

Modelo de cálculo de emisiones  
de gases de efecto invernadero asociadas  
a determinados escenarios de generación  
de residuos municipales en España



# MODELO DE CÁLCULO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO ASOCIADAS A DETERMINADOS ESCENARIOS DE GENERACIÓN DE RESIDUOS MUNICIPALES EN ESPAÑA

Noviembre de 2011

## Equipo técnico

Dr. Carles Martínez Gasol (Inèdit)

Dr. Ramon Farreny Gaya (Inèdit)

## Asesorament técnico

Sr. Àlvaro Feliu (FFA)

Sr. Pep Tarifa (FFA)

*Elaborado por:*



*Inèdit es una empresa de:*



*Encargado y Financiado por :*



*Revisado por:*





# Índice

## Índice3

<b>Índice de tablas</b> .....	5
<b>Índice de figuras</b> .....	7
<b>Abreviaciones</b> .....	8
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	9
1.1. Equipo de trabajo .....	10
1.1.1. Fundación Fórum Ambiental .....	10
1.1.2. Inèdit Innovació s.l.....	11
1.1.3. Sostenipra .....	11
<b>2. OBJETIVO</b> .....	12
<b>3. METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO</b> .....	13
3.1. Fase I. Definición de escenarios.....	13
3.2. Fase II. Definición de parámetros clave.....	14
3.3. Fase III. Caracterización de plantas.....	14
3.4. Fase IV. Inventarios.....	15
3.5. Fase V. Clasificación y caracterización de impactos .....	15
3.6. Fase VI. Resultados mitigación por escenarios.....	16
3.7. Fase VII. Desarrollo de la calculadora de emisiones.....	16
<b>4. DEFINICIÓN DE ESCENARIOS</b> .....	17
4.1. Escenario 2020 ACTUAL.....	17
4.2. Escenario 2020 LEGAL.....	21
4.2.1. Tasa de reciclaje.....	21
4.2.2. Residuos enviados a vertedero.....	22
4.3. Escenario 2020 AVANZADO .....	27
4.4. Síntesis de escenarios .....	30
<b>5. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS CLAVE</b> .....	31

5.1.	Composición de los flujos de residuos.....	31
5.2.	Parámetros clave de las plantas de gestión de residuos .....	33
5.3.	Créditos por valorización material y energética .....	34
<b>6.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE LAS PLANTAS .....</b>	<b>38</b>
6.1.	Planta de triaje y compostaje (TMB1).....	38
6.2.	Planta de triaje, biometanización y compostaje (TMB2).....	40
6.3.	Planta de triaje, biometanización y compostaje avanzada (TMB3).....	43
6.4.	Planta de biometanización de FORM.....	45
6.5.	Planta de compostaje, abierta .....	46
6.6.	Planta de compostaje, cerrada .....	47
6.7.	Planta de triaje de envases ligeros.....	48
6.8.	Planta de afino de vidrio .....	49
6.9.	Planta de triaje de papel y cartón.....	50
6.10.	Planta de incineración (PVE) .....	51
6.11.	Vertedero controlado .....	52
6.12.	Planta de preparación de CDR/CSR.....	54
<b>7.</b>	<b>RESULTADOS: INVENTARIO,IMPACTOS Y MITIGACIÓN .....</b>	<b>57</b>
7.1.	Resultados Escenario 2020 ACTUAL.....	57
7.2.	Resultados Escenario 2020 LEGAL .....	58
7.3.	Resultados Escenario 2020 AVANZADO.....	60
7.4.	Mitigación por escenarios.....	63
<b>8.</b>	<b>CALCULADORA DE EMISIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>70</b>

## Índice de tablas

Tabla 1. Factores de caracterización, según IPCC (Forster et al. 2007).....	16
Tabla 2. Flujos de residuos municipales y tratamientos asociados en el escenario 2020 ACTUAL .....	20
Tabla 3. Flujos de residuos municipales y tratamientos asociados en el escenario 2020 LEGAL.....	26
Tabla 4. Flujos de residuos municipales y tratamientos asociados en el escenario 2020 AVANZADO.....	29
Tabla 5. Tasas de recogida selectiva en los tres escenarios.....	30
Tabla 6. Verificación de objetivos legales en los tres escenarios .....	30
Tabla 7. Composición de la bolsa tipo para el año 2008 y estimada para 2020 (% en masa) ....	32
Tabla 8. Composición estimada de las fracciones resto y rechazo de TMB para los tres escenarios .....	33
Tabla 9. Factor de captación de biogás en vertederos para los tres escenarios .....	34
Tabla 10. Créditos de valorización material y energética considerados.....	35
Tabla 11. Créditos de secuestro de carbono considerados .....	36
Tabla 12. Potencial calentamiento global de los inputs energéticos.....	37
Tabla 13. Características de la planta TMB1 (datos en base a la entrada de 1 t de resto).....	39
Tabla 14. Factor de emisión de la degradación aeróbica de residuos (compostaje).....	40
Tabla 15. Características de la línea fracción resto en la planta TMB2 (datos en base a la entrada de 1 t de resto) .....	41
Tabla 16. Características de la línea FORM en la planta TMB2 (datos en base a la entrada de 1 t de FORM) .....	42
Tabla 17. Factor de emisión de la degradación anaeróbica de residuos (biometanización).....	42
Tabla 18. Características de la línea fracción resto en la planta TMB3 (datos en base a la entrada de 1 t de resto) .....	43
Tabla 19. Características de la línea FORM en la planta TMB3 (datos en base a la entrada de 1 t de FORM) .....	44

Tabla 20. Características de la planta de biometanización de FORM (datos en base a la entrada de 1 t de FORM) .....	45
Tabla 21. Características de la planta de compostaje de FORM, abierta (datos en base a la entrada de 1 t de FORM).....	46
Tabla 22. Características de la planta de compostaje de FORM, cerrada (datos en base a la entrada de 1 t de FORM).....	47
Tabla 23. Características de la planta de triaje de envases ligeros (datos en base a la entrada de 1 t de envases ligeros recogidos selectivamente).....	48
Tabla 24. Características de la planta de afino de vidrio (datos en base a la entrada de 1 t de vidrio recogido selectivamente).....	49
Tabla 25. Características de la planta de triaje de papel y cartón (datos en base a la entrada de 1 t de papel y cartón recogido selectivamente).....	50
Tabla 26. Características de la PVE (datos en base a la entrada de 1 t de residuo).....	51
Tabla 27. Emisiones de la combustión de residuos en PVE .....	52
Tabla 28. Características del vertedero (datos en base a la entrada de 1 t de resto/rechazo) ..	52
Tabla 29. Generación, captación y emisión difusa de biogás en los vertederos españoles en el año 2020 para los tres escenarios.....	54
Tabla 30. Porcentaje de cada fracción del flujo de rechazo destinado a CSR, CDR y rechazo, respectivamente.....	55
Tabla 31. Porcentaje de cada fracción del flujo de rechazo destinado a CSR, CDR y rechazo, respectivamente.....	55
Tabla 32. Características de la línea de preparación de CSR/CDR (datos en base a la entrada de 1 t de rechazo de TMB) .....	56
Tabla 33. Huella de carbono del escenario 2020 ACTUAL .....	57
Tabla 34. Huella de carbono del escenario 2020 LEGAL .....	59
Tabla 35. Huella de carbono del escenario 2020 AVANZADO.....	61
Tabla 36. Mitigación de emisiones de GEI en los escenarios 2020 LEGAL y AVANZADO en relación con el escenario 2020 ACTUAL.....	64
Tabla 37. Mitigación de emisiones de GEI en los escenarios 2020 LEGAL y AVANZADO en relación con el escenario 2020 ACTUAL, con sustitución de mix eléctrico fósil .....	64

## Índice de figuras

Figura 1. <i>Metodología y plan de trabajo</i> .....	13
Figura 2. <i>Caracterización de los flujos de las plantas de tratamiento</i> .....	14
Figura 3. <i>Huella de carbono en el escenario 2020 ACTUAL</i> .....	58
Figura 4. <i>Huella de carbono en el escenario 2020 LEGAL</i> .....	60
Figura 5. <i>Huella de carbono en el escenario 2020 AVANZADO</i> .....	62
Figura 6. <i>Huella de carbono total en el año 2020 de los distintos escenarios</i> .....	63
Figura 7. <i>Huella de carbono (por tipo de impacto) en el año 2020 de los distintos escenarios</i> ..	63
Figura 8. <i>Imagen de portada de la calculadora</i> .....	66
Figura 9. <i>Hoja de instrucciones de la calculadora</i> .....	66
Figura 10. <i>Hoja de entrada de datos 1: flujos de residuos (celdas naranjas editables)</i> .....	67
Figura 11. <i>Hoja de entrada de datos 2: panel de control</i> .....	68
Figura 12. <i>Hoja de resultados</i> .....	69

## Abreviaciones

CDR	Combustible Derivado de Residuos (Refuse Derived Fuel)
CH <sub>4</sub>	Metano
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CSR	Combustible Sólido Recuperado (Solid Recovered Fuel)
FFA	Fundación Fórum Ambiental
FORM	Fracción Orgánica de los Residuos Municipales
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
MOR	Materia orgánica residual
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
OSE	Observatorio de la Sostenibilidad en España
PCG	Potencial Calentamiento Global
PNIR	Plan Nacional Integrado de Residuos
RSM	Residuos Sólidos Municipales
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
TMB	Tratamiento Mecánico-Biológico

## 1. INTRODUCCIÓN

A escala global, el sector de los residuos tiene una contribución relativamente pequeña a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), estimada entre 3 y 5% en 2005. No obstante, el sector de los residuos se encuentra en una posición única para pasar de ser una pequeña fuente de emisiones globales a ser un gran ahorrador de emisiones, gracias a la prevención y recuperación de los residuos (material y/o energética) (UNEP 2010).

La finalidad del proyecto es la incorporación de una herramienta de gestión ambiental para la identificación y cuantificación de las emisiones directas e indirectas de los gases de efecto invernadero (GEI) que se producen durante el tratamiento de los Residuos Sólidos Municipales (RSM) en España.

De manera resumida, el proyecto se inicia con la identificación y cuantificación de todos los flujos de las diferentes fracciones de RSM generados en España con la excepción de los residuos depositados en puntos verdes y los denominados voluminosos. Seguidamente se determina para cada fracción de residuo, tanto fracciones recogidas selectivamente como la fracción resto, el tratamiento que se les realiza. Finalmente y después de determinar datos de planta (consumo energéticos, eficiencias de tratamiento, emisiones de planta...) se realiza el cálculo de las emisiones directas e indirectas de GEI de los tratamientos de residuos en tres escenarios determinados.

Con el objetivo de cuantificar dichas emisiones de GEI, se aplica principalmente la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) en las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (IPCC 2006) y el Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de España (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino 2010a). Se comenta con más detalle en el capítulo de metodología todos los métodos utilizados para el cálculo de los GEI.

Finalmente, se estiman las emisiones de GEI y se recopilan los resultados y conclusiones en el informe final. Además se proporciona a la Fundación Fórum Ambiental (FFA) una herramienta informática flexible con propiedad intelectual compartida entre dicha fundación e Inèdit Innovació s.l., en la que se implementa todo el procedimiento de cálculo, de manera que se automatiza la evaluación de cualquier otro escenario en base a un conjunto de parámetros claves detectados exigidos por la metodología.

## **1.1. Equipo de trabajo**

La evaluación de las GEI de este proyecto ha requerido el trabajo colaborativo entre las entidades participantes:

- Fundación Fórum Ambiental (asesoramiento)
- Inèdit Innovació s.l., empresa del Parc de Recerca de la Universitat Autònoma de Barcelona (ejecución)
- Grupo de Investigación Sostenipra de la Universitat Autònoma de Barcelona (revisión)

### ***1.1.1. Fundación Fórum Ambiental***

La Fundación Fórum Ambiental (<http://www.forumambiental.org/entrada.html>), tiene como objetivo crear una plataforma de diálogo y colaboración entre, empresas, administraciones y el resto de la sociedad con la finalidad de conseguir conjuntamente un modelo de desarrollo más sostenible que el actual.

Desde el inicio la vocación de la Fundación ha sido:

- Construir el conocimiento que permita un desarrollo sostenible en el marco de las empresas y las administraciones públicas
- Promover actuaciones que favorezcan la mejora del medio ambiente
- Ser punto de encuentro de responsables y expertos
- Promover el sector económico del medio ambiente

El personal de la Fundación Fórum Ambiental que ha colaborado en el presente proyecto es:

- D. Àlvaro Feliu
- D. Pep Tarifa

### **1.1.2. Inèdit Innovació s.l.**

INÈDIT ([www.ineditinnova.com](http://www.ineditinnova.com)) es una empresa dedicada a la investigación aplicada en el campo de la sostenibilidad y la prevención ambiental, que aporta un factor de ecoinnovación a sus clientes.

Formada por doctores y tecnólogos capaces de ofrecer respuestas innovadoras para afrontar los retos ambientales más complejos. INÈDIT pone a disposición de las empresas y administraciones su conocimiento a través de los servicios de ecodiseño y ecoinnovación, y la aplicación de herramientas de cuantificación de la sostenibilidad en productos, procesos y sistemas.

Algunos de los campos prioritarios para INÈDIT son la definición de estrategias de mejora ambiental en sistemas urbanos, gestión de residuos, servicios, agroalimentarios y agroenergéticos; así como en productos y procesos industriales.

El personal investigador que participa en el presente proyecto es el siguiente:

- Dr. Carles Martínez Gasol
- Dr. Ramon Farreny Gaya

### **1.1.3. Sostenipra**

El grupo SosteniPrA tiene como objetivo liderar proyectos en una área emergente: herramientas para la sostenibilidad y la prevención ambiental. Trabaja en los ámbitos del análisis del ciclo de vida, el ecodiseño, la eficiencia, la ecología industrial, el análisis de flujos materiales y energéticos, aplicado a los sistemas industriales, urbanos y agrícolas, tanto a escala de proceso, local, regional y/o nacional. Se aplica en sectores prioritarios como la biomasa y los códigos de buenas prácticas en la agricultura, la industria química, la valorización de residuos, la mejora de los sistemas urbanos y los productos industriales y la compra verde en instituciones públicas y servicios.

El personal investigador que participa en el presente proyecto es el siguiente:

- Dr. Joan Rieradevall
- Dr. Xavier Gabarrell

## 2. OBJETIVO

El presente estudio tiene como **objetivo principal** elaborar un modelo para calcular una primera aproximación de las emisiones directas, indirectas y evitadas de GEI asociados a tres escenarios determinados de generación y gestión de residuos municipales en España.

Los objetivos específicos que derivan del objetivo principal son:

- Cuantificar las emisiones de GEI para los tres escenarios de tratamiento de residuos municipales determinados en España.
- Cuantificar la mitigación de GEI alcanzada en los diferentes escenarios determinados en España.
- Cuantificar la contribución de las diferentes plantas e instalaciones de tratamiento de residuos municipales en España.

### 3. METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

La figura 1 presenta un esquema general de la metodología seguida para el presente proyecto.

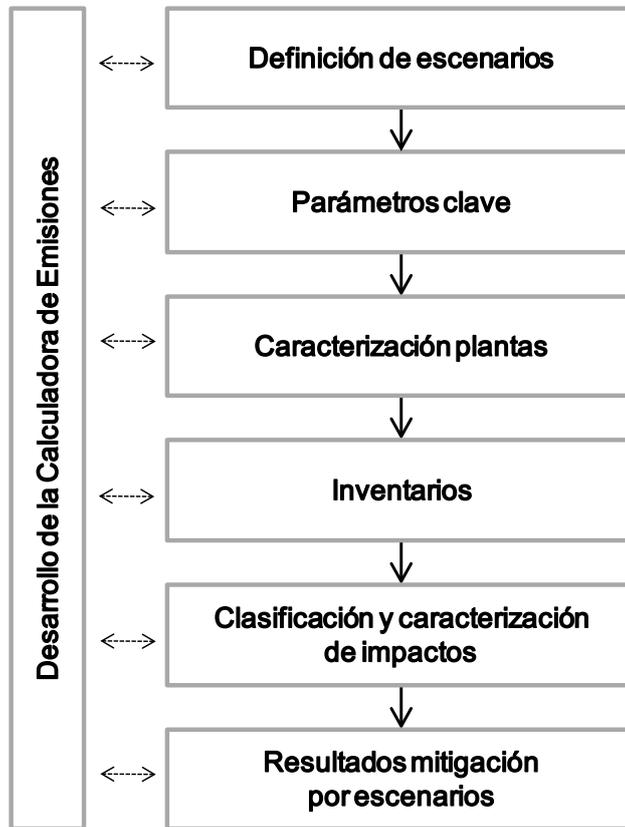


Figura 1. Metodología y plan de trabajo

#### 3.1. Fase I. Definición de escenarios

En esta fase se definen los tres escenarios de cálculo que permiten comparar las emisiones en el año 2020 asociadas a tres posibles escenarios de gestión del sector de los residuos:

- Escenario 2020 ACTUAL
- Escenario 2020 LEGAL
- Escenario 2020 AVANZADO

En esta fase se definen las cantidades de residuos destinados a cada planta de tratamiento en cada escenario, que sirven como base de cálculo de las emisiones de GEI, y se calcula la tasa de reciclaje y la cantidad de residuos biodegradables enviados a vertedero.

### 3.2. Fase II. Definición de parámetros clave

En esta fase se definen aquellos parámetros clave que condicionan las emisiones de GEI, tales como la composición de cada flujo de residuos -bolsa tipo, fracción resto y rechazo de planta de tratamiento mecánico-biológico (TMB)- así como otras características tales como el contenido de humedad de cada fracción, su contenido en carbono (fósil y biogénico) y su poder calorífico. Además, se presentan los datos seleccionados para los créditos de valorización material y energética, así como el porcentaje de captación de biogás en vertederos debido a su gran relevancia en relación a las emisiones de GEI del sector residuos.

### 3.3. Fase III. Caracterización de plantas

En esta fase se caracterizan las plantas de tratamiento de residuos, de acuerdo con el siguiente esquema (figura 2).

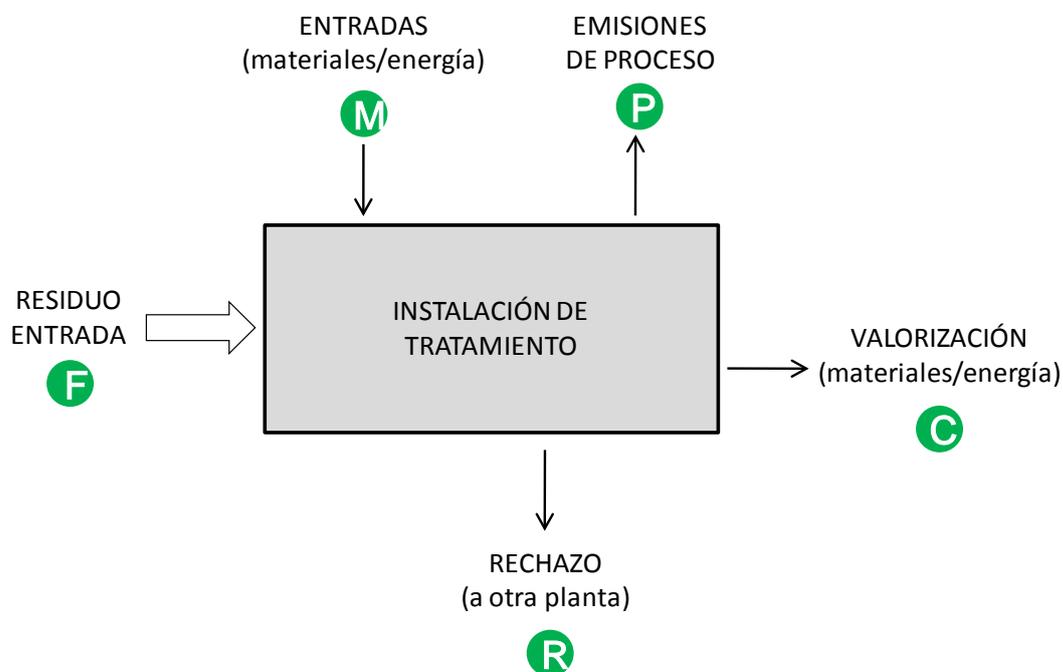


Figura 2. Caracterización de los flujos de las plantas de tratamiento

La caracterización de las plantas consiste en definir las siguientes variables (en general, expresadas por unidad de residuo tratada):

- **Residuo entrada** (se considera una tonelada de entrada, con el fin de parametrizar las demás variables)
- **Entradas** (incluye la energía consumida –electricidad, diesel, gas natural, etc.-). No se incluyen los reactivos, ya que su contribución al impacto ambiental es poco relevante en el contexto del sector de los residuos.
- **Emisiones de proceso** (incluye las emisiones de la degradación biológica y la combustión de los residuos)
- **Valorización** (incluye los materiales recuperados y la energía producida)
- **Rechazo** (incluye el flujo de residuos que sale como rechazo de la planta, y requiere un tratamiento posterior).

### 3.4. Fase IV. Inventarios

Con la información generada en la definición de escenarios (fase I) y la caracterización de las distintas plantas de tratamiento de residuos (fase III), y teniendo en cuenta los parámetros clave (fase II), se obtienen los inventarios de cada escenario.

### 3.5. Fase V. Clasificación y caracterización de impactos

En esta fase se **clasifican** los impactos de la categoría de potencial calentamiento global (PCG) en:

- **impactos directos:** son aquellos que tienen lugar en la planta, directamente vinculados a su operación (por ejemplo: combustión de gas natural o degradación aeróbica de los residuos).
- **impactos indirectos:** son aquellos que tienen lugar fuera de la planta, asociados con el consumo de recursos en su operación (por ejemplo, consumo de electricidad), o con la generación de rechazo que requiere una futura gestión (por ejemplo, la gestión del rechazo de TMB en un vertedero).
- **impactos evitados:** son aquellos que la instalación evita a terceros por el hecho de tomar una cierta medida en la instalación (por ejemplo: impacto evitado por la recuperación de metales en una planta TMB o por la producción de electricidad)

Después, se realiza la **caracterización** de impactos teniendo en cuenta los factores de caracterización determinados por el IPCC en el cuarto informe de evaluación del cambio climático para un marco temporal de 100 años (Forster et al. 2007). La Tabla 1 muestra los factores de caracterización de los principales GEI asociados a la gestión de los residuos:

**Tabla 1.** Factores de caracterización, según IPCC (Forster et al. 2007)

Gas	Factor de caracterización
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	1
Metano (CH <sub>4</sub> )	25
Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	298

### 3.6. Fase VI. Resultados mitigación por escenarios

Finalmente se presentan los resultados de mitigación de las emisiones de GEI, comparando en 2020 las emisiones de los escenarios ACTUAL, LEGAL y AVANZADO.

### 3.7. Fase VII. Desarrollo de la calculadora de emisiones

La calculadora de emisiones de GEI del sector de los residuos se crea mediante Microsoft Excel. Su desarrollo tiene lugar a lo largo del proyecto, de forma paralela a las demás etapas. La calculadora permite obtener los resultados de emisiones y de mitigación en función de distintos parámetros que el usuario puede ajustar: tasas de recogida selectiva, residuo destinado a cada instalación, parámetros clave, créditos de valorización material y energética, características de las plantas.

Este documento presenta los resultados de impacto ambiental y mitigación de GEI del sector residuos para cada escenario, obtenidos considerando los valores que se señalan en los siguientes apartados.

No obstante, el usuario de la calculadora puede, en todo momento, cambiar algunos de los parámetros siempre y cuando lo justifique debidamente, con lo cual se pueden obtener resultados distintos a los aquí presentados.

## 4. DEFINICIÓN DE ESCENARIOS

Los escenarios representan tres situaciones hipotéticas de futuro (año 2020) por lo que se refiere a la evolución de la gestión de los residuos municipales en España:

- **Escenario 2020 ACTUAL.** Supone que la situación actual (año 2008, últimos datos estadísticos disponibles) se mantiene hasta el año 2020.
- **Escenario 2020 LEGAL.** Supone un escenario de futuro que incorpora los requisitos legales mínimos para el año 2020.
- **Escenario 2020 AVANZADO.** Supone un escenario de futuro más ambicioso en el que el sector residuos toma medidas que van más allá del mero cumplimiento legal en el año 2020.

A continuación se describe cada uno de los escenarios, los cuales se resumen más adelante en las tablas 2, 3 y 4.

Es importante destacar que, según informa el Observatorio de la Sostenibilidad en España (Observatorio de Sostenibilidad Española (OSE) 2011), las diversas fuentes de información para los datos de generación de residuos urbanos, así como la falta de información fiable en el tratamiento de residuos, dificulta la comparación de datos, la evaluación de la situación real, de las tendencias de futuro, así como la verificación del grado de cumplimiento de los objetivos establecidos.

### 4.1. Escenario 2020 ACTUAL

El escenario 2020 ACTUAL está configurado asumiendo las siguientes vías de tratamiento y las siguientes cantidades de residuos:

- La generación de residuos municipales sin considerar los gestionados en puntos verdes y voluminosos es la misma que en España en el año 2008 (24.049.826 t/año) (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino 2010a)<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Se considera que en el año 2020 la cantidad de residuos generada será la misma que en 2008, teniendo en cuenta el efecto de la crisis económica en la disminución de la generación de residuos en un primer periodo y

- 
- Las fracciones recogidas selectivamente y sus cantidades son las existentes en España para el año 2008 (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino 2010a; Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino 2010b; Observatorio de Sostenibilidad Española (OSE) 2010)
  - El circuito de tratamiento de residuos municipales y la tecnología aplicada es el existente en España para el año 2008.
  - Las plantas disponibles para el tratamiento de las fracciones recogidas selectivamente, son:
    - Plantas de triaje y/o afino para las fracciones papel y cartón, vidrio y envases ligeros.
    - Plantas de compostaje aeróbico
    - Plantas de biometanización
    - Plantas TMB (línea de tratamiento de la Fracción Orgánica de los Residuos Municipales, FORM)
  - Las plantas e instalaciones para el tratamiento de la fracción resto, son:
    - Plantas de Tratamiento Mecánico Biológico (TMB) realizando procesos de compostaje o biometanización. Se ha diferenciado TMB1 y TMB2 siendo estos últimos más eficientes en la recuperación de materiales y producción de biogás y bioestabilizado (ver tabla 2)
    - Vertedero. En este escenario el 59,7% de los residuos depositados en vertedero es resto y el 40,3% es rechazo de otras plantas de tratamiento (principalmente TMBs).
    - Incineración. La cantidad total de residuos incinerados es de 2.100.000 toneladas por año (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino
- 

una posterior recuperación después, además de la estabilización del crecimiento de la población previsto para 2020.

2010a; Observatorio de Sostenibilidad Española (OSE) 2010). El 90% corresponde al flujo de fracción resto y el 10% al rechazo de otras plantas

En la tabla 2 se presenta la síntesis del escenario 2020 ACTUAL, donde se muestra la generación total de residuos municipales, los porcentajes de recogida selectiva (Observatorio de Sostenibilidad Española (OSE) 2010; Instituto Nacional de Estadística 2008), la fracción resto restante (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino 2010a; Observatorio de Sostenibilidad Española (OSE) 2010; Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino 2010b), así como las líneas de tratamiento de todas las fracciones.

**Tabla 2. Flujos de residuos municipales y tratamientos asociados en el escenario 2020 ACTUAL**

GESTIÓN	2020 ACTUAL		
	%	t/año	Donde
<b>RM de recogida pública, excepto puntos limpio y residuos voluminosos [1]</b>		<b>24.049.826</b>	
<b>Recogida selectiva bruta total</b>	13,44%	<b>3.231.492</b>	
<b>Recogida selectiva de Vidrio (V) sobre V [2]</b>	43,16%	<b>716.203</b>	7
<b>Recogida selectiva de Envases Ligeros (EELL) sobre EELL [2]</b>	13,48%	<b>547.721</b>	6
<b>Recogida selectiva de Papel y Cartón (P/C) sobre P/C [3]</b>	22,55%	<b>1.084.680</b>	8
Reciclaje neto de V, P/C, EELL		1.985.064	
Rechazo a DC.		363.540	
<b>Recogida selectiva de Materia Orgánica [3]</b>	7,59%	<b>748.137</b>	
(a) Materia Orgánica destinada a compostaje aeróbico		626.864	2b, 4 y 5
(b) Materia Orgánica destinada a biometanización (incluye TMB2 y TMB3)		121.273	2a y 3
Producción de compost (en instalaciones 2b,3, 4 y 5)		373.693	
Rechazo total a DC (de instalaciones 2a, 2b, 3, 4 y 5)		174.249	
<b>Otras recogidas selectivas [3]</b>		<b>134.751</b>	
<b>Fracción RESTO a TMB 1 [1,2 &amp; 4]</b>		<b>8.199.093</b>	1
<b>Separación de materiales para el reciclado sobre fracción RESTO entrada a TMB1</b>	3,70%	303.366	
<b>Desviación neta de Materia Orgánica sobre la MOR entrada a TMB1</b>	80,0%	2.871.028	
<b>Valorización neta de MOR (bioestabilizado) sobre fracción RESTO entrada a TMB1 [4]</b>	7,44%	610.012	
<b>Rechazo Total TMB1. Estimado de: [4]</b>	63,40%	5.198.225	
Rechazo TMB1 a DC		4.988.225	
Rechazo TMB1 a INC		210.000	
Rechazo TMB1 a CSR de TMB3		-	
<b>Fracción RESTO a TMB 2 [1,2 &amp; 4]</b>		<b>1.309.890</b>	2
<b>Separación de materiales para el reciclado sobre fracción RESTO entrada a TMB2</b>	4,47%	58.552	
<b>Desviación neta de Materia Orgánica sobre la MOR entrada a TMB2</b>	85,00%	487.344	
<b>Valorización neta de MOR (bioestabilizado) sobre fracción RESTO entrada a TMB2 en línea de compostaje [4]</b>	7,44%	60.050	
<b>Rechazo Total TMB2. [4]</b>	57,00%	746.637	
Rechazo TMB2 a DC		746.637	
Rechazo TMB2 a INC		0	
Rechazo TMB2 a CSR de TMB3		-	
<b>Fracción RESTO a TMB 3</b>			
<b>Separación de materiales para el reciclado sobre fracción Resto entrada a TMB3</b>			
<b>Desviación neta de Materia Orgánica</b>			
<b>Valorización neta de MOR (bioestabilizado) sobre fracción RESTO entrada a TMB3</b>			
<b>Rechazo Total TMB3</b>			
<b>Planta de preparación de Combustibles (entrada rechazos TMB1,2y3)</b>			
CSR a cementera / térmica carbón			
CSR a cogeneración			
CDR a INC			
Rechazo 'casi inerte' a DC			
<b>Fracción RESTO a INC</b>		<b>1.890.000</b>	
<b>Fracción RESTO a DC</b>		<b>9.419.352</b>	
<b>TOTAL</b>		<b>24.049.826</b>	

1) Planta de Tratamiento Mecánico Biológico (tipo1); 2a) Planta de Tratamiento Mecánico Biológico-línea de biometanización 2b) Planta de Tratamiento Mecánico Biológico-línea de compostaje; 3) Planta de biometanización de Fracción Orgánica de los Residuos Municipales (FORM); 4) Plantas de compostaje de FORM

abiertas; 5) Plantas de compostaje de FORM cerradas; 6) Plantas de triaje de envases ligeros; 7) Plantas de triaje y afino de vidrio; 8) Plantas de triaje de papel y cartón; 9) Incineradora; 10) Vertedero

## **4.2. Escenario 2020 LEGAL**

El escenario 2020 LEGAL está configurado atendiendo a las exigencias legales marcadas por la legislación vigente y con objetivos en vigor hasta el año 2020. Estos objetivos se pueden desglosar en los siguientes puntos:

- Objetivo referente a la tasa global de reciclaje
- Objetivo referente al reciclaje de envases
- Objetivo referente a los residuos enviados a vertedero

### ***4.2.1. Tasa de reciclaje***

#### ***Tasa global de reciclaje***

La Directiva 2008/98/CE del Parlamento europeo y del Consejo de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos (UE 2008), de la que deriva la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino 2011), constituye un pilar fundamental para el establecimiento de las bases de este escenario.

Concretamente en su artículo 22 apartado 1.A, menciona que antes de 2020, la cantidad de residuos domésticos y comerciales destinados a la preparación para la reutilización y el reciclado para las fracciones de papel, metales, vidrio, plástico, biorresiduos u otras fracciones reciclables deberá alcanzar, en conjunto mínimo el 50% del peso.

Relacionado con la Ley 22/2011 y el objetivo anteriormente mencionado existe la Decisión de la Comisión Europea 13097/11 (Comissió Europea 2011) que especifica que la materia orgánica entrada a TMB computa como fracción que contribuye conjuntamente con las otras fracciones recogidas selectivamente y expresadas en la Ley 22/2011, para alcanzar el objetivo del 50% en peso de residuos destinados a la reutilización y el reciclado.

#### ***Reciclaje de envases***

Los objetivos mínimos de reciclado de los materiales contenidos en los residuos de envases se establecen a nivel europeo en la directiva 2004/12/CE de envases y residuos de envases

---

(UE 2004), traspuesta a nivel español en el RD 252/2006, la cual establece a más tardar el 31 de diciembre de 2008 los siguientes mínimos:

- 60% en peso de vidrio
- 60% en peso de papel y cartón
- 50% en peso de metales
- 22,5% en peso de plásticos

Según el Informe del OSE para el año 2010, las fracciones papel-cartón y el vidrio alcanzaron los objetivos mínimos de reciclaje dentro de los plazos previstos. En el caso de la tasa de reciclaje del plástico, algunas fuentes indican que queda ligeramente por debajo (20% en 2008) de los objetivos mientras que otras (Ecoembes) indican que en 2008 se cumple con la Directiva 2004/12/CE (Observatorio de Sostenibilidad Española (OSE) 2010)<sup>2</sup>.

Por este motivo, se considera que en el escenario 2020 LEGAL no es necesario incrementar las tasas de recogida selectiva de materiales del año 2008, ya que son suficientes para cumplir con la Directiva 2004/12/CE de envases y residuos de envases.

#### **4.2.2. Residuos enviados a vertedero**

##### ***Residuos biodegradables***

El Real Decreto 1481/2001 de 27 de Diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero establece en el artículo 5 (Residuos y tratamiento no admisibles en un vertedero), apartado 2.C, que *“a más tardar el 16 de julio de 2016, la cantidad total (en peso) de residuos urbanos biodegradables destinados a vertedero no superará el 35% de la cantidad total de residuos urbanos biodegradables generados en 1995”*.

En el Anexo 14 del Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) (Ministerio de Medio Ambiente 2010) se indica que la cantidad de residuos urbanos biodegradables (RUB) generados en España en 1995 era de 11.633.000, indicándose también que estos

---

<sup>2</sup> No hay datos disponibles para los metales

representaban un 78% de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU). De estas dos cifras publicadas en el PNIR se desprende que el total de RSU en España en el año 1995 era de 14.914.102 toneladas.

El mismo documento cita los porcentajes de papel y cartón y materia orgánica para la contribución total a los RSU (44,00% en materia orgánica y 20,85% en papel y cartón) (Ministerio de Medio Ambiente 2010).

Por ser estas dos fracciones (materia orgánica y papel y cartón) las que contribuyen en mayor parte a los RUB y por ser las que se ha podido estimar su evolución hasta 2020 se ha asumido que cifra de RUB generados en 2020 es de 9.671.795 t. Este valor equivale al 64,85% (contribución de las fracciones papel y cartón y materia orgánica) del total de los RSU en 1995 (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino 2010a). Por lo tanto, en el escenario 2020 LEGAL se considera que se podrán destinar a vertedero un máximo de un 35% de esta cantidad (es decir, 3.385.128 t de RUB).

Para cumplir con esta cantidad máxima de RUB depositado en vertedero, el porcentaje de recogida selectiva de las fracciones papel y cartón y materia orgánica han sido incrementadas en el escenario 2020 LEGAL respecto al escenario 2020 ACTUAL. La recogida selectiva del papel y cartón pasa de 22,5% en el escenario 2020 ACTUAL a 50% en el escenario 2020 LEGAL. Y la materia orgánica pasa de 7,59% a 11% respectivamente.

### ***Residuos sin tratar***

También se debe considerar para la definición del escenario 2020 LEGAL, el artículo 6 (Residuos que podrán admitirse en las distintas clases de vertedero) que menciona: *“sólo podrán depositarse en vertedero residuos que hayan sido objeto de algún tratamiento previo. Esta disposición no se aplicará a los residuos inertes...”*

Este artículo obliga a tratar previamente en plantas de TMB toda la fracción resto que en el escenario 2020 ACTUAL era depositada directamente a vertedero (9.419.352 toneladas de fracción resto al año, estimadas a partir de fuentes oficiales (Observatorio de Sostenibilidad Española (OSE) 2010; Instituto Nacional de Estadística 2008; Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino 2010b)) (ver tablas 2 y 3). Finalmente se considera que esta cantidad de fracción resto se tratará en plantas denominadas TMB2.

---

Una vez definidos los objetivos, el escenario 2020 LEGAL está configurado asumiendo las siguientes vías de tratamiento y las siguientes cantidades de residuos:

- La generación de residuos municipales sin considerar los gestionados en puntos verdes y voluminosos es la misma que en España (24.049.826 t/año) (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino 2010a), ver tabla 3,
- Las fracciones recogidas selectivamente y su porcentaje de recogida son:
  - Vidrio sobre el total de vidrio generado: 43,16% (igual que en escenario 2020 ACTUAL, ver tablas 2 y 3).
  - Envases ligeros sobre el total de envases ligeros generados: 13,48% (igual que en escenario 2020 ACTUAL, ver tablas 2 y 3).
  - Papel y cartón sobre el total de papel y cartón generado: 50,00% (se cifraba en 22,5% en escenario 2020 ACTUAL, ver tablas 2 y 3).
  - Materia orgánica sobre el total de materia orgánica generada: 11% (se cifraba en 7,6% en escenario 2020 ACTUAL, ver tablas 2 y 3).

Estos porcentajes se establecen con el fin de cumplir con los objetivos de tasa de reciclaje previamente definidos (existen otras posibilidades con el fin de satisfacer los objetivos).

- El circuito de tratamiento de residuos municipales y tecnología aplicada es el descrito a continuación:
  - Las plantas disponibles para el tratamiento de las fracciones recogidas selectivamente, son:
    - Plantas de triaje y afino para las fracciones papel y cartón, vidrio y envases ligeros.
    - Plantas de compostaje aeróbico, plantas de biometanización y plantas TMB para FORM
- Las plantas e instalaciones para el tratamiento de la fracción resto, son:
  - Plantas TMB realizando procesos de bioestabilización o biometanización. Como en el anterior escenario, se ha diferenciado TMB1 y TMB2 siendo estas últimas más eficientes en la recuperación de materiales y producción

de biogás y bioestabilizado (ver apartado 6 para más información). En este escenario se considera que aumenta aproximadamente en 70 plantas nuevas de TMB2 para hacer frente a los requisitos del Real Decreto 1481/2001.

- Vertedero. La cantidad de fracción resto que se deposita en vertedero es 0 toneladas, (tabla 3), en concordancia con la legislación vigente (Real Decreto 1481/2001). La cantidad de rechazo que se deposita en vertedero (procedente de todas las instalaciones de tratamiento de residuos –principalmente TMBs-) asumida para este escenario es de 10.942.816 toneladas.
- Incineración. Se mantiene la proporción de resto (90%) y rechazo (10%) y la cantidad total de residuo enviado a incineración en relación al escenario 2020 ACTUAL (2.100.000 toneladas).

**Tabla 3. Flujos de residuos municipales y tratamientos asociados en el escenario 2020 LEGAL**

GESTIÓN	2020 LEGAL		
	%	t/año	Donde
<b>RM de recogida pública, excepto puntos limpio y residuos voluminosos [1]</b>		<b>24.049.826</b>	
<b>Recogida selectiva bruta total</b>	20,33%	<b>4.888.270</b>	
<b>Recogida selectiva de Vidrio (V) sobre V [2]</b>	43,16%	<b>716.203</b>	7
<b>Recogida selectiva de Envases Ligeros (EELL) sobre EELL [2]</b>	13,48%	<b>547.721</b>	6
<b>Recogida selectiva de Papel y Cartón (P/C) sobre P/C [3]</b>	50,00%	<b>2.404.983</b>	8
Reciclaje neto de V, P/C, EELL		3.199.743	
Rechazo a DC.		469.165	
<b>Recogida selectiva de Materia Orgánica [3]</b>	11,00%	<b>1.084.647</b>	
(a) Materia Orgánica destinada a compostaje aeróbico		963.374	2b, 4 y 5
(b) Materia Orgánica destinada a biometanización (incluye TMB2 y TMB3)		121.273	2a y 3
Producción de compost (en instalaciones 2b,3, 4 y 5)		402.633	
Rechazo total a DC (de instalaciones 2a, 2b, 3, 4 y 5)		238.522	
<b>Otras recogidas selectivas [3]</b>		<b>134.715</b>	
<b>Fracción RESTO a TMB 1 [1,2 &amp; 4]</b>		<b>8.199.093</b>	1
<b>Separación de materiales para el reciclado sobre fracción RESTO entrada a TMB1</b>	3,70%	303.366	
<b>Desviación neta de Materia Orgánica sobre la MOR entrada a TMB1</b>	80,00%	3.004.075	
<b>Valorización neta de MOR (bioestabilizado) sobre fracción RESTO entrada a TMB1 [4]</b>	7,44%	610.012	
<b>Rechazo Total TMB1. Estimado de: [4]</b>	63,40%	5.198.225	
Rechazo TMB1 a DC		4.988.225	
Rechazo TMB1 a INC		210.000	
Rechazo TMB1 a CSR de TMB3		-	
<b>Fracción RESTO a TMB 2 [1,2 &amp; 4]</b>		<b>9.072.464</b>	2
<b>Separación de materiales para el reciclado sobre fracción RESTO entrada a TMB2</b>	4,47%	405.539	
<b>Desviación neta de Materia Orgánica sobre la MOR entrada a TMB2</b>	85,00%	3.531.825	
<b>Valorización neta de MOR (bioestabilizado) sobre fracción RESTO entrada a TMB2 en línea de compostaje [4]</b>	7,44%	60.050	
<b>Rechazo Total TMB2. [4]</b>	57,00%	5.171.304	
Rechazo TMB2 a DC		5.171.304	
Rechazo TMB2 a INC		0	
Rechazo TMB2 a CSR de TMB3		-	
<b>Fracción RESTO a TMB 3</b>			
<b>Separación de materiales para el reciclado sobre fracción Resto entrada a TMB3</b>			
<b>Desviación neta de Materia Orgánica</b>			
<b>Valorización neta de MOR (bioestabilizado) sobre fracción RESTO entrada a TMB3</b>			
<b>Rechazo Total TMB3</b>			
<b>Planta de preparación de Combustibles (entrada rechazos TMB1,2y3)</b>			
CSR a cementera / térmica carbón			
CSR a cogeneración			
CDR a INC			
Rechazo 'casi inerte' a DC			
<b>Fracción RESTO a INC</b>		<b>1.890.000</b>	
<b>Fracción RESTO a DC</b>		<b>0</b>	
<b>TOTAL</b>		<b>24.049.826</b>	

1) Planta de Tratamiento Mecánico Biológico (tipo1); 2a) Planta de Tratamiento Mecánico Biológico-línea de biometanización 2b) Planta de Tratamiento Mecánico Biológico-línea de compostaje; 3) Planta de biometanización de Fracción Orgánica de los Residuos Municipales (FORM); 4) Plantas de compostaje de FORM abiertas; 5) Plantas de compostaje de FORM cerradas; 6) Plantas de triaje de envases ligeros; 7) Plantas de triaje y afino de vidrio; 8) Plantas de triaje de papel y cartón; 9) Incineradora; 10) Vertedero

### 4.3. Escenario 2020 AVANZADO

El escenario 2020 AVANZADO se define asumiendo un **nivel de actuación ambiental más allá de los objetivos legales**. Este escenario está configurado asumiendo las siguientes vías de tratamiento y las siguientes cantidades de residuos:

- La generación de residuos municipales sin considerar los gestionados en puntos verdes y voluminosos es la misma que en España en 2008 (24.049.826 t/año) (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino 2010a), ver tabla 4.
- El nivel de recogida selectiva se establece considerando objetivos más allá de los estrictamente legales, y tomando como referencia los niveles alcanzados actualmente en los países europeos más avanzados en la gestión de los residuos. A modo de ejemplo, se toman como referente los niveles conseguidos por Alemania en 2009 (Federal Statistical Office 2011; BMU 2006)(Jaron and Bauer 2011). De este modo, el escenario 2020 AVANZADO considera que el porcentaje de recogida selectiva es el siguiente:
  - Vidrio sobre el total de vidrio generado: 65% (ver tabla 4).
  - Envases ligeros sobre el total de envases ligeros generados: 45% (ver tabla 4).
  - Papel y cartón sobre el total de papel y cartón generado: 70% (ver tabla 4).
  - Materia orgánica sobre el total de materia orgánica generada: 55% (ver tabla 4).
- El circuito de tratamiento de residuos municipales y tecnología aplicada es el descrito a continuación:
  - Las plantas disponibles para el tratamiento de las fracciones recogidas selectivamente, son:
    - Plantas de triaje y afino para las fracciones papel y cartón, vidrio y envases ligeros.
    - Plantas de compostaje aeróbico, plantas de biometanización y plantas TMB para FORM
- Las plantas e instalaciones para el tratamiento de la fracción resto, son:

- 
- Plantas TMB realizando procesos de bioestabilización o biometanización. En este escenario, 2020 AVANZADO, se diferencia TMB1, TMB2 y TMB3. Las cantidades de residuos de fracción resto tratadas en las instalaciones de TMB1 y TMB2 para este escenario son las mismas que en el escenario 2020 ACTUAL (ver tablas 2 y 4). En el escenario 2020 AVANZADO se supone que el número de TMB1 y TMB2 y su capacidad de tratamiento, eficiencia de recuperación de materiales, producción de biogás y compost es la misma que en el escenario 2020 ACTUAL.

Además se considera que nuevas plantas TMB3 serán construidas con una capacidad de tratamiento de fracción resto que alcanza 3.644.998 toneladas de resto. Se asume que estas instalaciones tendrán la tecnología para la producción de Combustibles Sólidos Recuperados (CSR) realizados a partir del rechazo generado en los TMB1, TMB2 y el propio TMB3. La cantidad de rechazo enviado para la producción de CSR asumida para este escenario asciende a 2.637.886 toneladas por año. Este combustible, CSR, se asume que su destino sería: cementeras, plantas térmicas de carbón y plantas de cogeneración. De las fracciones de rechazo generado en los TMB1, TMB2 y TMB3 con bajo poder calorífico se generaría Combustible Derivado de Residuos (CDR), para su combustión en plantas incineradoras. Finalmente, se obtendría un rechazo de muy bajo poder calorífico, prácticamente inerte.

- Incineración. En este escenario las plantas de incineración consumirían exclusivamente CDR. La cantidad de fracción resto y rechazo procedente de los TMB1, TMB2 y TMB3 asumida es de 0 toneladas por año.
- Vertedero. La cantidad de fracción resto que se deposita en vertedero es 0 toneladas, ver tabla 4, en concordancia con la legislación vigente (Real Decreto 1481/2001). La cantidad de rechazo que se deposita en vertedero y que procede de todos los TMBs asumidos para este escenario es de 10.942.816 toneladas.

**Tabla 4. Flujos de residuos municipales y tratamientos asociados en el escenario 2020 AVANZADO**

GESTIÓN	2020 AVANZADO		
	%	t/año	Instalaciones
<b>RM de recogida pública, excepto puntos limpio y residuos voluminosos [1]</b>		<b>24.049.826</b>	
<b>Recogida selectiva bruta total</b>	49,20%	<b>11.832.586</b>	
<b>Recogida selectiva de Vidrio (V) sobre V [2]</b>	65,00%	<b>1.078.635</b>	7
<b>Recogida selectiva de Envases Ligeros (EELL) sobre EELL [2]</b>	45,00%	<b>1.828.989</b>	6
<b>Recogida selectiva de Papel y Cartón (P/C) sobre P/C [3]</b>	70,00%	<b>3.366.976</b>	8
Reciclaje neto de V, P/C, EELL		5.321.950	
Rechazo a DC.		952.650	
<b>Recogida selectiva de Materia Orgánica [3]</b>	55,00%	<b>5.423.236</b>	
(a) Materia Orgánica destinada a compostaje aeróbico		3.475.102	2b, 4 y 5
(b) Materia Orgánica destinada a biometanización (incluye TMB2 y TMB3)		1.948.134	2a, 3 y 12
Producción de compost (en instalaciones 2b,3, 4 y 5)		3.572.880	
Rechazo total a DC (de instalaciones 2a, 2b, 3, 4 y 5)		1.236.542	
<b>Otras recogidas selectivas [3]</b>		<b>134.751</b>	
<b>Fracción RESTO a TMB 1 [1,2 &amp; 4]</b>		<b>8.199.093</b>	1
<b>Separación de materiales para el reciclado sobre fracción RESTO entrada a TMB1</b>	3,70%	303.366	
<b>Desviación neta de Materia Orgánica sobre la MOR entrada a TMB1 [4]</b>	80,00%	2.382.270	
<b>Rechazo Total TMB1. Estimado de: [4]</b>	7,44%	610.012	
Rechazo TMB1 a DC	63,40%	5.198.225	
Rechazo TMB1 a INC		0	
Rechazo TMB1 a CSR de TMB3		0	
<b>Fracción RESTO a TMB 2 [1,2 &amp; 4]</b>		<b>1.309.890</b>	2
<b>Separación de materiales para el reciclado sobre fracción RESTO entrada a TMB2</b>	4,47%	58.552	
<b>Desviación neta de Materia Orgánica sobre la MOR entrada a TMB2</b>	85,00%	404.379	
<b>Valorización neta de MOR (bioestabilizado) sobre fracción RESTO entrada a TMB2 en línea de compostaje [4]</b>	7,44%	60.050	
<b>Rechazo Total TMB2. [4]</b>	57,00%	746.637	
Rechazo TMB2 a DC		0	
Rechazo TMB2 a INC		0	
Rechazo TMB2 a CSR de TMB3		746.637	
<b>Fracción RESTO a TMB 3</b>		<b>2.708.257</b>	12
<b>Separación de materiales para el reciclado sobre fracción Resto entrada a TMB3</b>	7,00%	<b>189.578</b>	
<b>Desviación neta de Materia Orgánica</b>	90,00%	<b>885.254</b>	
<b>Valorización neta de MOR (bioestabilizado) sobre fracción RESTO entrada a TMB3</b>	10,00%	<b>270.826</b>	
<b>Rechazo Total TMB3</b>	52,00%	<b>1.408.294</b>	
<b>Planta de preparación de Combustibles (entrada rechazos TMB1,2y3)</b>		<b>7.353.156</b>	
CSR a cementera / térmica carbón	60,00%	1.472.639	
CSR a cogeneración	40,00%	981.759	
CDR a INC		3.553.609	
Rechazo 'casi inerte' a DC		1.345.148	
<b>Fracción RESTO a INC</b>		<b>0</b>	
<b>Fracción RESTO a DC</b>		<b>0</b>	
<b>TOTAL</b>		<b>24.049.826</b>	

1) Planta de Tratamiento Mecánico Biológico (tipo1); 2a) Planta de Tratamiento Mecánico Biológico-línea de biometanización 2b) Planta de Tratamiento Mecánico Biológico-línea de compostaje; 3) Planta de biometanización de Fracción Orgánica de los Residuos Municipales (FORM); 4) Plantas de compostaje de FORM abiertas; 5) Plantas de compostaje de FORM cerradas; 6) Plantas de triaje de envases ligeros; 7) Plantas de triaje y afino de vidrio; 8) Plantas de triaje de papel y cartón; 9) Incineradora; 10) Vertedero; 12) TMB3

#### 4.4. Síntesis de escenarios

A continuación se resumen los datos de recogida selectiva de cada escenario (tabla 5) y se presentan los datos de verificación de los objetivos legales, a modo de síntesis de las principales características de los tres escenarios (tabla 6):

**Tabla 5.** *Tasas de recogida selectiva en los tres escenarios*

Tasa de recogida selectiva (%)	2020 ACTUAL	2020 LEGAL	2020 AVANZADO
VIDRIO	43,16	43,16	65
ENVASES LIGEROS	13,48	13,48	45
PAPEL y CARTÓN	22,55	50	70
MATERIA ORGÁNICA	7,59	11	55

**Tabla 6.** *Verificación de objetivos legales en los tres escenarios*

Objetivo	2020 ACTUAL	2020 LEGAL	2020 AVANZADO
Tasa de reciclaje total (mínimo 50%)	28,9%	50,5%	66,8%
RUB a vertedero (máximo 35%)	86,9%	35,2%	2,9%
Fracción resto directo a vertedero	9.419.352 t	0 t	0 t

## **5. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS CLAVE**

Para la configuración de la herramienta y realización del cálculo de los GEI se han detectado las variables claves que se deben considerar y que se especifican en la pestaña panel de control de la herramienta, con el fin de poder ser fácilmente modificados por el usuario cuando se disponga de datos de mayor calidad. Estos parámetros se describen a continuación.

### **5.1. Composición de los flujos de residuos**

#### ***Composición de la bolsa tipo***

La composición de la bolsa tipo es un parámetro clave ya que condiciona las emisiones de la degradación biológica y la combustión de los residuos. La Tabla 7 muestra la composición estimada para el año 2020, la cual se basa en una evolución tendencial de la composición del año 2008 (según el inventario de emisiones de España (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino 2010a)) hacia un menor contenido de materia orgánica y de papel y cartón, y un incremento de los plásticos, tal y como se prevé en el Programa de gestión de residuos municipales de Cataluña (Agència de Residus de Catalunya 2007).

**Tabla 7.** Composición de la bolsa tipo para el año 2008 y estimada para 2020 (% en masa)

Fracción	Datos 2008	Estimación 2020	Carbono biogénico (% C total) <sup>1</sup>	PCI (MJ/Kg) <sup>2</sup>
Materia orgánica	44,0%	41,0%	100%	3,98
Papel y cartón	21,2%	20,0%	100%	11,5
Plásticos	10,6%	12,6%	0%	31,5
Vidrio, porcelana, cerámica	6,9%	6,9%	0%	0
Metales	4,1%	4,3%	0%	0
Madera	1,0%	1,0%	100%	9
Téxtiles	4,8%	5,3%	80%	14,6
Caucho y cuero	1,0%	1,5%	80%	27,19
Otros	6,4%	7,4%	0%	8,4
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>		

<sup>1</sup>Fuente: Para la determinación de la humedad, contenido en carbono y proporción de carbono fósil/biogénico se utilizan los datos facilitados por las directrices del IPCC (IPCC 2006)

<sup>2</sup>PCI = Poder Calorífico Inferior, obtenido de (Smith et al. 2001) para todas las fracciones salvo la madera y el caucho y cuero (Doka 2009)

### **Caracterizaciones de la fracción resto y rechazos de TMB**

A partir de la composición de la bolsa tipo, se puede estimar la composición de la fracción resto conociendo el índice de recogida selectiva de las distintas fracciones. Después, se puede estimar el rechazo de las plantas de TMB a partir de las eficiencias de tratamiento (materiales recuperados, pérdidas de humedad en la estabilización de la materia orgánica) de la fracción resto en las mismas. La Tabla 8 muestra la composición estimada de la fracción resto y el rechazo promedio en los tres escenarios.

**Tabla 8.** Composición estimada de las fracciones resto y rechazo de TMB para los tres escenarios

Fracción	2020 ACTUAL		2020 LEGAL		2020 AVANZADO	
	resto	rechazo	resto	rechazo	resto	Rechazo
Materia orgánica	43,8%	13,5%	45,8%	15,3%	36,3%	10,8%
Papel y cartón	17,9%	28,6%	12,6%	15,7%	11,8%	14,5%
Plásticos	12,8%	19,2%	13,9%	21,3%	14,8%	23,5%
Vidrio, porcelana, cerámica	4,5%	7,2%	4,9%	8,2%	4,8%	8,2%
Metales	4,1%	1,8%	4,5%	2,4%	3,5%	0,9%
Madera	0,6%	0,9%	0,6%	1,0%	1,0%	1,7%
Téxtiles	6,1%	9,7%	6,6%	11,0%	10,4%	17,8%
Caucho y cuero	1,7%	2,7%	1,8%	3,1%	2,9%	5,0%
Otros	8,5%	16,3%	9,3%	22,0%	14,6%	17,7%
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

**Impropios en las recogidas selectivas**

También es necesario estimar la cantidad de impropios contenidos en las distintas fracciones de recogida selectiva. A continuación se enumeran los valores considerados:

- FORM: 20% impropios
- Papel y cartón: 7% impropios
- Envases Ligeros: 30% impropios
- Vidrio: 3 % impropios

**5.2. Parámetros clave de las plantas de gestión de residuos**

El parámetro técnico más importante por lo que se refiere a las plantas de gestión de residuos es la **captación de biogás de los vertederos**, ya que condiciona fuertemente las emisiones de GEI de todo el sector de los residuos (IPCC 2006). Además, se trata de un parámetro fuertemente discutido debido a su elevado grado de incertidumbre, existiendo un rango muy amplio (entre 10 y 85%) de factores de captación (IPCC 2006).

La tabla 9 presenta los factores de captación de biogás en vertederos propuestos para los tres escenarios.

**Tabla 9.** Factor de captación de biogás en vertederos para los tres escenarios

	2020 ACTUAL <sup>1</sup>	2020 LEGAL <sup>2</sup>	2020 AVANZADO <sup>3</sup>
<b>Factor de captación de biogás</b>	17,5%	17,5%	35%

<sup>1</sup>Fuente: Captación media en todos los vertederos gestionados en España en el año 2008, en base a la Tabla 8.2.5 del Inventario de emisiones de España (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino 2010a)

<sup>2</sup>Fuente: Debido a que no existe legislación en relación a la captación de biogás, se considera la misma captación que en el escenario 2020 ACTUAL

<sup>3</sup>Fuente: Se parte de la hipótesis que la captación de biogás en el escenario 2020 AVANZADO dobla la captación en el año 2008. Este valor todavía está por debajo de lo datos propuestos por la base de datos europea ecoinvent, que establece factores de captación regionales entre 40 y 50% (Doka 2009).

### 5.3. Créditos por valorización material y energética

Los créditos por valorización material y energética y los créditos por secuestro son un parámetro importante para estimar los impactos evitados de la gestión de los residuos. De este modo, los esfuerzos en el sector residuos para recuperar materiales y/o energía ahorran emisiones de GEI en otros sectores de la economía (por ejemplo, en el sector de producción de materiales vírgenes o en el sector eléctrico).

Para estimar el valor de los créditos se han consultado fuentes de información pública reconocidas internacionalmente que utilizan datos regionales<sup>3</sup>. Debido a que existe cierta disparidad entre algunos de los datos obtenidos, para algunos créditos se han considerado dos posibilidades:

- Por defecto, se consideran valores conservadores
- Alternativamente, se pueden cambiar estos valores por otros alternativos que dan mayor peso a los créditos

---

<sup>3</sup> No existen datos locales (a nivel español) de los créditos de reciclaje de los materiales. Por ello, se debe recurrir a datos regionales (europeos, norteamericanos...)

**Créditos por valorización material y energética**

La tabla 10 muestra los créditos de valorización material y energética en ambos casos, así como las fuentes de información consultadas.

**Tabla 10.** *Créditos de valorización material y energética considerados*

Crédito	Valor conservador		Valor Alternativo	
	Dato	Fuente	Dato	Fuente
<b>Compost (sustitución fertilizante)</b>	88	1	95	2
<b>Metales mezclados</b>	2.469	3	3.595	4
<b>Plásticos mezclados</b>	1.653	4	-	
<b>Papel y cartón</b>	634	3	3.872	4
<b>Vidrio</b>	200	2	323	4
<b>Escorias</b>	3	5	-	
<b>CSR para cementera/térmica</b>	1.066,8	6	-	
<b>CSR para cogeneración</b>	75,5	7	-	
<b>Calor</b>	0,274	5	-	
<b>Electricidad</b>	0,39	8	0,88	5

<sup>1</sup>Se considera una composición del compost de: 13,2 kg N/t, 5,1 kg P/t, 6,9 kg K/t en base a datos experimentales (Colon, Artola, and Font 2008)(Huerta et al. 2010) y una eficiencia de sustitución de fertilizante mineral de 40% N, 95% P, 100% K, según (Boldrin et al. 2009). Los impactos ambientales evitados del fertilizante se obtienen de ecoinvent (Nemecek, Kägi, and Blaser 2007).

<sup>2</sup>(Prognos AG, Ifeu, and INFU 2008)

<sup>3</sup>El valor conservador para los metales mezclados considera una proporción de material férreo/alumínico de 7:1 (Smith et al. 2001)

<sup>4</sup>(US EPA 2006)

<sup>5</sup> Datos obtenidos de ecoinvent 2.0 (Jungbluth 2007a; Kellenberger et al. 2007). El valor alternativo para el crédito de electricidad considera la sustitución del mix eléctrico fósil –constituido principalmente por centrales de carbón y gas natural-. El calor sustituido proviene de la combustión de gas natural en caldera.

<sup>6</sup>Valor estimado considerando que 2/3 van a cementera y 1/3 a central térmica, y un PCI del CSR de 21 MJ/Kg (según caracterización estimada). El crédito se obtiene de considerar las **emisiones evitadas por la combustión de coque de petróleo en cementera** (emisión según el inventario español (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino 2010a)) **y de carbón en térmica** (considerando un rendimiento del 80% y las emisiones de carbón del inventario español (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino 2010a)), **las generadas por la combustión de CSR** según el modelo de cálculo de emisiones de la combustión del IPCC (IPCC 2006) **y el ahorro de la mochila de la provisión de coque de petróleo** (517 kg CO<sub>2</sub>/t) **y carbón** (291 kg CO<sub>2</sub>/t) según ecoinvent (Jungbluth 2007a)

<sup>7</sup>Valor estimado considerando la emisión evitada por la provisión de electricidad (mix español 2008) y calor en una planta de cogeneración con previa gasificación del CSR (rendimiento gasificación 85%) y

la emisión generada por la combustión del CSR, según IPCC (IPCC 2006). Se considera que la planta de cogeneración tiene un rendimiento del 35% para la electricidad y un 40% para el calor.

<sup>8</sup>Comisión Nacional de la Energía, mix eléctrico español del año 2008 (Comisión Nacional de Energía 2011)

### Créditos por secuestros de carbono

El secuestro de carbono consiste en la fijación de carbono en el suelo, de modo que se puede considerar como un impacto evitado. Este secuestro de carbono puede tener lugar cuando se aplica compost en zonas agrícolas, cuando se utiliza bioestabilizado con fines paisajísticos o cuando se deposita materia orgánica en un vertedero.

Se ha optado por considerar el **secuestro de carbono a título informativo** pero sin considerarlo en el cálculo de la mitigación de la emisión de GEI.

La tabla 11 muestra los créditos de secuestro de carbono considerados.

**Tabla 11.** *Créditos de secuestro de carbono considerados*

Crédito	Valor conservador		Valor Alternativo	
	Dato	Fuente	Dato	Fuente
<b>Compost (fijación carbono)</b>	48	1	52	2
<b>Bioestabilizado (fijación carbono)</b>	48	1	-	
<b>Secuestro en vertedero</b>	305	3	605	4

<sup>1</sup>Se ha considerado un contenido de carbono de 217 Kg/t compost, en base a datos experimentales (Colon, Artola, and Font 2008)(Huerta et al. 2010). La fijación de carbono se ha estimado en un 6% como dato promedio de los propuestos por (Boldrin et al. 2009).

<sup>2</sup>(Prognos AG, Ifeu, and INFU 2008)

<sup>3</sup>Valor obtenido a partir de la estimación de carbono biogénico en el residuo depositado (~17%), la conversión del carbono en CO<sub>2</sub> (44/12) y la consideración de que se secuestra un 48% del carbono en el vertedero, según (Manfredi et al. 2009).

<sup>4</sup>(SWICS 2008)

**Factores de impacto del consumo energético**

En este apartado se presentan los factores de impacto asociados al consumo de energía. La Tabla 12 indica el potencial de calentamiento global (PCG) por unidad de energía consumida en las diferentes instalaciones de tratamiento de residuos.

**Tabla 12.** *Potencial calentamiento global de los inputs energéticos*

Concepto	Unidad	PCG (Kg CO2 eq)
Gas natural (provisión)	m <sup>3</sup>	0,33 <sup>1</sup>
Gas natural (combustión)	m <sup>3</sup>	2,15 <sup>2</sup>
Diesel (provisión)	m <sup>3</sup>	353 <sup>1</sup>
Diesel (combustión)	m <sup>3</sup>	2.790 <sup>2</sup>
Electricidad (mix español 2008) <sup>1</sup>	kWh	0,39 <sup>3</sup>
Calor (provisión+combustión)	kWh	0,274 <sup>1</sup>
Combustión biogás	m <sup>3</sup>	0,01-0,20 <sup>4</sup>

<sup>1</sup>*ecoinvent (Emmenegger et al. 2007)(Jungbluth 2007b)*

<sup>2</sup>*(OCCC 2011)*

<sup>3</sup>*Comisión Nacional de la energía, mix eléctrico español en 2008 (Comisión Nacional de Energía 2011)*

<sup>4</sup>*El rango de emisiones de la combustión del biogás (ya sea de vertedero o de digestión anaerobia, para valorización energética o en antorcha) se obtienen del inventario de emisiones de España, tablas 3.2.4, 3.2.9 y 8.2.6 (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino 2010b).*

## 6. CARACTERIZACIÓN DE LAS PLANTAS

En este apartado se presenta las características (consumo de energía, eficiencia en la recuperación material/energética, generación de rechazo) y las emisiones de la degradación biológica y la combustión de residuos, para cada tipo de planta de tratamiento de residuos en España.

Según se mostraba en la figura 2, los diferentes elementos que caracterizan cada planta se pueden agrupar en:

- **Residuo entrada (F)**
- **Entradas (M)**
- **Emisiones de proceso (P)**
- **Valorización (C)**
- **Rechazo (R)**

(la letra entre paréntesis se utiliza en las siguientes tablas para clasificar cada elemento).

### 6.1. Planta de triaje y compostaje (TMB1)

Esta tipo de planta recibe fracción resto y la somete inicialmente a un triaje de materiales (con ánimo de recuperar las fracciones posibles) y después procede a una etapa de compostaje (estabilización de la materia orgánica).

#### *Características de la planta*

La Tabla 13 muestra las características (consumo de energía, eficiencia en la recuperación material/energética, generación de rechazo) de la planta TMB1.

**Tabla 13.** Características de la planta TMB1 (datos en base a la entrada de 1 t de resto)

Elemento	Unidad	Valor (para todos los escenarios)
M/ Electricidad	kWh/t	70 <sup>1</sup>
C/ Compost gris	%	7,44 <sup>2</sup>
C/ Materiales <sup>5</sup>	%	3,70 <sup>3</sup>
R/ Rechazo	%	63,40 <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Datos propuestos por FFA

<sup>2</sup> (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino 2010b)

<sup>3</sup> (Observatorio de Sostenibilidad Española (OSE) 2010)

<sup>4</sup> Estimación en base a los valores de rendimiento considerados

<sup>5</sup> Se considera que los materiales corresponden a metales (3,0%) y plásticos (0,7%)

Además, se considera que en la planta TMB1 un 80% de la materia orgánica contenida en el flujo de resto (MOR) se somete a compostaje/estabilización (el 20% restante no entra a estabilización y sale como rechazo de TMB1). De este modo, se considera que la materia orgánica que sale como rechazo del proceso de estabilización no genera emisiones de GEI en su eventual deposición en vertedero (tiene una actividad respirométrica baja). Por lo tanto, sólo un 20% de la MOR de entrada a TMB1 puede llegar a contribuir a las emisiones eventuales en un vertedero.

En el caso de los escenarios 2020 LEGAL y AVANZADO, se considera además que un 25% del papel y cartón contenido en la fracción resto se desvía al proceso de estabilización aerobia, con el fin de reducir al cantidad de papel y cartón de salida en el rechazo de TMB.

---

### ***Emisiones degradación biológica***

La Tabla 14 muestra los factores de emisión de la degradación biológica (aerobia) de los residuos, según las directrices del IPCC (IPCC 2006), utilizados en los tres escenarios. Las emisiones de CO<sub>2</sub> no se contabilizan ya que corresponden a CO<sub>2</sub> biogénico.

**Tabla 14.** *Factor de emisión de la degradación aeróbica de residuos (compostaje)*

<b>Gas</b>	<b>Factor emisión IPCC (kg/ t m.o.)</b>
CH <sub>4</sub>	4,0
N <sub>2</sub> O	0,3

## **6.2. Planta de triaje, biometanización y compostaje (TMB2)**

Esta tipo de planta puede recibir fracción resto y FORM. Existen diferentes configuraciones de planta, con lo cual tanto una fracción como otra pueden ser destinadas a biometanización (digestión anaerobia) o a compostaje, después de un triaje inicial.

### ***Características de la planta***

Las Tablas 15 y 16 muestran las características (consumo de energía, eficiencia en la recuperación material/energética, generación de rechazo) de las dos líneas de tratamiento existentes en la planta TMB2: línea fracción resto y línea fracción orgánica.

**Tabla 15.** Características de la línea fracción resto en la planta TMB2 (datos en base a la entrada de 1 t de resto)

Elemento	Unidad	Valor (para todos los escenarios)
M/ Electricidad	kWh/t	90 <sup>1</sup>
M/ Diesel	L/t	0,66 <sup>2</sup>
C/ Compost gris <sup>5</sup>	%	7,44 <sup>3</sup>
C/ Materiales <sup>6</sup>	%	4.47 <sup>4</sup>
C/ Electricidad producida	kWh/t m.o.	240 <sup>2</sup>
R/ Rechazo	%	57,00 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Datos propuestos por FFA

<sup>2</sup> Datos experimentales del año 2010 de una planta TMB2 operativa en España. Los datos de producción de electricidad se expresan en función del contenido de MOR en la fracción resto.

Los datos de electricidad producida suponen que se generan 120 m<sup>3</sup> de biogás/ t m.o. digerida, y que se valoriza energéticamente un 87% del biogás

<sup>3</sup> (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino 2010b)

<sup>4</sup> Calculado a partir de (Observatorio de Sostenibilidad Española (OSE) 2010)

<sup>5</sup> Sólo del resto que pasa por compostaje

<sup>6</sup> Se considera que los materiales corresponden a metales (3,0%) y plásticos (1,47%).

Además, se considera que en la planta TMB2 un 85% de la materia orgánica contenida en el flujo de resto (MOR) se somete a compostaje/biometanización (el 15% restante no entra a estabilización y sale como rechazo de TMB2). De este modo, se considera que la materia orgánica que sale como rechazo del proceso de estabilización no genera emisiones de GEI en su eventual deposición en vertedero (tiene una actividad respirométrica baja). Por lo tanto, sólo un 15% de la MOR de entrada a TMB2 puede llegar a contribuir a las emisiones eventuales en un vertedero.

En el caso de los escenarios 2020 LEGAL y AVANZADO, se considera además que un 25% del papel y cartón contenido en la fracción resto se desvía al proceso de estabilización aerobia, con el fin de reducir al cantidad de papel y cartón de salida en el rechazo de TMB.

**Tabla 16.** Características de la línea FORM en la planta TMB2 (datos en base a la entrada de 1 t de FORM)

Elemento	Unidad	Valor (para todos los escenarios)
M/ Electricidad	kWh/t	90 <sup>1</sup>
M/ Diesel	L/t	0,66 <sup>2</sup>
C/ Compost <sup>4</sup>	%	5,20 <sup>3</sup>
C/ Electricidad producida	kWh/t	215 <sup>2</sup>
R/ Rechazo	%	30 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Datos propuestos por FFA

<sup>2</sup> Datos experimentales del año 2010 de una planta TMB2 operativa en España. Los datos de generación de electricidad consideran una valorización energética del 87% del biogás.

<sup>3</sup> (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino 2010b)

<sup>4</sup> Corresponde a FORM enviada a compostaje.

### **Emisiones degradación biológica**

En la Planta TMB2 existen dos líneas de degradación biológica de los residuos. Los factores de emisión de la línea de compostaje son los que se han mostrado anteriormente en la Tabla 14. Los factores de emisión de la digestión anaerobia de los residuos, según las directrices del IPCC (IPCC 2006), se muestran en la tabla 17. Las emisiones de CO<sub>2</sub> no se contabilizan ya que corresponden a CO<sub>2</sub> biogénico.

**Tabla 17.** Factor de emisión de la degradación anaeróbica de residuos (biometanización)

Gas	Factor emisión IPCC (kg/ t m.o.)
CH <sub>4</sub>	1,2
N <sub>2</sub> O	0

### 6.3. Planta de triaje, biometanización y compostaje avanzada (TMB3)

Esta tipo de planta representa un avance tecnológico (mayor rendimiento, más eficiente) en relación a TMB2, de modo que sólo se considera en el escenario 2020 AVANZADO. En este caso, se considera que la fracción resto se destina a compostaje, mientras que la FORM pasa por un proceso de biometanización.

#### **Características de la planta**

Las Tablas 18 y 19 muestran las características (consumo de energía, eficiencia en la recuperación material/energética, generación de rechazo) de las dos líneas de tratamiento propuestas en la planta TMB3: línea fracción resto y línea fracción orgánica. Los valores presentados contemplan una hipotética planta TMB3 que mejora la actuación de TMB2.

**Tabla 18.** Características de la línea fracción resto en la planta TMB3 (datos en base a la entrada de 1 t de resto)

Elemento	Unidad	Valor (sólo escenario 2020 AVANZADO)
M/ Electricidad	kWh/t	72
M/ Diesel	L/t	0,66
C/ Compost gris	%	10
C/ Materiales	%	7
R/ Rechazo	%	52,00

Además, se considera que en la planta TMB3 un 90% de la materia orgánica contenida en el flujo de resto (MOR) se somete a compostaje/estabilización (el 10% restante no entra a estabilización y sale como rechazo de TMB3). De este modo, se considera que la materia orgánica que sale como rechazo del proceso de estabilización no genera emisiones de GEI en su eventual deposición en vertedero (tiene una actividad respirométrica baja). Por lo tanto, sólo un 10% de la MOR de entrada a TMB3 puede llegar a contribuir a las emisiones eventuales en un vertedero.

Se considera además que un 25% del papel y cartón contenido en la fracción resto se desvía al proceso de estabilización aerobia, con el fin de reducir al cantidad de papel y cartón de salida en el rechazo de TMB.

**Tabla 19.** Características de la línea FORM en la planta TMB3 (datos en base a la entrada de 1 t de FORM)

Elemento	Unidad	Valor (sólo escenario 2020 AVANZADO)
M/ Electricidad	kWh/t	72
M/ Diesel	L/t	0,66
C/ Compost	%	15
C/ Electricidad producida	kWh/t	226
R/ Rechazo	%	30

#### ***Emisiones degradación biológica***

En la Planta TMB3 existen dos líneas de degradación biológica de los residuos. Los factores de emisión de la línea de compostaje son los que se han mostrado anteriormente en la Tabla 14 mientras que los de la digestión anaerobia se muestran en la Tabla 17. Las emisiones de CO<sub>2</sub> no se contabilizan ya que corresponden a CO<sub>2</sub> biogénico.

## 6.4. Planta de biometanización de FORM

Esta tipo de planta recibe FORM y la somete a digestión anaerobia con el fin de producir biogás (valorización energética) y estabilizar la materia orgánica.

### **Características de la planta**

La Tabla 20 muestra las características (consumo de energía, eficiencia en la recuperación material/energética, generación de rechazo) de la planta de biometanización de FORM.

**Tabla 20.** Características de la planta de biometanización de FORM (datos en base a la entrada de 1 t de FORM)

Elemento	Unidad	Valor (para todos los escenarios)
M/ Electricidad	kWh/t	34,1 <sup>1</sup>
C/ Compost	%	15 <sup>1</sup>
C/ Electricidad producida	kWh/t	215 <sup>2</sup>
R/ Rechazo	%	30 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> (Zorrilla 2010)

<sup>2</sup> Datos sugeridos por FFA.

### **Emisiones degradación biológica**

Los factores de emisión de la biometanización se han mostrado anteriormente en la Tabla 17. Las emisiones de CO<sub>2</sub> no se contabilizan ya que corresponden a CO<sub>2</sub> biogénico.

## 6.5. Planta de compostaje, abierta

Este tipo de planta recibe FORM y la somete a digestión aerobia con el fin de producir compost y estabilizar la materia orgánica. El proceso de compostaje tiene lugar en pilas, al aire libre.

### **Características de la planta**

La Tabla 21 muestra las características (consumo de energía, eficiencia en la recuperación material/energética, generación de rechazo) de la planta de compostaje de FORM abierta.

**Tabla 21.** Características de la planta de compostaje de FORM, abierta (datos en base a la entrada de 1 t de FORM)

Elemento	Unidad	Valor (escenarios 2020 ACTUAL y LEGAL)	Valor (escenario 2020 AVANZADO)
M/ Electricidad	kWh/t		6,1 <sup>1</sup>
M/ Diesel	L/t		5,4 <sup>1</sup>
C/ Compost	%	8,6 <sup>2</sup>	9,5 <sup>3</sup>
R/ Rechazo	%	19,1 <sup>2</sup>	18,2

<sup>1</sup> Estimado a partir de datos experimentales de en una planta de compostaje abierta operativa en España

<sup>2</sup> (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino 2010b)

<sup>3</sup> Se considera un incremento de un 10% de la producción de compost

### **Emisiones degradación biológica**

La Tabla 14 muestra los factores de emisión de la degradación biológica (aerobia) de los residuos, según las directrices del IPCC (IPCC 2006), utilizados en los tres escenarios (estas directrices no difencian entre compostaje abierto y cerrado). Las emisiones de CO<sub>2</sub> no se contabilizan ya que corresponden a CO<sub>2</sub> biogénico.

## 6.6. Planta de compostaje, cerrada

Este tipo de planta recibe FORM y la somete a digestión aerobia con el fin de producir compost y estabilizar la materia orgánica. El proceso de compostaje tiene lugar en un túnel, cerrado. Esto supone una mayor eficiencia en la producción de compost que la planta de compostaje abierta.

### **Características de la planta**

La Tabla 22 muestra las características (consumo de energía, eficiencia en la recuperación material/energética, generación de rechazo) de la planta de compostaje de FORM cerrada.

**Tabla 22.** Características de la planta de compostaje de FORM, cerrada (datos en base a la entrada de 1 t de FORM)

Elemento	Unidad	Valor (escenarios 2020 ACTUAL y LEGAL)	Valor (escenario 2020 AVANZADO)
M/ Electricidad	kWh/t		55 <sup>1</sup>
M/ Diesel	L/t		3,6 <sup>2</sup>
C/ Compost	%	8,6 <sup>3</sup>	9,5 <sup>4</sup>
R/ Rechazo	%	19,1 <sup>2</sup>	18,2

<sup>1</sup>Datos propuestos por FFA

<sup>2</sup>(Cadena et al. 2009)

<sup>3</sup>(Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino 2010b)

<sup>4</sup>Se considera un incremento de un 10% de la producción de compost

### **Emisiones degradación biológica**

La Tabla 14 muestra los factores de emisión de la degradación biológica (aerobia) de los residuos, según las directrices del IPCC (IPCC 2006), utilizados en los tres escenarios (estas directrices no difencian entre compostaje abierto y cerrado). Las emisiones de CO<sub>2</sub> no se contabilizan ya que corresponden a CO<sub>2</sub> biogénico.

## 6.7. Planta de triaje de envases ligeros

Esta tipo de planta recibe la recogida selectiva de envases ligeros y los separa con el fin de aprovechar al máximo los materiales plásticos y metálicos contenidos en el flujo.

### **Características de la planta**

La Tabla 23 muestra las características (consumo de energía, eficiencia en la recuperación material/energética, generación de rechazo) de la planta de triaje de envases ligeros.

**Tabla 23.** Características de la planta de triaje de envases ligeros (datos en base a la entrada de 1 t de envases ligeros recogidos selectivamente)

Elemento	Unidad	Valor (escenarios 2020 ACTUAL y LEGAL)	Valor (escenario 2020 AVANZADO)
M/ Electricidad	kWh/t		60 <sup>1</sup>
M/ Diesel	L/t		3,12 <sup>1</sup>
C/ Materiales	%	54,7 <sup>2</sup>	65 <sup>3</sup>
R/ Rechazo	%	45,3	35

<sup>1</sup> Consumo estimado de triaje y afino, basado parcialmente en (Arena, Mastellone, and Perugini 2003)

<sup>2</sup> (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino 2010b)

<sup>3</sup> Estimado en base a datos experimentales de una planta 'avanzada' de triaje de envases ligeros operativa en España

### **Emisiones degradación biológica**

Se considera que no hay emisiones de la degradación biológica de los residuos en esta planta.

## 6.8. Planta de afino de vidrio

Esta tipo de planta recibe la recogida selectiva de vidrio y realiza su afino.

### ***Características de la planta***

La Tabla 24 muestra las características (consumo de energía, eficiencia en la recuperación material/energética, generación de rechazo) de la planta de afino de vidrio.

**Tabla 24.** *Características de la planta de afino de vidrio (datos en base a la entrada de 1 t de vidrio recogido selectivamente)*

<b>Elemento</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor (para todos los escenarios)</b>
M/ Electricidad	kWh/t	3,5 <sup>1</sup>
C/ Materiales	%	96 <sup>1</sup>
R/ Rechazo	%	4

<sup>1</sup> (Doka 2009)

### ***Emisiones degradación biológica***

Se considera que no hay emisiones de la degradación biológica de los residuos en esta planta.

## 6.9. Planta de triaje de papel y cartón

Esta tipo de planta recibe la recogida selectiva de papel y cartón, y realiza un triaje con el fin de recuperar la mayor parte posible de materiales.

### **Características de la planta**

La Tabla 25 muestra las características (consumo de energía, eficiencia en la recuperación material/energética, generación de rechazo) de la planta de triaje de papel y cartón.

**Tabla 25.** Características de la planta de triaje de papel y cartón (datos en base a la entrada de 1 t de papel y cartón recogido selectivamente)

Elemento	Unidad	Valor (para todos los escenarios)
M/ Electricidad	kWh/t	9,1 <sup>1</sup>
M/ Diesel	L/t	0,4 <sup>1</sup>
C/ Materiales	%	92 <sup>1</sup>
R/ Rechazo	%	8

<sup>1</sup>(Doka 2009)

### **Emisiones degradación biológica**

Se considera que no hay emisiones de la degradación biológica de los residuos en esta planta.

## 6.10. Planta de incineración (PVE)

Este tipo de planta puede recibir tanto fracción resto como rechazo de otras instalaciones de tratamiento de residuos (principalmente rechazo de TMB). En la PVE el flujo de residuos se incinera con el fin de reducir su volumen y aprovechar su contenido energético.

### **Características de la planta**

La Tabla 26 muestra las características (consumo de energía, eficiencia en la recuperación material/energética, generación de rechazo) de la PVE.

**Tabla 26.** Características de la PVE (datos en base a la entrada de 1 t de residuo)

Elemento	Unidad	Valor (para todos los escenarios)
M/ Electricidad	kWh/t	68,2 <sup>1</sup>
M/ Gas Natural	m <sup>3</sup> /t	1 <sup>1</sup>
C/ Escorias	%	18 <sup>1</sup>
C/ Chatarra	%	2 <sup>1</sup>
R/ Cenizas	%	3,6 <sup>1</sup>
C/ Electricidad producida	% <sup>2</sup>	22 <sup>1</sup>
C/ Calor producido	% <sup>2</sup>	7 <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Datos experimentales del año 2010 de una PVE operativa en España (TERSA 2011)

<sup>2</sup>Porcentaje medido en kWh eléctrico/térmico producido por kWh de entrada

### **Emisiones de la combustión de residuos**

Las emisiones de la combustión en PVE varían en función de la composición del residuo. Teniendo en cuenta la composición media de los flujos 'resto' y 'rechazo' en los tres escenarios (según Tabla 7), la Tabla 27 muestra las emisiones de la combustión en planta de incineración. Estos valores han sido calculados según la metodología de las directrices del IPCC (IPCC 2006), y considerando un sistema de incineración continua con tecnología de cargador mecánico.

**Tabla 27.** Emisiones de la combustión de residuos en PVE

Componente	2020 ACTUAL		2020 LEGAL		2020 AVANZADO	
	RESTO (kg/ t)	RECHAZO (kg/ t)	RESTO (kg/ t)	RECHAZO (kg/ t)	RESTO (kg/ t)	RECHAZO (kg/ t)
CO <sub>2</sub>	385,5	583,8	418,8	653,5	463,0	617,8
CH <sub>4</sub>	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
N <sub>2</sub> O	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

## 6.11. Vertedero controlado

Este tipo de planta puede recibir tanto fracción resto como rechazo de otras instalaciones de tratamiento de residuos (principalmente rechazo de TMB). En el vertedero los residuos se acumulan, y sus emisiones de gases (biogás) procuran ser captadas para evitar la emisión difusa de GEI y aprovechar su potencial energético.

### **Características de la planta**

La Tabla 28 muestra las características (consumo de energía, eficiencia en la recuperación material/energética, generación de rechazo) del vertedero.

**Tabla 28.** Características del vertedero (datos en base a la entrada de 1 t de resto/rechazo)

Elemento	Unidad	Valor (para todos los escenarios)
M/ Electricidad	kWh/t	8 <sup>1</sup>
M/ Diesel	L/t	1,8 <sup>1</sup>
C/ Electricidad producida	kWh/t	*

<sup>1</sup> Datos experimentales de 2010 de un vertedero operativo en España

\* La electricidad producida se calcula en base a la generación de metano, según se describe en el siguiente apartado 'Emisiones de la degradación biológica de los residuos'. Para el cálculo, se considera la densidad del metano (0,668 kg/m<sup>3</sup>), un contenido de 45% de metano en el biogás y un PCI de 16 MJ/m<sup>3</sup> (Eriksson 2010), una eficiencia de la conversión eléctrica del 30% (Manfredi et al. 2009) y finalmente que un 87% del biogás se valoriza (el resto se quema en torcha, según datos experimentales).

### ***Emisiones de la degradación biológica de los residuos***

Las emisiones de la degradación biológica de los residuos en un vertedero dependen de múltiples factores (composición de los residuos vertidos y acumulados, condiciones climáticas, prácticas de gestión del vertedero, captación de biogás, etc.).

Las emisiones de los residuos siguen una descomposición de primer orden, de modo que el componente orgánico degradable de los desechos se descompone lentamente a lo largo de unas pocas décadas, durante las cuales se forman el CH<sub>4</sub> y el CO<sub>2</sub>. De este modo, la mayor parte de las emisiones de la degradación tienen lugar durante los siguientes 35 años después de la deposición.

En un vertedero controlado con captación de biogás, parte de estas emisiones son captadas para su aprovechamiento energético o su quema en torchas, de modo que se evitan las emisiones difusas a la atmósfera. El porcentaje de biogás captado condiciona fuertemente las emisiones liberadas a la atmósfera (la Tabla 9 muestra el porcentaje de captación de biogás considerado en cada escenario).

El IPCC ofrece un modelo de cálculo según el cual se pueden estimar las emisiones de metano de los desechos a lo largo del tiempo, después de su deposición (IPCC 2006). Para este proyecto, se han considerado las emisiones asociadas a la degradación de la materia orgánica, papel y cartón, madera y textiles, siguiendo las recomendaciones del Inventario Nacional de Emisiones (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino 2010a). En el caso de la materia orgánica que llega al vertedero después de un proceso de estabilización biológica (en TMB, planta de compostaje o de biometanización), se considera que no tienen contribución a las emisiones de GEI.

Para cada escenario interesa obtener los datos de las emisiones en el año 2020. Para ello, es necesario estimar qué cantidad de desechos ha sido depositada anualmente durante los últimos 35 años (desde 1985) para cada una de las fracciones. Para realizar esta estimación, se han tomado los datos del inventario nacional hasta el año 2008 (considerando que el 87 %<sup>4</sup> de los residuos depositados incluidos en el inventario nacional corresponden a

---

<sup>4</sup> Este porcentaje se extrae de dividir los residuos municipales considerados en el estudio (24.049.826 t, según (Instituto Nacional de Estadística 2008)) por los residuos totales indicados en el inventario (27.462.704 según tabla 8.1.4a en (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino 2010a))

municipales recogidos en calle, y por tanto son estos los que nos interesa estudiar en el presente proyecto) (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino 2010a). A partir de 2008, se divide la aportación de residuos según si se trata de fracción ‘resto’ o ‘rechazo’, con su composición estimada (ver sección 5.1) . En el caso del escenario 2020 ACTUAL, se considera que la proporción de resto y rechazo se mantiene constante respecto 2008. En el escenario 2020 LEGAL se considera que el resto desciende linealmente año tras año hasta llegar al vertido de resto ‘cero’ en 2020, mientras el rechazo aumenta progresivamente a medida que aumenta el tratamiento de resto en las plantas de recuperación de materiales. En el escenario 2020 AVANZADO se considera que desciende linealmente la aportación de resto y de rechazo, de modo que en 2020 no hay vertido de residuos biodegradables en los vertederos.

La Tabla 29 muestra los resultados de emisiones de metano considerando las anteriores hipótesis de vertido de residuos.

**Tabla 29.** *Generación, captación y emisión difusa de biogás en los vertederos españoles en el año 2020 para los tres escenarios*

Datos para el año 2020	2020 ACTUAL	2020 LEGAL	2020 AVANZADO
Generación de metano (t CH <sub>4</sub> )	568.975	491.813	387.608
Captación de biogás (t CH <sub>4</sub> )	99.571	86.067	135.663
Emisión difusa de biogás (t CH <sub>4</sub> )	469.405	405.746	251.945

## 6.12. Planta de preparación de CDR/CSR

Este tipo de planta se considera sólo en el escenario 2020 AVANZADO con el fin de obtener combustibles a partir del rechazo de TMB1, TMB2 y TMB3 . Como resultado, en la planta se obtiene CSR (alto poder calorífico, para ser utilizado en cementeras y centrales térmicas), CDR (destinado a PVE) y rechazo de bajo poder calorífico (deposición en vertedero).

La separación del rechazo entre CSR, CDR y rechazo de bajo poder calorífica se estima en base a los porcentajes de distribución presentados en la Tabla 30.

**Tabla 30.** Porcentaje de cada fracción del flujo de rechazo destinado a CSR, CDR y rechazo, respectivamente

Fracción (% destina	CSR	CDR	Rechazo bajo PCI
Materia orgánica	0	100	0
Papel y cartón	45	50	5
Plásticos	55	40	5
Vidrio	0	0	100
Metales	0	0	100
Madera	0	100	0
Téxtils	50	45	5
Caucho	65	30	5
Otros	10	55	35

La Tabla 31 muestra el PCI resultante de separar el rechazo según las hipótesis de la Tabla 30, así como la cantidad de combustibles generados y las potenciales emisiones de los mismos en su futura combustión, calculados según la metodología del IPCC (IPCC 2006) y considerando el PCI y el contenido en carbono biogénico indicados en la sección 5.1.

**Tabla 31.** Porcentaje de cada fracción del flujo de rechazo destinado a CSR, CDR y rechazo, respectivamente

Fracción (% destina	CSR	CDR	Rechazo bajo PCI
PCI (MJ/Kg)	21	14	3
Cantidad (% en masa)	34	48	18
Emisiones combustión (Kg CO <sub>2</sub> /t)	1191	618	40

---

### **Características de la planta**

La Tabla 32 muestra las características (consumo de energía, eficiencia en la recuperación material/energética, generación de rechazo) de la línea de preparación de CSR/CDR, que hipotéticamente se integra con las nuevas plantas de TMB3.

**Tabla 32.** Características de la línea de preparación de CSR/CDR (datos en base a la entrada de 1 t de rechazo de TMB)

<b>Elemento</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor (para todos los escenarios)</b>
M/ Electricidad	kWh/t	50 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dato estimado a partir de (Comissió Europea 2006)

### **Emisiones de la combustión de los residuos**

Se considera que en esta planta no hay emisiones de la degradación biológica ni de la combustión.

## 7. RESULTADOS: INVENTARIO, IMPACTOS Y MITIGACIÓN

En esta sección se presentan los resultados obtenidos para cada escenario considerando los inventarios generados (fase IV), y la clasificación y caracterización (fase V) de impactos ambientales en la categoría de potencial de calentamiento global. Después se presentan los resultados globales de mitigación de las emisiones de GEI de los escenarios 2020 LEGAL y AVANZADO en relación al escenario 2020 ACTUAL (fase VI).

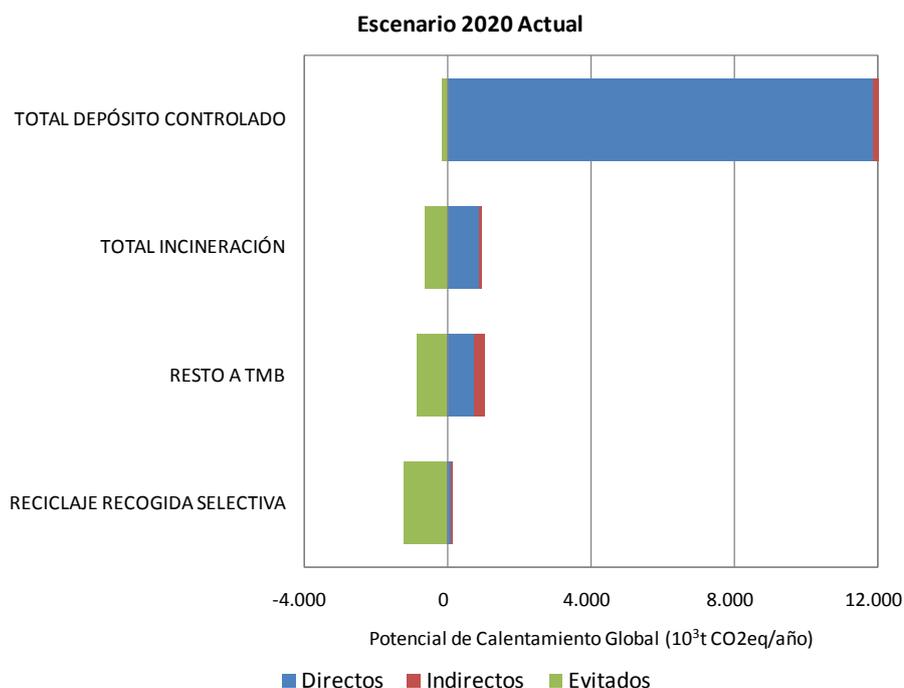
### 7.1. Resultados Escenario 2020 ACTUAL

La Tabla 33 muestra los impactos directos, indirectos, evitados y totales en términos de potencial de calentamiento global del escenario 2020 ACTUAL. Las emisiones de GEI totales en el año 2020 ascienden a 11.308.266 toneladas, procedentes en su gran mayoría de los depósitos controlados (representan un 86% de las emisiones directas).

**Tabla 33.** Huella de carbono del escenario 2020 ACTUAL

PLANTAS	Escenario 2020 ACTUAL (t CO2 eq.)			
	Directos	Indirectos	Evitados	TOTAL EMISIONES
<b>RECICLAJE POR RECOGIDA SELECTIVA</b>	<b>109.356</b>	<b>29.120</b>	<b>-1.180.485</b>	<b>-1.042.009</b>
Envases ligeros	4.768	13.430	-395.601	-377.403
Vidrio	0	970	-137.511	-136.541
Papel y cartón	1.177	3.990	-632.672	-627.505
Compostaje aerobio de FORM	100.523	4.562	-4.246	100.839
Digestión anaerobia de FORM	2.888	6.168	-10.455	-1.399
<b>TOTAL RESTO A TMB</b>	<b>754.896</b>	<b>270.123</b>	<b>-851.629</b>	<b>173.390</b>
TMB Proceso	754.896	270.123		1.025.019
Salidas TMB				
Valorización material y energética (sin producción CSR)			-851.629	-851.629
CSR a cementera y/o térmica				0
CSR a cogeneración				0
<b>TOTAL RESIDUO A INCINERACIÓN</b>	<b>893.716</b>	<b>60.371</b>	<b>-624.814</b>	<b>329.272</b>
Planta de incineración	893.716	60.371	-624.814	329.272
<b>TOTAL RESIDUO A DEPÓSITO CONTROLADO</b>	<b>11.871.050</b>	<b>128.380</b>	<b>-151.818</b>	<b>11.847.612</b>
Vertedero controlado	11.871.050	128.380	-151.818	11.847.612
<b>TOTAL</b>	<b>13.629.019</b>	<b>487.994</b>	<b>-2.808.746</b>	<b>11.308.266</b>

La figura 3 muestra gráficamente la contribución a la huella de carbono de las diferentes partes que conforman el sistema de estudio: reciclaje por recogida selectiva, tratamiento de fracción resto en TMB, incineración y depósito controlado. Se puede observar de nuevo como las emisiones de GEI directas de los depósitos controlados suponen la mayor contribución al impacto ambiental.



**Figura 3.** Huella de carbono en el escenario 2020 ACTUAL

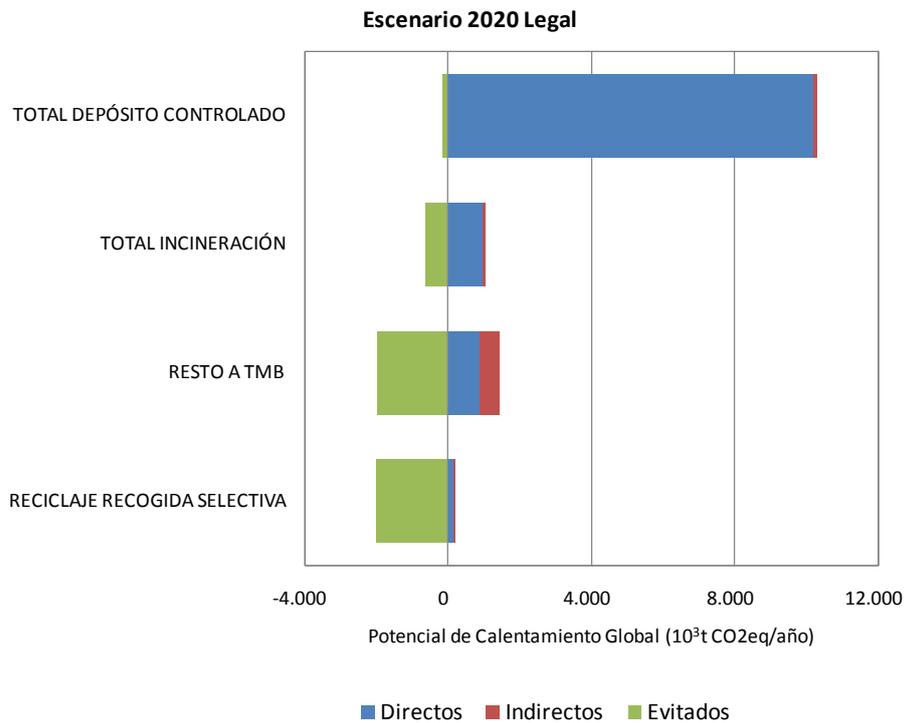
## 7.2. Resultados Escenario 2020 LEGAL

La Tabla 34 muestra los impactos directos, indirectos, evitados y totales en términos de potencial de calentamiento global del escenario 2020 LEGAL. Las emisiones de GEI totales en el año 2020 ascienden a 8.309.551 toneladas, procedentes en su gran mayoría de los depósitos controlados (representan un 83% de las emisiones directas).

**Tabla 34. Huella de carbono del escenario 2020 LEGAL**

PLANTAS	Escenario 2020 LEGAL (t CO2 eq.)			
	Directos	Indirectos	Evitados	TOTAL EMISIONES
<b>RECICLAJE POR RECOGIDA SELECTIVA</b>	<b>165.694</b>	<b>29.887</b>	<b>-1.953.256</b>	<b>-1.757.675</b>
Envases ligeros	4.769	13.434	-395.718	-377.515
Vidrio	0	970	-137.511	-136.541
Papel y cartón	2.610	3.990	-1.402.778	-1.396.178
Compostaje aerobio de FORM	155.426	5.324	-6.793	153.958
Digestión anaerobia de FORM	2.888	6.168	-10.455	-1.399
<b>TOTAL RESTO A TMB</b>	<b>898.676</b>	<b>544.423</b>	<b>-1.948.925</b>	<b>-505.826</b>
TMB Proceso	898.676	544.423		1.443.099
Salidas TMB				
Valorización material y energética (sin producción CSR)			-1.948.925	-1.948.925
CSR a cementera y/o térmica				0
CSR a cogeneración				0
<b>TOTAL RESIDUO A INCINERACIÓN</b>	<b>971.328</b>	<b>60.371</b>	<b>-624.863</b>	<b>406.836</b>
Planta de incineración	971.328	60.371	-624.863	406.836
<b>TOTAL RESIDUO A DEPÓSITO CONTROLADO</b>	<b>10.207.687</b>	<b>89.096</b>	<b>-130.567</b>	<b>10.166.216</b>
Vertedero controlado	10.207.687	89.096	-130.567	10.166.216
<b>TOTAL</b>	<b>12.243.385</b>	<b>723.777</b>	<b>-4.657.611</b>	<b>8.309.551</b>

La figura 4 muestra gráficamente la contribución a la huella de carbono de las diferentes partes que conforman el sistema de estudio: reciclaje por recogida selectiva, tratamiento de fracción resto en TMB, incineración y depósito controlado. Se puede observar de nuevo como las emisiones de GEI directas de los depósitos controlados suponen la mayor contribución al impacto ambiental. En este escenario, toman relevancia las emisiones evitadas por el reciclaje de materiales.



**Figura 4.** Huella de carbono en el escenario 2020 LEGAL

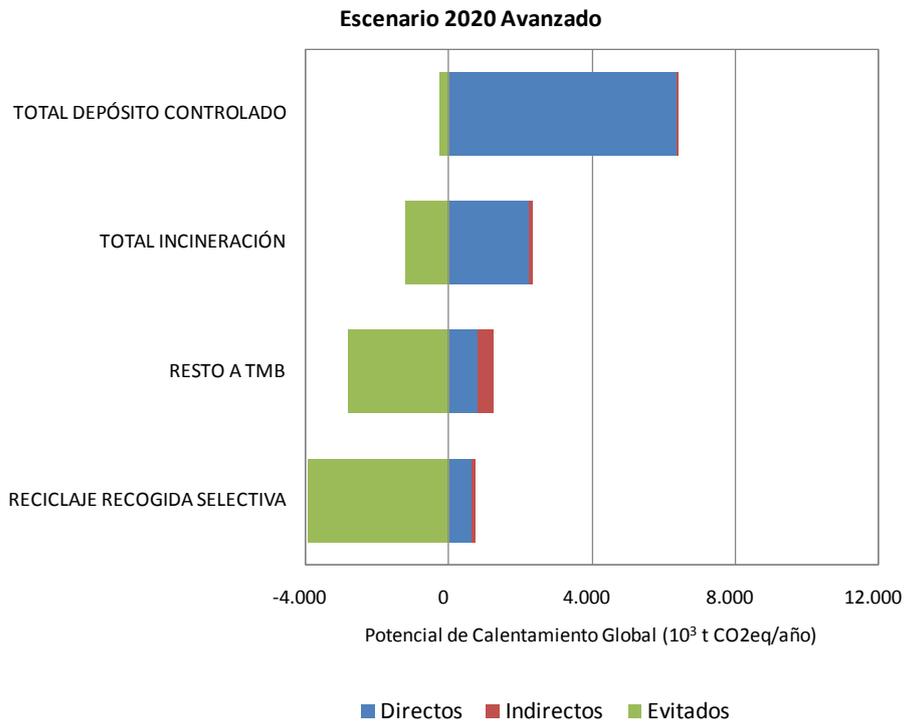
### 7.3. Resultados Escenario 2020 AVANZADO

La Tabla 35 muestra los impactos directos, indirectos, evitados y totales en términos de potencial de calentamiento global del escenario 2020 AVANZADO. Las emisiones de GEI totales en el año 2020 ascienden a 2.635.434 toneladas, procedentes en su gran mayoría de los depósitos controlados (representan un 63% de las emisiones directas).

**Tabla 35. Huella de carbono del escenario 2020 AVANZADO**

PLANTAS	Escenario 2020 AVANZADO (t CO2 eq.)			
	Directos	Indirectos	Evitados	TOTAL EMISIONES
<b>TOTAL RECICLAJE POR RECOGIDA SELECTIVA</b>	<b>632.672</b>	<b>128.324</b>	<b>-3.942.228</b>	<b>-3.181.232</b>
Envases ligeros	15.921	44.848	-1.569.766	-1.508.998
Vidrio	0	1.461	-207.098	-205.637
Papel y cartón	3.654	12.385	-1.963.890	-1.947.851
Compostaje aerobio de FORM	571.315	14.658	-28.422	557.551
Digestión anaerobia de FORM	41.781	54.974	-173.053	-76.298
<b>TOTAL RESTO A TMB</b>	<b>818.078</b>	<b>461.522</b>	<b>-2.802.191</b>	<b>-1.522.591</b>
TMB Proceso	818.078	461.522		1.279.600
Salidas TMB				
Valorización material y energética (sin producción CSR)			-1.172.599	-1.172.599
CSR a cementera y/o térmica			-1.576.711	-1.576.711
CSR a cogeneración			-52.881	-52.881
<b>TOTAL RESIDUO A INCINERACIÓN</b>	<b>2.267.320</b>	<b>102.159</b>	<b>-1.198.434</b>	<b>1.171.045</b>
Planta de incineración	2.267.320	102.159	-1.198.434	1.171.045
<b>TOTAL RESIDUO A DEPÓSITO CONTROLADO</b>	<b>6.386.079</b>	<b>25.832</b>	<b>-236.069</b>	<b>6.175.842</b>
Vertedero controlado	6.386.079	25.832	-236.069	6.175.842
<b>TOTAL</b>	<b>10.104.149</b>	<b>717.837</b>	<b>-8.178.922</b>	<b>2.643.064</b>

La figura 5 muestra gráficamente la contribución a la huella de carbono de las diferentes partes que conforman el sistema de estudio: reciclaje por recogida selectiva, tratamiento de fracción resto en TMB, incineración y depósito controlado. En este caso, toma especial relevancia el impacto evitado por el reciclaje de materiales y la valorización energética de los residuos.



**Figura 5.** Huella de carbono en el escenario 2020 AVANZADO

### 7.4. Mitigación por escenarios

Las figuras 6 y 7 muestran la huella de carbono de cada escenario (total y diferenciando por tipos de impacto).

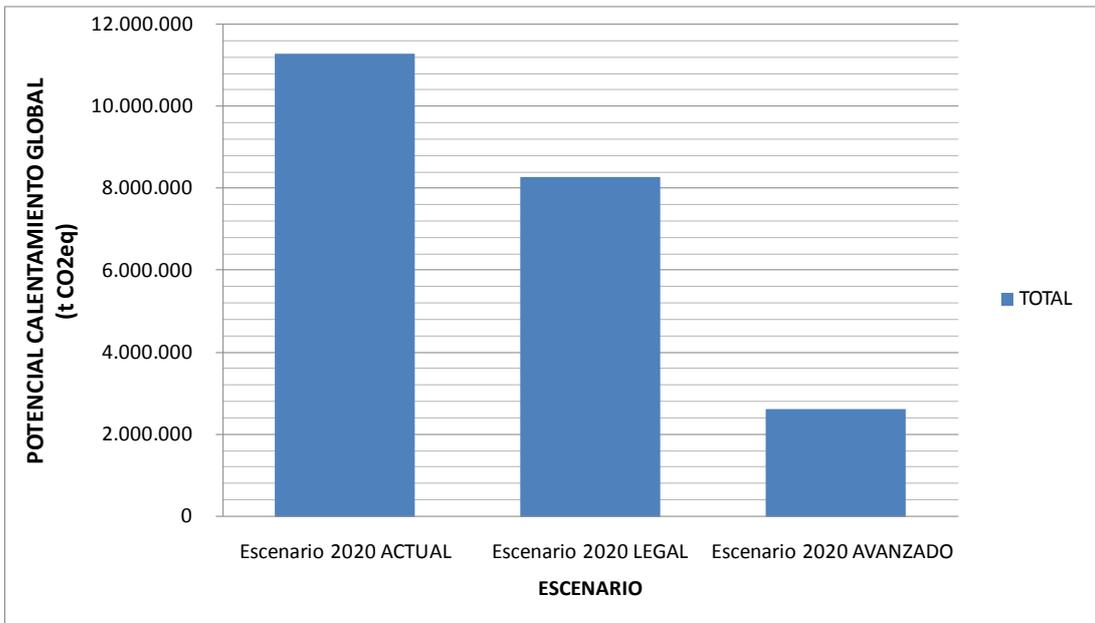


Figura 6. Huella de carbono total en el año 2020 de los distintos escenarios

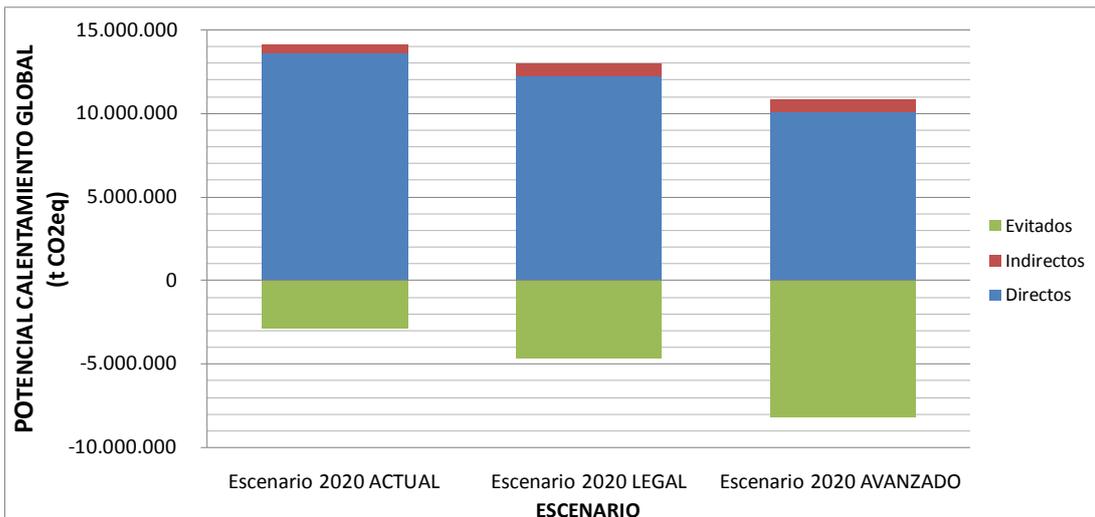


Figura 7. Huella de carbono (por tipo de impacto) en el año 2020 de los distintos escenarios

La Tabla 36 muestra los resultados de mitigación en los escenarios 2020 LEGAL y AVANZADO en comparación con el escenario 2020 ACTUAL. Se puede observar como el escenario 2020 AVANZADO supone un ahorro de emisiones de GEI de más de 5,6 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> respecto el escenario 2020 LEGAL.

**Tabla 36.** *Mitigación de emisiones de GEI en los escenarios 2020 LEGAL y AVANZADO en relación con el escenario 2020 ACTUAL*

Escenario	2020 ACTUAL	2020 LEGAL	2020 AVANZADO
Emisión total (t CO <sub>2</sub> )	11.308.266	8.309.551	2.643.064
Mitigación (t CO <sub>2</sub> )		<b>2.998.715</b>	<b>8.665.202</b>

Esta mitigación de emisiones de GEI es aun mayor cuando se considera la sustitución de mix eléctrico fósil cuando se genera electricidad (por ejemplo, en la incineración de residuos o la combustión de biogás de vertedero o de digestión anaerobia). De este modo, según se muestra en la Tabla 37, el escenario avanzado supone una mitigación de más de 10,6 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> respecto el escenario 2020 ACTUAL y de 7,2 respecto el escenario 2020 LEGAL.

**Tabla 37.** *Mitigación de emisiones de GEI en los escenarios 2020 LEGAL y AVANZADO en relación con el escenario 2020 ACTUAL, con sustitución de mix eléctrico fósil*

Escenario	2020 ACTUAL	2020 LEGAL	2020 AVANZADO
Emisión total (t CO <sub>2</sub> )	10.427.500	7.036.942	-238.499
Mitigación (t CO <sub>2</sub> )		<b>3.390.558</b>	<b>10.665.999</b>

## 8. CALCULADORA DE EMISIONES

A lo largo de la implementación de la metodología de trabajo, se ha desarrollado la calculadora de emisiones que permite calcular la huella de carbono de los tres escenarios considerando distintos valores para una serie de variables clave. De este modo, el uso de la calculadora permite cuantificar las emisiones de GEI de cada escenario en función de:

- Tasa de recogida selectiva de vidrio, papel y cartón, envases ligeros y FORM
- Composición de la bolsa tipo y contenido de impropios de las fracciones recogidas selectivamente
- Poder calorífico de cada fracción de residuos y contenido en carbono biogénico
- Características de las plantas de tratamiento de residuos (eficiencia en la recuperación material/energética, consumos, etc.)
- Captación de biogás en vertedero
- Créditos de valorización material y energética
- Destino de los CSR (cementera/térmica vs cogeneración)

A continuación, se muestran diferentes capturas de imagen sobre la calculadora (figuras 8 a Y).



Figura 8. Imagen de portada de la calculadora

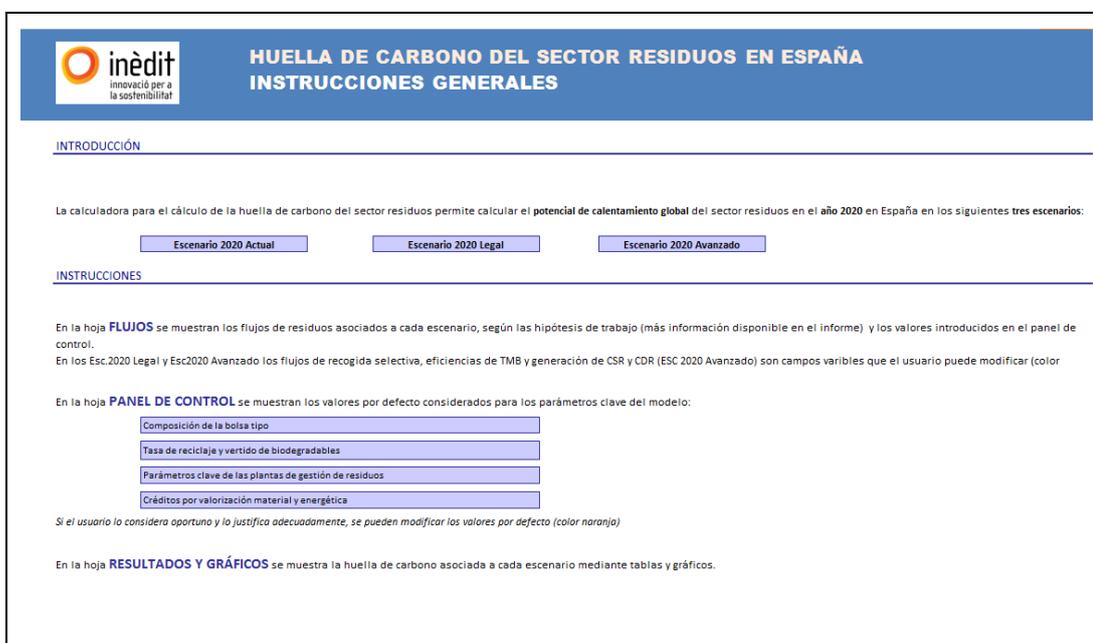


Figura 9. Hoja de instrucciones de la calculadora

GESTIÓN	ESCENARIO (t/año)								
	2020 ACTUAL			2020 LEGAL			2020 AVANZADO		
	%	t/año	Instalaciones	%	t/año	Instalaciones	%	t/año	Instalaciones
<b>RM de recogida pública, excepto puntos limpio y residuos voluminosos [1]</b>		<b>24.049.826</b>			<b>24.049.826</b>			<b>24.049.826</b>	
Recogida selectiva bruta total	13,44%	3.231.492		20,33%	4.888.432		49,20%	11.832.586	
Recogida selectiva de Vidrio [V] sobre V [2]	49,16%	716.203	7	49,16%	716.203	7	65,00%	1.078.635	7
Recogida selectiva de Envases Ligeros (EELL) sobre EELL [2]	13,48%	547.721	6	13,48%	547.884	6	45,00%	1.828.989	6
Recogida selectiva de Papel y Cartón (P/C) sobre P/C [3]	22,55%	1.084.680	8	50,00%	2.404.983	8	70,00%	3.366.976	8
Reciclaje neto de V, P/C, EELL		1.985.064			3.199.832			5.321.950	
Rechazo a DC.		363.540			469.238			952.650	
Recogida selectiva de Materia Orgánica [3]	7,59%	748.137		11,00%	1.084.647		55,00%	5.423.236	
(a) Materia Orgánica destinada a compostaje aeróbico		626.864	2b, 4 y 5		963.374	2b, 4 y 5		3.475.102	2b, 4 y 5
(b) Materia Orgánica destinada a biometanización (incluye TMB2 y TMB3)		121.273	2a y 3		121.273	2a y 3		1.948.134	2a, 3 y 12
Producción de compost (en instalaciones 2b, 3, 4 y 5)		373.693			402.633			3.572.880	
Rechazo total a DC (de instalaciones 2a, 2b, 3, 4 y 5)		174.249			238.522			1.236.542	
Otras recogidas selectivas [3]		134.751			134.715			134.751	
<b>Fracción RESTO a TMB 1 [1, 2 &amp; 4]</b>		<b>8.199.093</b>	<b>1</b>		<b>8.199.093</b>	<b>1</b>		<b>8.199.093</b>	<b>1</b>
Separación de materiales para el reciclado sobre fracción RESTO entrada a TMB1	3,70%	303.366		3,70%	303.366		3,70%	303.366	
Desviación neta de Materia Orgánica sobre la MOR entrada a TMB1	80,00%	2.871.028		80,00%	3.004.101		80,00%	2.382.270	
Valorización neta de MOR (bioestabilizado) sobre fracción RESTO entrada a TMB1 [4]	7,44%	610.012		7,44%	610.012		7,44%	610.012	
Rechazo Total TMB1. Estimado de: [4]	63,40%	5.198.225		63,40%	5.198.225		63,40%	5.198.225	
Rechazo TMB1 a DC		4.988.225			4.988.225			0	
Rechazo TMB1 a INC		210.000			210.000			0	
Rechazo TMB1 a CSR de TMB3		-			-			5.198.225	
<b>Fracción RESTO a TMB 2 [1, 2 &amp; 4]</b>		<b>1.309.890</b>	<b>2</b>		<b>9.072.301</b>	<b>2</b>		<b>1.309.890</b>	<b>2</b>
Separación de materiales para el reciclado sobre fracción RESTO entrada a TMB2	4,47%	58.552		4,47%	405.532		4,47%	58.552	
Desviación neta de Materia Orgánica sobre la MOR entrada a TMB2	85,00%	487.344		85,00%	3.591.792		85,00%	404.379	
Valorización neta de MOR (bioestabilizado) sobre fracción RESTO entrada a TMB2 en línea de compostaje [4]	7,44%	60.050		7,44%	60.050		7,44%	60.050	
Rechazo Total TMB2. [4]	57,00%	746.637		57,00%	5.171.212		57,00%	746.637	
Rechazo TMB2 a DC		746.637			5.171.212			0	
Rechazo TMB2 a INC		0			0			0	
Rechazo TMB2 a CSR de TMB3		-			-			746.637	
<b>Fracción RESTO a TMB 3</b>								<b>2.708.257</b>	<b>12</b>
Separación de materiales para el reciclado sobre fracción Resto entrada a TMB3							7,00%	189.578	
Desviación neta de Materia Orgánica							90,00%	885.254	
Valorización neta de MOR (bioestabilizado) sobre fracción RESTO entrada a TMB3							10,00%	270.826	
Rechazo Total TMB3							52,00%	1.408.294	
Planta de preparación de Combustibles (entrada rechazos TMB1, 2y3)								7.353.156	
CSR a cementera / térmica carbón							60,00%	1.472.639	
CSR a cogeneración							40,00%	981.759	
CDR a INC								3.553.609	
Rechazo "casi inerte" a DC								1.345.148	
<b>Fracción RESTO a INC</b>		<b>1.890.000</b>			<b>1.890.000</b>			<b>0</b>	
<b>Fracción RESTO a DC</b>		<b>9.419.352</b>			<b>0</b>			<b>0</b>	
<b>TOTAL</b>		<b>24.049.826</b>			<b>24.049.826</b>			<b>24.049.826</b>	

Figura 10. Hoja de entrada de datos 1: flujos de residuos (celdas naranjas editables)

MODELO DE CÁLCULO DE EMISIONES DIRECTAS E INDIRECTAS DE GEI ASOCIADAS A ESCENARIOS DETERMINADOS DE GENERACIÓN DE RESIDUOS MUNICIPALES EN ESPAÑA.

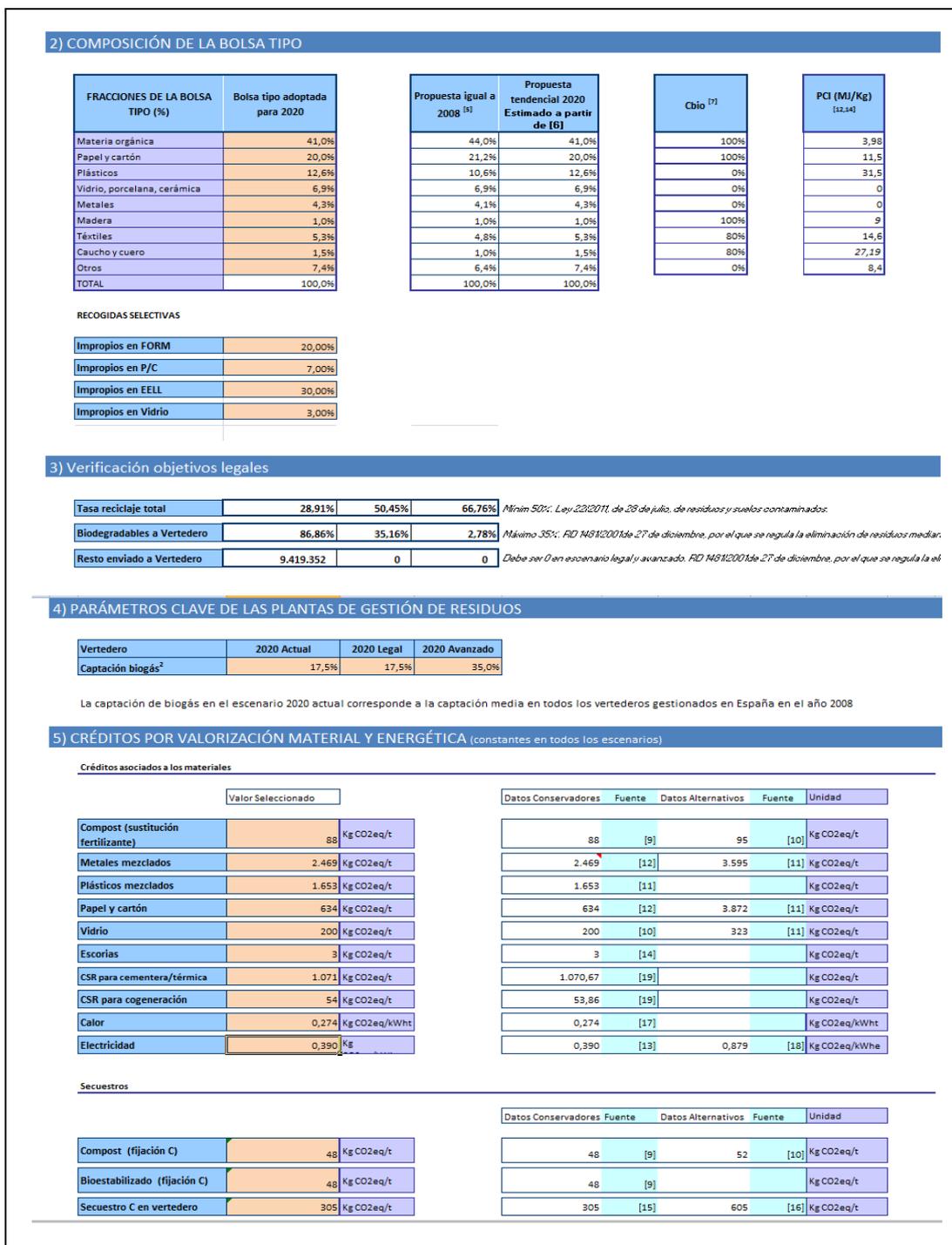


Figura 11. Hoja de entrada de datos 2: panel de control

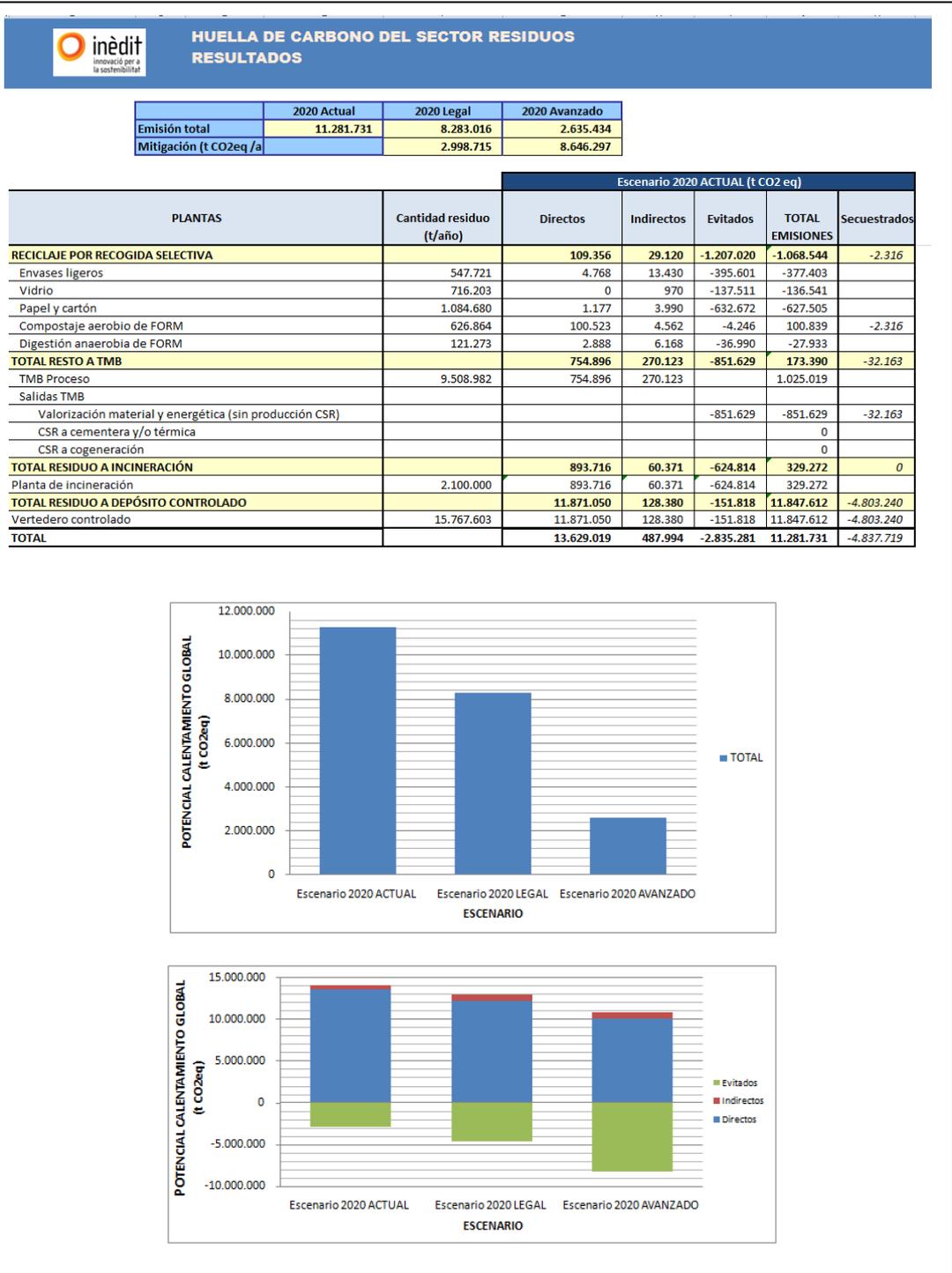


Figura 12. Hoja de resultados

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Agència de Residus de Catalunya. 2007. Programa de gestió de residus municipals a Catalunya. PROGREMIC 2007-2012. [http://www.arc-cat.net/ca/publicacions/pdf/agencia/programes/exp\\_publica/progremic.pdf](http://www.arc-cat.net/ca/publicacions/pdf/agencia/programes/exp_publica/progremic.pdf).
- Arena, U, ML Mastellone, and F Perugini. 2003. «Life cycle assessment of a plastic packaging recycling system». *International Journal of Life Cycle Assessment* 8 (2): 92-98.
- Boldrin, A, JK Andersen, J Moller, TH Christensen, and E Favoino. 2009. «Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions». *Waste Management & Research* 27: 800-812.
- Cadena, E, J Colon, A Artola, A Sanchez, and X Font. 2009. «Environmental impact of two aerobic composting technologies using life cycle assessment». *International Journal of Life Cycle Assessment* 14 (5): 401-410.
- Colon, J, A Artola, and X Font. 2008. Estudi de l'impacte ambiental del compostatge de FORM: Planta de compostatge de Torrelles de Llobregat.
- Comisión Nacional de Energía. 2011. Sistema de Garantía de Origen y Etiquetado de la Electricidad. [http://gdo.cne.es/CNE/resumenGdo.do?informe=garantias\\_etiquetado\\_electricidad](http://gdo.cne.es/CNE/resumenGdo.do?informe=garantias_etiquetado_electricidad).
- Comissió Europea. 2006. Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Treatment Industries. [ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/wt\\_bref\\_0806.pdf](ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/wt_bref_0806.pdf).
- . 2011. Commission Decision 13097/11 establishing rules and calculation methods for verifying compliance with the targets set in Article 11 (2) of Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council. Brussels. <http://register.consilium.europa.eu/pdf/en/11/st13/st13097.en11.pdf>.
- Doka, G. 2009. Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services.ecoinvent report No. 13. Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Emmenegger, MF, T Heck, N Jungbluth, and M Tuchschnid. 2007. Erdgas. Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in ökobilanzen für die Schweiz. Final report ecoinvent No. 6-V. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.
- Eriksson, O. 2010. Environmental Technology Assessment of Natural Gas Compared to Biogas. InTech. [http://www.intechopen.com/download/pdf/pdfs\\_id/11474](http://www.intechopen.com/download/pdf/pdfs_id/11474).
- Forster, P, V Ramaswamy, P Artaxo, T Berntsen, R Betts, DW Fahey, J Haywood, et al. 2007. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Huerta, O, M López, M Soliva, and M Zaloña. 2010. Compostatge de residus municipals. Control del procés, rendiment i qualitat del producte. Agència de Residus de Catalunya. [http://upcommons.upc.edu/e-prints/bitstream/2117/9087/1/Compostatge%20de%20Residus%20Municipals\\_ESAB\\_CAT.pdf](http://upcommons.upc.edu/e-prints/bitstream/2117/9087/1/Compostatge%20de%20Residus%20Municipals_ESAB_CAT.pdf).

- Instituto Nacional de Estadística. 2008. Información estadística sobre «estadísticas sobre medio ambiente: encuesta sobre recogida y tratamiento de residuos. Residuos urbanos». <http://www.ine.es>.
- IPCC. 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>.
- Jaron, A, and M Bauer. 2011. Waste Management in Germany 2011. Facts, Data, Graphics. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU). [http://www.bmu.de/english/waste\\_management/downloads/doc/45740.php](http://www.bmu.de/english/waste_management/downloads/doc/45740.php).
- Jungbluth, N. 2007a. Erdöl. Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemene in Ökobilanzen für die Schweiz (Ed. Dones R.) ecoinvent report No. 6-IV. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.
- . 2007b. Erdöl. Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemene in Ökobilanzen für die Schweiz (Ed. Dones R.) ecoinvent report No. 6-IV. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.
- Kellenberger, D, HJ Althaus, N Jungbluth, T Künniger, A Lehmann, and P Thalmann. 2007. Life Cycle Inventories of Building Products. Final report ecoinvent Data v2.0. No. 7. EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Manfredi, S, D Tonini, TH Christensen, and H Scharff. 2009. «Landfilling of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions». *Waste Management & Research* 27: 828-836.
- Ministerio de Medio Ambiente. 2010. Anexo 14 del Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) 2008-2015. Estrategia Española de Reducción de Residuos Biodegradables destinados a los vertederos.
- Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. 2010a. Perfil Ambiental de España. Cap. 2.7 Residuos, pág. 137-139.
- . 2010b. Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR). Apéndice I. Pág.: 8 y 91-92.
- . 2011. Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. <http://www.boe.es/boe/dias/2011/07/29/pdfs/BOE-A-2011-13046.pdf>.
- Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 2010a. Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de España. Años 1990-2008. [http://www20.gencat.cat/docs/canviclimatic/Home/Comerc%20de%20drets%20demissio/Procediment%20per%20al%20tramit%20dautoritzacio/Factors%20demissio/Documents/Informe\\_Inventario\\_GEI\\_Espana\\_1990-2008\\_\\_Ed\\_2010\\_%201.pdf](http://www20.gencat.cat/docs/canviclimatic/Home/Comerc%20de%20drets%20demissio/Procediment%20per%20al%20tramit%20dautoritzacio/Factors%20demissio/Documents/Informe_Inventario_GEI_Espana_1990-2008__Ed_2010_%201.pdf).
- . 2010b. Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de España. Años 1990-2008. [http://www20.gencat.cat/docs/canviclimatic/Home/Comerc%20de%20drets%20demissio/Procediment%20per%20al%20tramit%20dautoritzacio/Factors%20demissio/Documents/Informe\\_Inventario\\_GEI\\_Espana\\_1990-2008\\_\\_Ed\\_2010\\_%201.pdf](http://www20.gencat.cat/docs/canviclimatic/Home/Comerc%20de%20drets%20demissio/Procediment%20per%20al%20tramit%20dautoritzacio/Factors%20demissio/Documents/Informe_Inventario_GEI_Espana_1990-2008__Ed_2010_%201.pdf).
- Nemecek, T, T Kägi, and S. Blaser. 2007. Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.
- Observatorio de Sostenibilidad Española (OSE). 2010. Sostenibilidad en España. Cap. 13 Residuos Urbanos, sección 13.2 Tratamiento de residuos urbanos pág. 275-276.

- 
- . 2011. Nota de prensa. Informe anual OSE «Sostenibilidad en España 2010». [http://www.sostenibilidad-es.org/sites/default/files/\\_Documentos/nota\\_de\\_prensa\\_y\\_analisis\\_informe2010.pdf](http://www.sostenibilidad-es.org/sites/default/files/_Documentos/nota_de_prensa_y_analisis_informe2010.pdf).
- OCCC. 2011. Guia pràctica per al càlcul d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH). [http://www20.gencat.cat/docs/canviclimatic/Home/Politiques/Politiques%20catalanes/La%20mitigacio%20del%20canvi%20climatic/Guia%20de%20calcul%20demissions%20de%20CO2/110301\\_Guia%20practica%20calcul%20emissions%20rev\\_CA.pdf](http://www20.gencat.cat/docs/canviclimatic/Home/Politiques/Politiques%20catalanes/La%20mitigacio%20del%20canvi%20climatic/Guia%20de%20calcul%20demissions%20de%20CO2/110301_Guia%20practica%20calcul%20emissions%20rev_CA.pdf).
- Prognos AG, Ifeu, and INFU. 2008. Resource savings and CO2 reduction potential in waste management in Europe and the possible contribution to the CO2 reduction target in 2020. [http://www.prognos.com/fileadmin/pdf/aktuelles/Results\\_CO2\\_wasteproject.pdf](http://www.prognos.com/fileadmin/pdf/aktuelles/Results_CO2_wasteproject.pdf).
- Smith, A, K Brown, S Ogilvie, K Rushton, and J Bates. 2001. Waste management options and climate change. AEA Technology Environment. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- SWICS. 2008. Current MSW Industry Position and State-of-the-Practice on LFG Collection Efficiency, Methane Oxidation, and Carbon Sequestration in Landfills.
- TERSA. 2011. Característique sde la PVE Sant Adrià de Besós. Pàgina web de TERSA. <http://www.teresa.com>.
- UE. 2004. Directiva 2004/12/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de febrero de 2004 por la que se modifica la Directiva 94/92/CE relativa a los envases y residuos de envases.
- . 2008. Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:0003:ES:PDF>.
- UNEP. 2010. *Waste and Climate Change. Global Trends and Strategy Framework*. Osaka, Japó: Division of Technology, Industry and Economics. International Environmental Technology Centre.
- US EPA. 2006. Solid Waste Management and Greenhouse Gases. A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks. [http://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=solid%20waste%20management%20and%20greenhouse%20gases%20a%20life-cycle%20assessment%20of%20emissions%20and%20sinks&source=web&cd=2&ved=0CkQFjAB&url=http%3A%2F%2Fepa.gov%2Fclimatechange%2Fwycd%2Fwaste%2Fdownloads%2Ffullreport.pdf&ei=M\\_q3To3EBsrL8QO6vKGoCw&usg=AFQjCNFx04vPE5oCOTdNxmNBUDclzsV6GQ&cad=rja](http://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=solid%20waste%20management%20and%20greenhouse%20gases%20a%20life-cycle%20assessment%20of%20emissions%20and%20sinks&source=web&cd=2&ved=0CkQFjAB&url=http%3A%2F%2Fepa.gov%2Fclimatechange%2Fwycd%2Fwaste%2Fdownloads%2Ffullreport.pdf&ei=M_q3To3EBsrL8QO6vKGoCw&usg=AFQjCNFx04vPE5oCOTdNxmNBUDclzsV6GQ&cad=rja).
- Zorrilla, C. 2010. El pas de l'abocador al tractament integral. Consorcio para la Gestión de Residuos en el Vallès Occidental. 27 d'Abril del 2010.