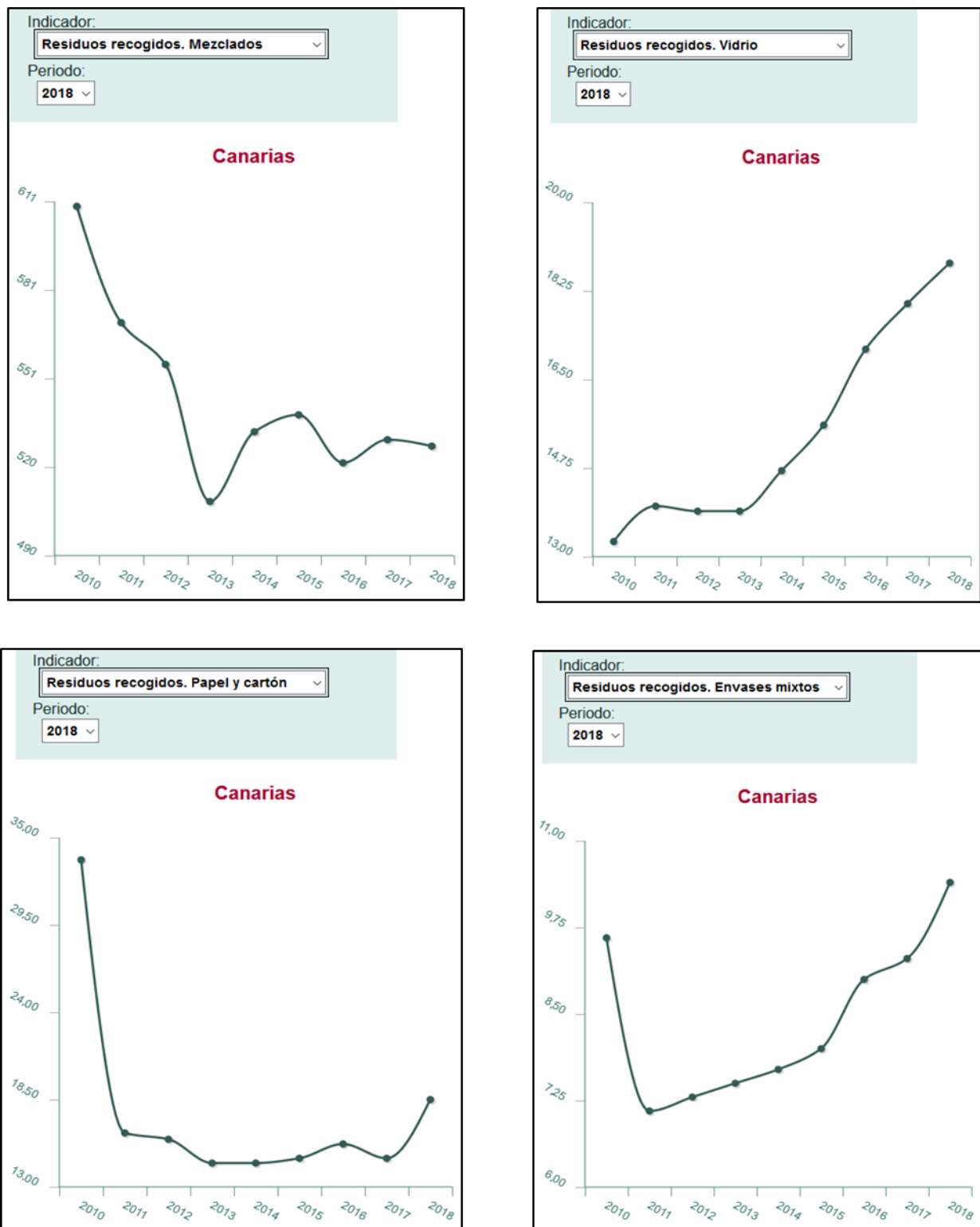


Figura 22. Indicadores de los principales tipos de residuos generados en Canarias.

A continuación la Figura 23 muestra en resumen el modelo de gestión de residuos para Canarias.

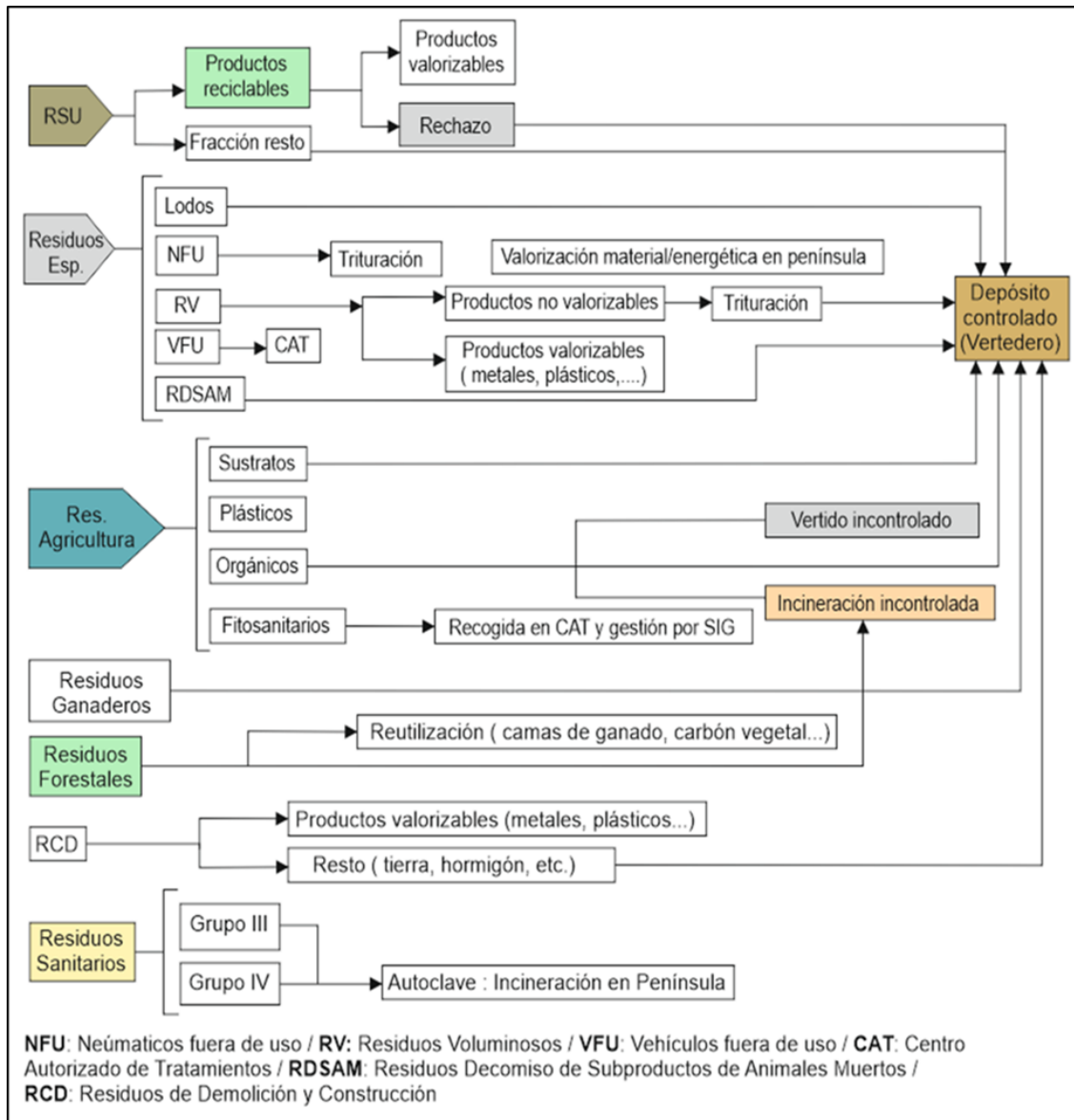


Figura 23. Modelo de gestión de residuos en Canarias.

Una diferencia marcada, es que en Canarias se privilegia el depósito controlado, ya que la planta de incineración de Arico (en Tenerife) es muy pequeña y limitada. Por

lo contrario en Baleares teniendo dos plantas de incineración, los ratios de incinerado han ido en aumento, actualmente se incinera mas del 50% de los residuos, y a deposito controlado solo va aproximadamente el 20%, aunque cabe destacar que la generación total de residuos anuales per capita en Baleares es mucho mayor a la de Canarias.

## **5. MATERIALES Y METODOLOGIA**

### **5.1 Materiales**

Los principales datos fueron extraídos de fuentes oficiales tales como :

Eurostat, Ibestat, Istac, INE España, Plan Nacional de Residuos Urbanos (2008-2015), Directiva Europea 2008/98 sobre RSU, IPCC Guidelines for national Greenhouse Gas Inventories 2016.

#### **5.1.1. Problemática asociada a ambos casos de estudio**

Como ya ha comenzado a plantearse en la introducción de esta investigación, la inadecuada gestión de los residuos es un problema de dimensiones mundiales con consecuencias previsibles en cuanto al deterioro ambiental y el bienestar humano. . las costumbres de la población, orientadas al consumo de artículos desechables, se han hecho visibles en los últimos años los efectos sociales y ambientales negativos generados por la gestión de los residuos.

Los países desarrollados ya han empezado a probar alternativas para controlarlo y los siguen en sus iniciativas los de menor desarrollo. La problemática en cuanto al manejo y disposición final de los residuos en las zonas insulares como las del caso de estudio se ha agudizado en los últimos años debido al acelerado crecimiento demográfico producto del elevado flujo turístico, lo que se traduce como un incremento en los montos de residuos producidos, que además presentan una composición más compleja y heterogénea.

Una pregunta que surge es: por qué se producen o cómo se generan tantas cantidades

de residuos?. Una de las explicaciones más comunes es la que afirma que es el resultado del actual modo de vida, caracterizado por los excesos en el consumo atacados constantemente por los medios de comunicación, consumimos todo producto cuanto es anunciado: alimentos cuyas propiedades se han alterado para mejorar su sabor y calidad, novedosos y complicados sistemas de comunicación, vehículos de transporte cada vez más rápidos y confiables, máquinas para sustituir el trabajo humano. La producción y generación de residuos se inicia con la presentación de muchos de esos productos que se encuentran en el mercado con aparentes y vistosos envases que al entrar en casa se convierten en un desperdicio del que queremos deshacernos de la manera más rápida posible. es a partir de estos acontecimientos que se comienza a tomar conciencia del daño ocasionado y se evalúan las alternativas que fueran capaces de aminorar el deterioro y la pérdida de la calidad de vida.

Con todo ello se desprende la problemática actual en ambas zonas:

- Alta generación de residuos generados
- Bajo nivel de recogida selectiva
- Bajos ratios de reciclaje
- Aplicación de instrumentos económicos débiles
- Insuficiencia en cuanto a tratamiento de residuos
- Vertido incontrolado
- Educación ambiental débil
- Deterioro ambiental y paisajístico en aumento
- Falta de datos estadísticos fiables

- Mano de obra y gestión no especializada
- Mercado interno limitado
- Altos costes de transporte de residuos
- Objetivos, planes y metas de la UE no alcanzadas aún
- bajo nivel de contenerización por habitante ( 1/300)
- No existe la recogida selectiva fracción orgánica (Todo mezclado)

## **5.2 Metodología propuesta**

La finalidad es la de construir y diseñar herramientas y propuestas prácticas desde una perspectiva multidisciplinaria que permite responder eficientemente a través de estrategias las necesidades de carácter ambiental, social, cultural y económico en las zonas insulares sobre la actual y futura gestión de sus residuos.

Se han establecido variables de tipo cualitativas y cuantitativas y por tanto factibles de medición de tal manera que las operaciones y algoritmos matemáticos desempeñan un papel fundamental. En cuanto a los informes estadísticos utilizados en esta investigación fueron extraídos de fuentes oficiales.

Con el fin de poder elaborar una propuesta práctica y desde un enfoque multidisciplinar que permita responder eficientemente a las necesidades de tipo geográfico, ambiental y social de la zona bajo estudio sobre el tema de la gestión de los residuos sólidos urbanos, este trabajo contempla una serie de aspectos teóricos, descriptivos, así como prácticos.

Para el caso de Canarias (Figura 24) la metodología sigue una estructura de fases. Tenemos la fase 1 : aplicación de la técnica Delphi. Fase 2: Selección de la alternativa

bajo el método Fuzzy Topsis y Fase 3: Aplicación de Dinámicode sistemas y Análisis de escenarios.

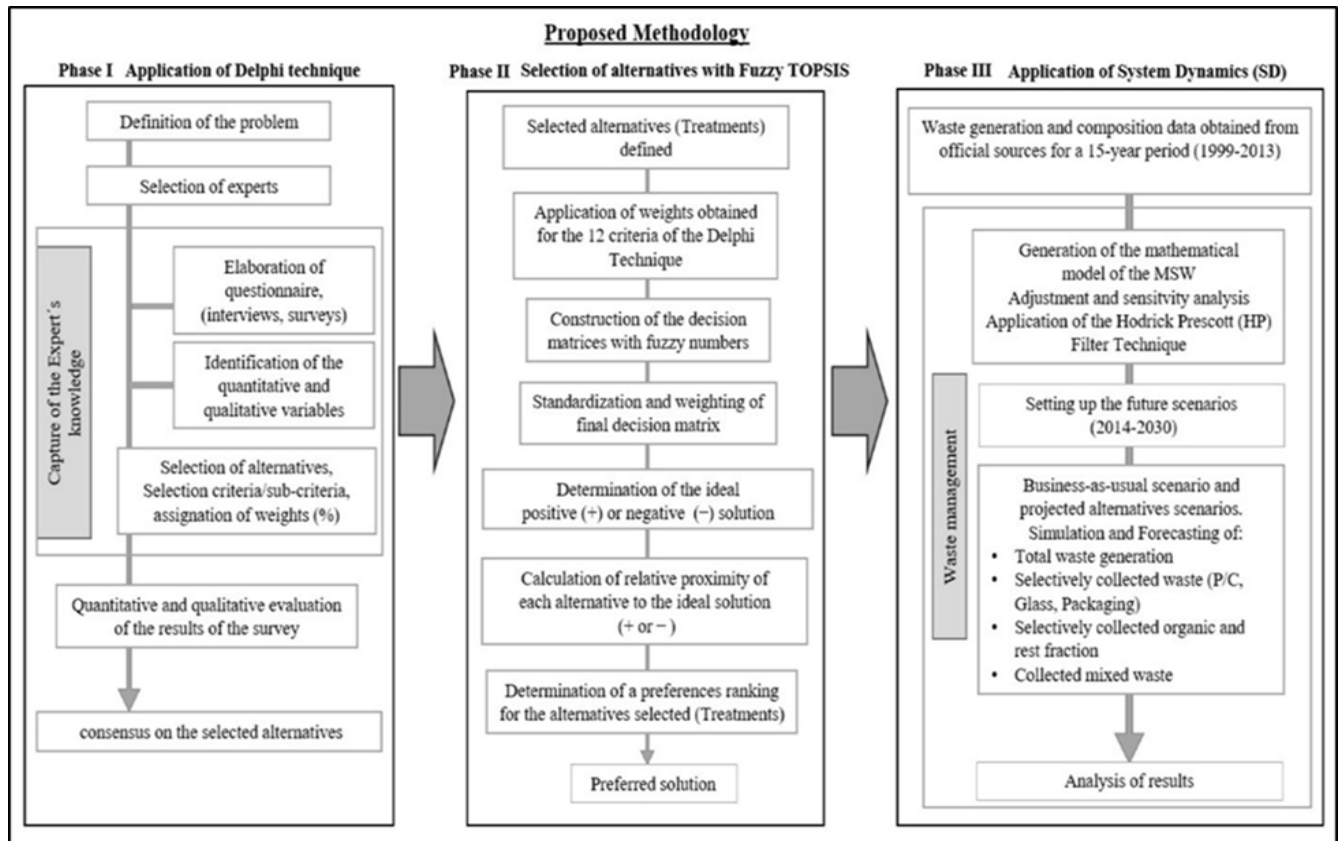


Figura 24. Metodología propuesta para Canarias.

Para el caso de Baleares (Figura 25) la metodología sigue una estructura vertical. Primeramente recopilación bibliográfica, se genera el modelo a partir de la información obtenida, se construyen los supuestos escenarios a simular y se aplica Dinámica de Sistemas para modelar estos escenarios y luego dar paso al análisis de escenarios.

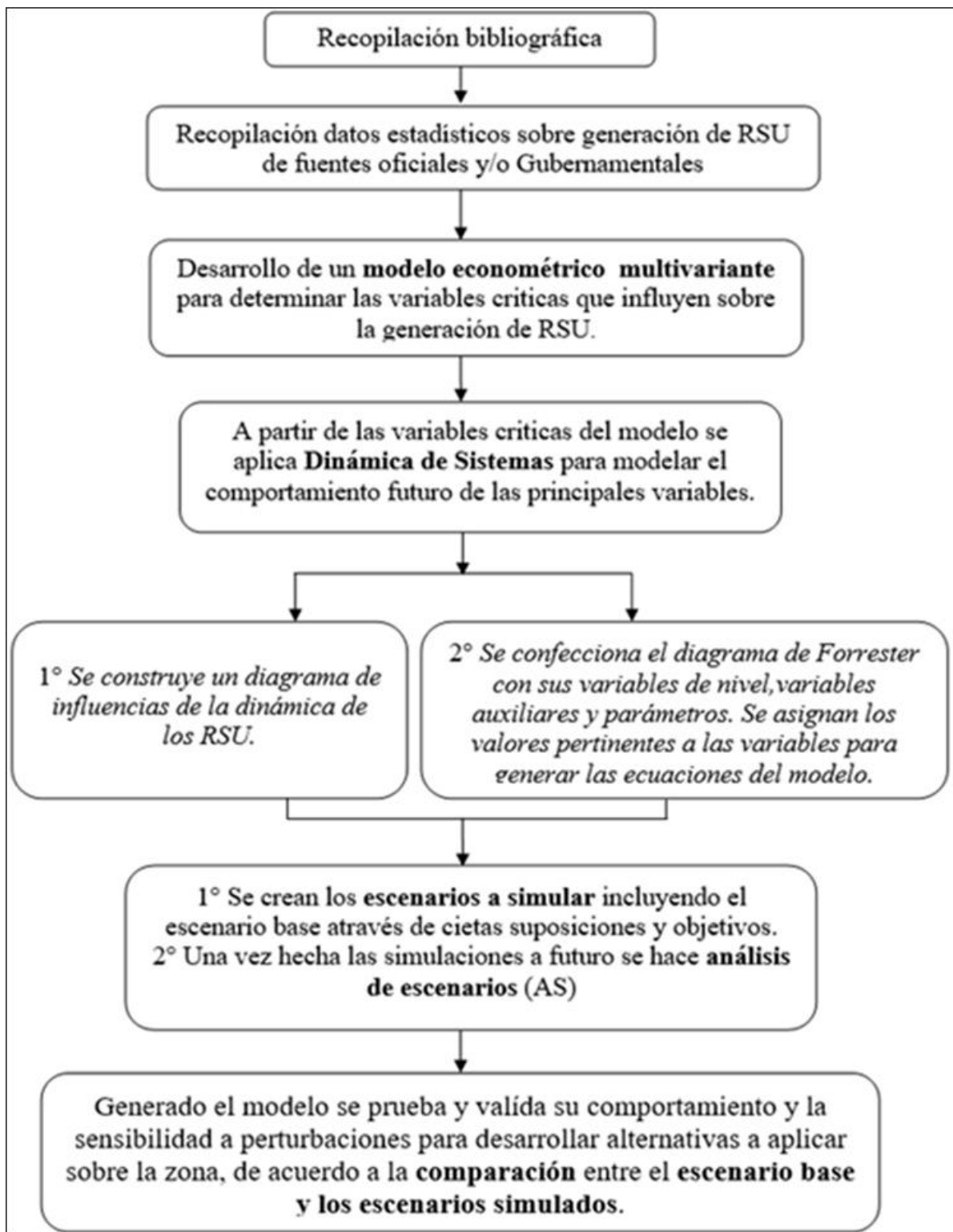


Figura 25. Metodología propuesta para Baleares

### **5.2.1 Aplicación del método Delphi**

El método Delphi se engloba dentro de los métodos de prospectiva, que estudian el futuro, en lo que se refiere a la evolución de los factores del entorno tecno-socio-económico y sus interacciones.

El método Delphi es un sistema predictivo que nos ayuda a conocer con una mayor seguridad cómo va a evolucionar algún elemento en el futuro mediante una serie de técnicas de prospección. En las empresas se trata de un método habitual para realizar predicciones de demanda o análisis de mercado. Este método consiste en reunir un panel de expertos a los que se somete a un cuestionario, tras analizar los resultados, se entrega este análisis al grupo de expertos y se les pide que vuelvan a responder al cuestionario. El objetivo consiste en tratar de llegar a un consenso entre los cuestionarios recibidos.

El primer estudio de Delphi fue realizado en 1950 por la Rand Corporation para la fuerza aérea de Estados Unidos, y se le dio el nombre de Proyecto Delphi. Su objetivo era la aplicación de la opinión de expertos a la selección de un sistema industrial norteamericano óptimo y la estimación del número de bombas requeridas para reducir la producción de municiones hasta un cierto monto.

Es un método de estructuración de un proceso de comunicación grupal que es efectivo a la hora de permitir a un grupo de individuos, como un todo, tratar un problema complejo. La capacidad de predicción de la Delphi se basa en la utilización sistemática de un juicio intuitivo emitido por un grupo de expertos. Dentro de los métodos de pronóstico, habitualmente se clasifica al método delphi dentro de los métodos cualitativos o subjetivos.

Este método se emplea bajo las siguientes condiciones:

- No existen datos históricos con los que trabajar
- El impacto de los factores externos tiene más influencia en la evolución que el de los internos
- Las consideraciones éticas y morales dominan sobre las económicas y tecnológicas en un proceso evolutivo.
- Cuando el problema no se presta para el uso de una técnica analítica precisa.
- Cuando se desea mantener la heterogeneidad de los participantes a fin de asegurar la validez de los resultados
- Cuando el tema en estudio requiere de la participación de individuos expertos en distintas áreas del conocimiento.

Ventajas de este método:

- Permite obtener información de puntos de vista sobre temas muy amplios o muy específicos. Los Ejercicios Delphi son considerados “holísticos”, cubriendo una variedad muy amplia de campos.
- El horizonte de análisis puede ser variado.
- Permite la participación de un gran número de personas, sin que se forme el caos.
- Ayuda a explorar de forma sistemática y objetiva problemas que requieren la concurrencia y opinión cualificada.
- Elimina o aminora los efectos negativos de las reuniones de grupo “Cara-Cara”.

#### Inconvenientes:

- Su elevado coste.
- Su tiempo de ejecución (desde el período de formulación hasta la obtención de los resultados finales).
- Requiere una masiva participación para que los resultados tengan significancia estadística. Pero el grupo debe tener un alto grado de correspondencia con los temas a ser tratados en el ejercicio.
- Una parte crítica del método son las preguntas del cuestionario.
- Sesgos en la elección correcta de los participantes.
- Elevado número de deserciones debido al tiempo.

#### Aplicación del método paso a paso

1. Identificación de la problemática o el tema: por supuesto también habrá que identificar el objetivo que se persigue con la aplicación de este método.
2. Elaboración del cuestionario: en base a los objetivos que tengamos con el mismo teniendo en cuenta que las preguntas deben ser concisas y cuantificables para facilitar su posterior análisis.
3. Definir el panel de expertos o participantes en la encuesta: en base a una serie de características que hayamos identificado relevantes para nuestro estudio.
4. Distribuir el cuestionario: el cuestionario deberá rellenarse de forma anónima para que no se puedan ver afectados los resultados, además antes de hacerlo se recomienda informar a los participantes de los objetivos que se persiguen con dicho cuestionario.
5. Analizar resultados: tabulación y análisis de los resultados,

6. Entrega de análisis a expertos y redistribución del cuestionario: entrega del cuestionario de nuevo junto con el análisis de las respuestas obtenidas anteriormente.
7. Segundo análisis: con la entrega de los nuevos cuestionarios, se realiza un segundo análisis para identificar tendencias, patrones, etc eliminando los datos estadísticos más dispersos.

### **5.2.2 Aplicación del modelo econométrico**

Un modelo econométrico es una representación simplificada de la relación entre dos o más variables que permite estimaciones empíricas.

Los modelos económicos formulados en forma matemática que establecen cuál es la relación funcional que existe entre una (o varias) variable(s) endógenas y las variables exógenas, que explican el comportamiento sistemático o determinista del modelo, y la perturbación aleatoria, que explican la parte no determinista. Además, un modelo econométrico es un instrumento de análisis que se utiliza mucho para tomar decisiones tanto en el ámbito microeconómico como en el ámbito macroeconómico.

Un modelo econométrico sencillo de regresión lineal viene dado por la siguiente expresión:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k X_{ki} + u_i$$

donde,  $Y_i$  es la variable endógena (dependiente) o variable que se quiere explicar;  $X_i$ ,  $i=1,\dots,k$  son las variables explicativas o independientes que se utilizan para explicar el comportamiento de la variable dependiente;  $\beta_0$  es el término independiente del modelo e indica cuál es el valor de la variable dependiente cuando todas las variables

explicativas son iguales a cero; los restantes  $\beta_i$  son los coeficientes del modelo (constantes desconocidas) que hay que estimar para cuantificar cuál es la relación (directa o inversa según el signo del parámetro estimado sea positivo o negativo respectivamente) que existe entre cada una de las variables explicativas y la variable dependiente (la mayor o menor importancia de las variables explicativas para explicar la variable dependiente dependerá de la magnitud del parámetro estimado, de tal forma que cuanto mayor sea este parámetro mayor será la influencia de la correspondiente variable independiente);  $u_i$  es la perturbación aleatoria que recoge toda la información del modelo que no está explicada directamente por las variables independiente del modelo. Esta variable aleatoria es la que confiere al modelo econométrico su carácter estocástico.

Las variables que normalmente se utilizan en los modelos econométricos son variables cuantitativas (aquellas susceptibles de ser medidas numéricamente), pero también pueden ser cualitativas cuando estas se pueden expresar de forma numérica. Dentro de las variables cualitativas se pueden destacar dos: las variables ficticias y las variables proxy. Las variables ficticias normalmente son dicotómicas, ya que toman valor uno o cero según posean o no una determinada característica. Las variables proxy son variables que se utilizan como indicador de las variables objeto de estudio. Para estimar la relación que existe entre las variables del modelo es necesario disponer de datos actualizados y homogéneos. Estos datos pueden ser básicamente de los siguientes tipos: datos de series temporales (se dispone de observaciones periódicas de la variable a lo largo de un período muestral); datos de corte transversal que proporcionan información de diferentes tipos de variables en un mismo período

de tiempo; datos de panel que se caracterizan porque combinan la dimensión temporal con la transversal.

Las principales fases que se pueden destacar en la elaboración de un modelo econométrico son:

- a) Especificación. Determinación del problema objeto de estudio y la selección de las variables que son más adecuadas para la correcta determinación del problema. Por ejemplo, un modelo genérico especificado con una variable dependiente y  $k$  explicativas sería:  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k X_{ki} + u_i$
- b) Estimación. Se centra en la obtención de los valores numéricos de los parámetros en función de la información muestral de las diferentes variables del modelo. Para poder estimar el modelo es necesario disponer de suficientes grados de libertad, que se obtienen como la diferencia que existe entre el número de datos y el número de variables explicativas.

Para estimar estos modelos existen diferentes métodos de estimación, como por ejemplo, mínimos cuadrados ordinarios, mínimos cuadrados generalizados, máxima verosimilitud, etc. Estos métodos, suelen ser los que están implementados en la mayor parte del software econométrico, utilizado habitualmente en la práctica para estimar el modelo. Entre los programas usados con más frecuencia para la estimación de modelos econométricos se pueden citar: Stata, el WinBugs, el Eviews, el PcGive, etc.

Después de haber estimado el modelo, la variable dependiente se convierte en una combinación lineal de las variables explicativas del modelo y, por lo tanto, no hay que incluir la perturbación aleatoria. La estimación de la variable aleatoria será el residuo,

el cual mide el error que se comete al aproximar la variable observada con el modelo estimado.

- c) La validación Consiste en la realización de los contrastes estadísticos necesarios, así como, un análisis de los residuos que permitirá determinar si el modelo estimado es adecuado o no. El modelo puede no ser adecuado por varias razones, por ejemplo, inclusión de variables no significativas, omisión de variables relevantes, los datos utilizados no sean adecuados, etc. En este caso, será necesario incluir toda esta nueva información para volver a estimar de nuevo el modelo. Por otro lado, si el modelo es adecuado, entonces se pasará a la última fase que se centrará en su utilización.
- d) Utilización. Básicamente el modelo estimado se suele utilizar con tres fines diferentes: el primero, para obtener predicciones de la variable dependiente, en función de los valores futuros de las variables explicativas y de los parámetros estimados; el segundo, realizar un análisis estructural que permita cuantificar la relación que existe entre las variables explicativas ( $X_i$ ) y la variable explicada ( $Y_i$ ) según cual sea el valor y el signo de los parámetros estimados; el tercero, un análisis coyuntural que permita simular los posibles efectos que sobre la variable dependiente tengan diferentes estrategias de las variables explicativas.

¿Para qué sirven los modelos econométricos?

Principalmente sirven para 2 cosas:

- Explicar cómo se comporta una o varias variables en función de otras. Por ejemplo, explicar qué le va a suceder a la variable «Ventas de un producto» si

movemos las variables que afectan a las ventas. En este sentido, me gusta decir que el modelo econométrico contrasta y cuantifica teorías. por ejemplo: Si una empresa lleva a cabo un montón de diferentes acciones para conseguir vender, el modelo econométrico debería ser capaz de demostrar y cuantificar dicha teoría incluyendo todas las variables que reflejan dichas acciones.

- Predecir cuál será el comportamiento de la variable que hemos explicado, si sabemos qué va a pasar con las variables que la afectan.

#### Componentes del modelo econométrico

Variables y parámetros. Las variables son de dos tipos: observables y no observables. Las primeras, a su vez, se clasifican en endógenas (las que queremos explicar) y predeterminadas (las que explican pueden ser exógenas puras si son variables diferentes, o endógenas retardadas si son retardos de la variable a explicar).

Las variables no observables son variables aleatorias que recogen aquello que no es posible recoger con el resto de variables. Los parámetros son los números que cuantifican cuánto de grande o pequeña es la importancia de cada variable.

### **5.2.3 Aplicación de Dinámica de Sistemas**

Dinámica de Sistemas es una metodología para el estudio y manejo de sistemas de realimentación complejos. Una de las características de esta disciplina es el uso del computador para realizar sus simulaciones, lo que ofrece la posibilidad de estudiar el comportamiento y las consecuencias de las múltiples interacciones de los elementos de un sistema a través del tiempo. Esto la hace muy útil para el estudio de fenómenos sociales ya que en ellos están implicados una gran cantidad de elementos e

interrelaciones en los que la presencia de no linealidades determinan el comportamiento y dificultan una solución analítica. Además, los efectos de las políticas y acciones ejercidas sobre estos sistemas se manifiestan en horizontes temporales diferentes y dilatados. Este hecho dificulta la construcción de laboratorios de experimentación donde se puedan probar diferentes políticas y observar sus consecuencias sobre el sistema. Por tanto, los modelos de simulación dinámica permiten estudiar cómo las políticas, decisiones, estructura y retrasos influyen en el crecimiento y la estabilidad de un sistema. Actualmente su ámbito de aplicación abarca la planificación y diseño de políticas corporativas, la gestión y las políticas públicas, los modelos biológicos y médicos, el área de la energía y el medio ambiente, el desarrollo de la teoría en ciencias naturales y sociales, la toma de decisiones y la dinámica no lineal compleja. Por un lado, si se quiere entender un determinado sistema para ser capaces de predecir su comportamiento, es necesario estudiar el sistema en su integridad. La esencia de un sistema es su conectividad, por lo que fraccionarlo en partes para su estudio destruye la conectividad del sistema, y por ende, el propio sistema.

### **5.2.3.1 Metodología de la Dinámica de Sistemas**

La metodología de la Dinámica de Sistemas difiere de otras técnicas de modelado. En un modelo sistémico la estructura del mismo no está predeterminada por un tipo de modelo matemático previo, sino que la establece un analista dialogando con un experto. Esto le da al modelo un componente heurístico que hace que el modelo se base en el modelo mental que posee el experto sobre el problema. El modelo resultante, aunque al final se traduce en un conjunto de ecuaciones matemáticas,

tiene su origen en un punto de vista, con toda la carga de subjetividad que ello implica. Este enfoque tiene sus ventajas e inconvenientes. La ventaja reside en que su lectura es comprensible y los resultados de la simulación son accesibles al experto no matemático. No es necesario acudir a las ecuaciones para entender el modelo, sino al Diagrama Causal. Por el contrario, nos enfrentamos al inconveniente de que las relaciones de causalidad recogidas sean las reales, sino las que obtienen del conocimiento del experto. Esta forma de desarrollar los modelos de Dinámica de Sistemas se adapta a los problemas sociales, que se formalizan sobre la base de la opinión de expertos, con la carga de subjetividad que suelen llevar implícitos.

#### Construcción de un modelo de Dinámica de Sistemas

Dentro del proceso de modelado se siguen unas tareas específicamente orientadas a ir decantando los modelos mentales en modelos formales.

1. **Conceptualización:** aquí se definen el propósito, las fronteras y las variables a trabajar en el modelo. Es la descripción del fenómeno en prosa que no es más que un texto que da cuenta de la manera como el modelador percibe lo real, aquello que desea modelar, esto es, la primera explicitación del modelo mental.
2. **Formulación:** en esta parte del proceso se estiman y valoran el valor de los parámetros a trabajar, se identifican las variables relevantes y las relaciones cualitativas que se establecen entre ellas.
3. **Construcción de los diagramas de influencias o causales:** son bosquejos que buscan representar las relaciones entre los elementos, es decir, permite conocer la estructura del sistema. Los nombres de los elementos se unen a través de flechas que indican la influencia de uno sobre otro, y sobre la flecha

se coloca un signo + ó - que indican si la relación entre ellos es directa (cuando A aumenta, B también) o inversa (cuando A aumenta, B disminuye), en su orden. En los diagramas de influencias se puede identificar los ciclos de realimentación que son cadenas cerradas de influencias. Estos ciclos pueden ser positivos (relación directa) o negativos (tienen relación indirecta).

4. Construcción de los diagramas de Forrester: una vez realizado el diagrama de influencias se procede con la construcción de los diagramas de flujos y niveles. La dinámica de sistemas hace uso especialmente de las variables de estado o niveles y las variables de cambio o flujos.
  - Variables de estado: son usadas para representar aquellas variables del sistema que se acumulan o se des-acumulan a través del tiempo.
  - Variable de cambio: es la responsable de generar el cambio en la variable de estado.
  - Variables auxiliares: son otras variables que influyen en el comportamiento del sistema tales como el retardo, la variable exógena, el parámetro, el valor interior, el multiplicador y/o no linealidad.
5. Prueba: ya hecho el diagrama de flujos y niveles puede ser usado un software que reconoce dicho lenguaje icónico y lo transforma en ecuaciones en diferencia las cuales son resueltas usando métodos numéricos, simulando así las pruebas y probando las hipótesis dinámicas; de esta manera se prueba el comportamiento del modelo y la sensibilidad que pueda tener a las perturbaciones del entorno.
6. Implementación: aquí se prueba la respuesta del modelo a diferentes políticas

y obviamente se traduce los resultados para que sean entendibles por las personas que los vayan a tener. Este hecho es importante pues permite usar el modelo para el diseño de políticas de intervención.

### **5.2.3.2 Análisis de escenarios**

El Análisis de Escenarios (AE), al igual que otras técnicas analíticas estructuradas, es una herramienta complementaria –no sustitutiva– a los métodos cuantitativos y cualitativos propios de las Ciencias Sociales. Se trata de una herramienta que estimula la creatividad, amplia perspectivas, desafía los marcos cognitivos preestablecidos y genera nuevas preguntas de investigación. Además, el análisis de escenario tiene otra virtud: al ser un instrumento de apoyo a la planificación estratégica, contribuye a que la investigación en Ciencias Sociales. El análisis y la construcción de escenarios constituyen dos caras de la misma moneda. El proceso de elaboración de escenarios se basa, promueve y suscita en sí mismo el análisis. Se trata de plantear y tratar de responder a múltiples preguntas en clave de “qué pasaría si”, imaginando diversos futuros.

La construcción de escenarios juxtapone posibles resultados de variables causales clave en combinaciones esperadas e inesperadas con el fin de generar múltiples situaciones futuras, algunas de ellas sorprendentes, pero todas ellas verosímiles. La construcción de escenarios suele emplear un número de variables causales mayor del habitual en los modelos científicos, que suelen reducirlo al mínimo con el fin de respetar el principio de parsimonia. Por ejemplo, la teoría realista estructural gana en elegancia al limitar su atención a las variables del nivel sistémico, pero ello limita su potencial predictivo y su relevancia en el diseño de políticas públicas de seguridad

y defensa. Por esta razón, otra utilidad del análisis de escenarios es su apoyo a la planificación estratégica: contribuye a identificar señales de alerta temprana, a valorar la fortaleza de las competencias nucleares de la propia organización, a generar opciones estratégicas mejores, y a evaluar el riesgo de cada opción estratégica a partir de las incertidumbres identificadas (Schoemaker, 1995: 25). Identificar la gama de futuros posibles por el método de escenarios permite definir las rupturas potenciales, los caminos que conducen a ellos y las consecuencias que entrañan (Godet y Durance, 2009: 26).

### **Pasos en la construcción de escenarios**

Una vez clarificado qué es y para qué sirve la elaboración y análisis de escenarios, veamos cómo se construyen. Con diferencias menores, la literatura especializada coincide en señalar los siguientes pasos:

#### **Paso 1. Delimitar los parámetros básicos del análisis**

En toda investigación es necesario acotar: objeto de estudio, horizonte temporal, ámbito geográfico. Por ejemplo: “la competencia geopolítica en Yemen entre Irán y Arabia Saudí en el horizonte temporal 2025”.

#### **Paso 2. Identificar necesidades de investigación**

En cierto modo este paso se encuentra presente en cada una de las fases que vamos a ir viendo. Conforme se vaya aplicando la técnica se descubrirán vacíos de información y se tendrá menos seguridad en supuestas certezas. Lo cual se traducirá en demandas de investigación. Esta es otra de las virtudes del análisis de escenarios: que nos ayuda a descubrir los famosos unknown unknowns, cuestiones relevantes de cuya ignorancia no somos conscientes.

### **Paso 3. Identificar los principales actores involucrados**

Habría que incluir a las variables o principales factores identificados.

### **Paso 4. Identificar las tendencias básicas y su impacto**

Se trata de grandes tendencias que afectarán de manera relevante a la realidad que estamos estudiando y que muy probablemente van a permanecer activas, o a intensificarse, en el periodo temporal de nuestro estudio.

### **Paso 5. Identificar incertidumbres clave (game changers)**

Se trata de imaginar qué variables cuyo valor es difícil de determinar afectarán de manera significativa al tema sobre el que estamos trabajando. Para ello también es conveniente recurrir a técnicas como DAFO.

### **Paso 6. Construir escenarios iniciales**

A partir de los diferentes valores de las tendencias básicas y de las incertidumbres clave se pueden construir los primeros escenarios. Una forma de hacerlo es como aparece en la siguiente matriz:

### **Paso 7. Comprobar la consistencia interna y la plausibilidad de los escenarios**

Los escenarios del paso 6 son una primera aproximación. De hecho, es posible que al narrar su historia se hayan advertido incongruencias que exijan un replanteamiento de algunos drivers, de los valores de estos y de los escenarios resultantes.

Hay tres criterios sencillos para comprobar la coherencia interna:

- ¿Son compatibles las tendencias detectadas con el horizonte temporal? Quizás algunas de ellas necesiten más tiempo para desarrollarse, y su impacto quede entonces fuera de nuestro estudio.

- ¿Son compatibles los resultados de las distintas incertidumbres?
- ¿Los actores se encuentran una situación desventajosa, o que les desagrada, y que puedan cambiar? Si es así, lo normal es que el escenario evolucione, y lo que interesa entonces es esa situación final.

### **Paso 8. Establecer el conjunto final de escenarios**

Durante los pasos 6 y 7, además eliminar escenarios por falta de consistencia interna es posible que hayan surgido nuevas ideas sobre megatendencias o incertidumbres clave que hubieran pasado desapercibidas en las fases iniciales. También es probable que hayamos enunciado mejor algunos de los drivers o que eliminemos o fusionemos escenarios por su parecido. En algunos casos, incluso, no llegaremos al escenario a través de los valores expuestos en la matriz, sino que visualizaremos primero el escenario y después adaptaremos a partir de él la definición y contenido de los drivers.

### **Paso 9. Analizar las implicaciones de cada escenario**

Ahora toca analizar las implicaciones de cada escenario. Es una fase de extrema importancia con vistas a sacar el máximo partido analítico del esfuerzo realizado en las fases anteriores. Una posibilidad es examinar el impacto sobre los actores más relevantes. Otra, si el análisis tiene como finalidad evaluar una estrategia, es hacer un análisis DAFO de dicha estrategia a partir de cada uno de esos escenarios. A partir de las conclusiones del DAFO se pueden plantear nuevas líneas de actuación estratégica.

### **Paso 10. Elaborar indicadores y señales de alerta temprana**

Con el fin de vigilar de manera sistemática la evolución de los acontecimientos, y de

contrastar esos hechos con los escenarios contruidos, es aconsejable elaborar una lista de indicadores que permitan seguir el comportamiento de cada driver.

El siguiente gráfico reproduce de manera didáctica la secuencia a realizar. Sin embargo, no hay que dejarse confundir por su carácter lineal. Es muy probable que a lo largo del proceso se repitan iteraciones entre varias fases con el fin de profundizar en la investigación e identificar o matizar tendencias, incertidumbres clave y escenarios.

Figura 26 (fuente: Research Gate) resume los pasos del método en una grafica

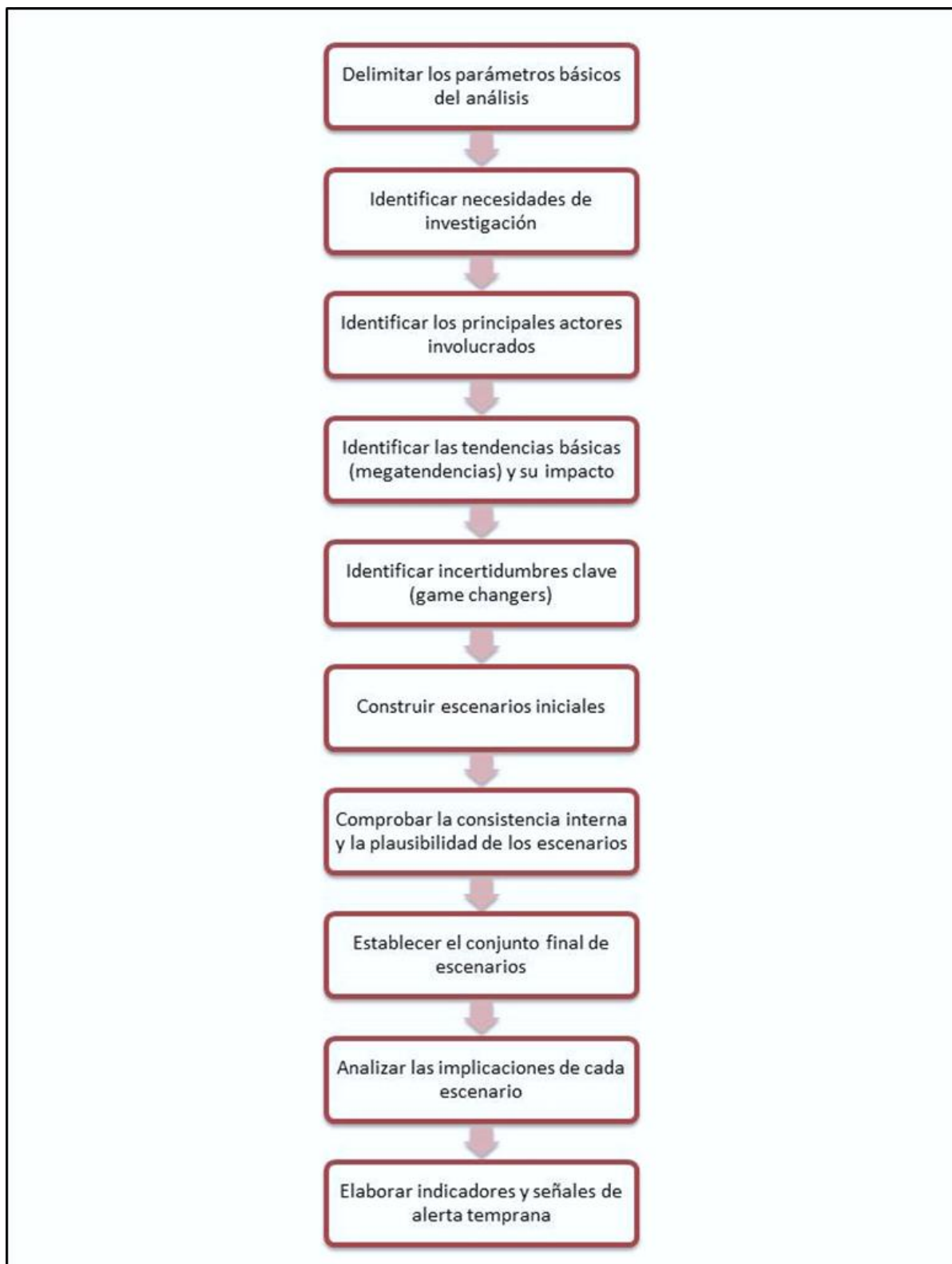


Figura 26: Pasos para realizar un análisis de escenarios.

Además, el método de Análisis de Escenarios utiliza para su realización, otros dos métodos o técnicas de prospectiva:

1. El Método Delphi, para identificar las variables clave objeto de estudio y la asignación de valores y de probabilidades de ocurrencia a cada una de ellas.
2. El Método de los Impactos Cruzados, en la fase de elaboración de los escenarios, para analizar las relaciones que se producen entre las diferentes variables.

El proceso incluye tres fases o etapas diferentes:

1. Identificación de las variables clave, incluyendo el horizonte temporal objeto de estudio. El número de variables seleccionado será clave en el grado de complejidad del mismo y en la exactitud de los resultados obtenidos.
2. Asignación de valores y de probabilidades a cada una de las variables seleccionadas: intervalo de valores posibles y probabilidad de ocurrencia.
3. Elaboración de los diferentes escenarios posibles.

En la elaboración de los escenarios, se ha de tener en cuenta que no es conveniente trabajar con más de tres escenarios, dada la complejidad que ello implica. Por otra parte, también es conveniente considerar la existencia de diferentes probabilidades de ocurrencia para cada uno de los escenarios identificados, de manera que existirán varios tipos de escenarios: escenario más probable (el que tiene mayor probabilidad de ocurrencia), escenario optimista (el más favorable para la empresa y escenario pesimista (el más desfavorable para la empresa).

Para que la construcción de un escenario sea útil en el análisis del entorno futuro, es preciso que reúna una serie de características:

1. Debe de ser suficientemente exhaustivo, es decir, debe de identificar y recoger las principales variables que definen el entorno a analizar.
2. Debe de ser tan probable como cualquier otro escenario exhaustivo basado en la misma serie de circunstancias.
3. Es importante asignar probabilidades *a priori* a las variables clave elegidas, intentando reflejar dichas probabilidades la posible distribución de frecuencias en la ocurrencia o no de las mismas.
4. Debe de ser consistente en sí mismo, es decir, no debe de incurrir en contradicciones.

La elaboración, análisis y comprensión de los escenarios debe de permitir a la dirección de la empresa analizar mejor la posible evolución del entorno. Ello debiera de conducir a una mejor definición de las estrategias empresariales, pudiendo elegir, incluso, diferentes estrategias para cada uno de los posibles escenarios que puedan presentarse. De esta forma, la empresa se prepara para dar una respuesta rápida y flexible a los posibles cambios del entorno.

## 6. RESULTADOS

El resumen global de los resultados de los dos trabajos de investigación realizados para la presente Tesis Doctoral será estructurado según las dos publicaciones realizadas.

### 6.1. Resultados para el caso Canarias

La meta del estudio en las Islas Canarias era de encontrar el mejor método de tratamiento de RSU.

El orden de importancia de las alternativas y el resultado lingüístico de la salida bajo la aplicación de fuzzy TOPSIS fueron:

- Alternativa A1: Reciclaje
- Alternativa A4: Vertedero
- Alternativa A2: Biometanización
- Alternativa A3: Incineración

Cabe señalar que la salida lingüística mide la importancia de cada alternativa después de haber completado la defuzzificación. Por ejemplo, en el caso de la alternativa A1 (reciclaje), el resultado de la defuzzificación es 0.7354 (ver Tabla 18), lo cual corresponde a una salida lingüística de la categoría “Muy Alto” (MA) aplicando las relaciones de los valores asociados a las etiquetas lingüísticas.

Tabla 18. Output de la defuzzificación con las cuatro alternativas más favorables.

Importance of alternatives $A_i$	Defuzzification output	Order	Linguistic output	Alternative
$I_{A1}$	0.7354	1 <sup>st</sup>	Very High	Recycling
$I_{A2}$	0.5562	3 <sup>rd</sup>	Medium–High	Biomethanisation
$I_{A3}$	0.4678	4 <sup>th</sup>	Low–Very Low	Incineration
$I_{A4}$	0.6136	2 <sup>nd</sup>	High	Landfill
$I_{VH}$	0.8402			
$I_L$	0.7130			
$I_M$	0.6312			
$I_{CH}$	0.5462			
$I_{VL}$	0.5348			

En resumen, el método fuzzy TOPSIS sirvió para encontrar la mejor alternativa de un problema de decisión multicriterio mediante la ponderación de cada criterio, la normalización de las puntuaciones para cada alternativa y la alternativa ideal, que tiene la puntuación más alta en cada criterio. Este método ayuda a reducir la vaguedad y la incertidumbre ya que la información para analizar es obtenida de manera cualitativa y cuantitativa.

Con respecto a las simulaciones bajo Dinámica de Sistemas y la Creación y el Análisis de Escenarios, los resultados simulados para el año 2030 (partiendo en el año 2014) para los tres principales tipos de residuos RSU recogidos selectivamente son (ver Figura 27):

- Vidrio: De 14,5 kg por persona recogidos selectivamente en 2014 a un nivel proyectado de 28,2 kg por persona en el 2030 bajo el escenario base normal (BAU, Sc1). El escenario UE, Sc2 aplica los objetivos de la UE y representa un carácter optimista lo cual potencia el reciclaje. Ahí vemos que en el año

horizonte de estudio (2030) las ratios de recogida selectiva de vidrio alcanzan los 51,2 kg por persona.

- **Papel/cartón:** Partiendo de ratios de recogida selectiva de 23,3 kg por persona en 2014, el escenario base proyectado (BAU, Sc1) no experimenta grandes variaciones, llegando a 28,5 kg de recogida selectiva por persona hacia el 2030. No obstante, en el escenario alternativo proyectado (Sc2, UE) y bajo los objetivos establecidos por la Unión Europea, la recogida selectiva de papel/cartón alcanza ratios de hasta 51,2 kg por persona en 2030, cumpliendo con su alto potencial de reciclaje.
- **Plástico:** El escenario normal proyectado (BAU, Sc1) disminuye la recogida selectiva del plástico de 17,4 kg por persona en 2014 a tan solo 14,0 kg por persona en 2030. Esta disminución en la recogida selectiva se debe a la desviación de residuos por parte de la población, a residuos mal depositados y al no cumplimiento de la normativa Europea. No obstante, en el escenario proyectado cumpliendo la normativa establecida por la UE (Sc2, UE) la recogida selectiva de plásticos alcanza ratios cercanos a 35,12 kg por persona en 2030.

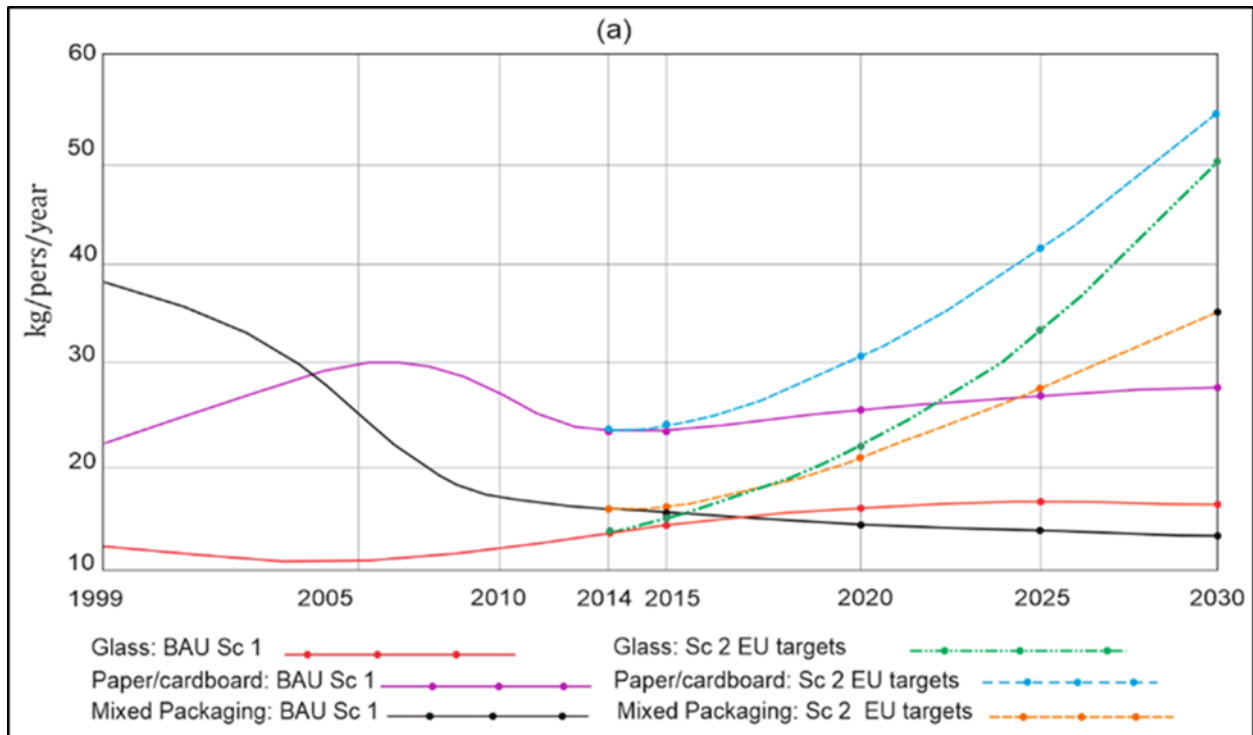


Figura 27. Vidrio, papel/cartón y plástico.

Para lograr estos objetivos, la incorporación de sistemas de devolución, depósito y retorno de envases y la separación de los RSU en el origen (recolección sistema puerta y puerta) son fundamentales, como se ha demostrado en la mayoría de los países desarrollados en temas de gestión de RSU.

La Figura 28 muestra el desarrollo de la generación de RSU orgánicos y fracción resto depositados en vertederos sin aplicar políticas de recogida y tratamiento. Siguiendo la tendencia actual, estos tipos de RSU seguirán incrementándose: En el caso de la fracción orgánica se pasarán de 700.000 toneladas por persona depositados en vertedero en 2014 a cerca de 800.000 toneladas por persona en 2030 (BAU, Sc1). Por el contrario, en el escenario proyectado alternativo (Sc2, UE) y bajo condiciones controladas y planes de estratégicas, esta fracción decrece a 120.000 toneladas por

persona depositado en vertederos en 2030. Por último, en relación a la fracción resto (725.000 toneladas por persona en 2014 depositadas en vertederos), el escenario base proyectado (BAU, Sc1) sin aplicar mejoras sigue una tendencia creciente alcanzando ratios de 780.000 toneladas por persona depositados a vertederos en 2030. Por lo contrario, asumiendo cambios y mejoras en un escenario proyectado (Sc2, UE) e incorporando los objetivos que persigue la UE en temas de reducción de los flujos de RSU enviados a vertederos, las ratios podrían reducirse hasta casi 100.000 toneladas por persona en 2030.

Para lograr estos objetivos, la separación de los RSU en el origen y la implementación de métodos de tratamiento biotecnológicos son fundamentales.

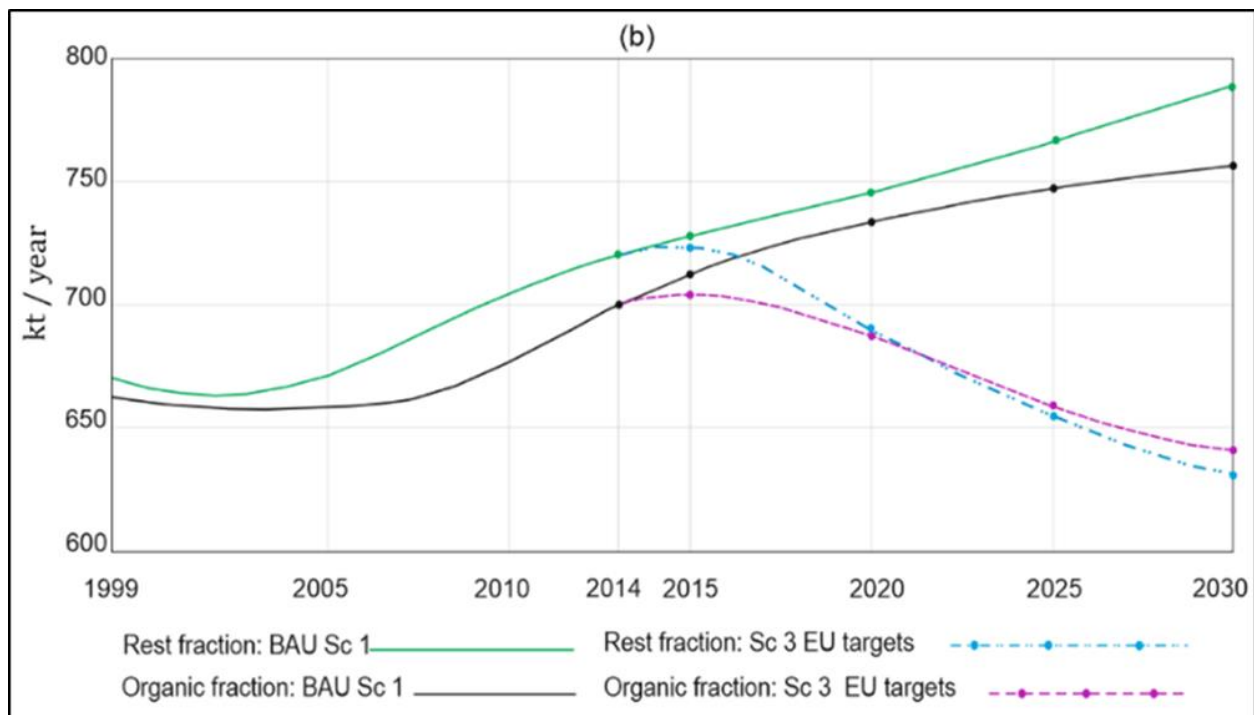


Figura 28. Fracción orgánica y fracción resto.

## 6.2. Resultados para el caso Baleares

La meta del estudio en las Islas Baleares era de simular las variables claves en la generación de RSU. Con respecto a las simulaciones bajo Dinámica de Sistemas y Modelización Econométrica Multivariante.

De acuerdo al resultado obtenido por el modelo econométrico multivariante, las tres principales variables que tienen mayor influencia en la generación de RSU son:

- Población turística ( $\beta_4$ ): Cada turista que visita las islas produce un incremento de 1,712 kg de RSU por día sobre el total de RSU generados al día.
- Nivel per cápita ( $\beta_2$ ): Un incremento de 1% del nivel per cápita produce un incremento del 1,312 kg de RSU por día.
- Población residente ( $\beta_1$ ): Un incremento de 1 habitante adicional sobre la población residente causa un incremento de 1,194 kg de RSU por día.

La Figura 29 muestra la ecuación final obtenida.

$$MSWg = (\beta_0 + \beta_1^*1.194 + \beta_2^*1.312 + \beta_4^*1.712 + \beta_9^* - 0.136 + \beta_{10}^*0.679 + \beta_{11}^*0.736) + \mu_i$$

Figura 29. Ecuación del modelo econométrico para Baleares

En cuanto a los resultados obtenidos bajo Dinámica de Sistemas y simulaciones hay que destacar lo siguiente (ver siguientes figuras):

En la Figura 30 se ve que la influencia de la población turística sobre la generación de RSU es mayor a la de la población residente. La simulación del escenario Sc 1.2 sugiere que los aumentos en la población turística conducirían a una mayor

generación de RSU partiendo de 105.000 tn en 2000 y llegando a las 805.000 tn en 2014 y alcanzando las 910.000 tn en 2030.

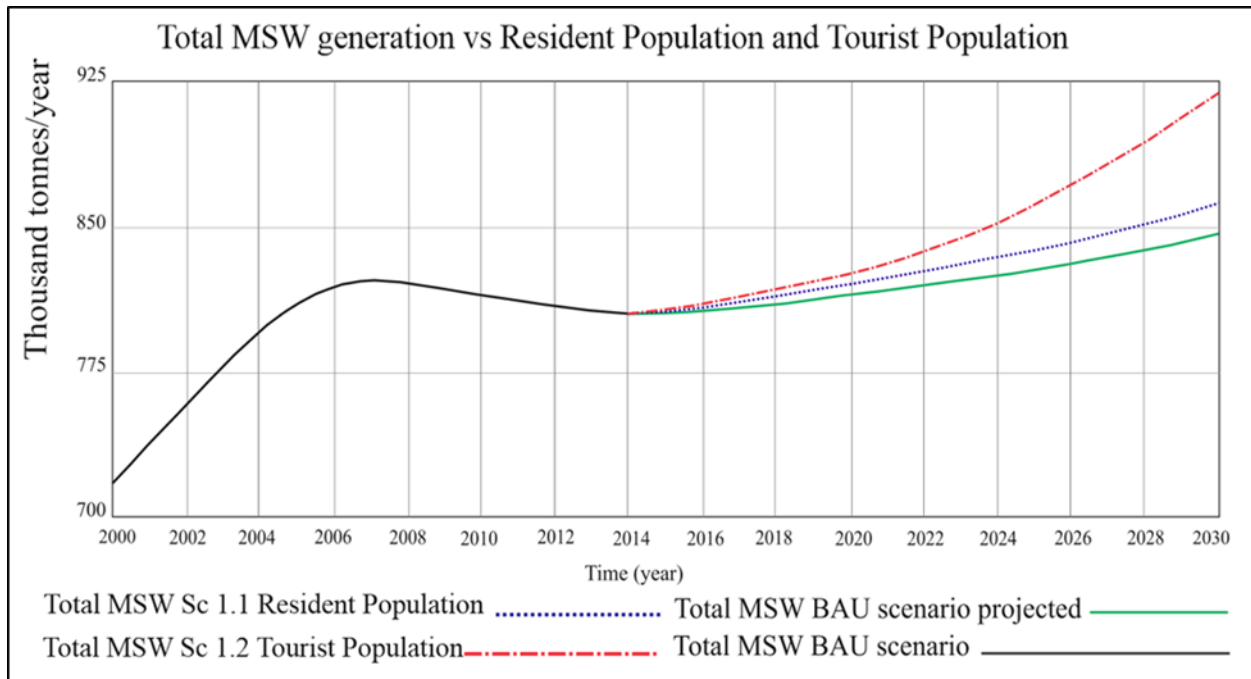


Figura 30: Generación de RSU población residente vs. población turística.

Además, la Figura 31 muestra un crecimiento constante de la población turística a lo largo del periodo de estudio, con una relación promedio de 2,5% por año, lo que provoca un aumento total de 37,5% en 2030 (Sc 1.2) en comparación con el 2014, equivalente a 5,5 millones más de turistas en 2030.

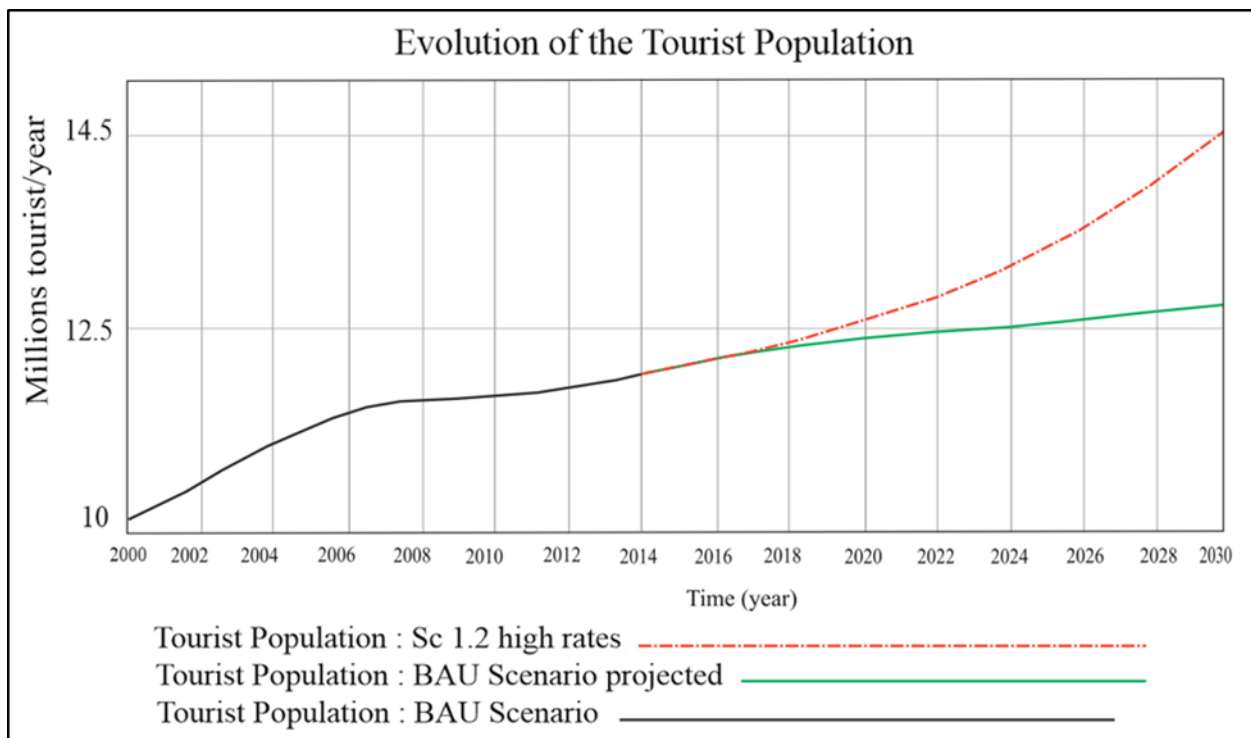


Figura 31: Evolución de la población turística.

La Figura 32 muestra que en un escenario proyectado (Sc 2.2) la generación de RSU es muy sensible a cambios en los niveles del PIB per cápita (proyección optimista) con una media de ratios de incremento de 1,47% por año hasta el 2030.

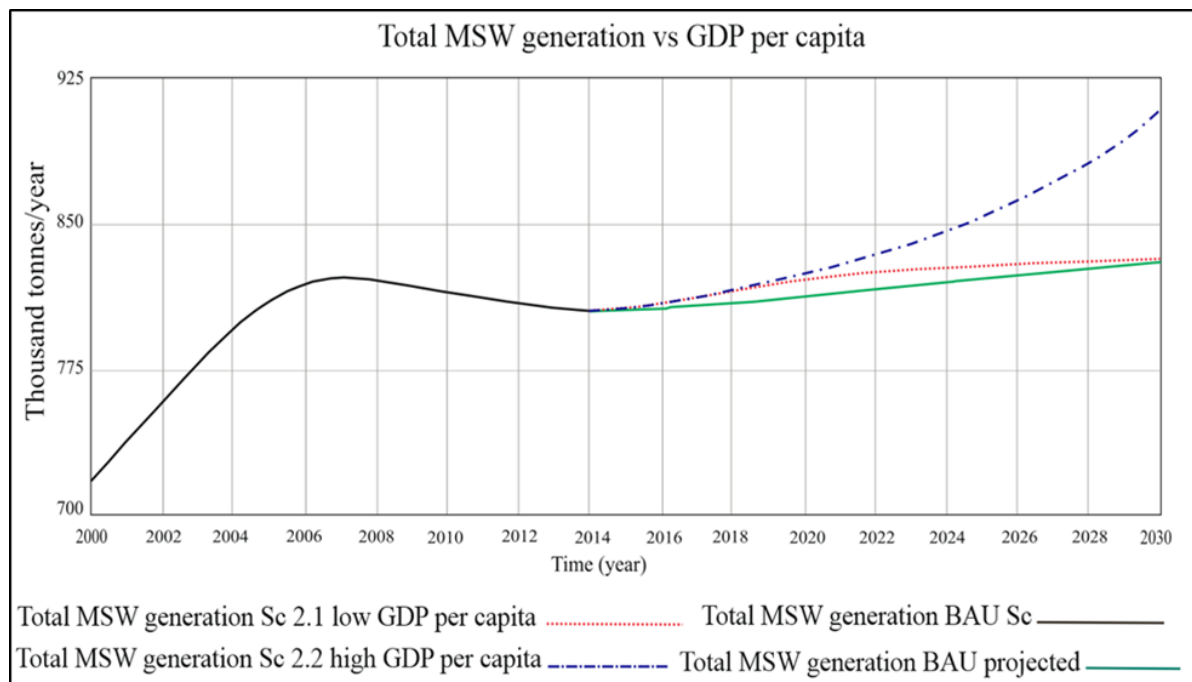


Figura 32. Generación total de RSU per capita

Por otro lado, la Figura 33 (bajo Sc 5.1 para un escenario optimista) muestra que los ratios de reciclaje e incineración continuarán creciendo, contribuyendo a disminuir en peso y volumen los RSU derivados a vertederos, esto considerando una media de incineración del 65% (15% más que los actuales ratios de incineración). Adicionalmente, en este caso optimista, la incineración de RSU estará cerca de cumplir con la capacidad máxima operativa de las dos plantas de incineración (732.000 tn/año) actualmente presentes en las Islas Baleares.

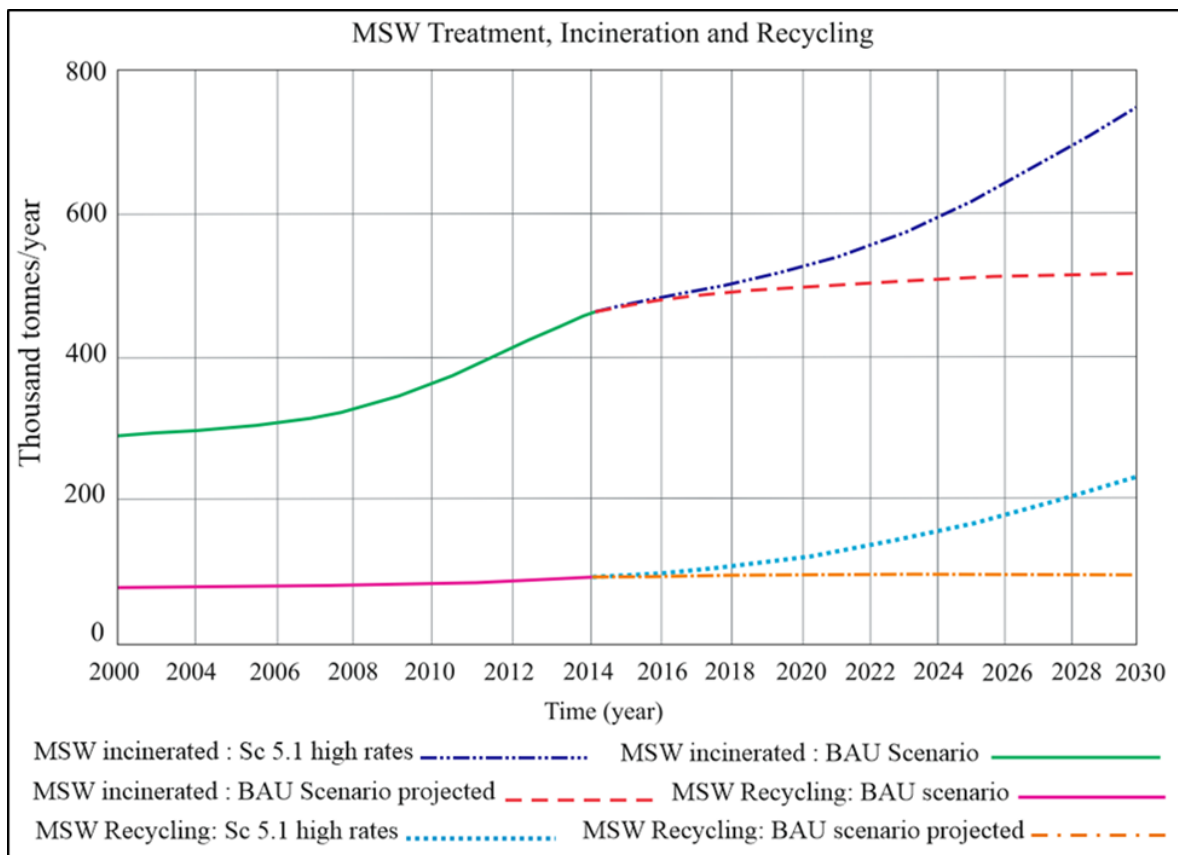


Figura 33. Tratamiento de RSU.

## 7. DISCUSIÓN

Una insuficiente gestión de los RSU podría poner en peligro la sostenibilidad ambiental de ambas áreas de estudio. Se debe promover la separación en el origen y una fuerte recolección selectiva de residuos para aumentar las tasas de reciclaje y compostaje a largo plazo. Entonces, la pregunta que debe hacerse es: ¿por qué en estas áreas insulares aún no han aplicado rigurosamente las estrategias de gestión y los métodos de tratamiento adecuado de los residuos que son evidentes en cuanto a beneficio ambiental y social, y que ya son muy eficaces en muchos otros países de la UE?

Los altos niveles de generación de RSU en estos casos, son consecuencia de hábitos de consumo insostenibles. Como el mercado interno es limitado, muchos productos tienen que importarse, y esto genera una cierta cantidad de residuos, especialmente material de embalaje. En este momento, la mayor parte de estos residuos se envían a vertederos. El relleno sanitario, sin embargo, es una de las opciones menos recomendables desde el punto de vista ambiental, ya que contribuye a la contaminación del agua, el suelo y el aire. El gobierno ha intentado introducir métodos y políticas sociales más favorables, como la biotecnología (Estay y Harsch, 2015), pero debido al rechazo social y los grupos activistas ambientales, estos métodos (biometanización y otros) están muy lejos de ser implementado. Esto confirma los hallazgos de Triguero et al. (2016) sobre los factores que influyen en la disposición de las personas a aceptar diferentes políticas públicas de RSU.

Es urgente reducir la cantidad de RSU derivados a los vertederos y cambiar a un

sistema basado en el reciclaje como la primera opción a largo plazo. El gobierno regional (caso Baleares y Canarias) ha tratado de definir nuevos objetivos y estrategias de gestión de RSU, como la incorporación de un sistema de recolección puerta a puerta e intentar masificar este método. Esto implicaría altos costes al principio, pero a largo plazo, generaría muchos beneficios. Para que la recolección puerta a puerta funcione correctamente, las personas deben estar motivadas para realizar la separación interna de RSU. Esta es la razón por la cual la educación ambiental y la participación ciudadana activa son factores clave para una gestión eficiente de los RSU por ejemplo, Andraca y Sampedro (2010) destacaron la importancia de la educación ambiental para reducir la generación de RSU y De Feo y De Gizi (2010)) identificaron la participación ciudadana activa como un factor clave en la gestión de RSU. Con respecto, a la recolección selectiva de plásticos y envases mixtos está mucho menos desarrollado que la recolección de vidrio y papel / cartón. Cabe señalar que países como Alemania, los Países Bajos y Dinamarca (Lavee, 2010) han demostrado que la recolección selectiva ayuda a reducir la cantidad de residuos mal depositados o fracción resto.

Si bien es cierto, la generación de residuos orgánicos representa aproximadamente el 40% del peso total de los RSU generados teniendo un alto potencial de fertilización para la agricultura. Freire et al. (2008) estimaron que cada 100 kg de desechos orgánicos tratados podrían producir 30 kg de suelo fértil. En cuanto a la fracción resto, se estima que alrededor del 35% de esta cantidad podría ser reciclada. Esto aumentaría las tasas de reciclaje y reduciría el flujo de residuos mixtos enviados a los rellenos sanitarios. En términos de esto, las Islas Canarias están actualmente muy

lejos de los valores de referencia del PNIR (2008-2015), que proponen que un máximo del 15% de los RSU generados deben ir a vertederos. Seng et al., 2013 estudiaron la adopción e integración de tecnologías de tratamiento de desechos orgánicos como el reciclaje, el biogás y el compostaje. Además, la separación efectiva en el origen ayuda a lograr beneficios económicos y ambientales. Blanch (2010) analizó la aplicación de la biotecnología para mejorar la gestión ambiental.

Es necesario cambiar el modelo de tratamiento actual priorizando la separación de los residuos en el origen, pero una estrategia de tratamiento de residuos eficiente debe ser rentable y minimizar los posibles impactos en diversas partes interesadas y el medio ambiente (Soltani et al., 2015).

Estos resultados son consistentes con la información obtenida de los expertos en gestión de RSU entrevistados para este estudio, así como con los datos extraídos de la Directiva de la UE; PNIR y Marco de Gestión de Residuos del Plan Nacional de España (2016-2022).

Si bien es cierto que los programas de gestión social, políticos y económicos son el fundamento básico como primer paso para iniciar una gestión de RSU más eficaz y sostenible, la base de partida para una gestión eficiente de los residuos y principalmente de los componentes que integran la recogida selectiva como papel, cartón, vidrio y envases, es el primer paso para iniciar una gestión más eficaz, menos inestable y más sostenible que la actual.

Como punto de discusión, que sucedería al implantar un programa óptimo de gestión de RSU aplicando diferentes tipos de estrategias? Pues bien, la respuesta a esto es concisa; Aumentarían las tasas de recogida selectiva de residuos, del material

orgánico. Esto privilegiaría y potenciará el reciclaje y la valorización de los residuos, y provocaría una disminución de los residuos enviados a vertederos o incinerados, además los patrones de consumo cambiarían de sentido y dirección y se disminuiría la aceleración de RSU generados por habitantes.

Las propuestas para mejorar el modelo actual de gestión de RSU son muchas, partiendo desde la aplicabilidad de políticas ambientales fuertes hasta la promoción de estrategias educativas. Sin embargo también existen alternativas empíricamente demostradas que mejorarían la gestión de los RSU, como la implantación de sistemas de devolución y retorno de envases y el modelo de recogida puerta a puerta (SDRE; Este sistema por ejemplo, en países que lo han adoptado alcanza tasas de recuperación en torno al 75% en Suecia y 98,5% en Alemania, han traído muchos beneficios en países desarrollados desde una perspectiva económica, principalmente asociados al reciclaje). Estos argumentos justifican la necesidad de implementar tecnologías para la disposición adecuada de los RSU y la transformación cultural de nuestra sociedad de consumo.

El mercado local de las islas es limitado y su economía depende del sector turístico y de servicios. Así, las fluctuaciones en la población turística y en el nivel de ingresos determinan los patrones de consumo en una región que tiene uno de los PIB per cápita más altos de España.

En cuanto al tratamiento de los RSU, actualmente en el caso de Baleares, la incineración se prioriza antes que otros métodos. Esto ha provocado un déficit de 23 millones de euros entre el costo y los impuestos pagados por los ciudadanos en los últimos años. Por lo tanto, las autoridades han comenzado a importar residuos de

otros países para explotar la capacidad operativa máxima de las dos instalaciones de incineración, lo cual ha provocado varias controversias.

En lo que respecta a la recolección selectiva, especialmente la recolección de la fracción orgánica de RSU conduciría a una minimización considerable de los RSU depositados en vertederos. El potencial resultante del tratamiento de este tipo de RSU es que cada 100 kg de desechos orgánicos adecuadamente tratados conduce a 30 kg de compost, lo que es consistente con los resultados de Freire et al. (2008) sobre la valorización de residuos orgánicos. Es necesario aumentar el reciclaje, la reutilización y la recuperación de energía para reducir la cantidad de RSU enviados a los vertederos. Para lograr esto, es imperativo aumentar los índices de recolección selectiva y no selectiva, y promover el reciclaje en los hogares, como lo describe De Feo et al. (2010) y Andraca et al. (2010).

Las dos zonas estudiadas necesitan implementar nuevos modelos de gestión sostenible para frenar y controlar la alta generación de RSU de su principal sector industrial en el contexto de una economía circular más eficiente, como se puede ver en Ilić et al. (2016).

Tanto el sector público como el privado deberían invertir más en el despliegue de un sistema de gestión de RSU sostenible mediante la implementación de proyectos como el fomento público de la recolección selectiva en términos de residuos orgánicos y de fracción restante, la puesta en marcha de plantas de biometanización a pesar de la controversia pública u otras medidas alternativas, además, esto ayudaría a frenar el calentamiento global porque las emisiones de metano (el metano es un gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento global 25 veces mayor que el dióxido

de carbono) que se escapa de los vertederos se reduciría (Hoornweg y Bhaza-Tata, 2012).

Es importante señalar que, como la industria turística es la principal fuente de ingresos para ambos casos de estudio (El turismo representa aproximadamente el 45.8% de El PIB nacional y el 32% del empleo directo, IBESTAT 2014), las políticas deben centrarse además de la generación de RSU también del sector turístico y su gestión. Podemos concluir que un plan de gestión de RSU viable, debe apuntar al aprovechamiento de los beneficios sociales y económicos vinculados principalmente a los asociados al reciclaje. Pero el problema no termina ahí, el alto aumento de gases de efecto invernadero, las millones de emisiones emitidas al aire, junto al problema de contaminación de suelos y las enfermedades propias generadas por la acumulación de basuras, y métodos de tratamientos inadecuados como la incineración hacen que se cuestione el futuro ecológico y ambiental de la isla.

## 8. CONCLUSIONES

De acuerdo al objetivo principal propuesto en este proyecto de Tesis Doctoral, se han expuesto resumidamente los resultados generales obtenidos en ambos casos de estudio (Islas Canarias e Islas Baleares), los cuales se alinean a la problemática de optimizar la gestión de los RSU. Para alcanzar los resultados, la investigación debió desarrollarse tanto desde la perspectiva teórica como práctica.

Como no existen investigaciones que involucren metodologías parecidas aplicadas a la gestión de RSU en zonas insulares, esta investigación presentó un procedimiento matemático y explicativo sobre la problemática, tanto como criterios que deben ser considerados para ser estudiados y parametrizados.

Como la gestión de RSU un tema bastante complejo y son muchas las variables que interactúan, la combinación de metodologías como Modelos Econométricos, Fuzzy TOPSIS y Dinámica de Sistemas son una efectiva herramienta que proporcionó resultados matemáticamente mas robustos y consistentes para facilitar el proceso de toma de decisiones.

Se ha comprobado que factores como la estacionalidad provocan que la presión humana que ejerce el turismo en ciertas épocas del año aumenta el índice de generación de RSU en cuanto a cantidad y composición (Karak T, 2012; Pichtel, 2014). Al mismo tiempo se saturan los contenedores en las calles y los vertederos, y como consecuencia aparecen cada vez más sitios no autorizados de evacuación de RSU. Esto requiere un cambio de dimensión de la infraestructura e instalaciones y que sean tecnológicamente adecuadas para la gestión de RSU en las zonas insulares

estudiadas.

Las previsiones esperadas del escenario de tendencia de los RSU hasta el 2030 muestran una situación cada vez más difícil de controlar el tema, debido a las bajas tasas de separación, incineración, reciclaje y valorización de los RSU en las zonas de estudio, especialmente debido a una recolección insuficiente de la fracción orgánica. Por ello, la incorporación de la recogida selectiva de la fracción resto es fundamental para ambas zonas ya que esta llega a representar entre un 35% a 40% del volumen total de RSU generados, y con ello se frena la saturación de vertederos. El método actual de incineración debe ser priorizado antes del vertido. La combinación óptima de incineración y reciclaje es el primer paso hacia los procesos de "cero residuos", que minimizan la cantidad de RSU enviados a vertederos.

Otro punto importante es que como todas las islas tienen mercados domésticos relativamente pequeños, ambas zonas de estudio tienen una gran necesidad de importar productos, lo que implica una gran cantidad de material de embalaje y RSU relacionados.

Las Islas Baleares y Canarias deberían implementar nuevos modelos de gestión sostenible para frenar y controlar la alta generación de RSU de su principal sector industrial en el contexto de una economía circular más eficiente (Ilić et al., 2016).

Los modelos econométricos encontraron tres fuerzas impulsoras principales que incrementaron la cantidad de MW generados a lo largo del período estudiado. Son: la población turística, la población residente y el PIB per cápita. Por el contrario, el nivel educativo contribuyó a reducirlo. En ambos archipiélagos, el factor más influyente fue la población turística. Sin embargo, en Canarias, la influencia del PIB

per cápita es más significativa que en Baleares, mientras que en Baleares la población residente tiene más impacto que el nivel de renta. Además, la pequeña influencia negativa del nivel educativo es mayor en Canarias que en Baleares.

La fuerza impulsora más potente para el continuo aumento de la generación de MW en ambas islas es la población turística. El análisis de la evolución de los datos de MW en las dos últimas décadas refleja mejoras insuficientes. En ambos archipiélagos, los actuales sistemas de gestión de RSU siguen siendo ineficientes.

Las tasas actuales de recogida selectiva y reciclaje son escasas. Deben adoptarse políticas que prioricen tanto la minimización como el reciclaje o la recuperación de energía sobre los derrames. Sus gobiernos regionales tienen que aumentar enormemente las bajas tasas actuales de reciclaje y reutilización, implementar una recolección selectiva orgánica más amplia y frenar la alta generación de MW per cápita de su industria turística en el contexto de una economía circular más eficiente. Deben promover proyectos de reciclaje y reutilización, reducción significativa en la fuente y desarrollar una recolección de fracción orgánica estandarizada como parte de la recolección selectiva. La implementación no generalizada de la recolección selectiva de fracciones orgánicas aumentará la dependencia de los vertederos. Sin embargo, la reducción del vertido es posible ya que otros países de la UE, como Alemania y Dinamarca, han logrado una tasa de vertido del 1% de sus RSU (EUROSTAT, 2019).

Otras conclusiones son:

- Se debe renunciar a la dependencia de los vertederos en Canarias, y se debe optar por un mejor tratamiento como primer paso para mejorar la gestión de

residuos, y no se deben importar residuos externos a las Islas Baleares para su incineración.

- Dado que la gestión de RSU es un tema complejo y muchas variables interactúan, la combinación de metodologías como modelos econométricos y SD es una herramienta útil que brindó predicciones más robustas para facilitar el proceso de toma de decisiones.
- Es necesaria más investigación para determinar medidas adicionales para mejorar la circularidad, que deben adaptarse a las características de cada archipiélago.

Ambos territorios están actualmente muy lejos del camino correcto para cumplir los objetivos de la UE, especialmente en lo que respecta a la tasa de reciclaje y la recogida selectiva de fracciones orgánicas. Para lograr el cumplimiento, su mejora es fundamental. Si se siguen las estrategias actuales en los escenarios proyectados, será complicado para ambos territorios cumplir con los objetivos de RSU de la UE. Estos archipiélagos deben implementar servicios de RSU financieramente sostenibles, cuyas tarifas de generación o impuestos cubran el costo real de brindar esos servicios. La protección de nuestro medio ambiente es uno de los retos más importantes al que la humanidad ya ha comenzado a hacer frente, debiendo existir un firme compromiso de la sociedad encaminado a la protección de nuestro entorno. Este compromiso, debe basarse en el convencimiento de que la única vía para tratar los problemas medioambientales es mediante soluciones a escala mundial y mediante un desarrollo, conocido como Desarrollo sostenible, donde se consideren no sólo los aspectos económicos, sino también los sociales y ambientales.

Los esfuerzos actuales intentan contrarrestar el efecto negativo causado al medio ambiente mediante la promoción del uso de tecnologías limpias y respetuosas en los procesos de producción, alentando a consumir productos ecológicos, estimulando el ahorro de energía y agua, y promoviendo el reciclado de desechos, entre otros.

## 9. PRODUCTOS DE LA TESIS

### PUBLICACIONES ISI

- C. Estay-Ossandón., A. Mena-Nieto., N. Harsch. Using a Fuzzy TOPSIS-based scenario analysis to improve municipal solid waste planning and forecasting: A case study of Canary Archipelago. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 176, 1198 - 1212 (Revista Q1 Elsevier)
- C. Estay-Ossandón., A. Mena-Nieto. Modelling the driving forces of the municipal solid waste generation in touristic Islands. A case study of the Balearic Islands (2000-2030) *Revista: Waste Management* 75, February 2018 (Revista Q1, Elsevier).

### CAPITULO LIBRO

C. Estay-Ossandón, A. Mena-Nieto, N. Harsch, M. Bahamonde. Analysis of the key variables that affect the generation of municipal solid waste in the Balearics Islands (2000-2014). Editorial Springer.

### CONGRESOS

C. Estay-Ossandón, A. Mena-Nieto, N. Harsch, M. Bahamonde. Análisis de las variables claves que afectan la generación de residuos municipales en las Islas Baleares (2000-2014). XXI Congreso Internacional de Dirección e Ingeniería de Proyectos. Universidad de Cadiz, España.

## PRODUCTOS DE LA TESIS

Los trabajos científicos, que forman parte del apartado “Productos de la tesis”, han sido retirados de la tesis debido a restricciones relativas a derechos de autor. En sustitución de dichos trabajos ofrecemos la siguiente información: referencia bibliográfica, enlace a la revista y resumen.

- Estay-Ossandon, C., Mena-Nieto, A., & Harsch, N. (2018). Using a fuzzy TOPSIS-based scenario analysis to improve municipal solid waste planning and forecasting: A case study of Canary archipelago (1999–2030). *Journal of Cleaner Production*, 176, 1198–1212. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.324>

Enlace al texto completo del artículo: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.324>

### RESUMEN:

In this paper the Canary archipelago is used as a study case to analyse and improve the municipal solid waste (MSW) planning process. The research has been conducted in four steps, namely, the Delphi technique helped to capture the knowledge of the local experts, the fuzzy TOPSIS to rank the MSW treatment methods more consistently, the System Dynamics to design a mathematical model based on MSW official historical data from 1999 up to 2014, and Scenario Analysis to forecast the future evolution of the MSW until 2030 under different policies. According to the results obtained by simulating several possible and desirable scenarios, the model predicts that by maintaining the current policies (Business As Usual scenario), it will be impossible to meet the targets of the MSW European Directive. The model also estimates the annual ratios to be reached for each component of the MSW so that they can comply with the European Directive, e.g. regarding to recycling (Scenario 2) and organic and rest fraction collection (Scenario 3) and the influences of the resident population and the equivalent touristic population on the total MSW generation until 2030. This methodological approach could be replicated in other territories.

- Estay-Ossandon, C., & Mena-Nieto, A. (2018). Modelling the driving forces of the municipal solid waste generation in touristic islands. A case study of the Balearic Islands (2000–2030). *Waste Management*, 75, 70–81.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.12.029>

Enlace al texto completo del artículo: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.12.029>

**RESUMEN:**

The improvement of municipal solid waste (MSW) management in touristic islands has not been sufficiently studied, and by using the Spanish Balearics as a case study, a hybrid methodology has been developed which: (i) identifies the three most influential variables (driving forces) of the MSW generation system through an econometric model based on official historical data for a given period (2000–2014), (ii) develops a System Dynamics (SD) model of the evolution of MSW generation in this archipelago based on the same data and time period, and (iii) forecasts the performance of the MSW management system for a future period (2015–2030). Six different scenarios are considered with varying assumptions, objectives and management policies, while applying Scenario Analysis to the SD model developed.

The results show that by maintaining the current policies (“business as usual” BAU scenario) it will be impossible to meet the goals set by the Regional and the Spanish National Plans based on the European MSW Directive. However, by implementing the improvements proposed in the simulated alternative scenarios, the model predicts that by 2030, generation of MSW will have increased by 15% compared to 2014, mainly due to the effect of the Tourist Population which is 37.5% higher than the Resident Population. In addition, for the most optimistic scenario, the amount of MSW sent to landfills would decrease by 40%, and selective collection would increase by 30%, compared to 2014.

- Estay-Ossandón C., Mena-Nieto A., Harsch N., Bahamonde-Garcia M. (2021). Analysis of the Key Variables That Affect the Generation of Municipal Solid Waste in the Balearics Islands (2000–2014). In: Ayuso Muñoz J.L., Yagüe Blanco J.L., Capuz Rizo S.F. (eds) *Project Management and Engineering Research. Lecture Notes in Management and Industrial Engineering*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-54410-2\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-030-54410-2_25)

Enlace al texto complete de la tesis: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-54410-2\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-030-54410-2_25)

**RESUMEN:**

An econometric model based on official data from the Balearic Regional Government is presented. The main objective is to determine, through a multivariate regression analysis, the most significant variables that directly affect the generation of municipal solid waste (MSW) in the study area. A set of environmental and socioeconomic data has been obtained for the period 2000 to 2014, and panel data have been selected to generate and develop the model. Furthermore, the previous scientific literature on MSW management and generation, as well as econometric models, on MSW management are analyzed. As a result, six key variables that have a significant influence on the generation of municipal waste in the Balearic archipelago have been identified. Of these, five have a direct influence, with the resident population and the tourist population having the greatest influence, while the level of education has an inverse influence. The obtained linear model does not present autocorrelation or heteroscedasticity although a slight multicollinearity is omitted since the model's explanatory capacity reaches 99.8%. Finally, the conclusions obtained are presented and the coefficients associated with the model are interpreted.

## **9. 1 Publicación**

### **ISI Journal of Cleaner Production**

## **9.2 Publicación**

### **ISI Waste Management**

### **9.3 Capítulo libro**

**Springer Nature**

## 9.4 Idoneidad Tesis

Se establece la idoneidad de presentación de la misma como compendio de publicaciones atendiendo a las siguientes razones.

### 1. Artículo en revista

Estay-Ossandon, C., Mena-Nieto, A., & Harsch, N. (2018). Using a fuzzy TOPSIS-based scenario analysis to improve municipal solid waste planning and forecasting: A case study of Canary archipelago (1999–2030). *Journal of Cleaner Production*, 176, 1198–1212. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.324>

*Indicios de Calidad*: Factor de impacto 6.395 (JCR-SCIE 2018) y 7.051 (5 años).

En el JCR Science Edition está en tres categorías científicas (todas Q1).

Posición: 8 de 52 en la categoría ENGINEERING, ENVIRONMENTAL- SCIE, Percentil 85.577.

Posición: 18 de 251 en la categoría ENVIRONMENTAL SCIENCES- SCIE. Percentil: 93.028.

Posición: 6 de 35 en la categoría Green & Sustainable Science & Technology - SCIE. Percentil: 84.286

CiteScore (2018) es de 8.7. Aparece en 2 categorías:

Engineering: Industrial and Manufacturing Engineering. #13/335. Percentil 96th

Environmental Science: General Environmental Science. #8/200. Percentil 96th

Citas: 19 en Web Of Science, 21 en Scopus y 30 en Google Scholar.

### 2. Artículo en revista

Estay-Ossandon, C., & Mena-Nieto, A. (2018). Modelling the driving forces of the

municipal solid waste generation in touristic islands. A case study of the Balearic Islands (2000–2030). *Waste Management*, 75, 70–81.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.12.029>

*Indicios de Calidad*: Factor de impacto 5.431 (JCR-SCIE 2018) y 5.993 (5 años).

En el JCR Science Edition está en dos categorías científicas (Las dos Q1).

- Posición: 9 de 52 en la categoría ENGINEERING, ENVIRONMENTAL - SCIE, Percentil 83.654.
- Posición: 31 de 251 en la categoría ENVIRONMENTAL SCIENCES-- SCIE. Percentil: 87.849

CiteScore (2018) es de 8.2 en la categoría Environmental Science: Waste Management and Disposal. #8/95 (percentil 92)

Citas: 9 en Web Of Science, 10 en Scopus y 15 en Google Scholar

### **3. Capítulo de libro:**

Estay-Ossandón C., Mena-Nieto A., Harsch N., Bahamonde-Garcia M. (2021). Analysis of the Key Variables That Affect the Generation of Municipal Solid Waste in the Balearics Islands (2000–2014). In: Ayuso Muñoz J.L., Yagüe Blanco J.L., Capuz-Rizo S.F. (eds) Project Management and Engineering Research. Lecture Notes in Management and Industrial Engineering. Springer, Cham.

[https://doi.org/10.1007/978-3-030-54410-2\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-030-54410-2_25)

El manuscrito fue seleccionado para publicación por la prestigiosa editorial Springer Nature (editorial n° 1 entre los 25 editoriales científicas más grandes según el servicio alemán de medios online ‘Kress’), en un numero especial de Lecture Notes in Management and Industrial Engineering. Part IV: Environmental Engineering and

Management of Natural Resources. El libro completo recoge los 38 mejores trabajos presentados al Congreso Internacional de Gestión e Ingeniería de Proyectos de entre los más de 350 trabajos presentados en esos dos Congresos. Actualmente no hay citas debido a que ha sido recientemente publicado.

## **10. FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN**

Como futura línea de investigación, sería buscar la relación existente entre el GDP per cápita y la generación de residuos bajo el enfoque de la curva ambiental de Kuznet, para ambas zonas de estudio u otro lugar.

Otro punto importante a estudiar sería el diagnóstico de las barreras a la economía circular y como ellas afectan a la generación de RSU. Las barreras principales son:

- Falta de apoyo y de estímulos por parte de los gobiernos a través de la posibilidad de financiación, la formación, políticas de impuestos efectivas, etc.
- Falta de conciencia ambiental en proveedores y clientes.
- Coste elevado de nuevos modelos de gestión y de negocios “verdes”
- Falta de competencias, conocimientos y habilidades técnicas para construir infraestructuras

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abarca, L., Maas, G., Hogland, W., 2012. Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management*, v 33 220-232.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.008>
2. Afroz, R., Tudin, R., Hanaki, K., Masud, M., 2011. Selected socio-economic factors affecting the willingness to minimize solid waste in Dhaka city, Bangladesh. *Journal of Environmental Planning and Management* 54 (6): 711-731.
3. Ali, M., Falahnezhad, M., Behboudian, S., 2011. Multivariate Econometric Approach for Solid Waste Generation Modeling: A Case Study of Mashhad, Iran. *Environmental Engineering Science*. 1-7, doi: 10.1089/ees.2010.0234.
4. Andraca, C. & Sampedro, M. L. (2010). Environmental education program in order to emphasize the attitude towards the handling of urban solid waste of adolescents from high school (in Spanish). *Revista Iberoamericana de Educacion* 56 (3).
5. Arbulú, I., Lozano, J., & Rey-Maqueira, J. (2017). The challenges of tourism to waste-to-energy public-private partnerships. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 916-921. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.036>
6. Arbulú, I., Lozano, J., Rey-Maqueira, J. (2016) The challenges of municipal solid waste management systems provided by public-private partnerships in mature tourist destinations: The case of Mallorca (2016) *Waste Management*, 51, 252-258. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.007>

7. Arbulu, I., Lozano, J., Rey-Maqueira, J. (2017a). Waste Generation Flows and Tourism Growth: A STIRPAT Model for Mallorca. *Journal of Industrial Ecology*, 21 (2), 272-281. <https://doi.org/10.1111/jiec.12420>
8. Arena, U., Di Gregorio, F., 2014. A waste management planning based on substance flow analysis. *Resour. Conserv. Recycl.* 85, 54–66. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2013.05.008>
9. Arıkan, E., Tuğçe Şimşit-Kalender, Z., Vayvay, Ö. 2015. Solid waste disposal methodology selection using multi-criteria decision-making methods and an application in Turkey, *Journal of Cleaner Production* (In press), <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.054>.
10. Barr, s , Ford, N.J., Gilg, A.W., (2010). Waste in Exeter, Devon: quantitative and qualitative approaches attitudes towards recycling household waste in exeter. *Local Environ* 8, 37-41. <doi.org/10.1080/1354983032000118561>
11. Barrena, R., Font, X., Gabarrell, X., Sanchez, A., (2014). Home composting versus industrial composting: influence of composting system on compost quality with focus on compost stability. *Waste mang* 34, 1109-1116. <doi.org/10.1016/j.wasman.2014.02.008>
12. Beigl, P., Lebersorger, S., Salhofer S., 2008. Modelling municipal solid waste generation: a review. *Waste Management* 28(1): 200-214.
13. Blanch, A., 2010. Environmental biotechnological application in orden to improve the environment (in Spanish). *Nota d´economia* 97-98. 3º quarter. University of Barcelona.
14. Brunner, P.H., Rechberger, H., 2015. Waste to energy – key element for

- sustainable waste management. *Waste Manag.* 37, 3–12.  
<https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2014.02.003>
15. Cambridge Econometrics, Trinomics, and ICF, 2018. Impacts of circular economy policies on the labour market. Final report and Annexes. European Commission.
16. Camilleri-Fenech, M.; Oliver-Solà, J.; Farreny, R.; Gabarrel, X., 2018. Where do islands put their waste? A material flow and carbon footprint analysis of municipal waste management in the Maltese Islands. *J. Clean. Prod.*, 195, 1609-1619. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.057>
17. Chen M.C., Ruijs A., Wesseler, J., 2005. Solid waste management on Small Islands: The case of Green Island, Taiwan. *Resources, Conservation and Recycling* 45(1), 31–47. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2004.12.005>
18. Chertow, M.R., Eckelman, M.J., 2009. Using material flow analysis to illuminate long-term waste management solutions in Oahu, Hawaii. *J. Ind. Ecol.* 13, 758–774. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2009.00159.x>
19. COM, 2015, 614 final. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy. Brussels, 2.12.2015
20. COM, 2019 640 final. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. The European Green Deal. Brussels, 11.12.2019.

21. COM, 2020 98 final. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe. Brussels, 11.3.2020.
22. Colomer, F.J., Gallardo, A., 2007. Tratamiento y gestión de residuos sólidos. Editorial Universidad Politecnica de Valencia, Valencia, España.
23. Couth, R., Trois, C.,(2010). Carbon Emissions reduction strategies in Africa from improved waste management: a review: Waste Manag 30, 2336-2346. doi.org/10.1016/j.wasman.2010.04.013
24. Chen, Y.T., yang, F.C, Yu, S.-H., (2018). The Diffusion Effect of MSW Recycling. Sustainability 10, 40.
25. Chia-Chien, H., Sandford, B., 2007. The Delphi technique: making sense of consensus. Practical Assessment, Research & Evaluation, electronic journal. 12: 10.
26. Chía, M. I. (2008). Externalidades: más que un problema de derechos de propiedad. Universidad Santo Tomas, Colombia.
27. Dahlo, H., Poliakova, V., Mylläri, V., Sahimaa, O., Anderson, R., (2018). Recycling potential of post-consumer plastic packaging waste in Finland. Waste Manag 71, 52-61. doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.033
28. De Feo, G., De Gizi, S., 2010. Public opinion and awareness towards MSW and separate collection programmer: a sociological procedure for selecting areas and citizens with a low level of knowledge. Waste Management 30 (6): 958-976.

29. Diaz-Farina, E., Díaz-Hernández, J.J., Padrón-Fumero, N., 2020. The contribution of tourism to municipal solid waste generation: A mixed demand-supply approach on the island of Tenerife. *Waste Manag.* 102, 587–597. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.023>
30. Dong, R., Chen, X., Ding, Z., Guo, H., Li, X., Lian, X., Zhao, X., 2019. Study on the Solid waste Properties and Disposal Methods of island at Home and Abroad. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 252 (4). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/252/4/042028>
31. Eckelman, M. J., Ashton, W., Arakaki, Y., Hanaki, K., Nagashima, S., Malone-Lee, L. C. (2014). Island Waste Management Systems. Statistics, Challenges, and Opportunities for Applied Industrial Ecology. *Journal of Industrial Ecology*, 18(2), 306–317. <https://doi.org/10.1111/jiec.12113>
32. Elgie, A.R., Singh, S.J., Telesford, J.N. (2021). You can't manage what you can't measure: The potential for circularity in Grenada's waste management system. *Resour. Conserv. Recycl.* 164, (105170). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105170>
33. Ellen Macarthur Foundation, 2020. The EU's Circular Economy Action Plan. Setting the world's largest single market on a transition towards a circular economy. Retrieved on April 21, 2020 from: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/case-studies/the-eus-circular-economy-action-plan>
34. Estay-Ossandon, C., & Mena-Nieto, A. (2018). Modelling the driving forces of the municipal solid waste generation in touristic islands. A case study of the

- Balearic islands (2000–2030). *Waste Management*, 75, 70–81.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.12.029>
35. Estay-Ossandon, C., Mena-Nieto, A., Harsch, N., 2018. Using a fuzzy TOPSIS-based scenario analysis to improve municipal solid waste planning and forecasting: A case study of Canary archipelago (1999–2030). *J. Clean. Prod.* 176, 1198–1212. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.324>
36. European Commission, 2017. The role of waste-to-energy in the circular economy (Documento COM(2017) 34 final). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Brussels, 26.1.2017.
37. EU, 2018a. Directive 851 of the European parliament and of the council of 30 may 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste.
38. EU, 2018b. Directive 852 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste.
39. EU, 2018c. E.U. Directive 850 of the European parliament and of the council of 30 may 2018 amending Directive 1999/31/EC on the landfill of waste.
40. European Green Deal, 2019. Striving to be the first climate-neutral continent. Retrieved on July 15, 2020 from:  
[https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en)
41. Eurostat, 2020. Retrieved on September 15, 2020 from Environmental Data

- Centre on Waste. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal\\_waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal_waste_statistics)
42. Exceltur, 2019. PIB y Empleo Turístico por C.C.A.A (in Spanish). Retrieved on 26 August 2020 from: <https://www.exceltur.org/pib-y-empleo-turistico-por-c-c-a-a/>
43. Ezeah, C., Fazakerley, J. and Byrne, T. 2015. Tourism Waste Management in the European Union: Lessons Learned from Four Popular EU Tourist Destinations. *American Journal of Climate Change*, 4, 431-445. <http://dx.doi.org/10.4236/ajcc.2015.45035>
44. Estay, C., Harsch, N., 2015. "Environmental biotechnology; Potential for the MSW management in the Canary Islands, Spain". *Waste Management and Law*, chapter V, 165-192. UBIJUS, México (In Spanish).
45. Foolmaun, R.K., Chamilall, D.S., Munhurrun, G., 2011. Overview of non-hazardous solid waste in the small island state of Mauritius. *Resour. Conserv. Recycl.* 55, 966–972. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.05.004>
46. Freire, J., Aribau, J., Puig, Ventosa I., 2008. Study of Composting in the Case of Catalunya. Municipality of Tiana. Waste Agency of Catalonia, Spain.
47. Gallardo, A., Carlos, M., Bovea, M.D., Colomer, F.J., Albarrán, F., 2014. Analysis of refuse-derived fuel from the municipal solid waste reject fraction and its compliance with quality standards. *J. Clean. Prod.* 83, 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.085>
48. García-Falcón, J.M., Medina-Muñoz, Diego, 1999. Sustainable tourism development in islands: a case study Gran Canaria. *Bus. Strat. Environ.* 8,

- 336-357. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0836\(199911/12\)8:6<336::AID-BSE217>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0836(199911/12)8:6<336::AID-BSE217>3.0.CO;2-7)
49. Gidarakos, E., Havas, G., Ntzamilis, P. (2006). Municipal solid waste composition determination supporting the integrated solid waste management system in the island of Crete. *Waste Management*, 26 (6), 668 – 679. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.07.018>
50. Gupta N., Yadav K.K., Kumar V. (2015). A review on current status of municipal solid waste management in India. *Journal of Environmental Sciences*, 37, 206–217. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.01.034>
51. Gonzalez-Martínez, T., Bräutigam, K.-R. & Seifert, H. (2012). The potential of a sustainable municipal waste management system for Santiago de Chile, including energy production from waste. *Energy, Sustainability and Society* 2 (24): 1-14.
52. Guerrero, L. A., Maas, G., & Hogland, W. (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Journal of Waste management*, 33(1), 220-232. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.008>.
53. Ghinea, C., Niculina-Drăgoi, E., Comăniță, E.D., Gavrilescu, Marius., Gavrilescu, Maria. 2016. Forecasting municipal solid waste generation using prognostic tools and regression analysis. *Journal of Environmental Management*, 182, 80-93
54. Hoornweg, D., Bhada-Tata, P. 2012. What a Waste. A Global review of Solid Waste Management, The World Bank. N° 15.

55. IBESTAT, Statistical Institute of the Balearic Islands, 2019. Retrieved on November 30, 2019 from:  
<http://ibestat.caib.es/ibestat/estadistiques/entorn-fisic/residus/a2a39da8-46d6-4191-a1e3-41a21061b5ed>
56. Ilic, M. & Nikolić, M. (2016). Drivers for development of circular economy: A case study of Serbia. *Habitat International* 56 191-200. <http://dx.doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.06.03>
57. Spanish Tourism Plan Horizon 2020.
58. [http://www.tourspain.es/eses/VDE/Documentos%20Vision%20Destino%20Espaa/Plan\\_Turismo\\_Espa%C3%B1ol\\_Horizonte\\_2020.pdf](http://www.tourspain.es/eses/VDE/Documentos%20Vision%20Destino%20Espaa/Plan_Turismo_Espa%C3%B1ol_Horizonte_2020.pdf)
59. IMPACTUR 2019. Estudio del Impacto Económico del Turismo en Canarias 2018 (in Spanish). Retrieved on July 25, 2020 from:  
<https://www.exceltur.org/wp-content/uploads/2019/12/IMPACTUR-Canarias-2018.pdf>
60. INE (Spanish National Statistics Institute), 2019. Retrieved on May 5, 2019 from:  
<https://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?path=/t26/e068/p01/serie/&file=02003.px&L=0>
61. ISTAC (Canary Statistics Institute), 2019. Data on Wastes. Retrieved on December 23, 2019 from: <http://www2.gobiernodecanarias.org/istac/jaxi-web/tabla.do>
62. Iuras, I., Raiter, P., Koroveinykova, Y., Poberezhna, L. (2020). Methodology of actors analysis and modelling of the amounts of solid municipal waste

- generation within tourist destinations. *Ecological Questions* 31(2), 63–69.  
<http://dx.doi.org/10.12775/EQ.2020.014>
63. Jeswani, H.K., Azapagic, A., (2016). Assessing the environmental sustainability of energy recovery from municipal solid waste in the UK. *Waste Manag* 50, 346-363. doi.org/10.1016/j.wasman.2016.02.010
64. Karak T., Bhagat, R.M., Bhattacharyya P., (2012). Municipal Solid Waste Generation, Composition and Management: the world scenario. *Crt Rev Environ Sci Technol* 42, 1509-1630.  
<http://dx.doi.org/10.1080/106443389.2011.569.871>
65. Kaza, S.; Yao, L.C., Bhada-Tata, P., Van Woerden, F., 2018. *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Urban Development. Washington, DC: World Bank.
66. Kolekar, K., Hazra, T., Chakrabarty, S., 2016. A Review on Prediction of Municipal Solid Waste Generation Models. *Procedia Environmental Sciences* 35:238-244, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.087>
67. Lavee, D., 2010. A cost-benefit analysis of a deposit-refund program for beverage container in Israel. *Waste Management* 30 (2): 338-345.
68. Lilai, X. Peiqing, G. Shenghui, C. & Chun, L. (2012). “A hybrid procedure for MSW generation forecasting at multiple time scales in Xiamen City, China” *Waste Management* 33, 1324–1331.
69. Mateu-Sbert, J., Ricci-Cabello, I., Villalonga-Olives, E., & Cabeza-Irigoyen, E. (2013). The impact of tourism on municipal solid waste generation: The case of Menorca Island (Spain). *Waste Management*, 33(12), 2589-2593.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.08.007>

70. Millette, S., Williams, E., Hull, C.E., 2019. Materials flow analysis in support of circular economy development: plastics in Trinidad and Tobago. *Resour. Conserv. Recycl.* 150, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104436>
71. Mohee, R., Mauthoor, S., Bundhoo, Z.M.A., Somaroo, G., Soobhany, N., Gunasee, S., 2015. Current status of solid waste management in small island developing states: a review. *Waste Manag.* 43, 539–549. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.012>
72. Mingua Z, Xiumin F, Rovetta A et al (2009) Municipal solid waste management in Pudong New Area, China. *Journal of Waste Management*; 29, 1227-1223.
73. Nasrullah, M., Hurme, M., Oinas, P., Hannula, J., Vainikka, P., 2017. Influence of input waste feedstock on solid recovered fuel production in a mechanical treatment plant. *Fuel Process. Technol.* 163, 35–44. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2017.03.034>
- 74.57. Nair, SK., Jayakumar, C. 2008. *A Handbook for Waste Management in Rural Tourism Areas: A Zero Waste Approach.* Archana: UNDP India.
75. Neehaul, N., Jeetah, P., Deenapanray, P., 2020. Energy recovery from municipal solid waste in Mauritius: opportunities and challenges. *Environ. Dev.* 33, <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2019.100489>
76. Nguyen, K., Chuang, Y., Chen, H., Chang, C. (2020). Impacts of socioeconomic changes on municipal solid waste characteristics in Taiwan. *Resources, Conservation and Recycling*, 161.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.1049313>

77. Ojeda-Benítez, S., Vega, C.A., Marquez-Montenegro, M.Y., 2008. Household solid waste characterization by family socioeconomic profile as unit of analysis. *Resour. Conserv. Recycl.* 52 (7), 992–999.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.03.004>

78. O.C.D.E / OECD, Organisation for European Economic Co-operation and Development. 2015. <file:///C:/Users/a530/AppData/Local/Temp/7es.pdf>  
<https://www.oecd.org/env/35914152.pdf>

79. Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2018a. Directiva 2018/851/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de mayo de 2018 por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos. *D. Of. la Unión Eur. Ser. L* 109–140.

80. Pichtel J., (2014). *Municipal, Hazardous, and Industrial. Waste management practices*. Seconded. 2014, Boca Raton: Taylor and Francis Group.

81. PEMAR, 2016-2022. Spanish National Framework Waste Management Plan. Ministry of Environmental, Rural and Marine issues.

82. Quesada-Ruiz, L.C., Rodriguez-Galiano, V., Jordá-Borrell, R., 2019. Characterization and mapping of illegal landfill potential occurrence in the Canary Islands. *Waste Manag.* 85, 506–518.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.01.015>

83. Ramos-Suárez, J.L., Ritter, A., Mata González, J., Camacho Pérez, A., 2019. Biogas from animal manure: A sustainable energy opportunity in the Canary

- Islands. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 104, 137-150  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.025>
84. Rosselló-Batle, B., Moià, A., Cladera, A., Martínez, V. (2010). Energy use, CO<sub>2</sub> emissions and waste throughout the life cycle of a sample of hotels in the Balearic Islands (2010) *Energy and Buildings*, 42 (4), 547-558.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.10.024>
85. Salmeron, J.L., Vidal, R., Mena-Nieto, A., 2012. Ranking Fuzzy cognitive map based scenarios with TOPSIS. *Expert Syst. Appl.* 39, 2443- 2450.  
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.094>
86. Santamarta, J.C., Rodríguez-Martín, J., Arraiza, M.P., López, J.V., 2014. Waste Problem and Management in Insular and Isolated Systems. Case Study in the Canary Islands (Spain). *IERI Procedia*.  
<https://doi.org/10.1016/j.ieri.2014.09.057>
87. Saenz-de-Miera, O. & Roselló, J. 2014. Modeling tourism impacts on air pollution: The case study of PM<sub>10</sub> in Mallorca. *Tourism Management* 40 273-281 <http://dx.doi.org/10.1016/j.tourman.2013.06.012>
88. Sacratees, J. & Govindaraj, G.H. (2013). Estimating Economic Cost of Municipal Solid Waste Management using Contingent Valuation Method, 179-197, Chapter Book: *Urbanization in Asia, Governance, Infrastructure and the Environment*.
89. Sastre, S., Llopart, J., Puig Ventosa, I., 2018. Mind the gap: A model for the EU recycling target applied to the Spanish regions. *Waste Manag.* 79, 415-427. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2018.07.046>

90. Seng, B., Hirayama, K., Katayama-Hirayama, K., Ochiai, S., Kaneko, H. 2013. Scenario analysis of the benefit of municipal organic-waste composting over landfill, Cambodia. *Journal of Environmental Management*, 114, 216-224.
91. Sekito, T., Dote, Y., Hindarman, R.R., 2019. Solid waste flow and composition determination for sustainable waste management in Gili Trawangan, Indonesia. *SN Applied Sciences*.  
<https://doi.org/10.1007/s42452-019-1369-4>
92. SINWP-Spanish Integrated National Waste Plan, 2008–2015 and State Plan Waste Management Framework of Spain (2016-2022). Ministry of Environmental, Rural and Marine issues.
93. Soltani, A., Sadiq, R., Hewage, K., 2015. Selecting sustainable waste-to-energy technologies for municipal solid waste treatment: a game theory approach for group decision-making, *Journal of Cleaner Production*, 113:388-399, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.041>.
94. Song, Q., Li, J., Zeng, X., 2015. Minimizing the increasing solid waste through zero waste strategy, *Journal of Cleaner Production*, 104:199-210, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.027>
95. Su, J. P., Chiueh, P. T., Hung, M. L. Ma, H. W. 2007. Analyzing policy impact potential for municipal solid waste management decision-making: a case study of Taiwan. *Resources, Conservation and Recycling* 51: 418-434.
96. Sharholly, m., Ahmad, K., Mahmood, G., Trivedi, R.C., (2008). Municipal solid waste management in Indian cities – A review. *Waste Manag* 28(29,

- 459-467. doi.org/10.1016/j.wasman.2007.02.008
97. Tan, S.T., Lee, C.T., Hashim, H., Ho, W.S. & Lim, J.S., 2014. Optimal process network for municipal solid waste management in Iskandar Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 71: 48-58. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.005>
98. Taktak, A, Haddad, S., Bazin, D., 2020. The impact of hotel tourism on municipal solid waste production. The case of Djerba island in Tunisia. *Mondes en développement*, 191, 119-136. <https://doi.org/10.3917/med.191.0119>
99. Tomic, T., Dominkovic, D.F., Pfeifer, A., Schneider, D.R., Pedersen A.S., Duic, N., 2017. Waste to energy plant operation under the influence of market and legislation conditioned changes. *Energy* 2017;137:1119–29. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.080>.
100. Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, Samuel.A., (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos. Engineering Principles and management Issues*. Editorial McGraw.
101. Triguero, A., Alvarez-Aledo, C., Cuerva, M.C. 2016. Factors influencing willingness to accept different waste management policies: empirical evidence from the European Union. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2016.05.119 (In Press)
102. Uche-Soria, M., Rodriguez-Monroy, C., 2019. An Efficient Waste-To-Energy Model in Isolated Environments. Case Study: La Gomera (Canary Islands). *Sustainability* 11. <https://doi.org/10.3390/su11113198>

103. Uche-Soria, M., Rodríguez-Monroy, C., 2019. Solutions to marine pollution in Canary Islands' ports: Alternatives and optimization of energy management. *Resources* 8. <https://doi.org/10.3390/resources8020059>
104. Vargas-Sánchez, A., 2018. The unavoidable disruption of the circular economy in tourism, *Worldwide Hospitality and Tourism Themes*, <https://doi.org/10.1108/WHATT-08-2018-0056>.
105. Vaz, J. M., Ferreira, J. S., & Dias-Ferreira, C. (2015). Biowaste separate collection and composting in a small island developing state: The case study of São Tomé and Príncipe, West Africa. *Waste Management and Research*, 33(12), 1132-1138. <https://doi.org/10.1177/0734242X15611737>
106. Weber, G., Calaf-Forn, M., Puig-Ventosa, I., Cabras, I., D'Alisa, G., 2018. The role of environmental organisations on urban transformation: The case of waste management in Esporles (Mallorca). *Journal of Cleaner Production*, 195, 1546-1557. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.241>
107. WEF-World Economic Forum. Retrieved on July 15, 2020. <https://www.weforum.org/agenda/2020/03/world-travel-coronavirus-covid19-jobs-pandemic-tourism-aviation/>
108. Van Eygen, E., Laner, D., Fellner, J., (2018). Circular economy of plastic packaging: Current practice and perspective in austria. *Waste Manag* 72, 55-64. [doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.040](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.040)
109. Vehlow, J., Berfeldt, B., Visser, H.J.M., & Wilén, C. (2007). EU waste management strategy and the importance of biogenic waste. *J Mater Cycles Waste* 9:130–139

110. Villavicencio, G. Didonet, S., Gutiérrez, I. 2014. "Sustainability in efficient management of urban waste: the case of Spanish cities" *Revista Brasileira de Gestao e Desenvolvimento Regional* 10(2), 124–152.
111. Weng, Yu-Chi., Fujiwara, T. & Matsouka, Y. (2009). Municipal solid waste management and short-term projection of the waste discard levels in Taiwan. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 11, issue 2, 110-122.
112. World Travel and Tourism Council - WTTC, 2020a. *Travel & Tourism Economic Impact 2019 World*. Retrieved on July 28, 2020 from: <https://wttc.org/Research/Economic-Impact>.
113. Yong, D., 2006. Plant location selection based on fuzzy TOPSIS. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 28 (7): 839-844.
114. Zand, A. D., & Heir, A. V. (2019). Environmental impact assessment of solid waste disposal options in touristic islands. *Advances in Environmental Technology*, 5(2), 115-125. <https://doi.org/10.22104/aet.2020.4143.1205>
115. Zorpas, A. Voukkali, I., Loizia, P. 2014. "The impact of touristic sector in the waste management plans". *Journal desalination and water treatment*. In 4th International Conference on Environmental management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE), 24-28 June 2013, Mykonos, Greece. doi:10.1080/19443994.2014.934721.

## **ANEXO**

1. Canarias
2. Baleares

## **Anexo 1. Canarias**

Anexo A. Delphi Technique

Anexo B. Fuzzy Topsis Algorithm

Anexo C. System Dynamics

Anexo D. Model validation

## Anexo A. Delphi Technique

Tabla A.1 Characteristics of the expert group selected for the study.

Expert ID	Professional Qualification	Institution	Area	Type of Management	Experience in the subject
1	Director	Government of the Canary Islands	MSW management	Public sector	15 years
2	Environmental Manager	Government of the Canary Islands	MSW management	Public sector	12 years
3	Environmental Manager	Government of the Canary Islands	MSW management	Public sector	10 years
4	Director	Ecovidrio	Selective collection of glass	Private sector	16 years
5	Director	Ecoembes	Selective collection of packaging	Private sector	14 years
6	Director	Clusa (Canarian urban cleaning)	Collection and transport of MSW	Private sector	10-12 years
7	Environmental Manager	Government of the Canary Islands	MSW management	Public sector	12 years
8	Environmental Manager	Government of the Canary Islands	MSW management	Public sector	8-10 years
9	Director	Plascan (Canary plastics)	Collection, storage and processing of plastics	Private sector	14 years
10	Director	Martinez Cano, Canarias S.A.	Selective collection of paper/cardboard	Private sector	16 years
11	Environmental Manager	ITUSA environmental services	Collection and transport of MSW	Private sector	10 years
12	Environmental Manager	Government of the Canary Islands	MSW management	Private sector	12 years

Linguistic etiquettes for estimation of each criterion for each alternative expressed by experts:

VH: Very High

H: High

M: Medium

L: Low

VL: Very Low

C11: criteria 1.1

C21: criteria 2.1

...

.....

C53: criteria 5.3

Tabla A.2

<i>Expert N°1</i>		<i>Alternative 1 Recycling</i>	<i>Alternative 2 Incineration</i>	<i>Alternative 3 Biomechanization</i>	<i>Alternative 4 Landfill</i>
Environmental	C11	L	H	VL	H
	C12	H	L	L	M
	C13	VH	VH	VH	VH
Politic	C21	L	M	VH	VL
	C22	VL	H	L	L
	C23	VH	L	H	L
Social	C31	VH	L	L	VL
	C32	VL	H	M	VL
	C33	H	M	VH	L
	C34	H	L	L	VL
Economics	C41	H	H	H	VL
	C42	M	VH	H	L
	C43	H	M	H	L
Technological	C51	VH	H	VH	L
	C52	H	VL	M	VL
	C53	VL	VH	VL	L

<i>Expert N°2</i>		<i>Alternative 1 Recycling</i>	<i>Alternative 2 Incineration</i>	<i>Alternative 3 Biomechanization</i>	<i>Alternative 4 Landfill</i>
Environmental	C11	L	VH	VH	H
	C12	L	VH	H	H
	C13	VL	H	VH	VH
Politic	C21	VL	M	H	L
	C22	L	L	M	M
	C23	L	VL	VL	M
Social	C31	H	VL	L	L
	C32	M	VH	H	VL
	C33	M	H	H	M
	C34	H	VL	VL	M
Economics	C41	VL	VH	VH	L
	C42	L	H	H	VL
	C43	L	M	VH	VL
Technological	C51	M	VH	M	VL
	C52	VL	M	VH	VL
	C53	M	H	H	M

<i>Expert N°3</i>		<i>Alternative 1 Recycling</i>	<i>Alternative 2 Incineration</i>	<i>Alternative 3 Biomechanization</i>	<i>Alternative 4 Landfill</i>
Environmental	C11	M	H	VH	VH
	C12	M	VH	M	M
	C13	VL	H	VH	H
Politic	C21	L	L	H	L
	C22	L	M	M	VL
	C23	VL	L	M	VL
Social	C31	H	L	VL	M
	C32	L	H	VH	L
	C33	VH	M	H	L
	C34	L	L	VL	M
Economics	C41	H	H	VH	L
	C42	VL	M	VH	M
	C43	L	M	M	VL
Technological	C51	M	H	M	VL
	C52	M	H	M	VL
	C53	VH	M	VH	L

<i>Expert N°4</i>		<i>Alternative 1 Recycling</i>	<i>Alternative 2 Incineration</i>	<i>Alternative 3 Biomechanization</i>	<i>Alternative 4 Landfill</i>
Environmental	C11	VL	VH	M	H
	C12	VL	VH	H	M
	C13	L	H	H	VH
Politic	C21	L	M	H	M
	C22	L	M	M	L
	C23	L	L	M	VL
Social	C31	M	L	VL	M
	C32	VL	VH	VH	M
	C33	H	M	H	L
	C34	L	L	VL	L
Economics	C41	VH	VH	VH	L
	C42	VL	H	H	L
	C43	M	M	VH	VL
Technological	C51	M	VH	H	L
	C52	M	M	M	M
	C53	VL	M	VH	L

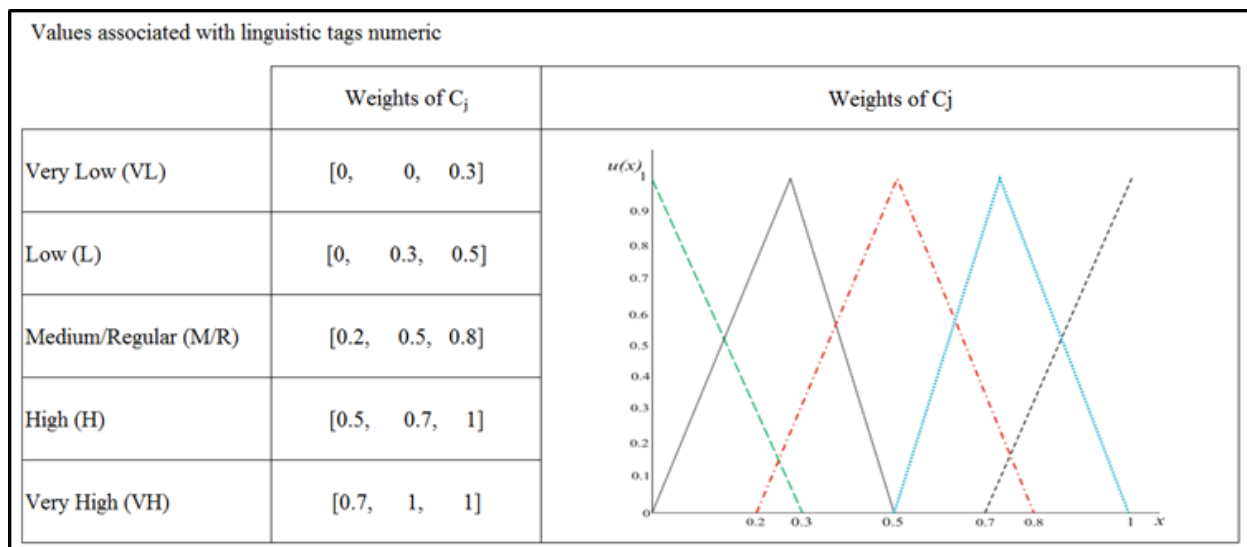
## Anexo B. Fuzzy Topsis Algorithm

### Analysis of the problem

The analysis comprises the evaluation of the alternatives in dependence of the criteria, using the following language tags that are modeled with fuzzy triangular numbers.

Fuzzy sets of the numeric values associated with the 5 linguistic labels:

Tabla B.1 Analysis of the problem



### Identification of the weight of each criterion

The rating for each criterion are as follows

C1.1. Important [0.5, 0.7, 1]

C1.2. Very Important [0.7, 1, 1]

C1.3. Very important [0.7, 1, 1]

C2.1. Medium important [0, 0.3, 0.5]

C2.2. Regularly important	[0.2, 0.5, 0.8]
C3.1. Important	[0.5, 0.7, 1]
C3.2. Important	[0.5, 0.7, 1]
C3.3. Unimportant	[0, 0, 0.3]
C3.4. Medium important	[0, 0.3, 0.5]
C4.1. Regularly important	[0.2, 0.5, 0.8]
C4.2. Unimportant	[0, 0, 0.3]
C5.1. Important	[0.5, 0.7, 1]
C5.2. Unimportant	[0, 0, 0.3]

Standardization of the weight of each criterion (C)

The weights of the criteria (C) are normalized by using the following formula:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad \text{Eq. (B.1)}$$

Next, we applied the property of the division for our fuzzy numbers:

$$T_1 \oslash T_2 = [a_1, b_1, c_1] * \left[ \frac{1}{c_2}, \frac{1}{b_2}, \frac{1}{a_2} \right]$$

Construction of the decision matrix corresponding to the five types of MSW treatments

To construct this matrix, we normalized the data collected for every criterion. In the following table we name each alternative and its subcriteria, under equal conditions, where the best is close to 1 and the worst close to 0.

Tabla B.2 Assessment of the alternatives regarding the sub-criteria normalized to fuzzy sets

Alternatives		Recycling/compost	Biomethanization	Incineration	Landfill	
Criterias		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	Objetive
Environmental (C <sub>1</sub> )	Emission of pollution (C <sub>1.1</sub> )	1	0.255	0.120	0.214	min
	Damage to public health (C <sub>1.2</sub> )	0.78	0.38	0.15	0.354	min
	Deterioration of landscapes (C <sub>1.3</sub> )	0.85	0.37	0.07	0.25	min
Politic (C <sub>2</sub> )	Political support (C <sub>2.1</sub> )	0.55	0.65	0.55	0.75	max
	Control and regularization (C <sub>2.2</sub> )	1	0.45	0.40	0.55	max
Social (C <sub>3</sub> )	Public acceptance (C <sub>3.1</sub> )	0.94	0.15	0.15	0.45	max
	Generation of employment (C <sub>3.2</sub> )	0.45	0.65	0.30	0.40	max
	Awareness (C <sub>3.3</sub> )	1	0.22	0.25	0.45	max
Economic (C <sub>4</sub> )	Implementation cost (C <sub>4.1</sub> )	0.55	0.43	0.025	1	min
	Availability of resources (C <sub>4.2</sub> )	0.75	0.45	0.018	0.38	min
Technological (C <sub>5</sub> )	Technological efficiency (C <sub>5.1</sub> )	1	0.65	1	0.35	max
	Technological reliability (C <sub>5.2</sub> )	0.90	0.48	0.55	0.27	max

Tabla B.3 Linguistic etiquettes of the criteria below decision

	C <sub>1</sub>			C <sub>2</sub>		C <sub>3</sub>			C <sub>4</sub>		C <sub>5</sub>	
	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>21</sub>	C <sub>22</sub>	C <sub>31</sub>	C <sub>32</sub>	C <sub>33</sub>	C <sub>41</sub>	C <sub>42</sub>	C <sub>51</sub>	C <sub>52</sub>
A <sub>1</sub>	<i>L</i>	<i>MR</i>	<i>VL</i>	<i>L</i>	<i>VL</i>	<i>VH</i>	<i>VH</i>	<i>VL</i>	<i>VH</i>	<i>L</i>	<i>VH</i>	<i>VH</i>
A <sub>2</sub>	<i>VH</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>MR</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>MR</i>	<i>L</i>	<i>VH</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>MR</i>
A <sub>3</sub>	<i>VH</i>	<i>VH</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>MR</i>	<i>VL</i>	<i>H</i>	<i>VL</i>	<i>VH</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>MR</i>
A <sub>4</sub>	<i>VH</i>	<i>VH</i>	<i>H</i>	<i>L</i>	<i>VL</i>	<i>MR</i>	<i>L</i>	<i>MR</i>	<i>L</i>	<i>VL</i>	<i>L</i>	<i>L</i>
<i>VL</i>	<i>VL</i>	<i>VL</i>	<i>VL</i>	<i>VL</i>	<i>VL</i>	<i>VL</i>	<i>VL</i>	<i>VL</i>	<i>VL</i>	<i>VL</i>	<i>VL</i>	<i>VL</i>
<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>
<i>MR</i>	<i>MR</i>	<i>MR</i>	<i>MR</i>	<i>MR</i>	<i>MR</i>	<i>MR</i>	<i>MR</i>	<i>MR</i>	<i>MR</i>	<i>MR</i>	<i>MR</i>	<i>MR</i>
<i>H</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>H</i>
<i>VH</i>	<i>VH</i>	<i>VH</i>	<i>VH</i>	<i>VH</i>	<i>VH</i>	<i>VH</i>	<i>VH</i>	<i>VH</i>	<i>VH</i>	<i>VH</i>	<i>VH</i>	<i>VH</i>

Tabla B.4 Standardization of the weights for each criterion (C)

Linguistic weights	Weights of C <sub>j</sub>	Weights C <sub>j</sub> standardized
Very important (VI)	[ 0.7, 1, 1 ]	[0.35 , 0.5 , 0.78]
Important (I)	[ 0.5 , 0.7 , 1 ]	[ 0.43 , 0.55, 0.83 ]
Medium Important (MI)	[ 0.2 , 0.5 , 0.8 ]	[ 0.03, 0.35, 0.65 ]
Regularly Important (RI)	[ 0 , 0.3 , 0.5 ]	[ 0.05 , 0.25, 0.42 ]
Unimportant (UI)	[ 0 , 0 , 0.3 ]	[ 0 , 0 , 0.21 ]

Tabla B.5 Decision matrix, tagged fuzzy

Weights	C <sub>1</sub>			C <sub>2</sub>			C <sub>3</sub>			C <sub>4</sub>		C <sub>5</sub>	
	0.40 0.55 0.73	0.48 0.65 0.83	0.48 0.65 0.83	0.07 0.35 0.65	0.05 0.25 0.42	0.40 0.55 0.73	0 0 0.21	0.07 0.35 0.65	0.05 0.25 0.42	0 0 0.21	0.40 0.55 0.73	0 0 0.21	
	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>21</sub>	C <sub>22</sub>	C <sub>31</sub>	C <sub>32</sub>	C <sub>33</sub>	C <sub>41</sub>	C <sub>42</sub>	C <sub>51</sub>	C <sub>52</sub>	
A <sub>1</sub>	0 0.3 0.5	0.2 0.5 0.8	0 0 0.3	0 0.3 0.5	0 0 0.3	0.7 1 1	0.7 1 1	0 0 0.3	0.7 1 1	0 0.3 0.5	0.7 1 1	0.7 1 1	
A <sub>2</sub>	0.7 1 1	0.5 0.7 1	0.5 0.7 1	0.2 0.5 0.8	0 0.3 0.5	0 0.3 0.5	0.2 0.5 0.8	0 0.3 0.5	0.7 1 1	0.5 0.7 1	0.5 0.7 1	0.2 0.5 0.8	
A <sub>3</sub>	0.7 1 1	0.7 1 1	0.5 0.7 1	0.5 0.7 1	0.2 0.5 0.8	0 0 0.3	0.5 0.7 1	0 0 0.3	0.7 1 1	0.5 0.7 1	0.5 0.7 1	0.2 0.5 0.8	
A <sub>4</sub>	0.7 1 1	0.7 1 1	0.5 0.7 1	0 0.3 0.5	0 0 0.3	0.2 0.5 0.8	0 0.3 0.5	0.2 0.5 0.8	0 0.3 0.5	0 0 0.3	0 0.3 0.5	0 0.3 0.5	
V <sub>L</sub>	0 0 0.3	0 0 0.3	0 0 0.3	0 0 0.3	0 0 0.3	0 0 0.3	0 0 0.3	0 0 0.3	0 0 0.3	0 0 0.3	0 0 0.3	0 0 0.3	
L	0 0.3 0.5	0 0.3 0.5	0 0.3 0.5	0 0.3 0.5	0 0.3 0.5	0 0.3 0.5	0 0.3 0.5	0 0.3 0.5	0 0.3 0.5	0 0.3 0.5	0 0.3 0.5	0 0.3 0.5	
M <sub>R</sub>	0.2 0.5 0.8	0.2 0.5 0.8	0.2 0.5 0.8	0.2 0.5 0.8	0.2 0.5 0.8	0.2 0.5 0.8	0.2 0.5 0.8	0.2 0.5 0.8	0.2 0.5 0.8	0.2 0.5 0.8	0.2 0.5 0.8	0.2 0.5 0.8	
H	0.5 0.7 1	0.5 0.7 1	0.5 0.7 1	0.5 0.7 1	0.5 0.7 1	0.5 0.7 1	0.5 0.7 1	0.5 0.7 1	0.5 0.7 1	0.5 0.7 1	0.5 0.7 1	0.5 0.7 1	
V <sub>H</sub>	0.7 1 1	0.7 1 1	0.7 1 1	0.7 1 1	0.7 1 1	0.7 1 1	0.7 1 1	0.7 1 1	0.7 1 1	0.7 1 1	0.7 1 1	0.7 1 1	

Tabla B.6 Decision matrix standardized, tagged fuzzy.

	C <sub>1</sub>			C <sub>2</sub>			C <sub>3</sub>			C <sub>4</sub>		C <sub>5</sub>	
	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>21</sub>	C <sub>22</sub>	C <sub>31</sub>	C <sub>32</sub>	C <sub>33</sub>	C <sub>41</sub>	C <sub>42</sub>	C <sub>51</sub>	C <sub>52</sub>	
aA <sub>1</sub>	0.24 0.31 0.48	0.22 0.41 0.66	0.12 0.38 0.54	0.20 0.30 0.55	0.15 0.33 0.41	0.27 0.33 0.48	0.29 0.40 0.64	0.25 0.39 0.52	0.18 0.22 0.40	0.12 0.22 0.44	0.30 0.42 0.55	0.33 0.42 0.58	
aA <sub>2</sub>	0 0.20 0.32	0.26 0.37 0.61	0.16 0.33 0.50	0.18 0.33 0.49	0.12 0.28 0.40	0.20 0.33 0.45	0.02 0.22 0.35	0.26 0.33 0.50	0.10 0.20 0.33	0 0.21 0.34	0.20 0.31 0.40	0.12 0.32 0.54	
aA <sub>3</sub>	0.12 0.35 0.42	0.10 0.24 0.35	0.20 0.32 0.45	0.22 0.30 0.50	0.16 0.25 0.38	0.20 0.32 0.45	0.04 0.3 0.45	0.01 0.12 0.26	0.02 0.13 0.24	0 0.16 0.38	0.10 0.22 0.35	0.11 0.28 0.43	
aA <sub>4</sub>	0.03 0.08 0.26	0 0.12 0.33	0.15 0.22 0.33	0.17 0.24 0.44	0.10 0.23 0.34	0.23 0.35 0.52	0.02 0.25 0.36	0.01 0.10 0.24	0.03 0.10 0.22	0 0.12 0.28	0.02 0.09 0.18	0.09 0.18 0.35	
V <sub>L</sub>	0.02 0.12 0.21	0 0.01 0.14	0.02 0.08 0.15	0.05 0.11 0.26	0 0.08 0.11	0 0.04 0.10	0.02 0.12 0.20	0 0.09 0.18	0 0.02 0.11	0 0.02 0.12	0 0.02 0.12	0 0.02 0.10	
L	0 0.13 0.25	0.5 0.18 0.23	0.10 0.21 0.30	0.10 0.22 0.34	0 0.10 0.21	0 0.07 0.22	0 0.03 0.10	0 0.15 0.21	0 0.04 0.10	0.01 0.04 0.10	0 0.04 0.10	0.01 0.12 0.20	
M <sub>R</sub>	0.10 0.20 0.34	0.7 0.22 0.34	0.33 0.47 0.62	0.23 0.35 0.45	0.03 0.25 0.35	0 0.24 0.36	0.18 0.34 0.40	0.10 0.24 0.33	0.04 0.20 0.32	0.08 0.24 0.32	0.18 0.24 0.36	0.23 0.38 0.52	
H	0.18 0.25 0.45	0.28 0.44 0.60	0.33 0.48 0.65	0.37 0.42 0.62	0.08 0.26 0.46	0.27 0.42 0.66	0.28 0.48 0.60	0.24 0.22 0.64	0.28 0.38 0.64	0.29 0.42 0.64	0.22 0.40 0.58	0.24 0.42 0.56	
V <sub>H</sub>	0.20 0.35 0.67	0.30 0.46 0.70	0.37 0.44 0.68	0.31 0.45 0.65	0.06 0.22 0.44	0.30 0.52 0.70	0.22 0.33 0.55	0.31 0.36 0.68	0.26 0.38 0.55	0.33 0.46 0.68	0.33 0.44 0.62	0.32 0.44 0.60	

$$\bar{n}_{i,j} = \frac{x_{i,j}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{i,j})^2}} \quad \text{Eq. (B.2)}$$

Next, we applied the property of the division for our fuzzy numbers:

$$T_1 \oslash T_2 = [a_1, b_1, c_1] * \left[ \frac{1}{c_2}, \frac{1}{b_2}, \frac{1}{a_2} \right]$$

Tabla B.7 Construction of the associated normalized weighted matrix, tagged fuzzy

	C <sub>1</sub>			C <sub>2</sub>			C <sub>3</sub>			C <sub>4</sub>		C <sub>5</sub>	
	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>21</sub>	C <sub>22</sub>	C <sub>31</sub>	C <sub>32</sub>	C <sub>33</sub>	C <sub>41</sub>	C <sub>42</sub>	C <sub>51</sub>	C <sub>52</sub>	
vA <sub>1</sub>	0.34 0.46 0.57	0.25 0.44 0.66	0.22 0.38 0.44	0.21 0.30 0.57	0.085 0.13 0.35	0.17 0.23 0.38	0.21 0.35 0.70	0.39 0.43 0.55	0.20 0.28 0.42	0.15 0.32 0.49	0.31 0.46 0.57	0.35 0.44 0.67	
vA <sub>2</sub>	0 0.18 0.36	0.36 0.47 0.61	0.19 0.30 0.52	0.22 0.31 0.47	0.24 0.33 0.49	0.25 0.36 0.45	0.02 0.25 0.36	0.26 0.37 0.58	0.12 0.21 0.32	0 0.125 0.22	0.21 0.32 0.44	0.15 0.36 0.58	
vA <sub>3</sub>	0.20 0.33 0.41	0.14 0.24 0.38	0.22 0.38 0.44	0.21 0.30 0.57	0.18 0.25 0.38	0.22 0.32 0.47	0 0.33 0.70	0.01 0.2 0.36	0.05 0.15 0.28	0 0.22 0.45	0.11 0.26 0.33	0.21 0.33 0.55	
vA <sub>4</sub>	0 0.18 0.36	0 0.022 0.034	0 0.02 0.031	0.18 0.22 0.46	0.24 0.33 0.49	0.33 0.45 0.62	0.02 0.25 0.36	0 0.17 0.34	0.05 0.15 0.28	0 0.22 0.45	0 0.09 0.22	0.22 0.34 0.69	
vZ	0 0 0.15	0 0.021 0.17	0.05 0.05 0.08	0 0.05 0.12	0 0.02 0.15	0 0 0.02	0 0.01 0.04	0 0.03 0.05	0 0.03 0.17	0 0 0.05	0 0.05 0.15	0 0.05 0.08	
vL	0 0.17 0.25	0.05 0.18 0.22	0 0.02 0.031	0.12 0.21 0.33	0 0.13 0.21	0 0.08 0.07	0 0.05 0.08	0 0.05 0.08	0 0.02 0.12	0 0.03 0.05	0 0 0.12	0 0.15 0.22	
vMR	0.12 0.22 0.33	0 0.20 0.35	0.33 0.40 0.56	0.22 0.34 0.41	0.24 0.33 0.49	0 0.20 0.31	0.21 0.33 0.42	0.12 0.22 0.33	0.08 0.23 0.37	0.10 0.27 0.36	0.22 0.30 0.38	0.27 0.41 0.60	
vH	0.10 0.35 0.55	0.27 0.44 0.65	0.36 0.43 0.67	0.35 0.44 0.68	0.26 0.48 0.66	0.25 0.40 0.68	0.35 0.54 0.77	0.30 0.38 0.56	0.32 0.48 0.78	0.35 0.48 0.70	0.25 0.42 0.64	0.22 0.42 0.61	
vZH	0.23 0.45 0.77	0.33 0.44 0.72	0.37 0.42 0.62	0.38 0.52 0.75	0.25 0.42 0.60	0.33 0.50 0.72	0.25 0.34 0.68	0.31 0.44 0.68	0.34 0.43 0.72	0.46 0.57 0.83	0.36 0.48 0.80	0.35 0.44 0.62	

$\bar{v}_{i,j} = w_j * \bar{n}_{i,j}$ ,  $j = 1, \dots, n$ ,  $i = 1, \dots, m$  where  $\bar{v}_{i,j} = (v_{i,j}(a), v_{i,j}(b), v_{i,j}(c))$ , will

be a diffuse number.

Determination of the ideal positive and negative solution:

$$\bar{A}^+ = \{\bar{v}_1^+, \dots, \bar{v}_n^+\} = \left\{ \left( \begin{array}{l} \max \bar{v}_{i,j}, \quad j \in J \\ \max \bar{v}_{i,j}, \quad j \in J' \end{array} \right) \right\} \quad \text{Eq. (B.3)}$$

$$\bar{A}^- = \{\bar{v}_1^-, \dots, \bar{v}_n^-\} = \left\{ \left( \begin{array}{l} \max \bar{v}_{i,j}, \quad j \in J \\ \max \bar{v}_{i,j}, \quad j \in J' \end{array} \right) \right\}, \text{ where } J \text{ is associated with those criteria}$$

indicating benefits, and J' associated with the criteria indicating costs.

$$\bar{A}^+ = \left\{ \left( \begin{array}{l} \max(\bar{v}_{A_i,C_{21}}, \bar{v}_{A_i,C_{23}}, \bar{v}_{A_i,C_{31}}, \bar{v}_{A_i,C_{32}}, \bar{v}_{A_i,C_{33}}, \bar{v}_{A_i,C_{34}}, \bar{v}_{A_i,C_{44}}) \\ \min(\bar{v}_{A_i,C_{11}}, \bar{v}_{A_i,C_{12}}, \bar{v}_{A_i,C_{22}}, \bar{v}_{A_i,C_{41}}, \bar{v}_{A_i,C_{42}}, \bar{v}_{A_i,C_{43}}, \bar{v}_{A_i,C_{45}}) \end{array} \right) \right\}$$

$$\bar{A}^- = \left\{ \left( \begin{array}{l} \max(\bar{v}_{A_i,C_{21}}, \bar{v}_{A_i,C_{23}}, \bar{v}_{A_i,C_{31}}, \bar{v}_{A_i,C_{32}}, \bar{v}_{A_i,C_{33}}, \bar{v}_{A_i,C_{34}}, \bar{v}_{A_i,C_{44}}) \\ \min(\bar{v}_{A_i,C_{11}}, \bar{v}_{A_i,C_{12}}, \bar{v}_{A_i,C_{22}}, \bar{v}_{A_i,C_{41}}, \bar{v}_{A_i,C_{42}}, \bar{v}_{A_i,C_{43}}, \bar{v}_{A_i,C_{45}}) \end{array} \right) \right\}$$

Tabla B.8 Positive ideal solution and the negative ideal solution

	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>21</sub>	C <sub>22</sub>	C <sub>31</sub>	C <sub>32</sub>	C <sub>33</sub>	C <sub>41</sub>	C <sub>42</sub>	C <sub>51</sub>	C <sub>52</sub>
A <sup>+</sup>	0 0 0.15	0 0.021 0.17	0 0.02 0.031	0.35 0.52 0.75	0.26 0.48 0.66	0.33 0.50 0.72	0.35 0.54 0.77	0.31 0.44 0.68	0 0.02 0.12	0 0 0.05	0.36 0.48 0.80	0.35 0.44 0.66
A <sup>-</sup>	0.23 0.45 0.77	0.33 0.44 0.72	0.36 0.43 0.67	0 0.06 0.12	0 0.02 0.15	0 0 0.02	0 0.01 0.04	0 0.03 0.05	0.32 0.48 0.78	0.46 0.57 0.83	0 0 0.12	0 0.05 0.08

alculation of the distance of each alternative to the ideal positive and negative

solution

With these equations the distances of each treatment alternative to the maximum value and the distance of each alternative to the minimum value are obtained. Both positive and negative solutions from among all the alternatives for each criterion can be found.

$$\overline{d_i^+} = \left\{ \sum_{j \in J} (\overline{v_{i,j}} - \overline{v_j^+})^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad i = 1, \dots, m \quad \text{Eq. (B.4)}$$

$$\overline{d_i^-} = \left\{ \sum_{j \in J} (\overline{v_{i,j}} - \overline{v_j^-})^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad i = 1, \dots, m$$

Tabla B.9 Distance of each alternative to the ideal positive and negative solution.

$d_{A1}^+$	0.454 0.378 0.684	$d_{A1}^-$	0.522 0.406 0.592
$d_{A2}^+$	0.330 0.366 0.548	$d_{A2}^-$	0.430 0.327 0.473
$d_{A3}^+$	0.207 0.312 0.412	$d_{A3}^-$	0.307 0.422 0.510
$d_{A4}^+$	0.378 0.404 0.377	$d_{A4}^-$	0.404 0.376 0.565
$d_{VL}^+$	0.034 0.270 0.383	$d_{VL}^-$	0.032 0.048 0.233
$d_L^+$	0.165 0.216 0.391	$d_L^-$	0.055 0.072 0.348
$d_{M/R}^+$	0.212 0.304 0.402	$d_{M/R}^-$	0.224 0.338 0.562
$d_H^+$	0.338 0.335 0.577	$d_H^-$	0.278 0.356 0.690
$d_{VH}^+$	0.473 0.398 0.748	$d_{VH}^-$	0.402 0.376 0.710

Calculation of the coefficient of proximity, of each alternative to the ideal positive and negative solution through the index of proximity

$$\overline{R_i} = \frac{\overline{d_i^-}}{\overline{d_i^+} + \overline{d_i^-}}, \quad i = 1, \dots, m \quad \text{Eq. (B.5)}$$

Where,  $\overline{R_i} \cong 1 \rightarrow A_i = \overline{A^+}$  and  $\overline{R_i} \cong 0 \rightarrow A_i = \overline{A^-}$

Next, the property of the division for the fuzzy numbers was applied:

$T_1 \otimes T_2 = [a_1, b_1, c_1] * [\frac{1}{c_2}, \frac{1}{b_2}, \frac{1}{a_2}]$ , that is:

Tabla B.10 Coefficient of proximity

RA <sub>1</sub>	0.5152	0.6081	0.7760
RA <sub>2</sub>	0.4331	0.4164	0.5725
RA <sub>3</sub>	0.2971	0.3933	0.4126
RA <sub>4</sub>	0.3554	0.4667	0.5778
RVL	0.0352	0.0161	0.1913
RL	0.0525	0.2045	0.3027
RM/R	0.0722	0.3683	0.5723
RH	0.4484	0.5355	0.7360
RVH	0.5861	0.6045	0.8184

Defuzzification: We use the following expression

$$I_{\beta, \lambda}(A_i) = \beta S_M(A_i) + (1 - \beta)\lambda S_R(A_i) + (1 - \beta)(1 - \lambda)S_L(A_i), \quad \text{Eq. (B.6)}$$

Where,  $\beta \in [0,1]$  is the index mode, representing the importance of the value and  $\lambda \in [0,1]$  is the degree of optimism of the decision-maker.

## Anexo C. System Dynamics

Equations used in the simulation of the MSW generation

### **Actual household waste collected:**

$$TMSWg_{(p)} = TMSWsc_{(p)} + TMSWc,ns_{(p)}, \quad Eq.(C.1)$$

*TMSW*= total Municipal solid waste generated in period. Where, *sc*= selectively collected; *c, ns*= non-selectively collected; *c*= collected; *g*= generated

### **Actual conceptual model of the selectively collected household waste:**

$$TMSWsc_{(p)} = TOFc_{(p)} + TF_{non-org(p)}, \dots \text{Where; non-org} = paper/cardboard_{sc} + glass_{sc} + plastics_{sc}, ; Eq.(C.2)$$

Where, *TF*= total fraction, *TOF*= total organics fraction

### **Actual conceptual model of the rest fraction collected:**

$$TMSWc,ns_{(p)} = TMSWc_{(p)} + TMSWc,s_{(p)}, \quad s = \text{selectively} \quad Eq.(C.3)$$

### **Other used expressions:**

$$\text{Total Resident Population}_{(t)} = \text{INTEG} (F_{birth}_{(t)} - F_{death}_{(t)}) + (F_{emigration}_{(t)} - F_{immigration}_{(t)}); F = \text{flows}, \quad Eq.(C.4)$$

[birth rate<sub>(t)</sub> = (birth rate lookup (time) x birth rate adjustment)]

$$\text{Equivalent Tourist Population}_{(t)} = \text{INTEG} (\text{tourists arrivals}_{(t)} \times \text{hotel capacity}_{(t)} + \text{resident tourist}_{(t)})$$

$$[\text{tourist arrivals rate}_{(t)} = (\text{tourists arrivals lookup (time)} \times \text{tourists arrivals adjustment})] \quad Eq.(C.5)$$

$$GDP(t) = \text{INTEG} (GDP \text{ components}_{(t)} \times \text{total production factors}_{(t)} \times \text{annual GDP increase rate})$$

$$[\text{annual GDP rate}_{(t)} = (GDP \text{ rate lookup (time)} \times GDP \text{ rate adjustment})] \quad Eq.(C.6)$$

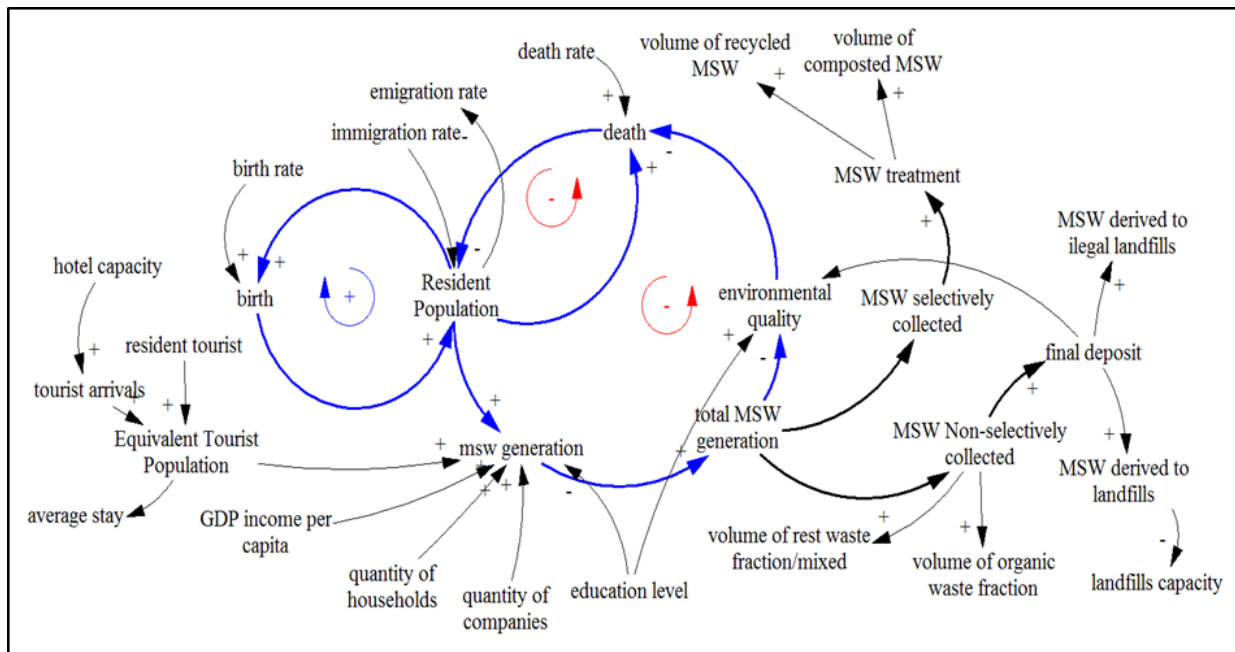
$$TMSWgenerated_{(t)} = \text{INTEG} (F \text{ MSW generated}_{(t)} - \text{Final treatment}_{(t)}) \quad Eq.(C.7)$$

$$MSW \text{ generated rate}_{(t)} = (MSW \text{ generated lookup rate (time)} \times \text{per capita generation adjustment})$$

$$\text{Landfill capacity}_{(t)} = \text{INTEG} (-\text{rate of filling}); \quad Eq.(C.8)$$

[rate of filling = unit volume of soil compacted waste x waste to landfill]

Figura C.1 Causal loop diagram of the current MSW situation in the Canary Islands



## Anexo D. Model validation

Tabla D.1 MAPE (Mean Absolute Percentage Error)

Periods	ResPop	forecast	erros abs.	error% abs.
1	1700095	2033237	333142	5.10
2	1744696	2066474	321778	5.42
3	1789023	2099711	310688	5.76
4	1832519	2132948	300429	6.10
5	1874546	2166185	291639	6.43
6	1914585	2199422	284837	6.72
7	1952314	2232659	280345	6.96
8	1987425	2265896	278471	7.14
9	2019767	2299133	279366	7.23
10	2049275	2332370	283095	7.24
11	2075944	2365607	289663	7.17
12	2118519	2398844	280325	7.56
13	2126769	2432081	305312	6.97
14	2118344	2465318	346974	6.11
15	2118679	2498555	379876	5.58
16	2104815	2531792	426977	4.93

Period	MSW generation	forecast	error abs.	error %abs.
1	1286378	1008964.7	277413.3	0.22
2	1243837	1017929.4	225907.6	0.18
3	1198568	1026894.1	171673.9	0.14
4	1158804	1035858.8	122945.2	0.11
5	1308028	1008964.7	299063.3	0.23
6	1474999	1017929.4	457069.6	0.31
7	1448386	1062752.9	385633.1	0.27
8	1397206	1071717.6	325488.4	0.23
9	1210410	1080682.3	129727.7	0.11
10	1255650	1089647.00	166003	0.13
11	1151349	1098611.7	52737.3	0.05
12	1439982	1107576.4	332405.6	0.23
13	1388895	1116541.1	272353.9	0.20
14	1310231	1125505.8	184725.2	0.14
15	1204823	1134470.5	70352.5	0.06
16	1334736	1143435.2	191300.8	0.14

Periods	ResPop	forecast	erros abs.	error% abs.
1	1700095	2033237	333142	5.10
2	1744696	2066474	321778	5.42
3	1789023	2099711	310688	5.76
4	1832519	2132948	300429	6.10
5	1874546	2166185	291639	6.43
6	1914585	2199422	284837	6.72
7	1952314	2232659	280345	6.96
8	1987425	2265896	278471	7.14
9	2019767	2299133	279366	7.23
10	2049275	2332370	283095	7.24
11	2075944	2365607	289663	7.17
12	2118519	2398844	280325	7.56
13	2126769	2432081	305312	6.97
14	2118344	2465318	346974	6.11
15	2118679	2498555	379876	5.58
16	2104815	2531792	426977	4.93

Periods	Equivalent Tourist population (ETP)	forecast	erros abs.	error % abs.
1	101000	58841	-42159	-0.42
2	101340	72753	-28587	-0.28
3	101273	86665	-14608	-0.14
4	98513	100577	2064	0.02
5	102449	114489	12040	0.12
6	101606	128401	26795	0.26
7	103094	142313	39219	0.38
8	126266	156225	29959	0.24
9	129303	170137	40834	0.32
10	127810	184049	56239	0.44
11	232782	197961	-34821	-0.15
12	237092	211873	-25219	-0.11
13	261718	225785	-35933	-0.14
14	253369	239697	-13672	-0.05
15	261893	253609	-8284	-0.03
16	271357	267521	3836	0.01

Tabla D.2 Results of MAPE

Variables	MSW generation	GDP per capita	Equivalent Tourist Population (ETP)	Resident Population
MAPE	7.36%	1.03%	3.01%	6.39%

## **Anexo 2. Baleares**

Anexo A. Econometric Model

Anexo B. Hodrick Prescott filter. Sensitivity adjustment graphic

Anexo C: System Dynamics

## **Anexo A. Econometric Model**

Econometric Model

Operational definition of the variables in Econometric model

Dependent variable

MSW<sub>g</sub>= MSW generated

Explanatory variables

$\beta_1$  Res\_Pop=resident population

$\beta_2$  GDPper\_cap= GDPpercapita (associated with consumption patterns)

$\beta_3$  Emp\_Level= employment level

$\beta_4$  Equ\_Tour\_Pop= tourist population

$\beta_5$  Tra\_Index= trading index

$\beta_6$  Share\_mark= share of market

$\beta_7$  Import = import in the period

$\beta_8$  Ec\_Actindex= economic activity index

$\beta_9$  Educ\_Level= education level of the population

$\beta_{10}$  Num\_Comp= number of companies

$\beta_{11}$  Num\_Hous= number of households

$\beta_{12}$  Export= export in the period

$\beta_{13}$  Consump\_level = Level of consumption of the population in the period

$\beta_{14}$  Indus\_Index= industrial index

$\beta_{15}$  IRB = restaurant and bar index (sales associated with the tourist sector)

Methodology applied for the development of the regression model

We conducted a cross-sectional study and with correlations between all the involved variables, taking socio-economic data and data about the generation of MSW from the base period (or reference period) on establishing it as quantitative and therefore feasible measurement variables.

First, we apply the backward method in order to detect the variables that will be included into the econometric model. Some assumptions embedded in the regression analysis:

Supposition 1: the regression model is linear in the parameters, i.e.:

$$Y = \beta_1 + \beta_2 X_j + \mu_i$$

Supposition 2: The value half of the disturbance  $\mu_j$  is equal to zero, this is:  $E[\mu_j/X_j] = 0$ . Therefore, the factors that are not included in the model and that accordingly are incorporated in  $\mu_j$ , do not systematically affect the value of the average of the Y.

Supposition 3: Homoscedasticity or constant variance of  $\mu_i$ , given that the value of X the variance of  $\mu_i$  is constant for all observations.

Supposition 4: No autocorrelation between the disturbances, given them values any of X, for example:  $X_i$  y  $X_j$  ( $i \neq j$ ), the correlation between  $\mu_i$  y  $\mu_j$  for everything  $\neq j$  is zero.

Supposition 5: The covariance between  $\mu_i$  y  $X_i$  is zero, or  $E[\mu_i, X_i] = 0$

Supposition 6: The number of observations  $n$  must be greater that the number of parameters to estimate.

Supposition 7: Variability in the values of X. It requires that not all values of X in a given sample are equal. Thus the var  $[x]$  is a positive finite number.

Supposition 8: The correctly specified model of this regression.

Supposition 9: Absence of perfect linear correlation (perfect multicollinearity) between independent variables.

The assumptions more important of the model of regression will fall always on the term of error.

Continuing with the regression analysis, the method generally used is of the minimum squares ordinary (MSO). The criterion of this method is to provide estimates of the parameters as minimicen the sum of the squares of errors ( $\mu_i$ ). Operationally, the process is build a function objective in terms of the sum of the square of them errors and by optimization get formulas of calculation of them estimators.

His expression algebraic is the following:

$$\sum e_i^2 = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum (Y_i - \hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2 X_i)^2, \text{ de acuerdo con el principio de MSO.}$$

Eq. (B.1)

$\min \sum e_i^2 = \min \sum (Y_i - \hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2 X_i)^2$ , deriving this expression with respect to  $\hat{\beta}_1$  y  $\hat{\beta}_2$ , matching zero respectively and by solving the normal equations, will find the estimators of the parameters of the regression.

## Output E-view

Tabla A.1 Matrix of correlations (Final model)

	MSWgen	ResPop	GDPincpercap	TourPop	EducLevel	NumComp	NumHous
MSWgen	1.000000	0.991040	0.932564	0.987989	0.907843	0.983550	0.954210
ResPop	0.991040	1.000000	0.971245	0.967450	0.936343	0.998856	0.984263
GDPincpercap	0.912500	0.921525	1.000000	0.982341	0.988500	0.956456	0.912500
TourPop	0.975688	0.987765	0.997654	1.000000	0.906787	0.968874	0.945678

EducLevel	0.907843	0.936343	0.984263	0.993225	1.000000	0.941122	0.939682
NumComp	0.983550	0.996371	0.983550	0.968764	0.941122	1.000000	0.989819
NumHous	0.954210	0.984263	0.958810	0.996754	0.939682	0.989819	1.000000

Figura A.1 Correlation graphics

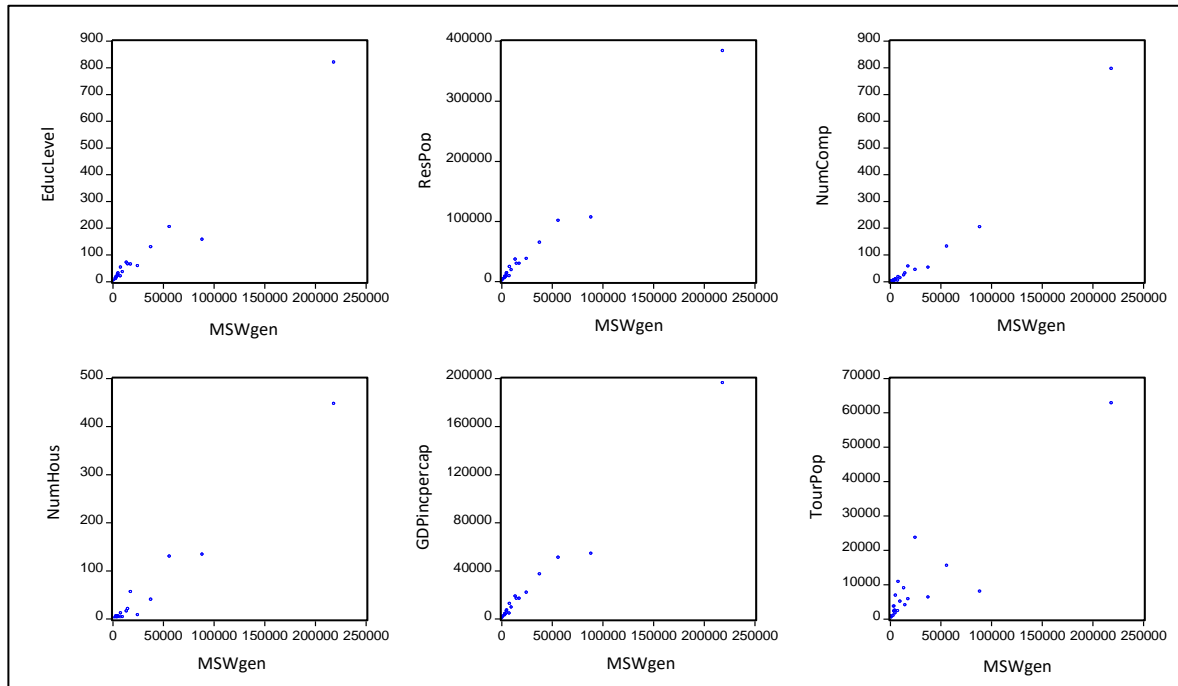


Tabla A.2 Statistical of the final model

	MSWgen	ResPop	GDPincpercap	TourPop	EducLevel	NumComp	NumHous
Means	2535.48	43543.62	0.337789	55623.0	8.388.286	3.879.286	11084.67
Median	7.789.000	14.200.00	0.359000	18.105.2	3.970.146	1.008.000	4.494.000
Maximun	218391.0	383303.0	0.479000	441550.1	62786.81	39388.00	113384.0
Minimun	4.360.000	1.324.100	0.283000	1.175.004	4.670.350	4.500.000	5.490.000
Std. Dev.	49175.68	83403.31	1.08221	96807.12	13651.44	8500.01	24197.32
Skewness	3.167.501	3.453.616	0.825834	5.681.714	3.256.629	3.712.446	3.853.718
Kurtosis	1.264.319	1.450.966	4.712.975	1.615.110	1.335.446	1.601.308	1.679.194

Jarque-Bera	1.164.526	1.576.594	4.482.646	1.984.876	1.309.363	1.964.111	2.184.193
Probabilidad	0.115100	0.102300	0.106310	0.520812	0.606318	0.561342	0.150675
Sum	532507.2	914416.0	67980.00	952875.2	176148.7	81465.00	232778.0
Sum. Sq. Dev.	4.84E+10	1.39E+10	1.57E+10	1.92E+10	3.73E+09	1.45E+09	1.17E+10

### Standardization of the coefficients

Using the value of the standard deviation, can be calculated the value of the parameters standardized by using the following formulas:

$\hat{\beta}_j^* = \hat{\beta}_j \frac{Sd(x_j)}{Sd(y)}$ , where  $\hat{\beta}_j^*$  represents a standardized parameter.  $\hat{\beta}_j$  is a non-standardized parameter value.  $Sd(x_j)$  and  $Sd(y)$  are the standard deviations ( $Sd$ ) of the exogenous variable whose parameter is standardized and the dependent variable.

$$\hat{\beta}_{ResPop}^* = \hat{\beta}_{ResPop} \frac{Sd(ResPop)}{Sd(MSWgen)} = 0.763623 \quad \frac{63688.68}{49175.68} = 1.295125$$

$$\hat{\beta}_{GDPincpercap}^* = \hat{\beta}_{GDPincpercap} \frac{Sd(GDPincpercap)}{Sd(MSWgen)} = 23384.1 \quad \frac{25282.01}{49175.68} = 0.514116$$

$$\hat{\beta}_{TourPop}^* = \hat{\beta}_{TourPop} \frac{Sd(TourPop)}{Sd(MSWgen)} = 0.885401 \quad \frac{87592.02}{49175.68} = 1.781206$$

$$\hat{\beta}_{EducLevel}^* = \hat{\beta}_{EducLevel} \frac{Sd(EducLevel)}{Sd(MSWgen)} = -0.301325 \quad \frac{4112.79}{49175.68} = -0.083634$$

$$\hat{\beta}_{NumComp}^* = \hat{\beta}_{NumComp} \frac{Sd(NumComp)}{Sd(MSWgen)} = 3.231921 \quad \frac{24938.12}{49175.68} = 0.507102$$

$$\hat{\beta}_{NumHous}^* = \hat{\beta}_{NumHous} \frac{Sd(NumHous)}{Sd(MSWgen)} = 1.615420 \quad \frac{21916.02}{49175.68} = 0.445667$$

Figura A.2 Graphics error analysis for detecting autocorrelations. (residual analysis)

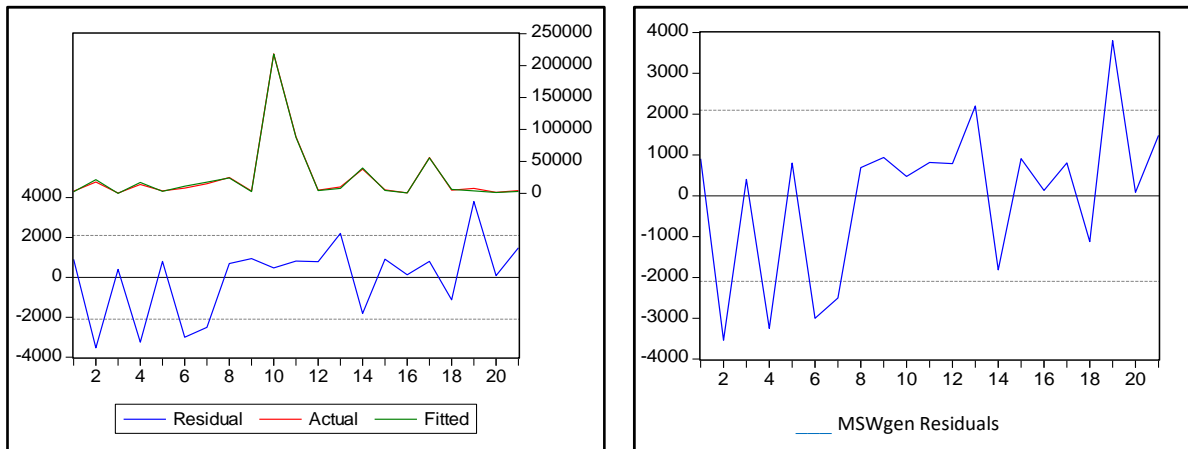
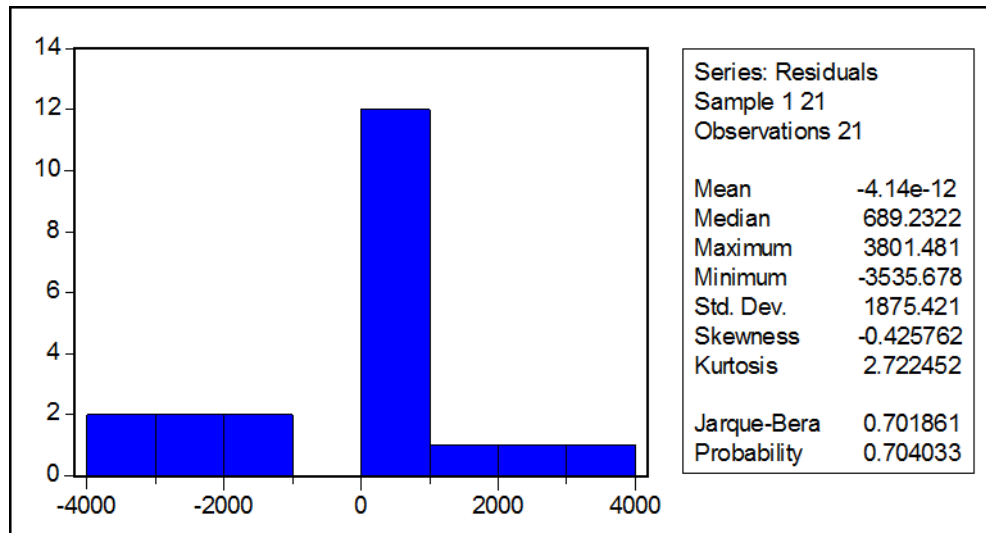


Tabla A.3 Variance-Covariance Matrix

	MSWgen	ResPop	GDPinpercap	TourPop	EducLeve	NumCom	NumHous
MSWgen	2.30E+09	3.87E+09	4.52E+09	3.92E+08	5.80E+08	3.92E+08	1.08E+09
ResPop	3.87E+09	4.85E+08	1.08E+09	4.72E+09	1.02E+09	6.73E+08	1.89E+09
GDPinpercap	6.12E+08	3.62E+09	6.73E+08	2.87E+09	3.87E+09	3.32E+09	1.02E+09
TourPop	4.60E+09	6.78E+09	2.63E+09	3.92E+09	5.92E+08	6.46E+09	2.81E+09
EducLevel	5.80E+08	1.02E+09	4.12E+09	1.31E+09	1.77E+08	1.04E+08	2.36E+08
NumComp	3.92E+08	6.73E+08	5.06E+09	3.02E+08	1.04E+08	68810964	1.94E+08
NumHous	1.08E+09	1.89E+09	1.92E+09	2.59E+09	2.96E+08	1.94E+08	5.58E+08

Figura A.3 Measurements of the error or normalcy in the MSW



For the multi-collinearity analysis, several steps have to be done: First, an equation involving all the independent variables has to be generated. To detect and to analyze the degree of multicollinearity, first the *Condition Number* (CN), which is a very accepted measure in these cases, has to be calculated. The CN is usually considered problematic if reaches values above 30. Another way to detect it is by calculating the *Inflation Factor of Variance* (IFV) and the *Tolerance Index* (TI). With this, we can see which variables and to what degree they are involved in the problem of collinearity.

Envision the itself value (iV), is observed the maximum and minimum of iV, where the CN will come given by:

$$CN = (iV \max / iV \min)^{1/2}$$

The eigenvalues obtained in each variable in this study are the following:

R1 0.002275

R2 0.013451

R3 0.062467

R4 0.743268

R5 4.178539

R6 0.011097

Replacing in formula:

$$CN = (iV \text{ max} / iV \text{ min})^{1/2}$$

$$CN = (4.178539/0.002275)^{1/2}$$

$$CN = (1836.7204)^{1/2}$$

$$CN = 42.8569 \quad (\text{Criterion: } CN > 30 = \text{Problem})$$

See that there is a high multicollinearity in the independent variables. But it is advisable in this case to despise the multicollinearity in the model, since the variables possess great ability in explaining to the dependent variable with a very good individual and joint significance, with a nearly zero  $F$ (Statistics), and goodness of fit of the model of an  $R^2 = 99\%$ . The following table 4B shows results IFV e TI, obtained by the regression between the independent variables in order to obtain these values. That is another way effective of detecting the variable guilty of the presence of collinearity.

Tabla A.4 Results inflation Factor of variance (IFV) and the tolerance index (TI)

Regressor	$R^2$	Tolerance Index IT = 1- $R^2$	Inflation Factor of Variance IFV = 1/(1- $R^2$ )	Durbin- Watson Statistics	Observations
ResPop	0.99	0.01	100	2.2	Only NumComp Significant to the 5%
GDPincpercap	0.92	0.11	9.05	2.1	Only TourPop significant to the 5%
TourPop		0.02	100	2.2	Only ResPop Significant to the 5%

EducLevel	0.89	0.11	9.01	2.2	No significance to the 5%
NumComp	0.99	0.01	100	1.8	Only EducLevel no significance to the 5%
NumHous	0.98	0.02	50	2.0	Only NumComp Significant to the 5%

According to the values of the tolerance index (TI) in table 4, the variables presumably presenting multicollinearity are: ResPop, NumComp and NumHous, because they are too far away from the unit (a TI close to 1.0 is considered) and its Inflation Factors of Variance (IFV) are all higher than 10 (a IFV higher than 10 is considered to be problematic). With a TI close to the unit and an IFV higher than 10, the variable EducLevel does not present any problems of collinearity. One could try to re-estimate the model by eliminating variables that exceed the TI and IFV rates whenever this is statistically and economically justified. It would also be possible to substitute the independent variables by their most significant components in scores. Therefore, by gathering all the theoretically, statistically and economically justified background data obtained in the contrast analysis and by removing the redundant variables from the model as well as leaving the confounding variables in stand-by, the equation of the final model is obtained (4).

#### Analysis of the results of the econometric model

Analyzing the “Prob” column, we can observe that all the variables are significant at a level of 5%. Thus, all the variables that we want to model and that we have determined as critical variables regarding the generation of MSW (Resident population, GDP percapita and Tourists population) have a strong power of

explanation on the dependent variable, both individually and jointly.

We also see that the F-statistic is almost nil and therefore there is a high probability that the variables favourably explain the model. In addition, the Durbin-Watson statistic test shows a value larger than 2.2 this shows that the model has no autocorrelation. However, at this point it is not yet possible to assure that the model does not present any problems of heteroscedasticity and multicollinearity. Further tests have to be conducted.

Tabla A.5 Heteroscedasticity Test (While contrast)

---

F-statistic	1.528394	Prob.F (6,11)	0.244764
Obs*R-squared	10.59845	Prob. Chi-Square	0.225506

---

Regarding the F-statistic and the Chi-square probabilities, they are much higher than 0.05, which leads us to accept the absence of heteroscedasticity.

Normality of residuals (Jarque-Bera contrast)

In appendix B, we can see that graphically the Jarque-Bera statistic is significant at 70% (> 5%). This indicates that the errors are distributed on a normal level. The value of the kurtosis tends to 3 and the asymmetry coefficient tends to 0, which also is a sign of normality.

Concerning the multicollinearity, there is no strong relationship between the independent variables that can generate problems of multicollinearity to the model, as shown in the matrix of correlations. Graphically, the non-presence of multicollinearity is also evident since graphics between the independent variables and the MSW generation show structural random points.

Finally, as we have used variables in different units of measure, it is not possible to know precisely the relative importance of each variable. With this, we cannot identify the importance of each coefficient and variable. This leads to the necessity of standardizing the initially obtained coefficients through the standard deviation of both the exogenous and the endogenous variable.

Tabla A.6 The following table shows the summary of the standardized variables.

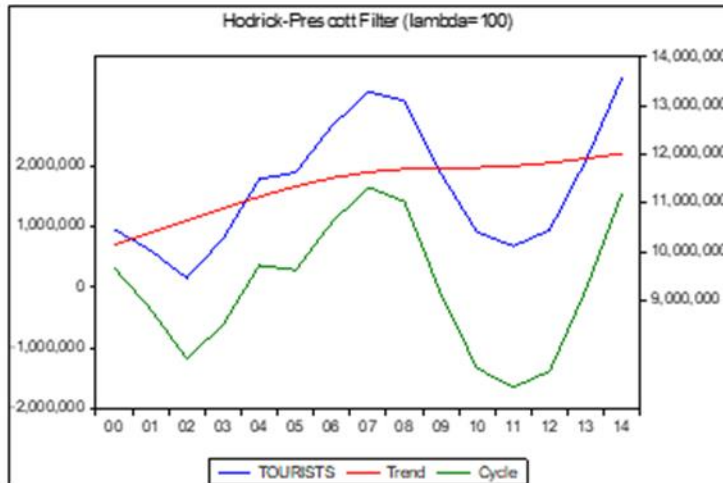
Variables	Not standardized coefficients or beta coefficients	Standardized coefficients
ResPop	0.763623	1.194125
GDPincpercap	23384.1	1.312100
TourPop	0.885401	1.71203
EducLevel	-0.301325	-0.13634
NumComp	3.231921	0.679102
NumHous	1.615429	0.736417

Tabla A.7 Output E-view 1 (dependent variable: MSW\_gen; Method: MQO; Observations: 15)

Variables	Coefficient	Std. Error	t-Statistics	Prob.
C	3.022979	685.2062	0.004412	0.9965
Pob_Res	0.763623	0.066941	11.40735	0.0000
PIB_per_cap	23384.1	0.010620	12.33721	0.0005
Pob_Tur	0.885401	0.022520	7.05211	0.0002
Nivel_educ	-0.301325	0.103100	-2.922649	0.0100
Unid_econ	3.231921	0.822007	3.931742	0.0012
Unid_viv	1.615429	0.139850	-11.55112	0.0000
R <sup>2</sup>	0.998546	Mean dependent var	25357.48	
R <sup>2</sup> adjusted	0.998182	S.D. dependent var	49175.68	
S.E. of regression	2096.785	Akaike info criterion	18.33845	
Sum squared resid	70344110	Schwarz criterion	18.58715	
Log likelihood	-187.5538	F-statistic	2746.192	
Durbin-Watson stat	2.282722	Prob(F-statistic)	0.000000	

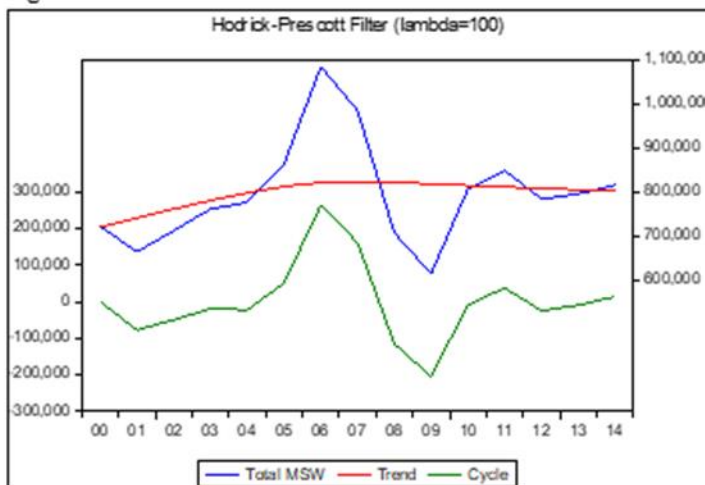
## Anexo B. Hodrick Prescott filter. Sensitivity adjustment graphic

Fig. B.1



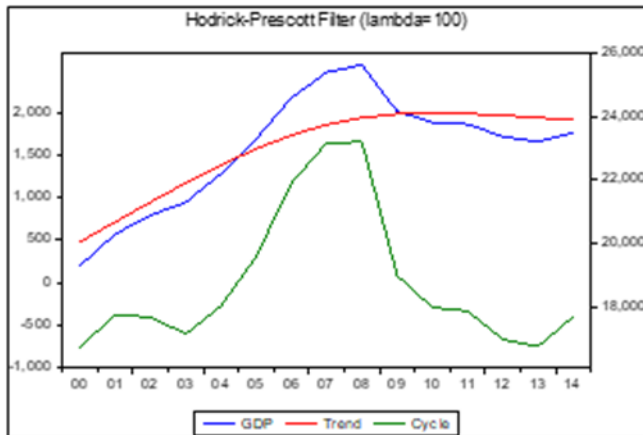
Year	HP filter
2000	10137520
2001	10383290
2002	10632256
2003	10884018
2004	11126420
2005	11341152
2006	11513513
2007	11631649
2008	11694348
2009	11716847
2010	11728477
2011	11757492
2012	11818862
2013	11911095
2014	12018939

Fig. B.2



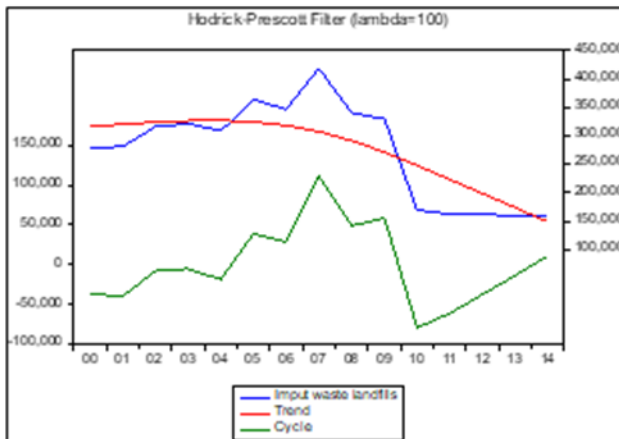
Year	HP filter
2000	719973.4
2001	740334.1
2002	760711.7
2003	780351.8
2004	798009.1
2005	812248.4
2006	821414.7
2007	824366.1
2008	822604.8
2009	819248.2
2010	816251.0
2011	813513.4
2012	810836.8
2013	808378.2
2014	806023.3

Fig. B.3



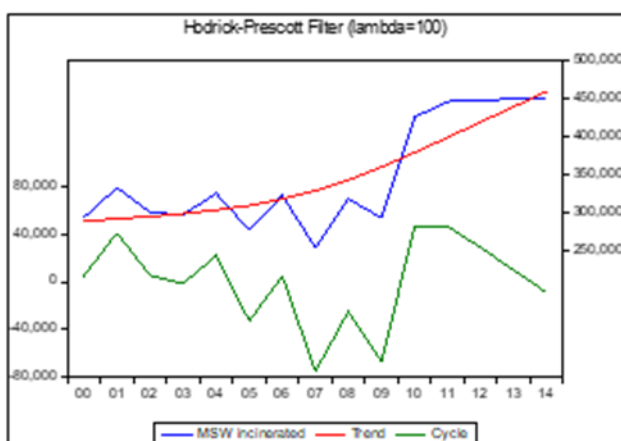
Year	HP filter
2000	20032.31
2001	20662.88
2002	21286.13
2003	21891.11
2004	22462.99
2005	22981.07
2006	23241.98
2007	23765.55
2008	24003.41
2009	24143.51
2010	24210.12
2011	24227.76
2012	24217.09
2013	24194.18
2014	24168.89

Fig. B.4



Year	HP filter
2000	316622.1
2001	320571.1
2002	324153.9
2003	326609.3
2004	327098.7
2005	324733.0
2006	318438.5
2007	307532.2
2008	291617.9
2009	271409.2
2010	248109.3
2011	223506.1
2012	198600.4
2013	173784.2
2014	149079.3

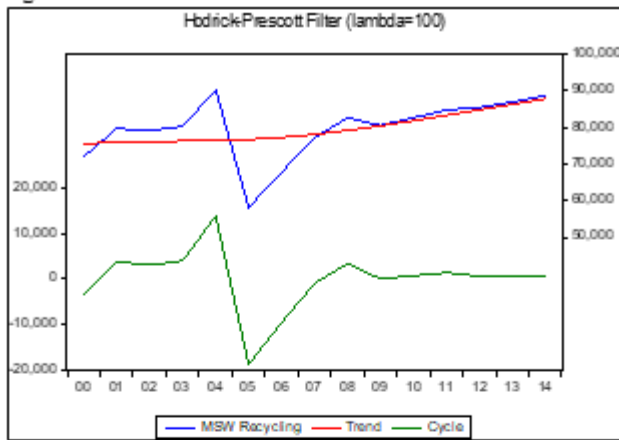
Fig. B.5



Year	HP filter
2000	20032.31
2001	20662.88
2002	21286.13
2003	21891.11
2004	22462.99
2005	22981.07
2006	23241.98
2007	23765.55
2008	24003.41
2009	24143.51
2010	24210.12
2011	24227.76
2012	24217.09
2013	24194.18
2014	24168.89

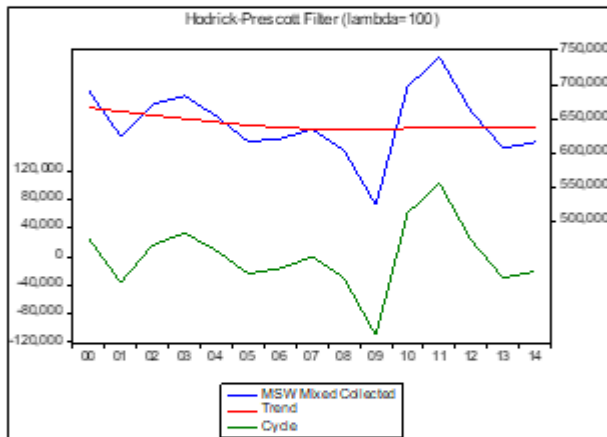
Figura 1: Hodrick Prescott filter, B3 – B5.

Fig. B.6



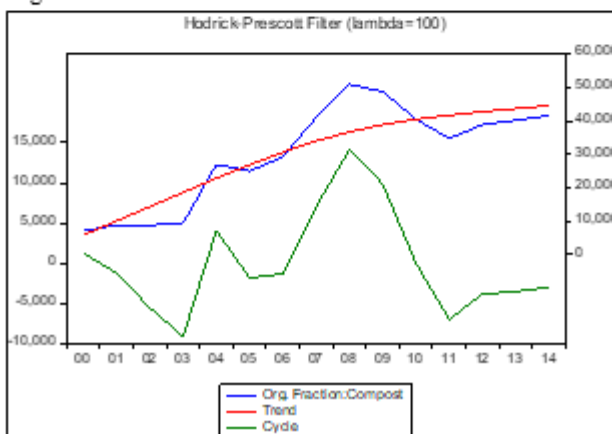
Year	HP filter
2000	75663.66
2001	75914.92
2002	76130.53
2003	76312.88
2004	76495.33
2005	76751.79
2006	77294.44
2007	78149.22
2008	79247.28
2009	80510.67
2010	81895.42
2011	83358.53
2012	84864.82
2013	86393.38
2014	87930.13

Fig. B.7



Year	HP filter
2000	665968.4
2001	660458.1
2002	655192.5
2003	650054.3
2004	645086.2
2005	640662.9
2006	637243.3
2007	635047.5
2008	634130.7
2009	634546.4
2010	636048.8
2011	637291.1
2012	637535.1
2013	637064.9
2014	636386.8

Fig. B.8



Year	HP filter
2000	5873.92
2001	10110.33
2002	14359.50
2003	18621.78
2004	22842.20
2005	26874.66
2006	30613.60
2007	33935.10
2008	36702.06
2009	38847.73
2010	40447.13
2011	41673.92
2012	42701.67
2013	43634.06
2014	44536.33

period	MSW generation	Forecast	error abs.	error % abs.
1	719973	1005228	285255	2.52396277
2	740334	1010456	270122	2.74073937
3	760711	1015684	254973	2.98349629
4	780351	1020912	240561	3.24387993
5	798009	1026140	228131	3.49802964
6	812248	1031368	219120	3.70686382
7	821414	1036596	215182	3.81729884
8	824366	1041824	217458	3.79092055
9	822604	1047052	224448	3.66500927
10	819248	1052280	233032	3.51560301
11	816251	1057508	241257	3.38332567
12	813513	1062736	249223	3.26419712
13	810836	1067964	257128	3.15343331
14	808378	1073192	264814	3.05262562
15	806023	1078420	272397	2.95900102
				49.2983862
			periods	15
			% error	3.29%

period	TourPop	Forecast	error abs.	error % abs.
1	10137520	20123222	9985702	1.01520354
2	10383290	20246444	9863154	1.05273526
3	10632256	20369666	9737410	1.09189774
4	10884018	20492888	9608870	1.1327053
5	11126420	20616110	9489690	1.17247455
6	11341152	20739332	9398180	1.20673918
7	11513513	20862554	9349041	1.23151808
8	11631649	20985776	9354127	1.24347777
9	11694348	21108998	9414650	1.24214368
10	11716847	21232220	9515373	1.23135972
11	11728477	21355442	9626965	1.21829434
12	11757492	21478664	9721172	1.20947268
13	11818862	21601886	9783024	1.20809905
14	11911095	21725108	9814013	1.21368242
15	12018939	21848330	9829391	1.2227552
				17.6925585
			periods	15
			%error	1.18%

period	GDP percapita	Forecast	error abs.	error % abs.
1	20032	567114	547082	0.03661608
2	20662	567408	546746	0.03779086
3	21286	567702	546416	0.03895567
4	21891	567996	546105	0.0400857
5	22462	568290	545828	0.04115216
6	22981	568584	545603	0.04212037
7	23421	568878	545457	0.04293831
8	23765	569172	545407	0.04357296
9	24003	569466	545463	0.04400482
10	24143	569760	545617	0.04424899
11	24210	570054	545844	0.04435333
12	24227	570348	546121	0.04436196
13	24217	570642	546425	0.04431898
14	24194	570642	546448	0.04427503
15	24168	571230	547062	0.04417781
				0.63297302
			periods	15
			% error	4.2%

period	ResPop	Forecast	error abs.	error % abs.
1	861704	40020099	39158395	0.0220056
2	887424	40040198	39152774	0.02266567
3	912984	40060297	39147313	0.02332175
4	938134	40080396	39142262	0.02396729
5	962665	40100495	39137830	0.02459679
6	986462	40120594	39134132	0.0252072
7	1009331	40140693	39131362	0.0257934
8	1031046	40160792	39129746	0.02634942
9	1051298	40180891	39129593	0.02686708
10	1069774	40200990	39131216	0.02733812
11	1086378	40221089	39134711	0.02775996
12	1101268	40241188	39139920	0.0281367
13	1114800	40261287	39146487	0.02847765
14	1127449	40281386	39153937	0.02879529
15	1139734	40301485	39161751	0.02910324
				0.39038518
			periods	15
			% error	2.60%

## Anexo C: System Dynamics

Tabla C.1 Operational definition of the variables in SD

abbreviation variables	description	parameter values
<i>Fbirth</i>	flow birth	n° birth average annual *1000 inhabitant ( $b=B/P*1000$ ), b=birth rate; P= population; B= Total birth*year
<i>Fdeath</i>	Flow deaths	Expressed in so many per thousand per year, %.
<i>ETP</i>	equivalent tourist population in period x	thousand person per year
<i>Resident population</i>	register persons in period x	Millions/inhabitant/year
<i>GDP</i>	gross domestic product in period <i>t</i>	Euros/pers/year
<i>TMSW</i>	Total MSW generated in period <i>t</i>	tonnes/pers/year
<i>INC</i>	incineration	tonnes/year
<i>nsc</i>	non-selectively collected in period <i>t</i>	tonnes/year
<i>p</i>	period	year
<i>sc</i>	selective collected in period <i>t</i>	tonnes/year
<i>t</i>	time	year
<i>RFIHW</i>	remaining fraction of industrial waste in period <i>t</i>	tonnes/year
<i>DF</i>	dry fraction no organic of household waste in period <i>t</i>	tonnes/year
<i>OBF</i>	organical biological fraction in period <i>t</i>	tonnes/year
<i>INCC</i>	incinerated capacity in period <i>t</i>	tonnes/year
<i>Compost</i>	industrially composted household waste in period <i>t</i>	tonnes/year

## Mathematical representation of some of the levels and flow equations used in the proposed model

### *Mathematical representation of some of the levels and flow equations used in the proposed model*

$$\text{Total population } p = \int (F_{\text{birth}_p} - F_{\text{death}_p} + F_{\text{emigration}_p} + F_{\text{immigration}_p}) \quad \text{Eq. (C.1)}$$

$F = \text{flow}$

$$\text{Birth rate}_p = \text{birth rate lookup}_{\text{time}} * \text{birth rate adjustment}$$

$$\text{Tourist population } p = \int (\text{input tourists}_p * \text{hotel capacity}_p - \text{output tourists}_p + \text{residential tourism}_p) \quad \text{Eq. (C.2)}$$

$$\text{Input tourists rate}_p = \text{input tourists lookup}_{\text{time}} * \text{input tourists adjustment}$$

$$\text{GDP (t)} = \int (\text{GDP components}_p * \text{total production factors}_p * \text{annual GDP increase rate}) \quad \text{Eq. (C.3)}$$

$$\text{Annual GDP increase rate}_p = \text{GDP rate lookup}_{\text{time}} * \text{GDP rate adjustment}$$

$$\text{TMSW generated}_p = \int (F_{\text{MSW generated}_p} - f_{\text{final treatment}_p}) \quad \text{Eq. (C.4)}$$

$$\text{MSW generation rate}_p = \text{MSW gen. lookup rate}_{\text{time}} * \text{per capita generation adjustment} \quad \text{Eq. (C.5)}$$

$$\text{INC}_p = \min(\text{TMSWnsc}_p + \text{RFIHW}_t + \text{DF}_p + \text{OBF}_{i(p)} + \text{INCC}_p) \quad \text{Eq. (C.6)}$$

$$\text{Landfill capacity}_p = \int (-\text{rate of filling}) \quad \text{Eq. (C.7)}$$

$$\text{Rate of filling} = \text{unit volume of soil compacted waste} * \text{waste to landfill}$$

$$\text{Total waste recycled } p = \text{total glass}_{\text{sc}(p)} * \text{glass recycling rate} + \text{total paper and cardboard}_{\text{sc}(p)} * \text{paper and cardboard recycling rate} + \text{total mixed packing}_{\text{sc}(p)} * \text{mixed packing rate} + \text{other recycling rate} \quad \text{Eq. (C.8)}$$

$$\text{Compost}_p = \text{input (orgfractions}_p + \text{waste rejection}_p) * \text{compost rate} \quad \text{Eq. (C.9)}$$

$$\text{MSW generation ETP}_p = \int \left( \frac{\text{input tourists}_p}{\text{average tourist stay}_p} * \text{tourism rate} \right) \quad \text{Eq. (C.10)}$$

$$\text{MSW generation resident population}_p = \int (\text{total resident population}_p * \text{MSW rate resident population}_{\text{time}}) \quad \text{Eq. (C.11)}$$

$$\text{Total MSW generation}_p = \int (\text{MSW generation ETP}_p * \text{equivalent touristic population rate}_{\text{time}} + \text{MSW generation resident population} * \text{resident population rate}_{\text{time}}) \quad \text{Eq. (C.12)}$$

Figura C.1 Causal loop diagram of the MSW management in the Balearic Islands (own elaboration).

