



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Departamento de Economía y Administración de Empresas

Área de Organización de Empresas

---

TRABAJO FIN DE GRADO

---

**PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DE UNA PLANTA DE RESIDUOS:  
ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD**

GRADO EN INGENIERÍA DE ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

Autor: Eduardo Carmona Urbano

Tutor: Dr. Don Antonio Ruiz Molina

Cotutor: Don César López Ansorena

MÁLAGA, Octubre 2025



## AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por animarme siempre que he dicho “voy a quitarme de la carrera”. Ya no volveré a decirlo más.

A mi hermana, por estar tan presente y transmitirme que todo lo que te propongas se puede conseguir. Ella es profesional en eso.

A mis amigos, en especial a Joselu, ejemplo de generosidad y amistad.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
1.1. Evolución de la gestión de residuos en España.....	10
1.2. España en perspectiva Europea.....	11
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
2.1 Fundamentos conceptuales.....	14
2.1.1 Economía circular.....	14
2.1.2. Jerarquía de residuos.....	17
2.1.3 Huella de carbono.....	19
2.2 Normativa.....	22
2.2.1 Normativa Europea.....	22
2.2.2 Normativa Estatal.....	23
2.2.3 Normativa Autonómica.....	25
2.3 Cadena de valor de gestión de residuos municipales.....	26
2.3.1. Definición de residuos municipales (RSU) y fracciones principales.....	26
2.3.2. Actores implicados.....	29
2.3.3 Funciones del sistema: de la recogida a la eliminación.....	31
2.4 Transferencia y tratamiento: Criterios de decisión.....	34
2.4.1 Transferencia.....	34
2.4.2 Tratamiento.....	37
<b>3. DIAGNÓSTICO TERRITORIAL, DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO (MÁLAGA).....</b>	<b>39</b>
3.1 Gestión actual en la provincia de Málaga y datos de generación de residuos.....	39



3.1.1 Consorcio provincial de residuos.....	41
3.1.2 Mancomunidad de municipios de la Costa del Sol.....	46
3.2 Situación actual de rutas.....	47
3.3 Municipios y población a servir.....	51
3.4 Estimación del volumen anual de residuos a transferir.....	53
3.5 Criterios y análisis espacial para la selección.....	55
<b>4. DETERMINACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO ÓPTIMO.....</b>	<b>58</b>
4.1 Propuestas y análisis de modelos para obtener una ubicación.....	58
4.1.1 Modelo centro de gravedad.....	58
4.1.2 Estudio técnico mediante SIG.....	60
4.1.3 Matriz multicriterio.....	63
4.2 Análisis de propuesta y ahorro respecto a las rutas actuales.....	67
4.3 Selección del emplazamiento mediante SIG.....	70
<b>5. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN.....</b>	<b>72</b>
5.1 Tipo de tratamiento propuesto y tipología de residuos a tratar.....	72
5.2 Dimensionamiento de la planta.....	75
5.3 Estimación de necesidades de maquinaria y personal.....	77
<b>6. PRESUPUESTOS Y RESULTADOS.....</b>	<b>87</b>
6.1 Presupuesto Obra Civil.....	88
6.2 Presupuesto TMB.....	90
6.3 Presupuesto WtE.....	92
6.4 Resultados.....	93
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>96</b>



**8. BIBLIOGRAFÍA..... 98**

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tratamiento de residuos municipales per cápita en España (1995–2023).....	12
Figura 2: Tratamiento de residuos municipales en la UE, 2013–2023.....	14
Figura 3: Tratamiento de residuos por tipo de valorización y eliminación en países europeos (2022).....	14
Figura 4: Economía lineal vs circular.....	16
Figura 5: Esquema del ciclo de la economía circular y sus elementos clave.....	18
Figura 6: Esquema de la jerarquía de residuos.....	19
Figura 7: Alcances 1, 2 y 3 de emisiones de gases de efecto invernadero.....	22
Figura 8: Funcionamiento de la descarga de residuos para la planta de transferencia....	38
Figura 9: Distribución de instalaciones de tratamiento y plantas de transferencia de residuos en la provincia de Málaga.....	42
Figura 10: Estacionalidad del residuo en la Axarquía.....	44
Figura 11: Estacionalidad del residuo en el Valle de Guadalhorce.....	45
Figura 12: Estacionalidad del residuo en Guadalteba.....	46
Figura 13: Estacionalidad de los residuos de los municipios de la Mancomunidad de municipios de la Costa del Sol.....	48
Figura 14: Ruta actual Cártama-Valsequillo.....	49
Figura 15: Ruta actual Ronda-Valsequillo.....	50
Figura 16: Ruta actual Campillos-Valsequillo.....	50
Figura 17: Ruta actual Vélez-Valsequillo.....	51
Figura 19: Ficha técnica semirremolque de 3 ejes (características de explotación).....	52
Figura 20: Mapa de la red de infraestructuras viarias e hidrografía en la provincia de	



Málaga.....	57
Figura 21: Mapa de espacios naturales protegidos en la provincia de Málaga.....	58
Figura 22: Distribución de la población en la provincia de Málaga.....	59
Figura 23: Centro de gravedad.....	61
Figura 24: Ruta mínima entre Cártama y Vélez.....	62
Figura 25: Distribución de residuos urbanos de la Axarquía y del Valle del Guadalhorce hacia sus plantas de transferencia.....	63
Figura 26: Ruta actual (rojo) y propuesta desde Cártama (azul).....	68
Figura 27: Ruta actual y propuesta desde Vélez (Málaga).....	69
Figura 28: Mapa nueva ubicación de la planta de tratamiento propuesta.....	71
Figura 29: Ubicación de la parcela elegida.....	72
Figura 30: Catastro de la parcela seleccionada.....	73
Figura 31: Funcionamiento de la planta de tratamiento mecánico biológico.....	81
Figura 32: Funcionamiento de la planta de valorización energética.....	83



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Generación anual de residuos por fracciones y municipios del Consorcio, con porcentaje respecto al total.....	43
Tabla 2: Generación anual de residuos por fracciones y municipios de la Mancomunidad de municipios de la Costa del Sol.....	47
Tabla 3: Rutas actuales de residuos en la Provincia de Málaga.....	49
Tabla 4: Comparativa de distancias recorridas y tiempos de transporte según alternativa de emplazamiento.....	64
Tabla 5: Comparativa de distancias recorridas y tiempos de transporte según alternativa de emplazamiento.....	65
Tabla 6: Matriz multicriterio de evaluación de alternativas de emplazamiento.....	65
Tabla 7: Distancias y tiempos de transporte desde las plantas de transferencia de Cártama y Vélez hasta Rincón de la Victoria.....	68
Tabla 8: Ahorro respecto a rutas actuales.....	70
Tabla 9: Comparativa internacional de plantas de tratamiento y valorización energética: capacidad, superficie y ratio m <sup>2</sup> /t·día.....	77
Tabla 10: Comparación de maquinaria entre instalaciones TMB.....	79
Tabla 11: Comparación de maquinaria entre instalaciones WtE.....	81
Tabla 12: Plantilla de personal instalación TMB.....	84
Tabla 13: Apoyo diurno TMB.....	85
Tabla 14: Plantilla de personal WtE. ....	86
Tabla 15: Apoyo diurno WtE.....	87
Tabla 16: Presupuesto obra civil de ambas instalaciones.....	90



Tabla 17: Presupuesto de maquinaria TMB.....	92
Tabla 18: Presupuesto WTE.....	94
Tabla 19: Resultados de la instalación WtE.....	95



## 1. INTRODUCCIÓN

La gestión sostenible de los residuos urbanos representa uno de los principales retos ambientales actuales, especialmente en territorios con alta densidad poblacional y fuerte actividad turística como la provincia de Málaga. En este contexto, el presente Trabajo de Fin de Grado tiene como propósito analizar y proponer una instalación que contribuya a mejorar la red de gestión del Consorcio Provincial de Residuos Sólidos Urbanos de Málaga.

Para dar respuesta a este objetivo, el estudio se ha estructurado en varios bloques que avanzan de forma coherente desde el análisis territorial hasta la propuesta técnica final. En primer lugar, se desarrolla un diagnóstico territorial apoyado en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), herramienta clave para examinar el entorno provincial y establecer los criterios de selección del emplazamiento. A partir de este análisis, se aborda la determinación del emplazamiento óptimo, donde se aplican los resultados obtenidos para justificar la localización elegida. Posteriormente, el trabajo presenta una descripción general de la instalación propuesta, detallando su configuración, capacidad y principales características técnicas, finalizando así, con los presupuestos y resultados, que permiten valorar la viabilidad económica y ambiental del proyecto en su conjunto.

Inicialmente, el objetivo planteado fue el diseño de una planta de transferencia, dado que este tipo de infraestructuras optimizan el transporte y reducen costes logísticos. Sin embargo, el análisis de la red existente evidenció que estas instalaciones ya se encuentran adecuadamente distribuidas, lo que llevó a reorientar el estudio hacia el tratamiento de residuos.



Este cambio responde a la necesidad de avanzar hacia un modelo más sostenible y alineado con las políticas europeas de economía circular, que priorizan la valorización frente al vertido. En España, las elevadas tasas de eliminación en vertedero reflejan un déficit de instalaciones de tratamiento y recuperación, especialmente en regiones con fuerte crecimiento urbano y turístico como Málaga.

Actualmente, la gestión de residuos en la provincia se reparte entre el Consorcio Provincial de Residuos Sólidos Urbanos, que actúa en los municipios del interior, la Mancomunidad de Municipios de la Costa del Sol Occidental, responsable del litoral, y Málaga capital, que se gestiona sus propios residuos. Pese a esta organización, persisten desequilibrios logísticos y distancias excesivas hacia los centros de tratamiento, lo que refuerza la necesidad de mejorar la red provincial.

Por ello, este trabajo plantea la creación de una planta de tratamiento mecánico-biológico (TMB) combinada con una unidad de valorización energética, con el objetivo de maximizar la recuperación de materiales reciclables y valorizar energéticamente la fracción no reciclable, reduciendo así la cantidad de residuos destinados a vertedero.

En suma, el proyecto se concibe como una contribución útil tanto desde el punto de vista académico como profesional, ofreciendo una propuesta de localización estratégica y diseño preliminar que refuerza la red provincial de gestión de residuos y se alinea con los principios de proximidad, autosuficiencia y protección ambiental.

## 1.1. Evolución de la gestión de residuos en España

La gestión de residuos municipales en España ha experimentado algunos cambios en los últimos 15 años, reflejando así un esfuerzo para conseguir alinearse con la jerarquía europea de residuos y con el modelo de economía circular. Tradicionalmente, el vertedero ha sido el principal destino de los residuos, lo que ha generado un desequilibrio entre las etapas de prevención, reciclaje y valorización. No obstante, en la última década se ha observado un proceso de transición: el vertido, que representaba más del 60% de los residuos municipales en el año 2010, se ha reducido hasta situarse alrededor del 50% en el año 2022, mientras que las tasas de reciclaje y reutilización han pasado del 29% al 39% en el mismo periodo de tiempo.

**Figure 2: Municipal waste treatment, 1995-2023**

(kg per capita)

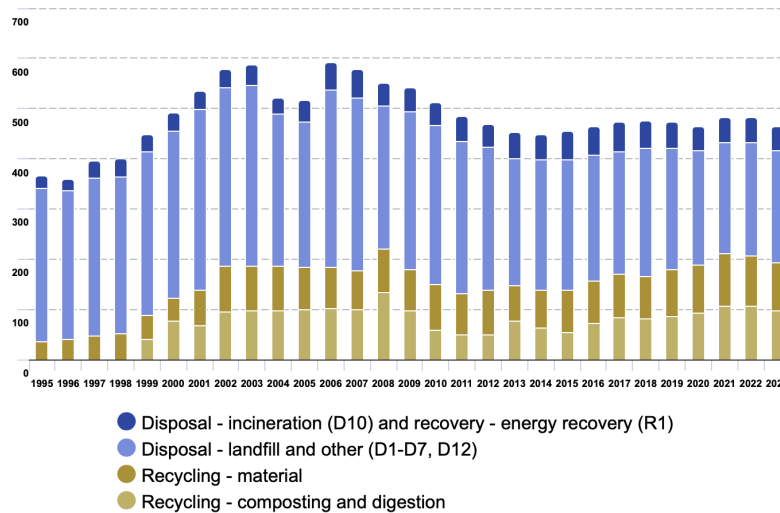


Figura 1: Tratamiento de residuos municipales per cápita en España (1995–2023). Fuente: Eurostat



Estos avances van de la mano con la expansión de la recogida separada de las fracciones clave como los envases ligeros (papel, cartón y vidrio), lo que ha permitido que se desvíen cantidades crecientes de residuos hacia canales de reciclaje. Aún así, el vertedero sigue siendo un problema y el principal destino para el residuo en España, lo que pone de manifiesto la necesidad de su reducción si se quiere avanzar hacia los objetivos que se marcan de forma comunitaria.

En los últimos años se han puesto en marcha instrumentos normativos y económicos para que esta transición se vea obligada a acelerar. Según el BOE (2022), La Ley 7/2022, de residuos y suelos contaminados para una economía circular, ha generado la obligatoriedad de implantar la recogida separada de biorresiduos en todos los municipios de la península y ha implantado un impuesto estatal para el depósito en vertedero y la incineración, en vigor desde el año 2023, con el fin principal de incentivar otro tipo de etapa final alternativa al vertedero.

Además, el nuevo Plan Estatal Marco de Residuos 2024-2035, marca la ruta para los próximos años, priorizando la reducción del vertido y propiciando el refuerzo de infraestructuras de tratamiento.

## **1.2. España en perspectiva Europea**

Mirar a Europa, permite reconocer con claridad el desafío al que se enfrenta España. En 2023, la UE trató sus residuos municipales con un 48% de reciclaje, 25% incineración y un 23% de vertedero, dándole así un mayor protagonismo al reciclaje y la valorización. (Eurostat, 2025).

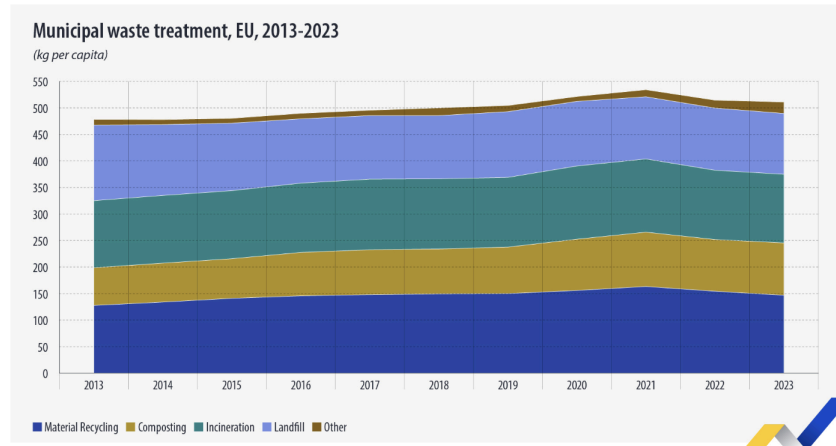


Figura 2: Tratamiento de residuos municipales en la UE, 2013–2023. Fuente: Eurostat

El siguiente gráfico muestra patrones claros por áreas geográficas: en el norte y occidente de Europa el vertedero es mínimo y predomina la recuperación (reciclaje/backfilling) junto con valorización energética; en cambio, en parte de la Europa sudoriental y balcánica, el amarillo (vertedero) sigue ocupando la mayor parte de la barra. Italia destaca positivamente con una combinación alta de recuperación y bajo vertido, situándose de forma clara en lo mejor del grupo con un desempeño más favorable.

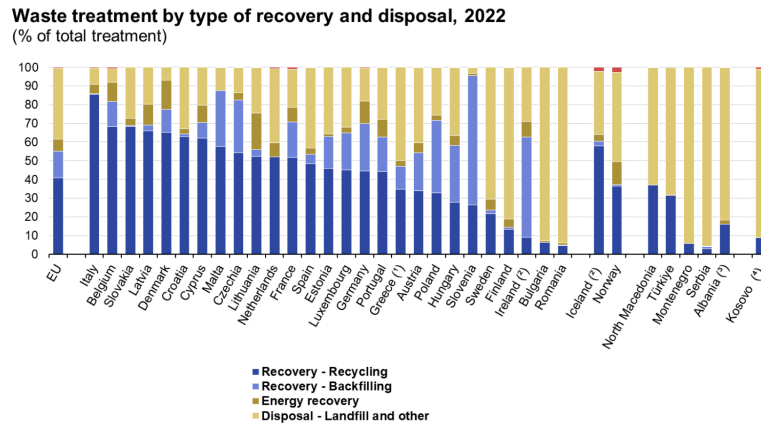


Figura 3: Tratamiento de residuos por tipo de valorización y eliminación en países europeos (2022).

Fuente: Eurostat

El marco comunitario, además, sitúa metas de un carácter exigente a corto y medio plazo. Por un lado, es necesario alcanzar al menos un 55% de preparación para la reutilización y reciclaje en 2025 y limitar el vertido al 10% en 2035. Son el punto de llegada de un modelo que pone por delante estos tipos de tratamiento y deja atrás desperdiciar el residuo. Para España, cumplir ese objetivo implica acelerar la desviación del vertedero con más y mejor tratamiento. (European Union, 2018)

Los análisis europeos de seguimiento advierten de ello: la AEMA identifica a España “en riesgo” de no alcanzar con los objetivos acabados de mencionar si no se despliega con rapidez capacidad para el tratamiento y se refuerza la recogida separada, en particular, la de los biorresiduos.



## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Fundamentos conceptuales

#### 2.1.1 Economía circular

La economía circular busca prolongar el valor y la vida útil de productos, materiales y recursos para minimizar al máximo los residuos. Con ello, en la Unión Europea, se avanza hacia un modelo más sostenible, descarbonizado, eficiente en recursos y competitivo.

En la práctica, se trata de aprovechar al máximo los recursos disponibles para que permanezcan más tiempo en los ciclos productivos: primero prevenir la generación de residuos y, cuando no sea posible, reintroducir los que surjan. Esta lógica abarca tanto los ciclos biológicos como los tecnológicos: tras la extracción y la fabricación, los residuos se convierten en materiales y sustancias que vuelven al proceso con garantías para la salud y el medio ambiente. Es decir, el objetivo es desvincular el crecimiento económico del consumo de recursos finitos.

Frente a ello, el modelo que se sigue en la actualidad es un modelo lineal, basado en “tomar-fabricar-consumir-eliminar”.

El modelo actual ejerce una fuerte presión sobre el medio ambiente y puede llegar a agotar los recursos materiales y energéticos. Además, la economía vigente depende en gran medida de materias primas, lo que incrementa el riesgo de suministro. Por ello, resulta conveniente pasar de la economía lineal a la economía circular.(MITECO, s. f.).

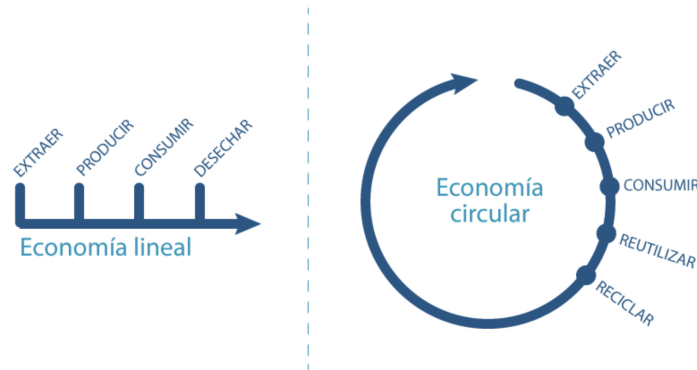


Figura 4: Economía lineal vs circular. Fuente: Línea Verde

Con ese cambio desde lo lineal hacia lo circular, la pregunta práctica es cómo se pone en práctica en la gestión municipal. En el ámbito Europeo, el Plan de Acción de Economía Circular (2020), actúa como hoja de ruta, situando los siguientes objetivos:

1. Convertir la sostenibilidad de los productos en el estándar dentro de la UE.
2. Dar más poder e información a los consumidores y a la compra pública.
3. Priorizar los sectores de mayor uso de recursos y alto potencial circular: electrónica y TIC, baterías y vehículos, envases, plásticos, textil, construcción y edificios, y el sistema de alimentos, agua y nutrientes.
4. Disminuir la generación de residuos.
5. Hacer que la circularidad aporte beneficios sociales y territoriales (personas, regiones y ciudades).
6. Liderar la agenda global en economía circular.

En España, ese marco aterriza con la Estrategia Española de Economía Circular, España Circular 2030, que establece los siguientes objetivos para el año 2030:

1. Disminuir un 30 % la intensidad material de la economía (consumo de materiales respecto al PIB), tomando 2010 como año base.
2. Reducir en 15 % la generación total de residuos frente a los niveles de 2010.
3. Recortar el desperdicio alimentario en toda la cadena: 50 % per cápita en hogares y comercio minorista y 20 % en producción y suministro, a partir de 2020, contribuyendo a los ODS.
4. Aumentar la reutilización y la preparación para la reutilización hasta alcanzar el 10 % de los residuos municipales.
5. Situar las emisiones de GEI por debajo de 10 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>eq.
6. Mejorar en 10 % la eficiencia en el uso del agua.

La estrategia estructura la acción en 5 ejes que abarcan todo el ciclo económico y de materiales:

1. **Producción:** Desde la concepción y el diseño hasta la fabricación, los productos deben pensarse para ser fáciles de reparar, duraderos y actualizables; y, al final de su vida útil, que se reciclen con facilidad y generen menos residuos.
2. **Consumo:** Impulsar un consumo responsable y el acceso a servicios (además de productos) es clave para prevenir y reducir la generación de residuos y lograr un reciclaje de mayor calidad.
3. **Gestión de residuos:** En un contexto de materias primas más caras y escasas, reciclar solo el 37 % de los residuos totales no es suficiente.
4. **Materias primas secundarias:** Su aprovechamiento permite disminuir la presión sobre los recursos naturales.

5. **Agua:** Priorizar la reutilización y la depuración para favorecer usos sucesivos y minimizar captaciones y vertidos.

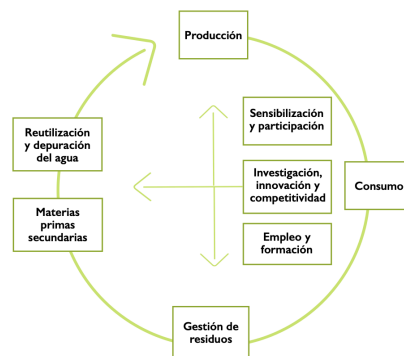


Figura 5: Esquema del ciclo de la economía circular y sus elementos clave. Fuente: España Circular 2030

### 2.1.2. Jerarquía de residuos

El concepto de jerarquía de residuos salió a la luz por primera vez a través de la Directiva Marco de Residuos de la Unión Europea (1975/442/CEE), y remarcaba la importancia de minimizar la generación de los residuos y aumentar todo lo posible la protección del medioambiente y la salud humana (Consejo de la Unión Europea, 1975).

En 1989, fue cuando quedó formalizada en la Estrategia Comunitaria para la Gestión de Residuos de la Comisión Europea. Este enfoque fue refrendado por el estudio de la Comisión de 1996 y aprobado mediante la Resolución del Consejo de 24 de febrero de 1997 (Consejo de la Unión Europea, 1997). Posteriormente, la jerarquía adquirió fuerza jurídica vinculante con la Directiva 2008/98/CE, que exige su integración a los Estados miembros (Unión Europea, 2008).

Hoy en día la jerarquía de residuos se presenta como se puede ver en la siguiente imagen: En primer lugar, como más deseable, se incentiva la prevención de la generación de los residuos, acompañado de la preparación para su reutilización. A continuación, el reciclaje cualquier tipo de valorización, ya sea material o energética. Y por último, en la base de la pirámide, y por lo tanto lo menos deseable, la eliminación del residuo.



Figura 6: Esquema de la jerarquía de residuos. Fuente: Elaboración propia. Datos extraídos de la Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.

Según reconoce la Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular:

- 1. Prevención:** Se trata del conjunto de medidas en el diseño, producción, distribución y consumo para reducir: (1) la cantidad de residuos; (2) los impactos sobre la salud y el medio ambiente; y (3) el contenido de sustancias peligrosas en productos y materiales.

2. **Preparación para la reutilización:** Operación de valorización que comprueba, limpia o repara productos o componentes convertidos en residuo para que puedan usarse de nuevo sin otra transformación previa, cumpliendo normas técnicas y de consumo.
3. **Reciclado:** Operación de valorización que transforma materiales de residuos en nuevos productos, materiales o sustancias, con la misma u otra finalidad. No incluye la valorización energética ni las operaciones de relleno.
4. **Recuperación:** Cualquier operación cuyo resultado principal es que el residuo sirva a una finalidad útil, sustituyendo materiales vírgenes o preparándolo para cumplir esa función; aquí se encuadra la valorización energética (R1) y el relleno (backfilling) cuando proceda.
5. **Eliminación:** Operaciones que no son valorización (como el vertedero), a realizar solo como último recurso y, en general, con tratamiento previo y garantías de protección ambiental.

Estas reglas no deciden una tecnología concreta, simplemente pretenden orientar la mezcla de soluciones para maximizar recuperación y minimizar el vertedero, priorizando siempre las etapas superiores de la jerarquía (Directive 2008/98/EC).

### *2.1.3 Huella de carbono*

“La huella de carbono es un indicador ambiental que refleja la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI), expresada como CO<sub>2</sub> equivalente, que es emitida directa o indirectamente como consecuencia de una actividad determinada” (Repsol, s. f.).

Cuando nos referimos a la huella de carbono que produce una organización, recurrimos al término llamado “Alcance”, clasificándose en 3 tipos distintos, pero antes,

cabe destacar que las emisiones que se asocian a una organización pueden ser de dos tipos, directas o indirectas.

1. **Emisiones directas (GEI):** Son las que proceden de fuentes propiedad o que están bajo el control de la organización. En términos sencillos, son las emisiones que se generan en el mismo lugar en que se realiza la actividad, como por ejemplo, las que se producen con la calefacción cuando funciona con combustibles fósiles.
2. **Emisiones indirectas (GEI):** Son emisiones derivadas de la actividad realizada por la organización, pero que se generan en instalaciones externas.

Cuando ya se han definido lo que son cada tipo de emisión, se procede a definir los tres tipos de alcance existentes, según World Resources Institute y el World Business Council for Sustainable Development (2004):

- **Alcance 1:** Se trata de emisiones directas. Son emisiones que provienen de la combustión de elementos que son propiedad o controladas por la entidad en cuestión.
- **Alcance 2:** Compuesto por emisiones indirectas (GEI) las cuáles están asociadas a lo que genera y consume una organización, en cuanto a electricidad.
- **Alcance 3:** Se trata de otras emisiones indirectas. Por ejemplo, el transporte de materias primas, viajes de trabajo a través de otros medios que no son propios a la organización, etc.

A continuación, se presenta un esquema orientativo que muestra los tipos de alcance y los elementos por los que están compuestos:

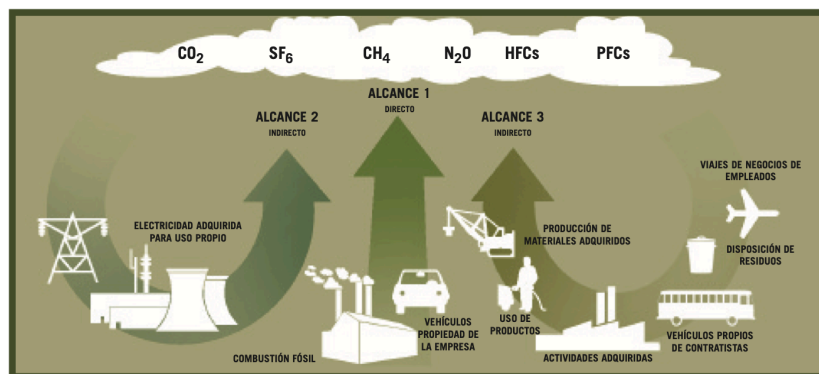


Figura 7: Alcances 1, 2 y 3 de emisiones de gases de efecto invernadero. Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), Guía para el cálculo de la huella de carbono (organizaciones y centros de trabajo), 2024

Si tenemos en cuenta la base metodológica del cálculo, el mismo responde a una relación sencilla:

$$\text{Huella de carbono} = \text{Dato de actividad} \times \text{Factor de emisión.}$$

El dato de actividad refleja la magnitud de la operación, como por ejemplo kWh de gas natural, litros de gasóleo o kWh de electricidad, mientras que el factor de emisión traduce esa magnitud a CO<sub>2</sub> equivalente (kg CO<sub>2</sub> equivalente por unidad).

Los resultados se expresan en CO<sub>2</sub> equivalente porque incorporan el efecto del CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y otros GEI mediante su potencial calentamiento global (PCG) con respecto al CO<sub>2</sub>. La guía recuerda alinear unidades de datos y factores, y matiza que, para biocombustibles, el CO<sub>2</sub> biogénico se considera neutro (aunque sí hay emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O). Los factores anuales recomendados proceden del Inventario Nacional y de las Directrices IPCC, y MITECO los publica y actualiza junto con calculadoras oficiales.

Por último, Repsol, recoge una serie de medidas para reducir la huella de carbono en las empresas, son las siguientes:

1. Impulso de la eficiencia energética en todos los ámbitos posibles.
2. Apuesta por fuentes de energía renovables
3. Optimización de la cadena de suministro y reparto
4. Fomento de la economía circular y aplicar sus principios

## 2.2 Normativa

### 2.2.1 Normativa Europea

- *Directiva 2008/98/CE* del parlamento Europeo y del Consejo, concerniente a los residuos y por la que se anulan directivas determinadas. Esta norma implementa los principios fundamentales para una correcta gestión de residuos en la UE (Unión Europea), incluyendo así la jerarquía de residuos (prevención, preparación para reutilización, reciclado, etc.), el principio de autosuficiencia y proximidad, la responsabilidad ampliada del productor y la necesidad y



obligación de crear y elaborar planes de gestión. También, define conceptos como el propio residuo, subproducto y fin de condición del residuo.

Posteriormente, fue modificada por la *Directiva (UE) 2018/851*, que refuerza los objetivos de reciclado, establece nuevas metas para la preparación para la reutilización y el reciclaje de residuos municipales, y amplía las obligaciones de recogida separada. Esta actualización se enmarca dentro de los objetivos del Paquete de Economía Circular impulsado por la Comisión Europea.

- *Decisión 2014/955/UE* de la Comisión Europea. Modifica la Lista Europea de Residuos (LER), que es un recurso común para la clasificación de los tipos de residuos, peligrosos y no peligrosos. Esta lista es de vital importancia, ya que con ella y los códigos asignados a los residuos gestionados en cada instalación, nos permite identificarlos de forma sencilla.

### 2.2.2 Normativa Estatal

- *Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular*. Esta norma es la norma básica del Estado en materia de Residuos. Traslada la norma Europea al ordenamiento español, desarrollando conceptos como la jerarquía del residuo, el principio de “quien contamina paga” y la economía circular, entre otros. También funda las competencias de las respectivas comunidades autónomas y entidades locales, así como regular la responsabilidad ampliada del productor, los instrumentos de planificación y fiscalidad ambiental.



- *Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2024-2035.* Es el plan estratégico nacional, el cual se encarga de detallar los objetivos generales de preparación para la reutilización, prevención, valorización y eliminación. Añade medidas específicas para impulsar infraestructuras intermedias como las plantas de transferencia, sobre todo en zonas de baja densidad de población. Es un recurso para que las comunidades autónomas estén coordinadas.
- *Real Decreto 553/2020, por el que se regula el traslado de residuos dentro del territorio del Estado.* Instaura el procedimiento de notificación y documentación, así como los requisitos necesarios de trazabilidad en el transporte de los propios residuos. Por último, refuerza el control y la claridad en los movimientos que realizan los residuos entre las instalaciones.
- *Real Decreto 646/2020, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.* Define los requisitos técnicos, procedimientos de aceptación de residuos, y el tratamiento que se debe obligatoriamente antes de la eliminación del residuo. También establece tipos de vertederos, y objetivos de reducción progresiva del vertido.
- *Ley 34/2007, de calidad del aire y protección de la atmósfera.* Aunque no se aplica directamente a los residuos como tal, es importante por su vinculación con las emisiones que se producen en el transporte de residuos y la planificación



ambiental. Refleja la necesidad de la optimización de rutas de los camiones y la reducción de desplazamientos innecesarios.

### 2.2.3 Normativa Autonómica

- *Plan Integral de Residuos de Andalucía 2030 (PIRec 2030)*. Este plan se basa en establecer la estrategia que sigue la Junta de Andalucía en materia de prevención, gestión y la valorización de los residuos. Agrupa medidas para la mejora la eficiencia del sistema, desarrollo de redes de infraestructuras adecuadas y propiciar el avance hacia los objetivos de la economía circular.
- *Decreto 73/2012, de 22 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de Residuos de Andalucía*. Regula los aspectos organizativos, operativos y de competencias del sistema de gestión de residuos en la comunidad autónoma. Incluye criterios de autorización, registro y control de instalaciones.
- *Ley 3/2023, de Economía Circular de Andalucía*. Refuerza el marco normativo en materia de residuos, regula la responsabilidad ampliada del productor, la gestión separada de flujos específicos (como RAEE, biorresiduos o textiles), y promueve la incorporación de criterios circulares en la planificación de infraestructuras.

## 2.3 Cadena de valor de gestión de residuos municipales

### 2.3.1. Definición de residuos municipales (RSU) y fracciones principales

Este subapartado se centra en qué entra y qué sale de la cadena: la calidad de las fracciones en origen marca el rendimiento de los eslabones posteriores.

La Ley 7/2022 define los residuos municipales como los residuos domésticos producidos en los hogares y otros de naturaleza y composición similar que provienen de comercios, oficinas y servicios, incluyendo, los que son generados por limpieza viaria, zonas verdes y mercados, y los que se gestionan en nombre de las entidades locales. (BOE, 2022). Esta definición está alineada con la Directiva 2008/98/CE (modificada por UE 2018/851) la cuál hace especial énfasis en la asimilabilidad y la competencia local.

Dada su heterogeneidad, la gestión se basa en la recogida separada de las distintas fracciones del residuo existentes para mejorar la calidad del material recuperado y la reducción de rechazos. Se distinguen los siguientes tipos de fracciones según MITECO:

1. **Biorresiduos:** Cuando se habla de biorresiduos domésticos se trata de residuos orgánicos biodegradables de origen animal y vegetal, tienen la capacidad de degradarse biológicamente y son generados en el ámbito domiciliario y comercial. Desde un punto de vista de la gestión de los residuos orgánicos domésticos, se diferencian entre 2 grandes bloques.
  - Fracción orgánica (FO): Constituida a su vez por restos de la preparación de comida o manipulación de la misma y elaboración de productos alimentarios, restos de comida, etc. Por otro lado, la fracción vegetal en forma de restos vegetales de un tamaño reducido y de tipo no leñoso que provienen de la jardinería y la poda.

- Poda: Proviene de la fracción vegetal también, pero este tipo de fracción se caracteriza por tener un tamaño mayor y ser de tipo leñoso. Debido a sus características, necesita una gestión específica por la logística de recogida y el tratamiento que necesita.

**2. Envases ligeros:** Se entiende por envase o embalaje cualquier producto, de cualquier material, utilizado para contener, proteger, manipular, distribuir o presentar mercancías (desde materias primas hasta productos terminados) en cualquiera de las etapas de fabricación, distribución o consumo. También tienen la consideración de envase los artículos desechables que cumplan esa misma función. Esta categoría abarca exclusivamente los envases primarios (de venta), los secundarios o colectivos y los terciarios o de transporte.

Tendrán igualmente la consideración de envase todos los artículos que encajen en la definición anterior, aun cuando cumplan funciones adicionales, salvo cuando el artículo forme parte integrante del propio producto y resulte necesario para contenerlo, sostenerlo o conservarlo durante toda su vida útil, y sus elementos estén destinados a ser utilizados, consumidos o eliminados conjuntamente con dicho producto.

Se incluyen también como envases los artículos diseñados para ser llenados en el punto de venta, así como los desechables vendidos ya llenos o destinados a ese llenado en el establecimiento, siempre que desempeñen la función de envase.

Los componentes del envase y los elementos auxiliares incorporados a él se consideran parte del envase al que están unidos. Asimismo, los elementos

auxiliares colgados del producto o atados a él que cumplan función de envase se consideran envases, salvo que formen parte del producto y todos sus elementos estén llamados a consumirse o eliminarse conjuntamente.

Se define como residuo de envase cualquier envase (o material que lo integra) del que su poseedor se desprende o está obligado a desprenderse de acuerdo con la normativa aplicable.

Dentro de esta categoría, los envases ligeros son aquellos que se caracterizan por una baja relación peso/volumen. Habitualmente incluyen botellas y botes de plástico, film plástico, latas, briks y cartones para bebidas, además de otros envases compuestos o mixtos.

3. **Papel y cartón:** Fabricados principalmente a partir de fibra de celulosa virgen que es obtenida a través de especies vegetales o recuperada a partir de cartón y papel que ya ha sido usado.
  
4. **Vidrio:** El término vidrio normalmente se utiliza en referencia a los vidrios de silicatos, los cuales tienen una alta proporción de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y normalmente se forman en condiciones de enfriamiento. Este tipo de vidrio constituye la mayoría de botellas para un envase líquido.
  
5. **Textiles, aceites de cocina usados, residuos domésticos peligrosos y voluminosos.**

### *2.3.2. Actores implicados*

Aquí se identifican los actores y cómo su coordinación a lo largo de la cadena evita pérdidas de valor (impropios, esperas, sobrecostos).

La gestión de los residuos municipales en España se apoya en una gobernanza multinivel donde cada administración se encarga de roles diferenciados a la par que complementarios, y dónde conviven operadores públicos y privados junto con los sistemas de responsabilidad ampliada del productor. Este reparto, condiciona la planificación, la prestación del servicio, la financiación y resulta muy importante para conseguir alinear el diseño de las infraestructuras con los objetivos de circularidad.

Los actores principales de la gestión de los residuos municipales se distinguen entre los siguientes tipos según la Ley 7/2022:

- 1. Administración General del Estado:** Define el marco común y aprueba las estrategias y planes estatales que se llevarán a cabo (economía circular, prevención y Plan Estatal Marco), ejerciendo sobre todo funciones de inspección, vigilancia y sanción en su ámbito y formalizando la información y cooperación entre las propias administraciones.
- 2. Comunidades autónomas:** Son los responsables de planificar la gestión que necesite su territorio, con planes autonómicos. Se encargan de autorizar y vigilar actividades de producción y gestión, a la vez que registran y autorizan traslados intraestatales e internacionales en su ámbito. Por último, supervisan los regímenes de responsabilidad ampliada del productor (RAP), que es la política

ambiental que amplía las responsabilidades que un productor posee sobre los productos que comercializa hasta la gestión del propio residuo.

- 3. Entidades locales y fórmulas supramunicipales:** Prestan el servicio público en su término municipal: recogida, transporte y tratamiento de residuos domésticos “en la forma que establezcan sus ordenanzas”, con una red suficiente de recogida, incluyendo puntos limpios. Además, tienen la potestad de aprobar programas municipales, (los cuáles son obligatorios para > 5000 habitantes), recopilar y reportar la información y ejercer la inspección y sanción si es necesario. Para ganar escala y eficiencia, la ley permite la gestión de forma directa o mediante asociaciones (consorcios, mancomunidades) o que se produzca la concesión a operadores especializados.
- 4. Operadores privados:** Se encargan de ejecutar, mediante contratos o autorizaciones, la recogida, la correcta explotación de puntos limpios y el tratamiento en las instalaciones que estén autorizadas, sujetos a las condiciones técnicas y de trazabilidad que fija la comunidad autónoma, siempre teniendo en cuenta y de una forma coherente con respecto a la jerarquía de residuos y la calidad de las fracciones.
- 5. Sistemas de responsabilidad ampliada del productor (SCRAP):** Se utilizan para corrientes específicas, donde los productores organizan y financian parte de la gestión a través de sistemas individuales o colectivos, con unas obligaciones



de organización, financiación, transparencia y control, y con convenios con las administraciones que estén implicadas. En el cumplimiento de los objetivos de prevención y reciclado, es clave su coordinación con las entidades locales.

- 6. Coordinación interadministrativa:** La Comisión de Coordinación en materia de Residuos, es el órgano que articula la cooperación técnica y la coherencia regulatoria entre administraciones, emite informes y recomendaciones, y hace seguimiento de la aplicación de las normas y objetivos.

### *2.3.3 Funciones del sistema: de la recogida a la eliminación*

A continuación se describen los eslabones operativos de la cadena y su función dentro del sistema. La lectura conjunta de estos eslabones permite entender dónde se crea valor y dónde se pierde.

La gestión de los residuos municipales se organiza como una secuencia operativa compuesta por cuatro funciones encadenadas: recogida y transporte primario, transferencia, tratamiento y como último recurso y por tanto el menos deseable, la eliminación. Cada eslabón cumple un cometido específico y se coordina con el siguiente para garantizar continuidad del servicio, trazabilidad y coherencia con la jerarquía de residuos. En las siguientes secciones se describen los objetivos y requisitos propios de cada fase:

- 1. Recogida y transporte primario:** Esta fase integra los modelos relacionados con la recogida como pueden ser los contenedores abiertos, cerrados o incluso “inteligentes”, puerta a puerta, aportación en puntos limpios, etc. Además, integra la planificación de rutas y la comunicación ciudadana. La recogida separada es una condición necesaria para obtener un reciclado de calidad; la normativa prohíbe incinerar o mandar a vertedero lo recogido separadamente para reutilización o reciclado, salvo el rechazo producido y con justificación de una obtención de un mejor resultado ambiental.(BOE, 2022, art. 25). La elección del modelo debe ponderar captura, limpieza del flujo, coste y aceptación social.
  
- 2. Transferencia:** Se trata de una función intermedia, la cuál se realiza en las plantas de transferencia, las cuales agregan, compactan o acondicionan los residuos para su transporte con gran capacidad hacia las instalaciones de tratamiento. Son instalaciones útiles cuando la distancia hacia el tratamiento hace ineficiente el traslado con los vehículos recolectores. Además, contribuye a la seguridad si hablamos de una reducción de tráfico pesado en áreas urbanas y a la eficiencia, tratando que los vehículos que transportan el residuo recorran menos distancia. Su planificación se rige por proximidad y autosuficiencia. (European Union, 2008)
  
- 3. Tratamiento:** Recoge el conjunto de operaciones que están orientadas a preparación para la reutilización y el reciclado, y en otros casos, valorizaciones, con 2 objetivos clave:

  - Maximizar la recuperación del residuo.

- Minimizar rechazo.

La ley exige un reciclado de alta calidad, como ya se ha mencionado anteriormente, y permite fijar un límite de impropios para las fracciones separadas, para así asegurar especificaciones industriales.(BOE, 2022, art. 24.3).

Siguiendo la línea de la jerarquía de residuos, el diseño del tratamiento propuesto debe priorizar opciones como el reciclado y la reutilización, y reservar otras valorizaciones para el rechazo que no sea reciclable, bajo el criterio de conseguir un mejor resultado ambiental. (Comisión Europea, 2018)

- 4. Eliminación:** Esta fase incluye el depósito en vertedero y las restantes operaciones del Anexo III de la Ley 7/2022. Sólo procede cuando la valorización no es viable técnica, ambiental o económicamente, y siempre utilizando un tratamiento previo y teniendo garantías de protección de la salud y del medio ambiente. (BOE, 2022, art. 27). Para determinados residuos con contaminantes orgánicos persistentes, se impone la eliminación siempre y cuando no sea posible una valorización que garantice su destrucción o transformación irreversible. La Directiva (UE) 2018/850 fija, además, como ya se ha comentado anteriormente, el objetivo de  $\leq 10$  % de vertido en 2035, que condiciona la planificación a medio plazo

## 2.4 Transferencia y tratamiento: Criterios de decisión

En la gestión municipal integrada, la transferencia y el tratamiento responden a necesidades distintas pero a la vez complementarias: la transferencia se encarga de una función logística mientras que el tratamiento se encarga de una función ambiental y estratégica.

### 2.4.1 Transferencia

Una planta de transferencia es una instalación intermedia donde los residuos municipales se descargan agrupan, acondicionan (compactación) y transbordan a vehículos que tienen una mayor capacidad para su traslado a instalaciones finales de tratamiento o eliminación. Su función es puramente logística, no de valorización. No altera el balance material, es decir, no incrementa el reciclaje ni reduce el vertido, sino que optimiza el transporte hacia la siguiente instalación cuando el envío de estos residuos es ineficiente cuando es realizado por vehículos recolectores. (U.S. EPA, 2002).

Si se clasifican sus tipos, existen 2 distintos:

- 1. Transferencia sin compactación:** Una estación de transferencia sin compactación suele configurarse en dos alturas: los camiones recolectores operan en el nivel superior y los remolques de transferencia se posicionan abajo. El equipamiento y personal requeridos para el trasvase son reducidos; no obstante, en picos de entrada se precisa acopio temporal en el muelle o disponer de varios remolques preparados para evitar acumulaciones en el suelo.

En su configuración más simple, los recolectores descargan sobre una explanada y una pala cargadora transfiere el residuo a contenedores abiertos, lo que tiende a empeorar la limpieza del entorno operativo. Un esquema más evolucionado incorpora una tolva: los recolectores vierten directamente en ella y el semirremolque se sitúa debajo para el llenado; aun así, conviene acondicionar la carga para rellenar huecos laterales y aprovechar el volumen útil del contenedor.

- 2. Transferencia con compactación:** Una planta de transferencia con compactación se configura igualmente en dos niveles: en el superior, los recolectores descargan sobre una tolva; en el inferior, el residuo se conduce a un compactador, se densifica y se introduce en contenedores cerrados. Los remolques empleados son cerrados y utilizan sistemas hidráulicos o mecánicos para aproximarse a la carga legal máxima. Aunque el equipo hidráulico requiere mantenimiento, este se compensa por la alta fiabilidad operativa del conjunto.

En las variantes más avanzadas, la compactación se realiza dentro de la propia cámara del compactador y, una vez alcanzada la densidad deseada, el material se empuja directamente al contenedor. Ello permite usar contenedores más ligeros, aumentando la carga útil del vehículo de transferencia. Los compactadores, generalmente hidráulicos, proporcionan una presión elevada en el pistón de empuje, alcanzando densidades del orden de 500–700 kg/m<sup>3</sup> (Ambientum, 2001), lo que convierte a este esquema en idóneo para la transferencia de residuos.

Además, el flujo directo desde el recolector a la tolva evita el acopio en el suelo y la exposición a lluvia o fauna, mejorando notablemente las condiciones higiénico-ambientales respecto a las estaciones de caja abierta.

A continuación, se procede a explicar el breve proceso que sigue una planta de transferencia para su correcto funcionamiento:

Fase 1: El camión recolector, después de ser pesado, asciende hasta una plataforma.

Fase 2: Bien situado, descarga los residuos sobre la tolva.

Fase 3: Un émbolo introduce los residuos en el contenedor.

Fase 4: Se finaliza el proceso. El residuo queda empacado en el contenedor, el cuál se transportará con la llegada del próximo camión.

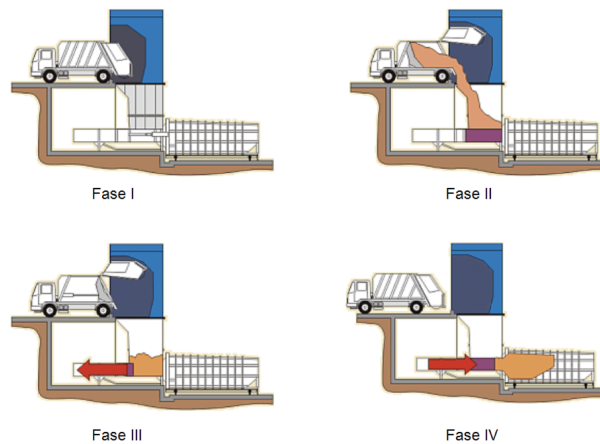


Figura 8: Funcionamiento de la descarga de residuos para la planta de transferencia. Fuente: Adaptada de Sogama – Red de plantas de transferencia.

#### *2.4.2 Tratamiento*

Este tipo de instalaciones, tienen una función ambiental. Es el terreno donde se ejecutan preparación para la reutilización, reciclado, y en su caso, otras valorizaciones, reservando la eliminación como último recurso. Aquí, se decide la calidad y la cantidad de los materiales recuperados y la magnitud existente del rechazo a eliminar. (European Union, 2018a; BOE, 2022, arts. 24–27).

Teniendo en cuenta la relevancia estratégica, el despliegue y desempeño del tratamiento condiciona el cumplimiento de metas europeas, que ya se ha nombrado anteriormente, como tener más de un 55% de preparación para la reutilización y reciclaje y una meta de una cifra inferior a un 10% de residuos enviados a vertedero para 2035.

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) reconoce dos grandes familias de tratamientos en la gestión de residuos urbanos.

#### Valorización material:

1. Tratamientos biológicos: procesos que degradan la materia orgánica contenida en los residuos, ya sea recogidos de forma separada o dentro de la fracción resto.

Incluyen:

- Compostaje: descomposición aerobia de residuos orgánicos bajo condiciones controladas (temperatura, oxígeno, humedad), produciendo un compost estable y sanitizado útil para suelos

- Biometanización (digestión anaerobia): descomposición en ausencia de oxígeno que genera biogás (mezcla de metano y CO<sub>2</sub>), con alta capacidad calorífica y potencial energético
2. Tratamientos mecánico-biológicos (TBM): combinan la clasificación física (separación de impropios y valorizables) con tratamientos biológicos para estabilizar la materia orgánica. Las etapas posibles son:
- Tratamiento mecánico solamente.
  - Mecánico + bioestabilización (compostaje).
  - Mecánico + biometanización.
  - Mecánico + biosecado, seguido de acondicionamiento del rechazo

Valorización energética: El tratamiento térmico de residuos consiste en la transformación de los mismos mediante calor, a través de procesos como la incineración, la pirólisis o la gasificación. Aunque no eliminan por completo los residuos, ya que generan subproductos que deben gestionarse, permiten reducir su volumen y obtener energía.

De todas las tecnologías térmicas disponibles, la incineración es la más extendida y consolidada, mientras que otras como la pirólisis o la gasificación aún están en desarrollo, aunque en crecimiento por su mayor aceptación social y eficiencia energética.

Estos tratamientos están regulados por normativa específica, como la Directiva 2000/76/CE y el Real Decreto 653/2003, que establecen los requisitos técnicos y ambientales para su aplicación.



### **3. DIAGNÓSTICO TERRITORIAL, DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO (MÁLAGA)**

El diagnóstico sobre el territorio del Consorcio Provincial, se llevará a cabo con Sistemas de Información Geográfica (SIG), las cuáles son herramientas fundamentales en la planificación y gestión de proyectos territoriales. Permiten analizar y representar información geográfica de forma precisa. Integran datos mediante capas superpuestas, en las que se combinan variables como red viaria, relieve, usos del suelo o zonas protegidas, facilitando la evaluación conjunta de múltiples criterios técnicos y ambientales.

En proyectos de gestión de residuos, los SIG resultan especialmente útiles para valorar accesibilidad, distancias, condicionantes ambientales y adecuación del terreno, contribuyendo a una toma de decisiones más objetiva y sostenible.

A partir de este punto, todo el análisis relacionado con la ubicación de la instalación, la evaluación territorial y la representación cartográfica se desarrollará mediante herramientas SIG, que proporcionan el soporte técnico necesario para garantizar la coherencia y fiabilidad del estudio.

#### **3.1 Gestión actual en la provincia de Málaga y datos de generación de residuos**

La gestión de residuos municipales en la provincia de Málaga es algo complejo. Se distribuye principalmente en 3 grandes bloques, los cuales operan con independencia entre sí. En primer lugar, opera el Consorcio Provincial de Residuos de Málaga, para el cuál está enfocado el trabajo. Es una entidad pública constituida entre la Diputación



Provincial de Málaga y los municipios consorciados para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos en la provincia, conformando así un conjunto de 91 municipios.

Esta entidad, ha configurado una red de gestión de residuos que se compone de cuatro plantas de transferencia distribuidas por toda la superficie que acapara el consorcio, las cuáles están situadas en Vélez, Cártama, Campillos y Ronda. Por otro lado, se encuentra el complejo ambiental de Valsequillo (Antequera), donde los residuos, una vez transportados desde estas plantas de transferencia, finalmente, son tratados, aunque enviando el rechazo al vertedero.

La Mancomunidad de municipios de la Costa del Sol Occidental (coloreado en rojo), se encarga de recoger los residuos de toda la zona costera de Málaga hasta la capital partiendo desde la frontera con la provincia de Cádiz. Poseen un complejo ambiental en Casares, dónde llegan los residuos de las distintas plantas de transferencia, situadas en Marbella, Mijas y Torremolinos.

Por último, Málaga capital, gestiona sus propios residuos, dejando a un lado estos dos grandes bloques gestionados por el Consorcio y la Mancomunidad.

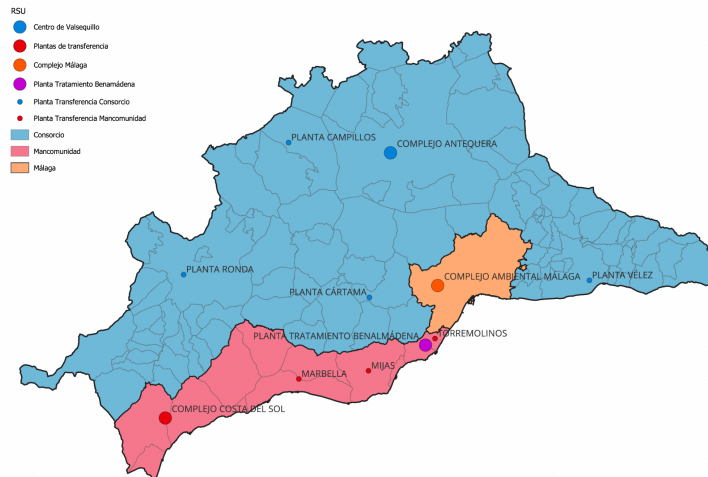


Figura 9: Distribución de instalaciones de tratamiento y plantas de transferencia de residuos en la provincia de Málaga. Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.1 Consorcio provincial de residuos

Los municipios consorciados, en el año 2023, generaron un total de 269.509 toneladas de residuos, de las cuáles 124.000 toneladas fueron enviadas a vertedero, mientras que el resto fueron tratadas.

A continuación, se procede a ver los % de cada fracción de los residuos generados en el año 2023. En el Consorcio, se publican los datos de recogida selectiva, dividiéndose en 3 fracciones: papel-cartón, vidrio y envases, correspondiendo la cantidad restante a fracción resto.

Para hacer una estimación, se procede a hacer una tabla con 6 municipios tanto de costa como de interior, indicando estos datos.

Fracción	Vélez	Rincón de la Victoria	Antequera	Torrox	Alcaucín	Serrato	% respecto a total
Vidrio	1.158.076	770.050	386.323	484.780	41.159	7.595	3,27
Papel - Cartón	1.424.056	668.287	990.140	271.560	24.539	3.479	3,88
Envases	1.687.700	1.420.588	553.497	786.950	180.701	5.875	5,32
Resto	36.904.928	15.449.465	14.934.460	7.733.080	1.153.701	147.051	87,54
<b>TOTAL (kg / año)</b>	<b>41.174.760</b>	<b>18.308.390</b>	<b>16.864.420</b>	<b>9.276.370</b>	<b>1.400.100</b>	<b>164.000</b>	<b>100</b>

Tabla 1: Generación anual de residuos por fracciones y municipios del Consorcio, con porcentaje respecto al total. Fuente: Elaboración propia con datos del Consorcio Provincial de Residuos de Málaga.

Como se puede observar, la fracción resto, que proviene de la mezcla domiciliaria, así como posibles servicios municipales viarios, entre otros, constituyen la gran mayoría de los residuos generados.

Es importante saber en qué época del año se genera una mayor cantidad de residuos, para que la futura instalación permita soportar estos cambios, si es que los hay, y no haya riesgo de colapso.

Para mostrar la estacionalidad que tiene el residuo, se procede a realizar un gráfico en 3 comarcas seleccionadas para ver los resultados obtenidos.

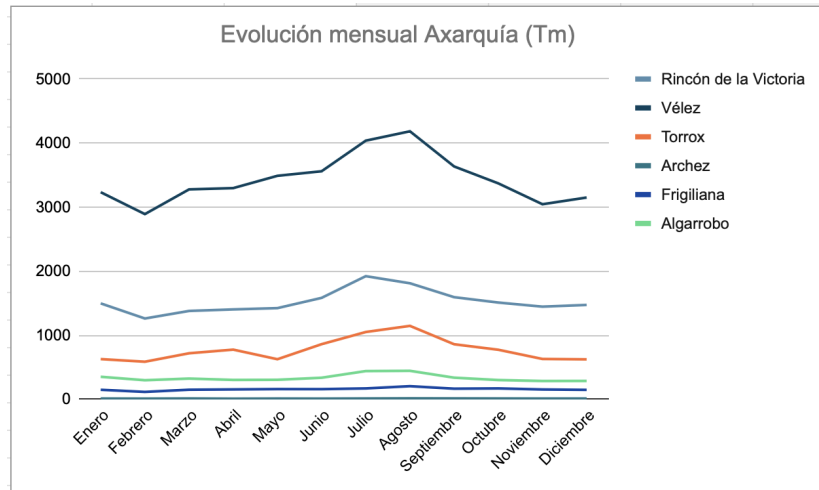


Figura 10: Estacionalidad del residuo en la Axarquía. Fuente: Elaboración propia con datos del Consorcio Provincial de Residuos de Málaga

En las zonas más cercanas a la costa, la generación del residuo en zonas estivales crece considerablemente. Cabe destacar que la mayoría de los municipios pertenecientes a la Axarquía siguen un tendencia como la de Algarrobo, con un ligero crecimiento en los meses de verano, ya que son pueblos con una población más reducida, de interior, y en los que el turismo no crea un impacto tan representativo como en los municipios de costa.

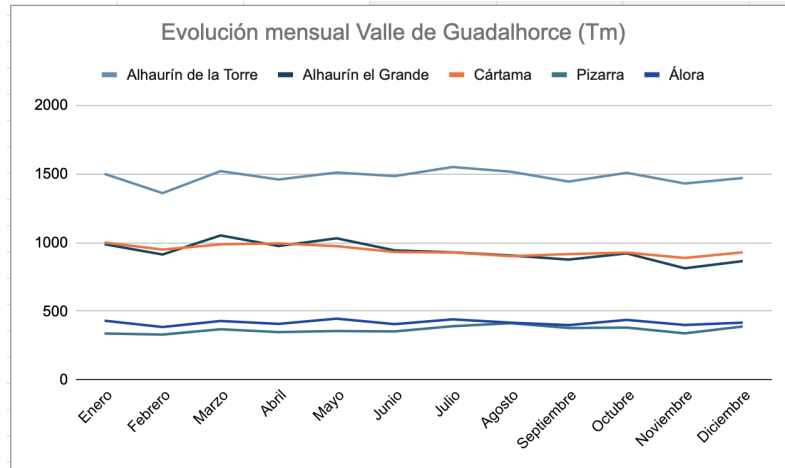


Figura 11: Estacionalidad del residuo en el Valle de Guadalhorce. Fuente: Elaboración propia con datos del Consorcio Provincial de Residuos de Málaga

En el Valle de Guadalhorce, la tendencia es mucho más lineal, con pequeños altos y bajos, pero siempre siguiendo una linealidad en torno a su respectiva media. Esto se debe principalmente a que la actividad turística es prácticamente nula en verano, lo que hace incluso que los datos en estos meses bajen.

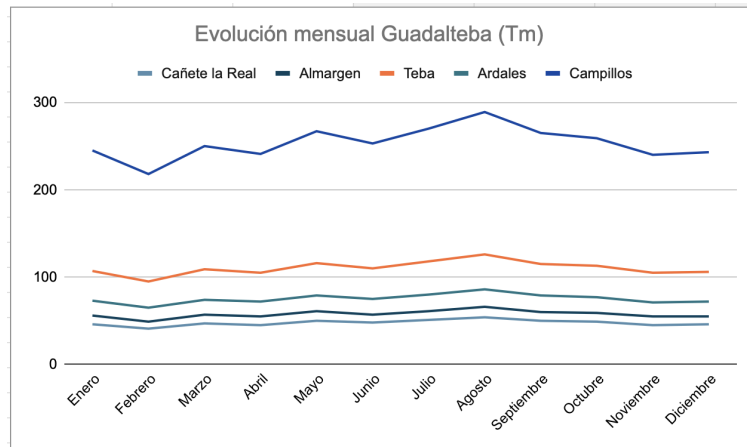


Figura 12: Estacionalidad del residuo en Guadalteba. Fuente: Elaboración propia con datos del Consorcio Provincial de Residuos de Málaga

Por último, en Guadalteba, se observa también cierta linealidad salvo en Campillos, que sí tiene un periodo estival con mayor generación de residuos.

En definitiva, el análisis de estas 3 comarcas, nos permite tener una idea general de que los periodos estivales más exigentes son principalmente para los municipios cercanos a la costa, donde el turismo aumenta de forma considerable en verano. En cuanto a municipios de interior, como lo son la gran mayoría que conforman el Consorcio Provincial, suelen tener una estacionalidad del residuo mucho más lineal, sin grandes cambios entre épocas del año.

### 3.1.2 Mancomunidad de municipios de la Costa del Sol

En 2023, la generación de residuos que produjeron todos los municipios pertenecientes a esta organización, fue de un total de 333.353 toneladas.

En cuanto a la Mancomunidad, se realiza el mismo estudio, para así afianzar los datos recientemente expuestos, y posteriormente, generar una media entre todos.

Municipio / Fracción	Vidrio	Papel / Cartón	Envases	Resto	TOTAL (kg / año)
<b>Fuengirola</b>	2.349.598	1.572.448	2.874.939	28.936.015	<b>35.733.000</b>
<b>Benahavis</b>	275.529	113.268	142.300	4.406.903	<b>4.938.000</b>
<b>Benalmádena</b>	2.049.960	961.970	1.161.640	36.164.430	<b>40.338.000</b>
<b>Casares</b>	195.200	190.484	139.846	3.805.470	<b>4.331.000</b>
<b>Estepona</b>	1.543.928	1.110.356	1.305.248	37.578.468	<b>41.538.000</b>
<b>Istán</b>	19.686	41.346	28.374	427.594	<b>517.000</b>
<b>Manilva</b>	509.344	320.067	269.101	9.709.488	<b>10.808.000</b>
<b>Marbella</b>	4.722.540	2.938.585	5.000.642	91.283.233	<b>103.945.000</b>
<b>Mijas</b>	2.619.247	1.818.987	2.375.642	40.069.124	<b>46.883.000</b>
<b>Ojén</b>	73.304	60.260	58.721	2.303.715	<b>2.496.000</b>
<b>Torremolinos</b>	2.066.219	1.135.777	2.222.988	36.401.016	<b>41.826.000</b>
<b>% respecto total</b>	<b>4,93</b>	<b>3,08</b>	<b>4,67</b>	<b>87,32</b>	<b>100</b>

Tabla 2: Generación anual de residuos por fracciones y municipios de la Mancomunidad de municipios de la Costa del Sol. Fuente: Elaboración propia con recogida de datos de costadelsol.eco

Como se observa en los resultados, son prácticamente idénticos a los generados por el Consorcio en cuanto al porcentaje representativo de cada fracción.

La siguiente figura, muestra la clara tendencia al alza en la zona estival, sobre todo en el mes de agosto, en el que casi todos los municipios que pertenecen a la Mancomunidad obtienen un incremento notable con respecto a los demás meses del año.

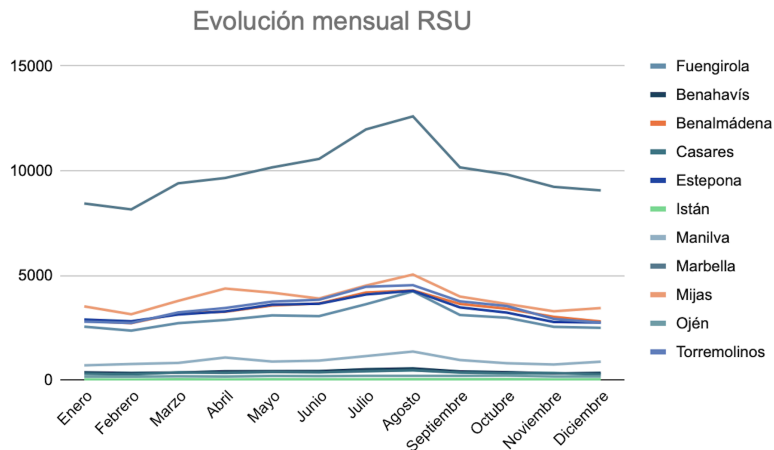


Figura 13: Estacionalidad de los residuos de los municipios de la Mancomunidad de municipios de la Costa del Sol. Fuente: Elaboración propia con datos de costadelsol.eco

Las épocas estivales, a las que pertenecen los meses de Junio, Julio y Agosto, tienen un gran impacto en este conjunto de municipios. El turismo en Málaga, y más en verano, se concentra de forma radical en los municipios de costa. Este gráfico nos muestra de forma clara la alta concentración de generación de residuos en estos tres meses con respecto al resto del año, llegando casi a duplicar su producción en municipios como Marbella.

### 3.2 Situación actual de rutas

Teniendo en cuenta que el trabajo va enfocado únicamente a la empresa del Consorcio Provincial de Residuos, nos centramos en analizar las rutas actuales que se producen entre las plantas de transferencia existentes y el complejo de Valsequillo.

Ruta	Distancia ida (km)	Tiempo
Cártama - Valsequillo	75	53 min
Ronda - Valsequillo	87	1h y 12 min
Campillos - Valsequillo	30	30 min
Vélez - Valsequillo	84	1h y 10 min

Tabla 3: Rutas actuales de residuos en la Provincia de Málaga. Fuente: Elaboración propia

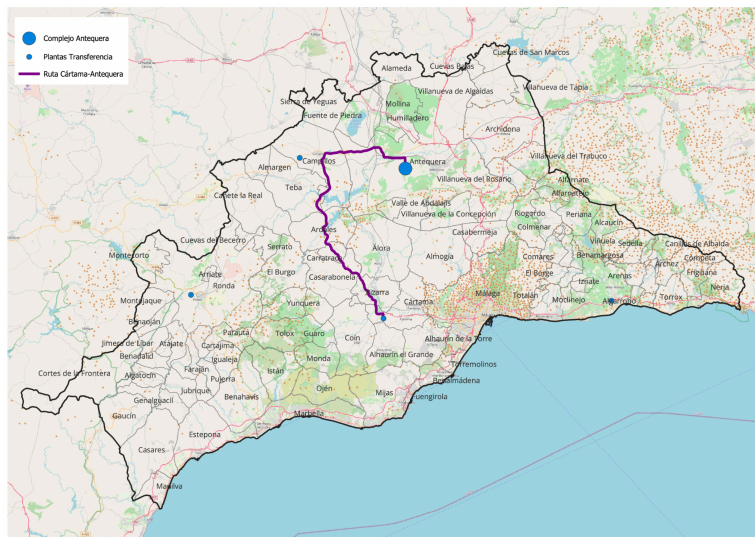


Figura 14: Ruta actual Cártama-Valsequillo. Fuente: Elaboración propia

En esta figura se muestra la ruta actual desde la planta de transferencia de Cártama hasta el Complejo ambiental de Valsequillo, con una distancia de 75 km ida y un tiempo de 53 minutos.

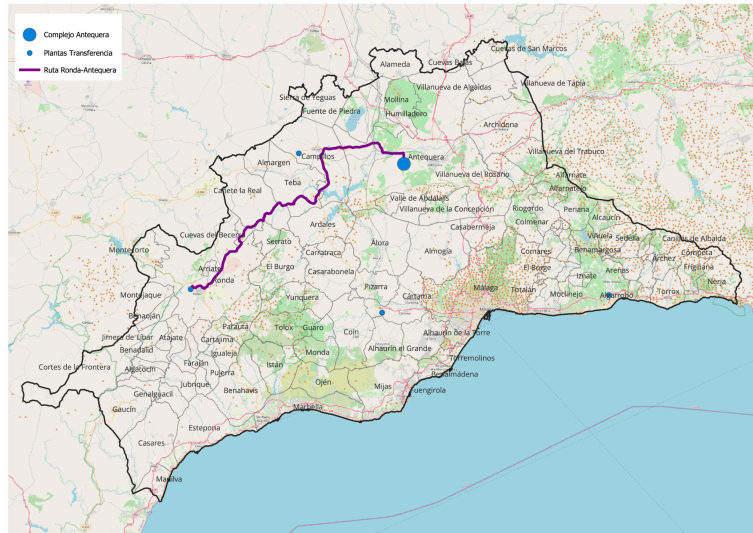


Figura 15: Ruta actual Ronda-Valsequillo. Fuente: Elaboración propia

La ruta de Ronda-Valsequillo tiene una distancia de 87 km en la ida y emplea un tiempo de 1 hora y 12 minutos, siendo así la ruta más larga de todas.

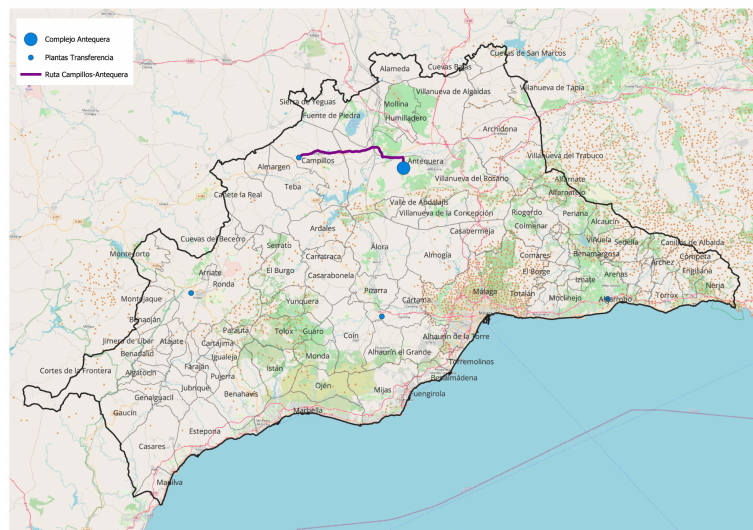


Figura 16: Ruta actual Campillos-Valsequillo. Fuente: Elaboración propia

El mapa muestra el itinerario desde Campillos hasta Valsequillo. Se aprecia un tramo directo por el corredor interior hasta el nodo central de Antequera, evitando travesías y favoreciendo un acceso rápido al complejo para consolidar flujos del sector noroeste.

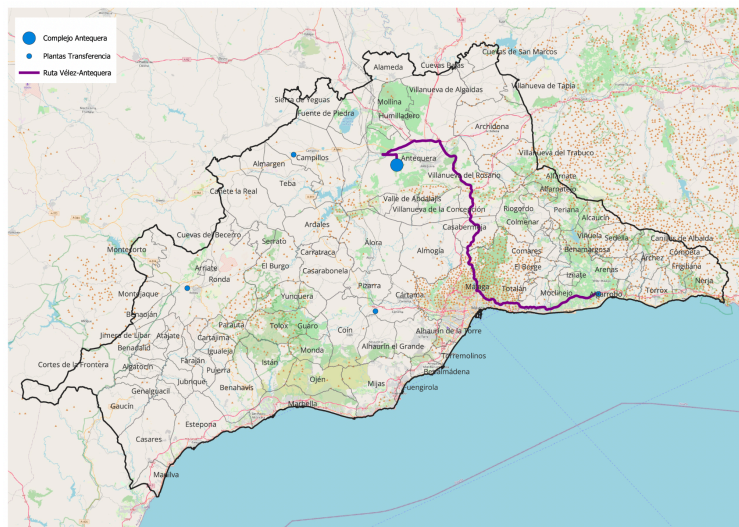


Figura 17: Ruta actual Vélez-Valsequillo. Fuente: Elaboración propia

El mapa muestra la ruta Vélez–Antequera: recorre el arco costero oriental y asciende por el eje interior de Málaga hasta el complejo de Antequera, con las plantas de transferencia marcadas en azul.

Para próximos cálculos, se han contrastado los datos públicos del Consorcio de la flota de camiones, para conocer los tipos usados para el transporte de los residuos desde las plantas de transferencia hasta el complejo de Valsequillo.

Se usan semirremolques de 3 ejes, los cuáles poseen una capacidad de hasta 40 toneladas de MMA, que es la masa máxima autorizada. (MITMA, s. f.)

Teniendo en cuenta que la tara de este tipo de vehículos, que es el peso en vacío, tiene una media de de 15/16 toneladas, la carga útil a transportar sería de unas 24/25

toneladas por camión. (MITMA, 2024). Dejando algo de margen, se propone una media de 22 toneladas.

**DATOS DE PARTIDA**  
Actualización a 31 de julio de 2024

Características técnicas:		
Vehículo articulado portacontenedores (tractor 3 ejes + semirremolque 3 ejes)		
Potencia:	455 CV	335 kW
Masa Máxima Autorizada:	44.000 kg	
Carga útil:	26.250 kg (excluido el contenedor)	
Número de ejes:	6	
Número de neumáticos:	14	8 tractor (2 direccionales, 4 motrices y 2 arrastre) 6 semirremolque

Figura 18: Ficha técnica semirremolque de 3 ejes (características mecánicas). Fuente: Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. (2024, julio). Observatorio de costes del transporte de mercancías por carretera.

Este tipo de vehículos tiene un consumo medio de unos 35 L / 100km:

Características de explotación:		
Recomidos en carga superiores a 200 km		
Kilometraje anual:	100.000 km anuales	
Recorrido anual en carga:	85,0 %	85.000 km anuales
Recorrido anual en vacío:	15,0 %	15.000 km anuales
Días trabajados al año:	225 días al año	
Horas trabajadas al año:	1.800 horas anuales	
Consumo medio:	35,0 litros/100 km	

Figura 19: Ficha técnica semirremolque de 3 ejes (características de explotación). Fuente: Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. (2024, julio).

### 3.3 Municipios y población a servir.

En lugar de seleccionar municipios de forma aislada, se ha optado por definir el ámbito de servicio en función de las comarcas que actualmente canalizan sus residuos a las plantas de transferencia de Cártama y Vélez-Málaga, ambas operativas bajo la red del Consorcio Provincial de Residuos de Málaga.



En el modelo actual, todos los residuos sólidos urbanos recogidos en dichas plantas se transportan posteriormente al centro de tratamiento final en Antequera, lo que supone un trayecto considerable el cuál se puede reducir. Esta situación resulta especialmente ineficiente si se tiene en cuenta que ambas plantas de transferencia dan servicio a comarcas altamente pobladas y con un importante volumen de generación de residuos, tanto residencial como turístico.

Con objeto de una mejora en cuanto a la optimización de las rutas, y un mejor tratamiento del residuo que se envía a vertedero, se plantea la implantación de una planta de tratamiento complementaria en un municipio que permita tratar los residuos transferidos en las plantas de Cártama y Vélez-Málaga, y que reduzca notablemente los trayectos de transporte hacia el norte de la provincia, optimizando así el reparto de cargas entre las infraestructuras del sistema provincial.

La propuesta contempla que:

- El complejo de Antequera siga recibiendo residuos transferidos desde Campillos y Ronda, dando cobertura a las comarcas de Guadalteba, Serranía de Ronda, Sierra de las Nieves y Nororma.
- La nueva instalación reciba residuos procedentes de las comarcas de la Axarquía (transferidos en Vélez-Málaga) y del Valle del Guadalhorce (transferidos en Cártama).

Según el padrón municipal de 2024, las comarcas implicadas cuentan con la siguiente población:

- Comarca de la Axarquía: 231.307 habitantes
- Comarca del Valle del Guadalhorce: 154.326 habitantes



La suma total asciende a 385 633 habitantes, representando el Valle del Guadalhorce aproximadamente un 40% de la población total tratada, frente a un 60% que representa la comarca de la Axarquía.

### 3.4 Estimación del volumen anual de residuos a transferir.

Para establecer una estimación coherente del volumen de residuos que podría gestionarse en la planta de transferencia propuesta, se ha tomado como referencia la generación real de residuos en varios municipios de la provincia de Málaga, tanto del litoral como del interior. Según datos recopilados del Consorcio Provincial de RSU, la Mancomunidad de Municipios de la Costa del Sol Occidental, y Málaga capital, en el año 2023 se recogieron 269.509 toneladas/año, 333.353 toneladas/año, y 294.561 toneladas/año respectivamente.

En conjunto, todos los municipios de la provincia generan aproximadamente 897.423 toneladas de residuos al año, con una población total de 1.781.128 según el INE, lo que se traduce en una media de 1,38 kg/habitante/día.

$$\text{Ratio: } \frac{897.423.000 \text{ kg}}{1.781.128 \text{ hab} \times 365 \text{ días}} = 1,38 \text{ kg/hab/día}$$

Este valor se utilizará como ratio de referencia para el cálculo de generación total en la zona de influencia definida para la planta.

Considerando un ratio medio de generación de residuos de 1,38 kg/hab/día, procedemos a calcular la nueva capacidad de la planta de tratamiento de Antequera, y la capacidad de la nueva planta propuesta.



$$\text{Residuos (t/año)} = \frac{\text{Población} \times \text{Ratio}(\text{kg/hab/día}) \times 365}{1000}$$

Capacidad Planta de Antequera: Sumando la población total que reside en las comarcas de Nororma, Sierra de las Nieves, Serranía de Ronda y Guadalteba, hacen un total de 188.000 habitantes aproximadamente.

$$\text{Residuos Antequera (t/año)} = \frac{188.000 \times 1,38 (\text{kg/hab/día}) \times 365}{1000} = 94.695 \text{ t/año}$$

Capacidad nueva instalación: Sumando la población de las comarcas restantes que son competencia del consorcio, resultan la suma de los habitantes que residen en la Axarquía y Valle del Guadalhorce, con un total de 385.633 habitantes.

$$\text{Residuos nueva instalación (t/año)} = \frac{385.633 \times 1,38 (\text{kg/hab/día}) \times 365}{1000} = 194.243 \text{ t/año}$$

Estos valores definen la demanda de tratamiento del ámbito Axarquía + Valle del Guadalhorce, y constituyen la base para la selección de emplazamiento y la evaluación logística que se desarrolla en los siguientes apartados.

### 3.5 Criterios y análisis espacial para la selección

Para los criterios de selección del emplazamiento, se ha llevado a cabo una investigación a partir del programa SIG llamado QGIS. A partir de esta herramienta de Información Geográfica, se van a determinar un conjunto de zonas idóneas para instalar una instalación de este tipo, según las necesidades y recursos que posean los municipios que la rodean.

Se han ido superponiendo capas de datos, las cuales nombraremos detalladamente, y mediante las cuáles, después de haberlas aplicado, se delimitan zonas disponibles para implantar la instalación que vamos buscando.

Las capas de información que se han tenido en cuenta han sido las siguientes:

- **Red de carreteras:** Esta capa de información se añade principalmente, para tener en cuenta las conexiones con los distintos municipios. Es muy útil, para que posteriormente, los camiones que trasladan el residuo desde la planta de transferencia hasta la instalación final, tengan una buena comunicación vial. Las autopistas y autovías se ven marcadas en amarillo, mientras que las carreteras municipales y nacionales están marcadas en naranja.
- **Red hidrográfica:** La presencia de ríos, embalses, o lagos, es algo a tener en cuenta debido a que la presencia de agua cercana a estas instalaciones y según la altitud del terreno, puede ser muy perjudicial para la instalación, en caso de que se produzcan desbordamientos.

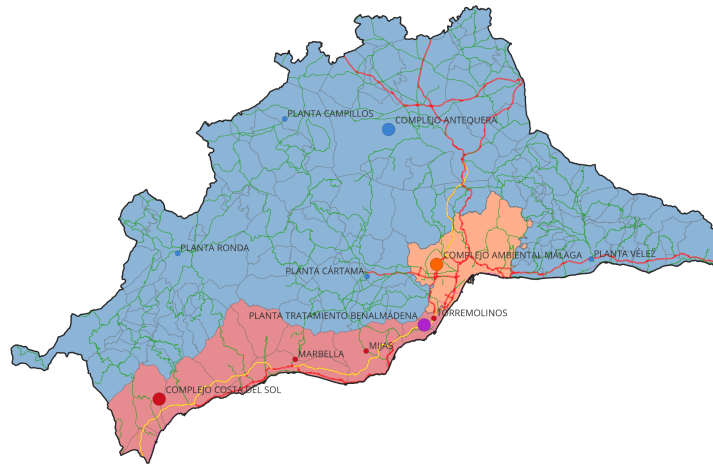


Figura 20: Mapa de la red de infraestructuras viarias e hidrografía en la provincia de Málaga. Fuente: Elaboración propia

- **Zonas protegidas:** Se han tenido en cuenta las zonas protegidas, para que la ubicación de la planta se encuentre fuera de las mismas, a una distancia prudente, asegurando así que el proyecto sea compatible con el entorno rural.

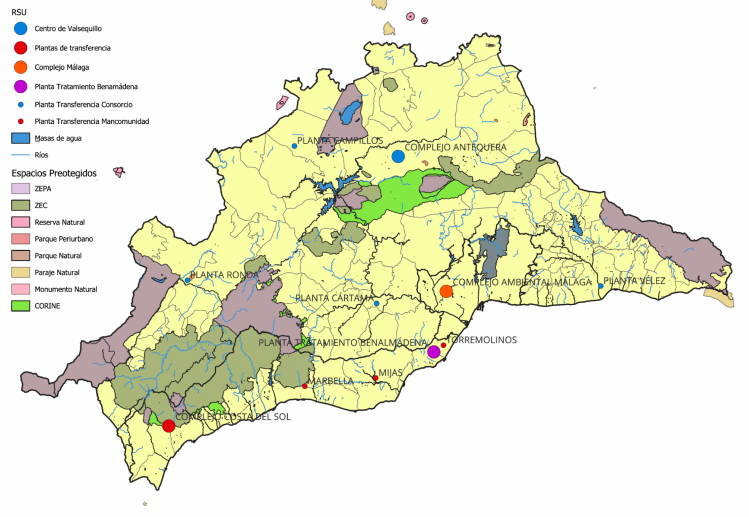


Figura 21: Mapa de espacios naturales protegidos en la provincia de Málaga. Fuente: Elaboración propia

- **Zonas pobladas:** Aún sabiendo que los núcleos de población, en la provincia de Málaga, mayoritariamente se encuentran cercanos a la costa, se ha realizado un mapa dónde se muestran los habitantes por municipio, para posteriormente saber qué zonas son las más demandadas y necesitan más de una instalación de dichas características.

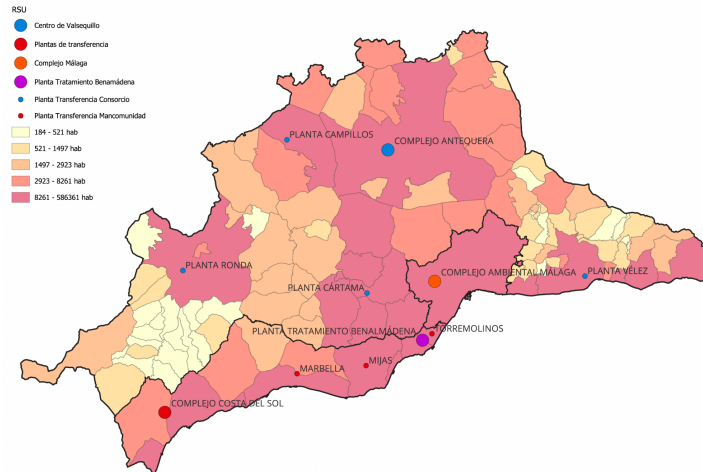


Figura 22: Distribución de la población en la provincia de Málaga. Fuente: Elaboración propia

Con toda esta información mostrada, y habiendo aplicado las restricciones indicadas, sobra un conjunto de territorios donde la instalación podría ser viable, y, que a continuación, se investigará más a fondo.

## 4. DETERMINACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO ÓPTIMO

### 4.1 Propuestas y análisis de modelos para obtener una ubicación

#### 4.1.1 Modelo centro de gravedad

Se ha desarrollado y justificado un modelo llamado “centro de gravedad”. Este método, es una técnica clásica de localización de instalaciones logísticas que permite determinar el emplazamiento óptimo a partir de la posición de los puntos de origen o destino de los flujos y de los volúmenes asociados a cada uno. Su objetivo es minimizar

la distancia ponderada por la cantidad de material transportado, proporcionando un punto teórico de equilibrio en el que se reducen los costes de transporte.

Es importante saber que este modelo se basa en determinar un punto teórico, sin tener en cuenta planeamiento, suelo disponible, áreas protegidas ni accesos viarios.

**Datos:****1. Vélez Málaga:**

Producción:  $w_1 = 116.540$  toneladas / año

Coordenadas aprox:  $(x_1, y_1) = (36,780, -4,100)$

**2. Cártama:**

Producción:  $w_2 = 77.690$  toneladas / año

Coordenadas aprox:  $(x_2, y_2) = (36,720, -4,630)$

Total residuos generados:  $W = 194.243$  toneladas / año

**Fórmulas:**

$$X_c = \frac{x_1 \cdot w_1 + x_2 \cdot w_2}{W}$$

$$Y_c = \frac{y_1 \cdot w_1 + y_2 \cdot w_2}{W}$$

Dónde:

$X_c$  = coordenada de latitud ponderada (° N)

$Y_c$  = coordenada de longitud ponderada (° O, en negativo)

### Resultado:

El centro de gravedad se sitúa en  $(X_c, Y_c) = (36,755 N, -4,318 O)$

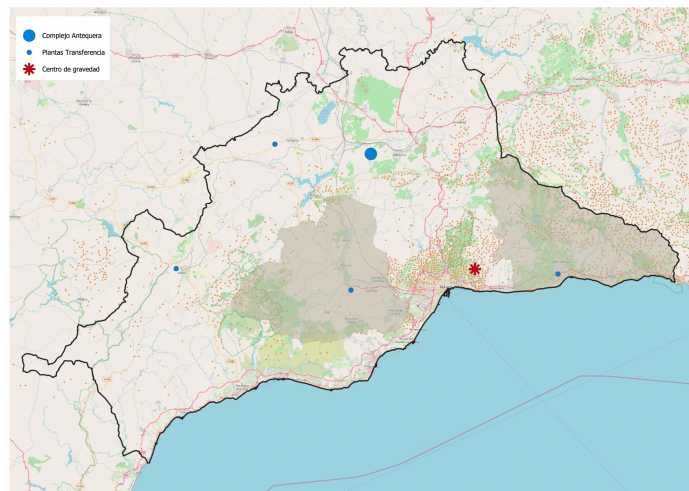


Figura 23: Centro de gravedad. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2 Estudio técnico mediante SIG

Para reforzar el proceso de la selección de una ubicación óptima, se ha empleado un estudio de rutas mediante SIG del punto medio en la ruta más corta entre las plantas de Cártama y Vélez mediante carretera, donde, ahora sí, se está teniendo en cuenta la red viaria.

El punto teórico resultante se ubica en Málaga capital. No obstante, esta ubicación no puede considerarse viable por diversas razones. En primer lugar, Málaga capital gestiona sus propios residuos de forma autónoma, por lo que el Consorcio de Residuos no debe implantar nuevas instalaciones allí, ya que quedan fuera de su ámbito de

actuación. En segundo lugar, el emplazamiento seleccionado se encuentra en pleno tejido urbano de la ciudad, lo que hace inviable la construcción en este punto exacto. Si nos movemos un poco hacia el norte de la provincia para salir de este tejido urbano, nos encontramos con zonas protegidas, por lo que tampoco sería viable. Por último, se decide desplazar la instalación hacia el este de la provincia, hasta llegar al primer municipio después de la capital, ya que la planta de transferencia de Vélez gestiona un mayor volumen de residuos que la de Cártama.

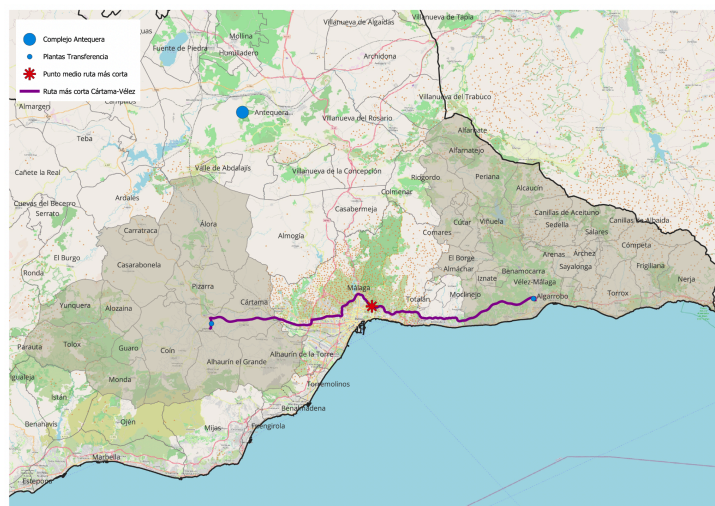


Figura 24: Ruta mínima entre Cártama y Vélez. Fuente: Elaboración propia.

Una vez se han analizado las rutas mediante los sistemas de información, se procede a hacer un análisis de 3 posibles ubicaciones para la instalación propuesta, que cumplan con las condiciones ya vistas.

Para ello, es necesario tener en cuenta la lógica de los flujos actuales de residuos. Estos se desplazan desde los distintos municipios por comarcas hasta su

correspondiente planta de transferencia de Cártama o Vélez, y a partir de ahí, hacia el centro de tratamiento final.

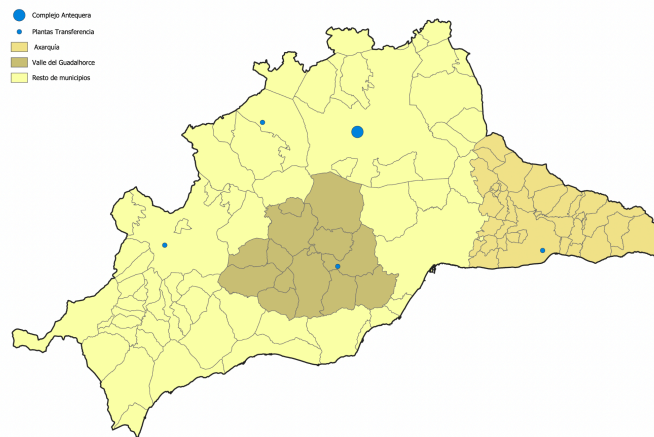


Figura 25: Distribución de residuos urbanos de la Axarquía y del Valle del Guadalhorce hacia sus plantas de transferencia. Fuente: Elaboración propia.

Por este motivo, la elección de la ubicación debe priorizar emplazamientos situados a la misma latitud o al sur de dichas plantas de transferencia, debido que ambas se sitúan en una zona sur de la provincia, evitando situar la instalación demasiado al norte. En caso contrario, los residuos que ya han descendido desde sus municipios de origen hasta Cártama o Vélez tendrían que volver a recorrer un trayecto adicional hacia el norte, lo que generaría un recorrido extra innecesario, con el consiguiente aumento de costes logísticos, tiempos de transporte y emisiones asociadas.

Teniendo esto en cuenta, se han elegido los municipios de Alhaurín de la Torre, Casabermeja y el Rincón de la Victoria, con lo cuáles se podrá determinar cuál es el lugar óptimo.

#### 4.1.3 Matriz multicriterio

Suponiendo 22 toneladas por viaje (ida y vuelta) por cada camión que se desplaza, si tenemos 194.230 toneladas/año repartidos entre estas dos instalaciones, y siguiendo los porcentajes de residuo del 60% en Axarquía y 40% en Valle del Guadalhorce, saldrán aproximadamente 116.540 t/año y 77.690 t/año respectivamente.

Propuesta	veh-km/año	h / año
Rincón de la Victoria	548.012	7.630
Casabermeja	797.730	10.925
Alhaurín de la Torre	705.017	10.048

Tabla 4: Comparativa de distancias recorridas y tiempos de transporte según alternativa de emplazamiento. Fuente: Elaboración propia.

Sabiendo que en 2024 el precio medio del Gasóleo A (Diesel) fue de 1,44€/L y el CO<sub>2</sub>:

Propuesta	L / año	€ comb/año	CO <sub>2</sub> (t / año)
Rincón de la Victoria	191.804	276.198	512,1
Casabermeja	279.206	402.056	745,5
Alhaurín de la Torre	246.756	355.329	658,8

Tabla 5: Comparativa de distancias recorridas y tiempos de transporte según alternativa de emplazamiento. Fuente: Elaboración propia.

Con estos cálculos realizados y justificados, procedemos a realizar la matriz de decisión.

Criterio / Ubicación	Alhaurín de la Torre	Casabermeja	Rincón de la Victoria
<b>C1:</b> Veh-km anual (25%)	7,8	6,9	10
<b>C2:</b> Horas anual (5%)	7,6	7	10
<b>C3:</b> € combustible (10%)	7,8	6,9	10
<b>C4:</b> CO <sub>2</sub> (10%)	7,8	6,9	10
<b>C5:</b> Condicionantes (15%)	8	5	9
<b>C6:</b> Coste suelo (€/m <sup>2</sup> ) (15%)	8	9	4
<b>C7:</b> Infraestructuras (10%)	8	6	9
<b>C8:</b> Impacto ambiental / social (10%)	6	5	7
<b>TOTAL</b>	<b>7,69</b>	<b>6,65</b>	<b>9</b>

Tabla 6: Matriz multicriterio de evaluación de alternativas de emplazamiento. Fuente: Elaboración propia.

Las puntuaciones fluctúan desde (0-10), siendo un 10 lo más óptimo. En el caso de C1-C4, son datos reales y calculados, por lo que los datos que no sean el 10, se calcularán con una simple regla de tres.

Se procede a justificar las calificaciones aportadas en la tabla:

**C1. Vehículo-kilómetro/año:** El análisis de distancias muestra que Rincón de la Victoria presenta la menor cantidad de vehículo-kilómetro anual ( $\approx 548.012$ ), seguido de Alhaurín de la Torre ( $\approx 705.017$ ) y Casabermeja ( $\approx 797.730$ ). La localización en Rincón permite reducir de manera significativa la distancia recorrida por los camiones de transferencia en comparación con las otras dos alternativas.

**C2. Horas de transporte/año:** En coherencia con el criterio anterior, Rincón también presenta el menor número de horas de transporte acumuladas ( $\approx 7.630$  h/año), mientras que Alhaurín alcanza  $\approx 10.048$  h/año y Casabermeja  $\approx 10.925$  h/año. Este ahorro en tiempos de conducción repercute directamente en la eficiencia operativa y en la reducción de costes laborales asociados.

**C3. Coste de combustible:** El consumo estimado de combustible muestra un patrón similar: Rincón supone un gasto anual de  $\approx 276.198\text{€}$ , frente a  $\approx 355.329\text{€}$  en Alhaurín y  $\approx 402.056\text{€}$  en Casabermeja. La ventaja económica de Rincón se mantiene de forma consistente frente a las otras ubicaciones.

**C4. Emisiones de CO<sub>2</sub>:** Las emisiones derivadas del transporte son proporcionales a los kilómetros recorridos y al consumo de combustible. Rincón se sitúa en  $\approx 512$  t CO<sub>2</sub>/año, Alhaurín en  $\approx 658$  t/año y Casabermeja en  $\approx 745$  t/año. Dado el marco de descarbonización fijado por la UE, este indicador refuerza la idoneidad del emplazamiento en Rincón.

**C5. Condicionantes territoriales:** La localización en Rincón cumple de forma óptima con los requisitos de accesibilidad (corredor A-7), y ausencia de *backtracking* en los flujos de residuos. Alhaurín presenta buena accesibilidad y superficie, pero mayor

presión urbanística, lo que introduce una limitación. Casabermeja, pese a disponer de suelo, se sitúa en posición menos favorable por su ubicación más al norte, que obligaría a recorridos adicionales.

**C6. Coste del suelo:** Se ha realizado una comparación del suelo no urbanizable disponible para la instalación. En el Rincón de la Victoria, el precio por m<sup>2</sup> es de 3,25€. En Alhaurín de la Torre, el precio baja a 2,25€/m<sup>2</sup>, mientras que en Casabermeja se sitúa el precio más barato con 2,15€/m<sup>2</sup>. (TasAgrónomos, s. f.).

**C7. Infraestructuras auxiliares:** En este aspecto, Rincón ofrece la mejor dotación, dado su emplazamiento en el corredor de la A-7, con acceso a red eléctrica de alta tensión y servicios urbanos. Alhaurín también dispone de buenas infraestructuras, aunque con menor margen de crecimiento por la presión residencial. Casabermeja presenta mayor debilidad, al carecer de infraestructuras energéticas y de saneamiento tan consolidadas, lo que implicaría inversiones adicionales.

**C8. Impacto ambiental y social:** Desde el punto de vista ambiental, Alhaurín es el municipio con menor afección a espacios protegidos, mientras que Casabermeja se encuentra próximo a áreas sensibles como el Parque Natural Montes de Málaga, lo que limita su idoneidad. En cuanto al impacto social, tanto Rincón como Alhaurín presentan riesgos derivados de la elevada densidad poblacional, aunque en Alhaurín la presión residencial es más acusada por su carácter de municipio dormitorio. Casabermeja, al contar con menor población, tendría menos oposición social, pero su cercanía a espacios naturales genera un condicionante ambiental relevante.

## 4.2 Análisis de propuesta y ahorro respecto a las rutas actuales

Ruta	Distancia (km)	Tiempo (min)
Cártama - Rincón de la Victoria	44	33
Vélez - Rincón de la Victoria	22	21

Tabla 7: Distancias y tiempos de transporte desde las plantas de transferencia de Cártama y Vélez hasta Rincón de la Victoria. Fuente: Elaboración propia.

Cártama - Rincón de la Victoria: Esta ruta se optimiza en cuanto a km recorridos ya que pasa de realizar 75km hasta el Complejo de Valsequillo, a una ruta alternativa de 44km, realizando 31km menos por viaje (ida), 62 km ida y vuelta.

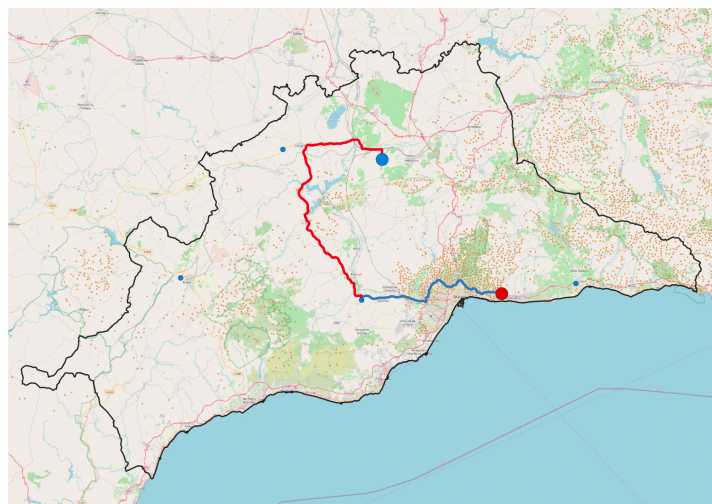


Figura 26: Ruta actual (rojo) y propuesta desde Cártama (azul). Fuente: Elaboración propia.

Vélez - Rincón de la Victoria: En este caso, la mejora es más evidente todavía, ya que la ruta original desde Vélez hasta el Complejo de Valsequillo es de 84km, y optando por esta nueva ubicación se reduce hasta una cifra de 22 km, con una diferencia de 62 km por viaje (ida), 124 km ida y vuelta.



Figura 27: Ruta actual y propuesta desde Vélez (Málaga). Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se proyecta una tabla con los ahorros que producen estas nuevas rutas:

Concepto	Unidad	Ahorro ( $\Delta$ )
<b>Veh-km evitados</b>	km/año	<b>882.508</b>
<b>Litros de combustible evitados</b>	L/año	<b>308.877</b>
<b>Ahorro económico en combustible</b>	€/año	<b>444.784</b>
<b>Emisiones evitadas de CO<sub>2</sub></b>	t CO <sub>2</sub> /año	<b>824,7</b>
<b>Horas de ruta evitadas</b>	h/año	<b>6.869,5</b>



Tabla 8: Ahorro respecto a rutas actuales. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, se ahorran cerca de 450.000€ anuales únicamente en combustible y un total de 824,7 toneladas de CO<sub>2</sub> al año, que equivale a lo que absorberían 37.486 árboles de un tamaño medio en un año completo.

A parte del ahorro que se produciría en combustible y emisiones, también hay que tener en cuenta, que menos horas de transporte, se traduce en ahorro de sueldo, o simplemente en reducción de plantilla, por lo que se procede a calcular este nuevo ahorro:

Según los presupuestos presentados por el Consorcio de Málaga en 2025, los conductores tienen un sueldo de alrededor de 36.000€, con un horario de 35 horas semanales, es decir, un total de 1820 horas/año.

Sabiendo esto:

$$\text{€/h} = 36.000 \text{ €} / 1.820 \text{ h} = 19,78 \text{ €/h}$$

En total, con estas nuevas rutas se ahorran unas 6.869,5 h/año:

$$\text{Ahorro laboral: } 19,78 \text{ €/h} \times 6.869 \text{ h/año} = 135.878,71 \text{ €/año}$$

Estos datos se traducen en ahorro directo de personal.

### 4.3 Selección del emplazamiento mediante SIG

Para determinar la ubicación más adecuada para la instalación, se ha realizado un análisis territorial en el municipio de Rincón de la Victoria, considerando criterios funcionales, legales y de viabilidad urbanística.

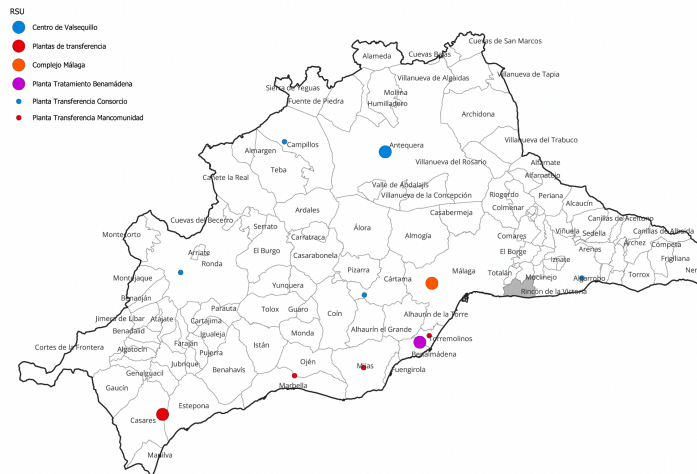


Figura 28: Mapa nueva ubicación de la planta de tratamiento propuesta. Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar, se descartó la franja costera del municipio, dado que se encuentra altamente urbanizada y no existen espacios libres compatibles con una infraestructura de este tipo. Como consecuencia de este crecimiento litoral, la expansión urbanística del municipio se está desplazando hacia zonas del interior, donde sí es posible encontrar terrenos más amplios y con usos compatibles.

A partir de esta premisa, se realizó un análisis mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) y fuentes catastrales oficiales, seleccionando únicamente aquellas parcelas que:

- No se encuentran dentro de zonas protegidas ambientalmente.
- No están clasificadas como suelo público destinado a parques, equipamientos u otros usos incompatibles.
- Están disponibles para su adquisición, según el registro catastral y el planeamiento vigente.
- Presentan formas regulares y escasa pendiente, lo que facilita su urbanización y construcción.

Como resultado de este proceso, se propone una parcela de aproximadamente 15.000 m<sup>2</sup>, ubicada en las proximidades de la autopista A-7, ofreciendo una excelente conexión viaria.

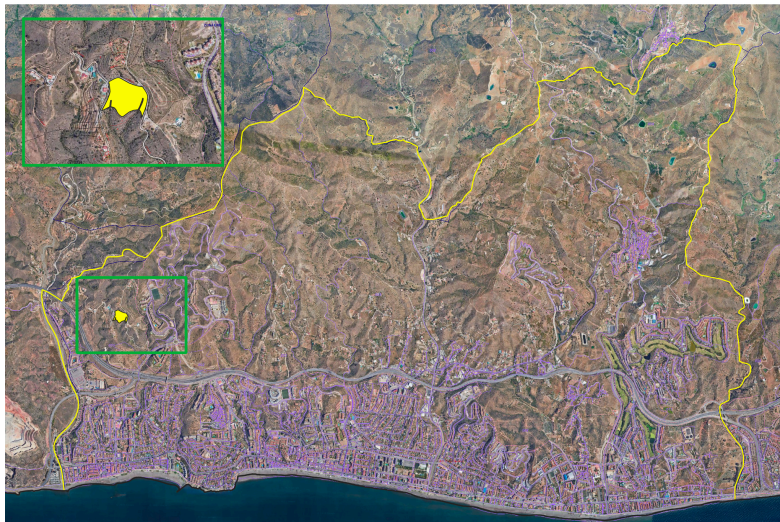


Figura 29: Ubicación de la parcela elegida. Fuente: Elaboración propia.

Esta localización es estratégica, ya que permite facilitar el flujo de residuos desde las plantas de transferencia de Cártama y Vélez-Málaga, ambas bien comunicadas con el término municipal de Rincón de la Victoria.

Además, la parcela elegida cumple con las condiciones topográficas adecuadas (baja pendiente) y tiene una forma rectangular y homogénea, lo cual facilita su desarrollo. En caso de requerirse una ampliación futura, el entorno inmediato ofrece otras parcelas contiguas con características similares y disponibilidad de suelo.

Esta ubicación contribuye a reducir significativamente los costes logísticos, al minimizar los tiempos de desplazamiento y consumo energético en el transporte de residuos. Se considera, por tanto, una solución óptima desde el punto de vista territorial, funcional y económico.

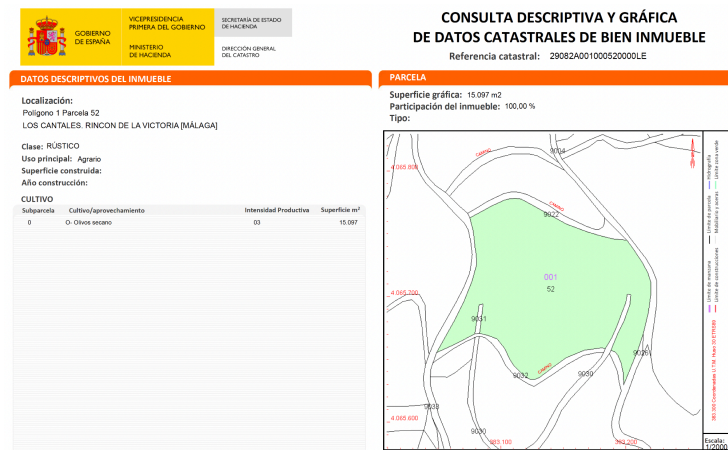


Figura 30: Catastro de la parcela seleccionada. Fuente: Elaboración propia.

## 5. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN

### 5.1 Tipo de tratamiento propuesto y tipología de residuos a tratar

La instalación se organizará en dos fases de tratamiento diferenciadas pero complementarias, ambas ubicadas dentro del mismo complejo:

### 1. Tratamiento mecánico-biológico (TMB)

La primera fase consistirá en una planta de tratamiento mecánico-biológico, similar en concepto a la existente en el Complejo Medioambiental de Valsequillo (Antequera). Este sistema permite la clasificación automatizada y manual de los residuos sólidos urbanos, diferenciando materiales con potencial de recuperación (papel, plásticos, metales, vidrio...) de la fracción orgánica y del rechazo no valorizable. En esta etapa, los residuos se someten a una separación mecánica inicial que retira los impropios. A continuación, la fracción orgánica biodegradable es tratada biológicamente, bien mediante compostaje (si procede de recogida selectiva), o bien mediante biometanización para la obtención de biogás si se trata de fracción resto. Esta configuración permite adaptar el tratamiento según la calidad del residuo entrante y las necesidades del sistema.

### 2. Valorización energética

La segunda fase, ubicada dentro del mismo recinto, será una planta de valorización energética destinada al tratamiento del resto procedente del TMB, así como de aquellos residuos no reciclables o no aptos para valorización material. A través de procesos como la incineración con recuperación de energía, se transformará este residuo en electricidad y calor mediante tecnologías controladas y altamente eficientes, cumpliendo con las condiciones establecidas en el Anexo II de la Directiva 2008/98/CE para ser considerado valorización.

Además, este tipo de tratamiento también incide positivamente en la disminución de la huella de carbono, especialmente cuando se compara con opciones menos sostenibles como el transporte de residuos a larga distancia o su eliminación en vertederos.

Finalmente, al generar energía a partir de residuos, favorece la autosuficiencia energética del sistema, contribuyendo así a los objetivos marcados por la transición ecológica y las políticas de sostenibilidad impulsadas a nivel nacional y europeo.

Esta solución permite cerrar el ciclo de tratamiento sin necesidad de depender exclusivamente de vertederos e intentando minimizarlos cada vez más.

A partir de los datos disponibles, el total anual de residuos asciende a 194.243 t/año. De ese total, la recogida selectiva declarada (papel-cartón, vidrio y envases) representa en torno al 13%. El 87% restante constituye la fracción resto ampliada y es el núcleo de la instalación propuesta.

Debemos tener en cuenta que ese 13% de recogida selectiva, no va dirigido a plantas de tratamiento, sino a plantas de reciclaje y clasificación, ya que es un conjunto de fracciones que ya vienen clasificadas y listas para su posterior reciclaje.

El 87% restante, es el que se trata. Se compone en su gran mayoría de la conocida “bolsa gris”, que está compuesta mayoritariamente por materia orgánica, y dentro de la misma, residuos no reciclables o pequeños porcentajes de materiales reciclables mal separados.

Sabiendo esto, y aplicando el porcentaje del 87% al total de residuos generados entre las plantas de Cártama y Vélez, la instalación tendría un flujo de entrada de 168.991 toneladas / año que empezarían a tratarse en la instalación TMB.

Siguiendo la corriente de la planta de tratamiento que opera en Valsequillo, el 42% del residuo que entra, se recicla, mientras que el 58% restante, se elimina. (Diputación de Málaga, 2024). Esta planta, al contar con una instalación de valorización energética, se encargará de que ese porcentaje tan elevado no sea enviado a vertedero, sino que además, se transforme en algún tipo de energía que beneficie a la población Malagueña.

## 5.2 Dimensionamiento de la planta

Para definir los parámetros de superficie y capacidad diaria de la instalación que se llevará a cabo en el Rincón de la Victoria, se ha realizado un estudio comparativo con diferentes plantas europeas y de referencia internacional. Dicho análisis permite establecer un rango de valores realistas y fundamentados en experiencias previas.

En la siguiente tabla se recogen las principales plantas de tratamiento y valorización consultadas, indicando su capacidad de tratamiento diario, superficie construida y la ratio resultante en metros cuadrados por tonelada/día ( $m^2/t \cdot día$ ):

Planta	Capacidad (t/día)	Superficie (m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup> /t·día
Sirusa (Valencia)	400	3500	8,75
Allerton WR Park (Reino Unido)	877	13500	15,3
Dublín WTE (Irlanda)	1644	24800	15,1
Bawama (India)	3000	60700	20,2
CopenHill / Amager Bakke (Copenhague, DK)	1095	41000	37,4
Leeds RERF (Leeds, UK)	586	15300	26,1
Silla II (Milán)	1506	21500	14,3
ITPOK Poznań (Poznań, PL)	591	20000	33,8
Ekospalarnia Kraków (Kraków, PL)	671	30000	44,7

Tabla 9: Comparativa internacional de plantas de tratamiento y valorización energética: capacidad, superficie y ratio m<sup>2</sup>/t·día. Fuente: Elaboración Propia.

El promedio obtenido es de 23,97 m<sup>2</sup>/t·día, lo que constituye un valor de referencia para la instalación.

En el caso de la instalación proyectada en el Rincón de la Victoria, se ha estimado una capacidad mínima de 194.243 t/año, para tener un margen de seguridad con lo que realmente se trata, lo que equivale a aproximadamente 532 t/día (considerando un funcionamiento de 365 días). Aplicando el ratio promedio de 23,97 m<sup>2</sup>/t·día, se obtiene una superficie de referencia de:



$$532 \text{ t/día} \times 23,97 \frac{\text{m}^2}{\text{t} \cdot \text{día}} = 12.756 \text{ m}^2$$

Si se considera el rango mínimo-máximo, la superficie resultante estaría comprendida entre 4.655 m<sup>2</sup> y 23.780 m<sup>2</sup>.

La parcela seleccionada para el proyecto cuenta con una superficie aproximada de 15.000 m<sup>2</sup>, lo cual se encuentra dentro del rango calculado.

Para no basar el dimensionamiento únicamente en la media de casos comparables, se ha fijado la superficie estimada del proyecto (12.756 m<sup>2</sup>) y se ha evaluado la capacidad resultante utilizando el rango de intensidades superficiales observado en las plantas de referencia (8,75–44,7 m<sup>2</sup>/t·día). Con este enfoque, la capacidad de tratamiento de la instalación quedaría entre 104.160 y 532.107 t/año. El valor objetivo de 194.243 t/año se sitúa cómodamente dentro de ese intervalo, por lo que el diseño dispone de margen operativo frente a variaciones tecnológicas o de explotación.

### **5.3 Estimación de necesidades de maquinaria y personal**

Para obtener un criterio sobre los datos de maquinaria a utilizar y personal a contratar, se tendrán en cuenta varias plantas tanto de tratamiento mecánico-biológico (TMB) como de valorización energética (WtE) de España y Europa, para así conseguir un estándar de los elementos fundamentales en las mismas.

En primer lugar, comenzamos comparando 5 plantas de tratamiento mecánico-biológico:

Planta	CMG Zubieta – Gipuzkoa (ES)	Valdemingómez – Las Dehesas, Madrid (ES)	Ecoparc 2 – Montcada i Reixac, Barcelona (ES)	Anteproyecto TMB Mérida (ES)	Drehid MBT – Bord na Móna (Irlanda)
Recepción / abrebolsas	Si	Si	Si	-	-
Trómel	Si	Si	Si	Si	Si
Balístico	Si	Si	Si	Si	Si
Magnético (ferricos)	Si	Si	Si	-	Si
Foucault (no ferricos)	Si	Si	Si	-	-
Ópticos NIR	Si	Si	Si	-	-
Aspiración/aire	Si	Si	-	-	Si
Trituración	Si	-	-	-	Si
Prensas	Si	-	-	-	-
Etapa biológica	Si	Si	Si	-	Si
Olores (biofiltro)	-	-	Si	-	Si

Tabla 10: Comparación de maquinaria entre instalaciones TMB. Fuente: Elaboración propia.

Con la información recopilada de las plantas de tratamiento mecánico-biológico, y todos los componentes por los que están compuestas, se procede a enumerar y definir los componentes propuestos para la nueva instalación y una pequeña explicación de su funcionamiento:

- 1. Recepción y abrebolsas:** Los camiones entran, pesan y descargan en un foso. A continuación, un abrebolsas rompe las bolsas para liberar el residuo. (GHK, s. f.)
- 2. Trómel (cribado por tamaños):** Separa los residuos en finos (ricos en materia orgánica) y gruesos (envases, metales, plásticos). (*Ayuntamiento de Madrid, s. f.*)
- 3. Separación balística (planos/rodantes):** Clasifica plásticos film y cartones (planos) frente a botellas y latas (rodantes). (*Área Metropolitana de Barcelona, s. f.*)

#### 4. Separación de metales

- Magnético: hierro y acero.
- Foucault: aluminio.

Estos metales salen directamente a reciclaje.

**5. Separadores ópticos (NIR) y aspiración de film:** Se recuperan plásticos aprovechables (PET, PE, PP) y papel/cartón. Posteriormente, el film ligero se retira para que no contamine.

**6. Trituración + preparación de CSR:** La fracción seca no reciclable se tritura y homogeneiza, así se convierte en CSR, un combustible sólido alternativo. (GHK, s. f.)

**7. Etapa biológica (digestión anaerobia + compostaje):** El fino orgánico se lleva a digestores → producen biogás y el digestato se composte en túneles, quedando estabilizado. Elegimos digestión anaerobia con compostaje posterior porque, a diferencia del compostaje directo, nos permite producir energía renovable en forma de biogás y, al mismo tiempo, reducir la humedad del rechazo, lo que mejora el combustible que llega a la planta de valorización energética. Así aprovechamos al máximo la fracción orgánica y hacemos más eficiente todo el sistema.

**8. Sistemas ambientales:** Los biofiltros limpian el aire de los olores y por último, un tratamiento de lixiviados depura los líquidos.

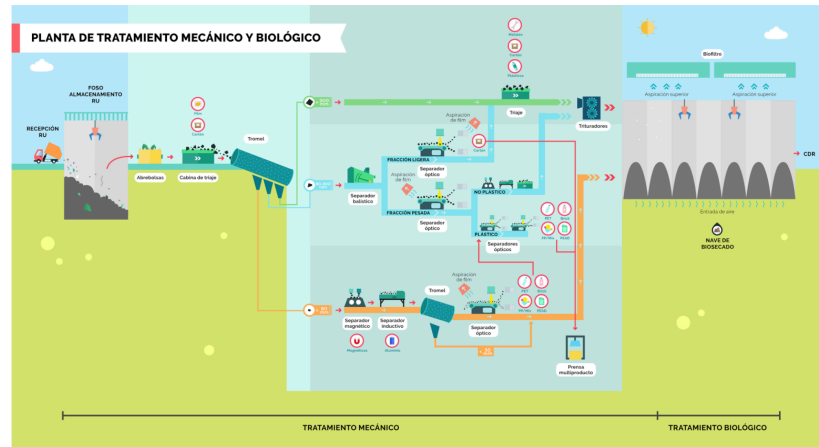


Figura 31: Funcionamiento de la planta de tratamiento mecánico biológico. Fuente: GHK – Complejo Medioambiental de Gipuzkoa.

Una vez tenemos la planta de tratamiento mecánico-biológico y su funcionamiento, se procede a realizar el mismo proceso, pero ésta vez, con las plantas de valorización energética (WtE):

Planta	Zabalgarbi (Bizkaia)	TERSA – Sant Adrià (Barcelona)	SOGAMA – Cerceda (A Coruña)	TIRME – Son Reus (Mallorca)	CMG Zubieta – Gipuzkoa (ES)
Horno de combustión	Si	Si	Si	Si	Si
Caldera de vapor	Si	Si	Si	Si	Si
Turbina de vapor/alternador	Si	Si	Si	Si	Si
Tratamiento de gases (mangas/reactivos)	Si	Si	Si	Si	Si
Reducción NOx (SCR)	-	Si	-	-	Si
Ciclo combinado (TG)	Si	No	No	No	No
Gestión de escorias	-	-	Si	Si	Si
Cenizas volantes / CEMS	-	-	-	Si	Si

Tabla 11: Comparación de maquinaria entre instalaciones WtE. Fuente: Elaboración propia.

Habiendo valorado las distintas plantas de valorización energética, en este caso todas de ámbito nacional, detallamos la propuesta y sus componentes:

- 1. Búnker de recepción y alimentación:** Es un gran almacén cerrado donde llega el CSR y el rechazo desde la TMB y permite mezclar el combustible y alimentar de forma homogénea el horno con una grúa puente. (Ekondakin, 2024).
- 2. Horno de parrilla móvil:** Se trata de una cámara donde se quema el CSR y el rechazo no reciclable, sobre una parrilla que avanza, lo que asegura una combustión estable y completa, incluso con residuos heterogéneos. (Strobel, Waldner, & Gablinger, 2018)
- 3. Caldera de recuperación:** Aprovecha el calor de la combustión para producir vapor a alta presión y convierte el calor en energía útil, en vez de perderlo. (European Commission, JRC, 2019)
- 4. Turbina de vapor + generador:** El vapor mueve una turbina que acciona un generador eléctrico, y aquí es donde realmente se produce la electricidad que se vierte a la red.
- 5. Tratamiento de gases:** Se trata de sistemas que limpian los humos de la combustión (inyección de cal, carbón activo, filtros de mangas). eliminan partículas, metales pesados y gases ácidos → cumplen con la normativa ambiental.
- 6. Reducción de NO<sub>x</sub> (SCR):** Es un reactor con catalizador que reduce los óxidos de nitrógeno inyectando amoníaco/urea. Esto permite cumplir los límites europeos más exigentes en emisiones. (European Commission, 2019)

7. **Gestión de escorias:** Las cenizas gruesas (escorias) que salen del horno se enfrían, se recuperan metales y se usan como material de obra o se inertizan. Esto es importante ya que reduce el vertido y aprovecha recursos.
8. **Gestión de cenizas volantes:** Las partículas muy finas son capturadas en los filtros. Son residuos peligrosos y deben enviarse a un gestor especializado.
9. **Control de emisiones en continuo (CEMS):** Es el sistema que mide permanentemente CO, NO<sub>x</sub>, partículas, HCl, y garantiza transparencia y cumplimiento normativo. (EPA, s. f.)

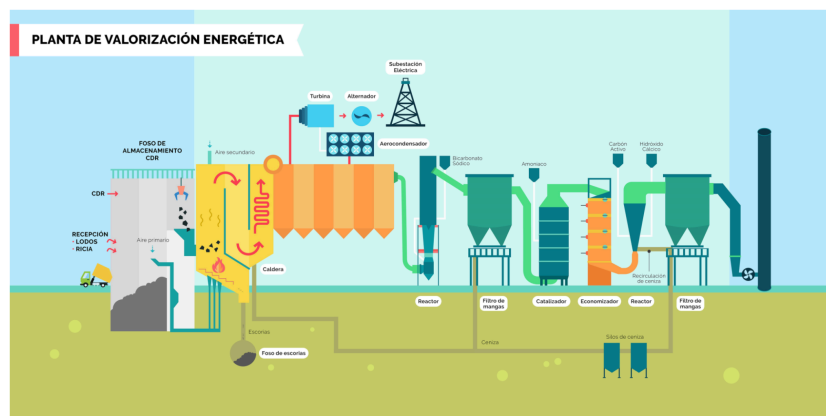


Figura 32: Funcionamiento de la planta de valorización energética. Fuente: GHK – Complejo Medioambiental de Gipuzkoa.

Una vez se han definido los distintos componentes que conforman las plantas, tanto la de tratamiento mecánico-biológico como en la de valorización energética, es necesario determinar los recursos humanos que harán posible el correcto funcionamiento de las mismas. Es importante, ya que la maquinaria no realiza todo el

trabajo, sino que debe haber personal que la supervise ambientalmente, deben tener un mantenimiento y debe haber gestión administrativa en la instalación.

### Necesidad de personal

A continuación se realiza una estimación de necesidad de personal por área, teniendo en cuenta otras plantas de referencia y las particularidades del diseño que se han propuesto.

La actividad de la instalación de tratamiento mecánico-biológico (TMB), se dividirá en 2 turnos de 8 horas cada uno, más un apoyo diurno. Con esto conseguimos optimizar al máximo todos los recursos durante 16 horas diarias.

Fase	Puestos (por turno)	Nº trabajadores	Cualificación
<b>Recepción y foso</b>	Pesador báscula; Operador de pala; Inspector visual	3	ESO / CFGM; Manejo software de báscula
<b>Abrebolsas + tromel (cribado)</b>	Operador de línea; Operario de limpieza / atascos	2	CFGM Mantenimiento Electromecánico
<b>Separación balística + metales</b>	Operario de línea; Apoyo a overhand / foucault	2	CFGM; Nociones de mantenimiento
<b>Ópticos + control de calidad</b>	Operador NIR; 2 clasificadores de control de calidad en cabina	3	CFGM/CFGS. Automatización y Robótica o Mecatrónica; Para cabina, ESO + PRL
<b>Trituración + preparación de CSR</b>	Operador de triturador; Operador de bunker / cintas	2	CFGM mecánico
<b>Etapla biológica</b>	Operador de bioproceso (recepción de finos)	1	CFGS Química Ambiental / Laboratorio y ACC; Formación en biogás y atm peligrosas
<b>Sistemas ambientales</b>	Operador de biofiltros y lixiviados	1	CFGM / CFGS ambiental
<b>Mantenimiento de turno</b>	Electromecánico; Electricista	2	CFGS Mecatrónica / Sistemas electrotécnicos

Tabla 12: Plantilla de personal instalación TMB. Fuente: Elaboración propia.

Dotación por turno TMB = 16 personas → Operación 2 turnos = 32 personas.

Apoyo diurno	
Puesto	Nº
Jefe de planta	1
Planificador Mantenimiento	1
Calidad / Laboratorio	1
EHS-PRL	1
Administración	1

Tabla 13: Apoyo diurno TMB. Fuente: Elaboración propia

Con este estudio, la instalación de tratamiento mecánico-biológico, alcanzaría la cifra de 37 empleados, distribuidos en 2 turnos distintos. Con estos dos turnos, aseguramos que la instalación esté en continua vigilancia durante las 16h operativas y minimizamos la probabilidad de fallo de la maquinaria, y en el caso de que ocurriera, siempre habría personal presente y cualificado para tomar las medidas pertinentes en el momento de la incidencia.

Por otro lado, se calcula la necesidad de personal para la instalación de valorización energética (WTE). Se divide de una forma distinta, que se explicará a continuación.

Fase	Puestos (por turno)	Nº trabajadores	Cualificación
<b>Bunker de recepción y alimentación</b>	Operador de búnker y grúa puente	1	Curso específico de puente-grúa
<b>Horno de parrilla móvil</b>	Operador de caldera - parrilla	1	Carnet de operador de calderas
<b>Caldera de recuperación</b>	Jefe de turno - Sala de control	1	CFGS/Grado (Centrales eléctricas / Industrial)
<b>Turbina de vapor + generador</b>	Operador turbina - generador	1	CFGS Sistemas electrotécnicos
<b>Tratamiento gases</b>	Operador FGC	1	CFGM / CFGS; manejo de reactivos
<b>Reducción de NOx</b>	Incluida en operador FGC	-	-
<b>Gestión de escorias</b>	Operador IBA/APCr*	1	PRL / EPI; manejo de áridos y recuperación metales
<b>Gestión de cenizas volantes</b>	Incluida en operador IBA/APCr	-	-
<b>Control de emisiones en continuo</b>	Técnico instrumentación - CEMS (diurno)**	-	-

Tabla 14: Plantilla de personal WtE. Fuente: Elaboración propia.

\* En cada turno, un/a operador/a atiende escorias (IBA) y cenizas volantes (APCr) en la zona de tratamiento de residuos de incineración.

\*\* CEMS es función diurna con guardias (no asigno plaza por turno, pero da soporte 24/7).

Apoyo diurno	
Puesto	Nº
Jefe de planta	1
Planificador de Operación	1
Mantenimiento (Mecánicos, Eléctricos, Instrumentación)	6
Técnico laboratorio ambiental	1
Técnico PRL	1
Logística	1
Administración	1

Tabla 15: Apoyo diurno WtE. Fuente: Elaboración propia.

Se debe tener en cuenta que esta instalación es un proceso térmico con mucha eficiencia. Rinde y contamina menos cuando permanece de forma estable, por lo que los arranques y paradas suben el riesgo de combustión incompleta y desgastan los equipos. Por esto, es óptimo que la instalación esté en continuo funcionamiento, para que así no se produzcan estos riesgos.

Con este estudio, la instalación WtE tendrá un total de 4 grupos conformados por 6 trabajadores, con una jornada de 6h por grupo. Si le añadimos los 12 que componen el apoyo diurno, resultaría un total de 36. Sumando la plantilla de la TMB a esta última, las 2 instalaciones tendrían un total de 73 trabajadores.



## 6. PRESUPUESTOS Y RESULTADOS

A continuación, se han estimado unos presupuestos tanto para la obra civil como para las dos instalaciones propuestas.

El presupuesto de obra civil, se ha estimado con una referencia en el complejo Ambiental de Guipúzcoa, entre otros. Se ha hecho una estimación de las distintas medidas de las instalaciones dentro de ambas plantas de tratamiento, y se han comparado con los precios unitarios respaldados por la Junta de Andalucía. Para asegurar que la estimación fuera válida y coherente, los datos han sido respaldados y verificados por un arquitecto.

En consecuencia, el presupuesto de la instalación de tratamiento mecánico-biológico, se ha generado a partir de presupuestos externos de otras instalaciones, como la de Montalbán de Córdoba. Se ha adaptado a las necesidades de la instalación propuesta y sus componentes.

Por último, el presupuesto de la instalación de valorización energética. Esta instalación tiene un presupuesto de mayor envergadura ya que su maquinaria es más específica y cara.

## 6.1 Presupuesto Obra Civil

<b>PRESUPUESTO OBRA CIVIL</b>	
Unidades, mediciones y precios unitarios de referencia. Importes en euros sin IVA.	
<b>01. Movimiento de tierras</b>	<b>Importe (€)</b>
Excavación en vaciado 1,0 m (12.756 m <sup>3</sup> ) — 4,00 €/m <sup>3</sup>	51.024,00
Carga y transporte a vertedero (12.756 m <sup>3</sup> ) — 3,00 €/m <sup>3</sup>	38.268,00
Relleno seleccionado y compactado 0,80 m (10.204,8 m <sup>3</sup> ) — 8,00 €/m <sup>3</sup>	81.638,00
Subbase granular 0,15 m bajo solera (1.913,4 m <sup>3</sup> ) — 25,00 €/m <sup>3</sup>	47.835,00
<b>Subtotal cap. 01</b>	<b>218.765,00</b>
<i>Rango BCCA de excavaciones por tipo de terreno (familia 02-AVV/ADD).</i>	
<b>02. Cimentación (zapatas + riostras a cota -1,00 m)</b>	
Zapatas hormigón HA-25: 170 uds × 2,00×2,00×0,80 m = 544,0 m <sup>3</sup> — 120 €/m <sup>3</sup>	65.280,00
Riostras (perímetro): sección 0,40×0,60 m; L ≈ 981,22 m → 235,49 m <sup>3</sup> — 120 €/m <sup>3</sup>	28.259,00
Acero en cimentación (zapatas 80 kg/m <sup>3</sup> ; riostras 120 kg/m <sup>3</sup> ) → 71.779 kg — 1,50 €/kg	107.669,00
Encofrados y accesorios (LS) → 30.000	30.000,00
<b>Subtotal cap. 02</b>	<b>231.208,00</b>
<i>Orden de magnitud de HA-25 y acero B400S en partidas de muros/losas/pilares de BCCA (familias 03–05).</i>	
<b>03. Saneamiento (red enterrada DN200)</b>	
Colector enterrado DN200 (PE corrugado; referencia BCCA PVC DN200 ≈ 33,50 €/m): 600 m	20.100,00
Pozos de registro prefabricados Ø1000 mm: 20 uds — 600 €/ud → 12.000	12.000,00
<b>Subtotal cap. 03</b>	<b>32.100,00</b>
<i>Partida BCCA "colector enterrado PVC DN200" con ~33,50 €/m (incluye excavación, cama de arena, relleno y señalización). Aplicado como referencia para DN200.</i>	
<b>04. Estructuras (pórticos y celosías, pilares de acero)</b>	
Estructura metálica (S275/S355), 40 kg/m <sup>2</sup> × 12.756 m <sup>2</sup> = 510.240 kg — 3,00 €/kg (suministro+monte)	1.530.720,00
<b>Subtotal cap. 04</b>	<b>1.530.720,00</b>
<i>(Peso específico a confirmar con cálculo estructural definitivo.)</i>	
<b>05. Cubiertas</b>	
Panel sándwich 100 mm (PUR/PIR), 80 % de 12.756 m <sup>2</sup> = 10.204,8 m <sup>2</sup> —	620.554,00
Lucernarios traslúcidos (policarbonato/PRFV), 20 % = 2.551,2 m <sup>2</sup> — 60,81 €/m <sup>2</sup>	114.804,00
Remates, cumbreras, canalones y bajantes (12.756 m <sup>2</sup> × 5 €/m <sup>2</sup> )	63.780,00
<b>Subtotal cap. 05</b>	<b>799.138,00</b>
Precios de remates metálicos (canalones, cumbreras) en BCCA (07-IG...); panel sándwich 100 mm verificado con Generador de Precios como contraste del orden de magnitud. Generador de precios info	
<b>06. Cerramientos / Revestimientos de paredes</b>	
Panel prefabricado de hormigón con aislante en fachada (perímetro≈981,22 m × 9 m = 8.830,94 m <sup>2</sup> )	1.059.713,00
Revestimiento interior con chapa lacada (50 % de fachada = 4.415,47 m <sup>2</sup> ) — 25 €/m <sup>2</sup>	110.387,00
<b>Subtotal cap. 06</b>	<b>1.170.100,00</b>
<b>07. Pavimentos</b>	
Solera interior HA-25 esp. 20 cm (12.756 m <sup>2</sup> → 2.551,2 m <sup>3</sup> ) — 110 €/m <sup>3</sup>	280.632,00
Armadura solera (80 kg/m <sup>3</sup> → 204.096 kg) — 1,50 €/kg	306.144,00
Acabado fratasado + endurecedor (12.756 m <sup>2</sup> × 8 €/m <sup>2</sup> )	102.048,00
Pintura epoxi 2 manos (12.756 m <sup>2</sup> × 10 €/m <sup>2</sup> )	127.560,00
Exterior hormigón impreso (urbanización 2.244 m <sup>2</sup> × 28 €/m <sup>2</sup> )	62.832,00
<b>Subtotal cap. 07</b>	<b>879.216,00</b>
<b>08. Albañilería interior (oficinas)</b>	
Tabiquería de yeso laminado (Pladur 13+13/48): ~214,85 m <sup>2</sup> — 38 €/m <sup>2</sup>	8.164,00
Falso techo registrable: 318 m <sup>2</sup> — 25 €/m <sup>2</sup>	7.957,00
<b>Subtotal cap. 08</b>	<b>16.121,00</b>

PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DE UNA PLANTA DE RESIDUOS: ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD

<b>09. Instalación de fontanería</b>	
Tuberías PEX (Wirsbo) Ø16–32 (estim. 400 m) — 9 €/m	3.600,00
Aparatos sanitarios ROCA (WC, lavabos, duchas) + griferías + montaje (LS)	10.000,00
<b>Subtotal cap. 09</b>	<b>13.600,00</b>
<b>10. Instalaciones eléctricas</b>	
Luminarias LED tipo campana (1/30 m <sup>2</sup> → 426 uds) — 120 €/ud	51.120,00
Tomas de corriente (1/100 m <sup>2</sup> → 128 uds) — 60 €/ud	7.680,00
Cuadros, canalizaciones y cableado (12.756 m <sup>2</sup> × 15 €/m <sup>2</sup> )	191.340,00
<b>Subtotal cap. 10</b>	<b>250.140,00</b>
<b>11. Instalación de aire acondicionado (oficinas)</b>	
VRF + ventilación (≈75 €/m <sup>2</sup> × 318 m <sup>2</sup> )	23.872,00
<b>Subtotal cap. 11</b>	<b>23.872,00</b>
<b>12. Carpintería metálica exterior</b>	
Puertas industriales correderas 5×5 m (200 m <sup>2</sup> ) — 150 €/m <sup>2</sup>	30.000,00
Puertas peatonales metálicas (10 uds × 800 €)	8.000,00
Carpintería de aluminio en oficinas (perfiles + herrajes, LS)	12.000,00
<b>Subtotal cap. 12</b>	<b>50.000,00</b>
<b>13. Carpintería de madera interior</b>	
Puertas madera oficinas (10 uds × 450 €)	4.500,00
<b>Subtotal cap. 13</b>	<b>4.500,00</b>
<b>14. Vidrios</b>	
Doble acristalamiento 4+6+4 en oficinas (≈40 m <sup>2</sup> × 120 €/m <sup>2</sup> ) → 4.800	4.800,00
<b>Subtotal cap. 14</b>	<b>4.800,00</b>
<b>15. Seguridad y Salud</b>	
1,5 % sobre costes directos	78.364,00
<b>Subtotal cap. 15</b>	<b>78.364,00</b>
<b>16. Honorarios de Ingeniería</b>	
Ingeniería básica y de detalle	235.092,60
Dirección facultativa y supervisión de obra	146.279,84
Coordinación de Seguridad y Salud	41.794,24
Tramitaciones y permisos	31.345,68
Pruebas, puesta en marcha y formación	15.672,84
Ingeniería de la Propiedad (si aplica)	52.242,80
<b>Subtotal cap. 16</b>	<b>522.428,00</b>
<b>RESUMEN ECONÓMICO</b>	
	<b>Importe (€)</b>
Coste directo (cap 01-14)	5.224.280,00
Seguridad y salud	78.364,00
Gastos generales + Beneficio Industrial	992.613,00
Honorarios de Ingeniería	522.428,00
<b>PRESUPUESTO DE CONTRATA (sin IVA)</b>	<b>6.817.685,00</b>

Tabla 16: Presupuesto obra civil de ambas instalaciones. Fuente: Elaboración propia.



## 6.2 Presupuesto TMB

<b>PRESUPUESTO MAQUINARIA TMB</b>	
<b>Cap. 01 — Pretratamiento mecánico</b>	<b>Importe (€)</b>
Báscula puente camiones (18x3 m)	48.000,00
Abrebolsas	95.000,00
Alimentador de foso / piso móvil	75.000,00
Cinta de alimentación a pretratamiento	60.000,00
Trómel de cribado	220.000,00
Cintas de evacuación fracciones del trómel (finos/medios/rechazo)	75.000,00
Separador balístico (planos/rodantes)	150.000,00
Cintas de alimentación/evacuación del balístico	50.000,00
Separador magnético (overband)	35.000,00
Separador de corrientes de Foucault (no férricos)	95.000,00
Separadores ópticos NIR (plásticos/papel)2 uds	360.000,00
Triturador primario	180.000,00
Criba de control post-trituración	70.000,00
Búnker/silo y dosificador de CSR	65.000,00
Prensa de balas multiproducto	145.000,00
Cuadros eléctricos y control básico de línea	95.000,00
<b>Subtotal Cap.01</b>	<b>1.818.000,00</b>
<b>Cap. 02 — Etapa biológica</b>	
Tolva intermedia de finos y bomba de transferencia	55.000,00
Pulper/espesador con desarenado	85.000,00
Tanque de homogeneización calentado	120.000,00
Digestor anaerobio nº1 (reactor, agitadores, caldeo)	380.000,00
Digestor anaerobio nº2 (reactor, agitadores, caldeo)	380.000,00
Gasómetro/membrana de almacenamiento de biogás	110.000,00
Antorcha de seguridad	35.000,00
Grupo CHP de biogás	450.000,00
Deshidratación de digestato (prensa de tornillo)	130.000,00
Túneles de compostaje (8 uds, puertas y estructura)	320.000,00
Soplantes de aireación de túneles (3 uds)	65.000,00
Red de aireación de túneles (colectores y compuertas)	40.000,00
Criba de afinado post-compostaje	70.000,00
Sistema de riego/percolado	20.000,00
Cuadros eléctricos y control del proceso biológico (PLC/SCADA)	75.000,00
<b>Subtotal Cap.02</b>	<b>2.335.000,00</b>

<b>Cap. 03 — Sistemas ambientales</b>	
Red de captación y conductos en naves	90.000,00
Ventiladores principales de extracción (3 uds)	75.000,00
Prefiltrado/Lavador de gases	70.000,00
Biofiltro modular (2 líneas)	160.000,00
Sistema de humidificación/nebulización	25.000,00
Tanque de homogeneización de lixiviados con cubierta	80.000,00
Bombeo y recirculación de lixiviados	22.000,00
Planta compacta MBR para depuración de lixiviados	260.000,00
Deshidratación de fangos de lixiviados	65.000,00
Instrumentación y control de depuración	25.000,00
<b>Subtotal Cap.03</b>	<b>872.000,00</b>
<b>Cap. 04 - Honorarios de Ingeniería</b>	
Ingeniería básica y de detalle	239.000,00
Dirección facultativa y supervisión	149.000,00
Tramitaciones y permisos	32.000,00
Pruebas, puesta en marcha y formación	16.000,00
Ingeniería de la Propiedad	53.000,00
<b>Subtotal Cap. 04</b>	<b>489.000,00</b>
<b>RESUMEN ECONÓMICO</b>	
Coste sub capítulos (1 - 4)	5.514.000,00
IVA (21%)	1.157.940,00
<b>PRESUPUESTO COMPLETO + IVA</b>	<b>6.671.940,00</b>

Tabla 17: Presupuesto de maquinaria TMB. Fuente: Elaboración propia.

## 6.3 Presupuesto WtE

<b>PRESUPUESTO MAQUINARIA WTE</b>	
<b>01. Búnker de recepción y alimentación</b>	
	<b>Importe (€)</b>
Búnker y revestimientos	1.400.000,00
Grúa puente de búnker	600.000,00
Tolva hermética + empujador de alimentación	200.000,00
	<b>Subtotal cap. 01 2.200.000,00</b>
<b>02. Horno de parrilla móvil</b>	
Cámara de combustión con parrilla móvil	4.800.000,00
Aire primario/secundario e inyecciones	800.000,00
Quemadores de apoyo y sellos/escorias en boca	600.000,00
	<b>Subtotal cap. 02 6.200.000,00</b>
<b>03. Caldera de recuperación (vapor)</b>	
Caldera de recuperación	5.000.000,00
Economizador / sobrecalentadores / sopladores	800.000,00
	<b>Subtotal cap. 03 5.800.000,00</b>
<b>04. Turbina de vapor + generador</b>	
Turbina de vapor condensible	2.600.000,00
Generador eléctrico	1.200.000,00
Condensador / aerocondensador (ACC)	1.200.000,00
Desgasificador y bombas de alimentación/condensado	200.000,00
	<b>Subtotal cap. 04 5.200.000,00</b>
<b>05. Tratamiento de gases</b>	
Reactor seco/semisecho + silo/dosificación de cal	1.500.000,00
Silo y dosificación de carbón activo	500.000,00
Filtro de mangas	1.400.000,00
Ventilador de tiro inducido + chimenea	400.000,00
	<b>Subtotal cap. 05 3.800.000,00</b>

<b>06. Reducción de NOx</b>	
Reactor SCR + catalizador	1.200.000,00
Sistema de dosificación de urea/amoniaco	300.000,00
<b>Subtotal cap. 06</b>	<b>1.500.000,00</b>
<b>07. Gestión de escorias</b>	
Extractor y enfriador de escoria:	700.000,00
Separación férricos y no férrico	300.000,00
Cribado/maduración inicial	200.000,00
<b>Subtotal cap. 07</b>	<b>1.200.000,00</b>
<b>08. Gestión de cenizas volantes</b>	
Silos de APCr/cenizas volantes	300.000,00
Ensacado / carga a sistema	200.000,00
Tomillos de transferencia y captaciones	100.000,00
<b>Subtotal cap. 08</b>	<b>600.000,00</b>
<b>09. Control de emisiones continuo</b>	
Sistema CEMS completo	180.000,00
DCS/SCADA e instrumentación de planta	720.000,00
<b>Subtotal cap. 09</b>	<b>900.000,00</b>
<b>10. Honorarios de Ingeniería</b>	
Ingeniería básica y de detalle	1.233.000,00
Dirección facultativa y supervisión de obra	767.000,00
Tramitaciones y permisos	164.000,00
Pruebas, puesta en marcha y formación	82.000,00
Ingeniería de la Propiedad (si aplica)	274.000,00
<b>Subtotal cap. 10</b>	<b>2.520.000,00</b>
<b>RESUMEN ECONÓMICO</b>	
	<b>Importe (€)</b>
Coste directo (cap 01-10)	29.920.000,00
Honorarios de Ingeniería	2.520.000,00
IVA (21%)	6.812.400,00
<b>PRESUPUESTO DE CONTRATA (sin IVA)</b>	<b>32.440.000,00</b>

Tabla 18: Presupuesto WTE. Fuente: Elaboración propia.

## 6.4 Resultados

Como se ha comentado anteriormente, el 42% del flujo total que entra a la instalación TMB, se recicla o recupera. Esto hace que alrededor de 81.000 toneladas se reciclen o se recuperen en el proceso de compostaje, dónde la mayor parte del residuo es materia orgánica y posteriormente se usa como enmienda agrícola, en jardinería o en restauración de suelos. Esta materia reciclada equivaldría a 8.100–11.600 hectáreas/año abonadas con ese compost.

Por otro lado, a la instalación de valorización energética, entran alrededor de 87.000 toneladas al año. Si tenemos en cuenta la siguiente tabla:

Indicador	Escenario base 525 kWh/t	Conservador 400 kWh/t	Ambicioso 650 kWh/t
Entrada a WtE	87.876 t / año	87.876 t / año	87.876 t / año
% sobre total municipal	45,24 %	45,24 %	45,24 %
Electricidad neta generada	46,13 GWh / año	35,15 GWh / año	57,12 GWh / año
Potencia neta equivalente	5,27 MW	4,01 MW	6,52 MW
Vertido final (con reutilización de escorias)	9.227 t / año	9.227 t / año	9.227 t / año
Vertido final (sin reutilización de escorias)	24.605 t / año	24.605 t / año	24.605 t / año
Hogares equivalentes	14.100 hogares / año	10.700 hogares / año	17.500 hogares / año

Tabla 19: Resultados de la instalación WtE. Fuente: Elaboración propia

Con la energía neta generada por la instalación en el escenario base, que es el que se ha elegido, se consigue abastecer la energía eléctrica de 14.100 hogares en un año, teniendo en cuenta que el consumo anual doméstico medio es de 3,27 MWh.

Por otro lado, esta energía neta generada, puede también traducirse en un abastecimiento de 7.500 viviendas / año en cuanto a energía térmica se refiere. Es decir, 7500 viviendas al año serían totalmente abastecidas térmicamente.

**Rendimiento eléctrico neto (kWh/t):** Es cuánta electricidad “sale a red” por cada tonelada tratada, una vez restado el autoconsumo de la planta. Usamos un valor prudente y defendible de 0,525 MWh/t (525 kWh/t), dentro del rango habitual europeo para WtE. (Zero Waste Europe, 2023). Por eso, con 87.876 t/a de rechazo a valorización, la energía neta resulta:

$$\text{Electricidad neta} = 87.876 \text{ t/a} \times 0,525 \text{ MWh/t} = 46,13 \text{ GWh/a.}$$



**Electricidad neta generada (GWh/a):** Es la energía total anual realmente disponible (la que se puede vender/entregar a la red). Sale de multiplicar toneladas a  $WtE \times$  rendimiento neto (cálculo de arriba). La usamos para cuantificar impacto (ingresos, equivalencias). (CEWEP, 2022).

**Potencia neta equivalente:** Es una forma sencilla de expresar el “tamaño eléctrico” de la planta a partir de la energía anual que produce.

Qué es: la potencia que tendríamos de forma constante si repartiéramos la electricidad neta de todo el año entre 8.760 horas. Así, 46,13 GWh/a  $\Rightarrow$  5,27 MW “equivalentes”.

**Electricidad neta equivalente (hogares/año):** Es solo una equivalencia divulgativa: transformamos los 46,13 GWh/a en “hogares abastecidos” usando el consumo medio anual por vivienda. Con referencia IDAE = 3.487 kWh/a por hogar, resulta:

$$\text{Hogares} \approx 46.130.000 \text{ kWh} \div 3.272 \text{ kWh/a} = 14.100 \text{ hogares/año.}$$

## 7. CONCLUSIONES

Este trabajo demuestra que la mejora estructural del sistema provincial de residuos en Málaga no pasa por reforzar la transferencia, sino por incrementar la capacidad de tratamiento con una posible solución que combine TMB y valorización energética. El diagnóstico inicial evidenció que la red de estaciones de transferencia ya cumple su función, mientras que persisten cuellos de botella en la etapa de tratamiento y un vertido aún elevado frente a las metas europeas; ello justificó el cambio de enfoque del proyecto y su ambición tecnológica.

Desde el punto de vista metodológico, el trabajo articula un proceso de decisión que integra análisis SIG, modelo de centro de gravedad y matriz multicriterio. Con datos demográficos y de generación, se delimita el ámbito Axarquía + Valle del Guadalhorce ( $\approx 385.633$  hab.), se estima una demanda de  $194.243$  t/año ( $\approx 532$  t/día) y se dimensiona la instalación a partir de comparativas internacionales (ratio medio  $23,97$  m<sup>2</sup>/t·día), resultando una superficie técnica de referencia de  $12.756$  m<sup>2</sup>. La parcela propuesta ( $\approx 15.000$  m<sup>2</sup>) en Rincón de la Victoria, próxima a la A-7, garantiza viabilidad y margen de crecimiento.

La selección del emplazamiento en Rincón de la Victoria es, además, la alternativa más eficiente en términos logísticos y ambientales. El rediseño de rutas reduce de  $75$  a  $44$  km ( $-31$  km por viaje de ida) entre Cártama y la planta, y de  $84$  a  $22$  km ( $-62$  km por viaje de ida) entre Vélez y la planta, con el correlativo ahorro de tiempos, combustible y emisiones. En la evaluación multicriterio, Rincón registra la menor huella de operación anual ( $\approx 349.000$  vehículo-km/año) y las menores emisiones del transporte ( $\approx 323$  t CO<sub>2</sub>/año), mejorando de forma consistente frente a Alhaurín de la Torre y Casabermeja.

En el plano tecnológico, la configuración TMB + WtE permite maximizar la recuperación material y destinar el rechazo no reciclable a valorización energética,

reduciendo de manera significativa la dependencia del vertedero y contribuyendo a la autosuficiencia energética del sistema. Dado que la recogida selectiva actual ronda el 13% y la fracción resto el 87% ( $\approx 168.991$  t/año tratables en TMB), la integración de valorización energética evita que el rechazo de tratamiento acabe en eliminación, alineando la propuesta con los principios de economía circular y con los objetivos normativos europeos, estatales y autonómicos.

El dimensionamiento propuesto (capacidad, superficie y organización de recursos humanos por turnos) y el listado de maquinaria se han construido con referencias de plantas comparables, asegurando continuidad operativa, control ambiental y mantenibilidad desde el arranque. Esta base técnica reduce la incertidumbre de diseño y facilita la transición a fases de ingeniería de detalle y tramitación.

Por último, se han elaborado presupuestos de obra civil y de maquinaria que intentan aportar realismo al diseño, y las estimaciones indican que la energía generada por la planta de valorización energética sería equivalente al consumo anual de unos 14.100 hogares, y que el compost generado en la instalación TMB equivale a 8.100–11.600 hectáreas/año abonadas con ese compost.

En lo personal, el cambio de escenario desde una planta de transferencia hacia otro tipo de instalación ha sido un reto exigente y enriquecedor. La complejidad técnica y territorial del proyecto me obligó a contrastar decisiones, revisar supuestos y aprender de los límites del propio análisis. Cierro este proyecto satisfecho con el proceso y lo aprendido, sabiendo que en el futuro podría ampliarse con nuevas líneas de trabajo, como la evaluación económica y ambiental detallada, el análisis detallado del impacto energético de la instalación o el análisis social y logístico de la propuesta.



## 8. BIBLIOGRAFÍA

Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB) (s. f.): «Ecoparc 2 Montcada i Reixac». *AMB*, Ayuntamiento de Madrid (s. f.): «Centro de Clasificación y Compostaje “Las

Dehesas”». *Ayuntamiento de Madrid*,

<[https://www.madrid.es/UnidadWeb/Contenidos/RC\\_Valdemingomez/Publicaciones/DEHESAS\\_baja\\_ESP.pdf](https://www.madrid.es/UnidadWeb/Contenidos/RC_Valdemingomez/Publicaciones/DEHESAS_baja_ESP.pdf)>. [Consulta: 26-08-2025].

Boletín Oficial del Estado (2022): «Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular». *Boletín Oficial del Estado*, núm. 85, 48578–48714,

<<https://www.boe.es/boe/dias/2022/04/09/pdfs/BOE-A-2022-5809.pdf>>. [Consulta: 05-08-2025].

Boletín Oficial del Estado (2025): «Resolución de 14 de enero de 2025, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se formula declaración ambiental estratégica del “Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos 2024-2035” [Disposición 1118]», *Boletín Oficial del Estado*, núm. 19, 9406–9421,

<<https://www.boe.es/boe/dias/2025/01/22/pdfs/BOE-A-2025-1118.pdf>>.

[Consulta:23-07-2025].

Boletín Oficial del Estado (2025): «Resolución de 14 de enero de 2025, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se formula declaración ambiental estratégica del “Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos 2024-2035” [Disposición 1118]», *Boletín Oficial del Estado*, núm. 19, 9406–9421,

[Consulta:23-07-2025].



<<https://www.boe.es/boe/dias/2025/01/22/pdfs/BOE-A-2025-1118.pdf>>. [Consulta: 11-08-2025].

ClickGasoil (s. f.): «Evolución del precio del Gasóleo A». *ClickGasoil*, <<https://www.clickgasoil.com/c/evolucion-del-precio-gasoleo-a>>. [Consulta: 19-08-2025].

Comisión Europea (2018): «Decisión de la Comisión por la que se crea el Foro Estratégico para los Proyectos Importantes de Interés Común Europeo (2018/C 39/03)». *Diario Oficial de la Unión Europea*, C 39, 3–7, <[https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A32018D0202\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A32018D0202(01))>. [Consulta: 02-08-2025].

Consejo de las Comunidades Europeas (1975, 15 de julio): «Directiva 75/442/CEE del Consejo, relativa a los residuos». *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, L 194, 39–41, <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:01975L0442-19911223>>. [Consulta: 17-07-2025].

Consejo de la Unión Europea (1997, 24 de febrero): «Resolución del Consejo de 24 de febrero de 1997 relativa a una estrategia comunitaria para la gestión de residuos». *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, C 76, 1–3, <[https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:31997Y0311\(01\)&from=IT](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:31997Y0311(01)&from=IT)>. [Consulta: 27-07-2025].

Díaz Mora, J. (2006): «Diseño de una planta de transferencia de residuos sólidos urbanos en la comarca de Sobrarbe (Huesca)» [Proyecto final de carrera, Universitat



Politécnica de Catalunya]. *UPCommons*,  
<<https://upcommons.upc.edu/server/api/core/bitstreams/6b39691a-fd9c-4187-904a-669f57e3c95d/content>>.

Diputación de Málaga (2023): «La Diputación se marca el objetivo de aumentar el porcentaje de separación y reciclaje de residuos para reducir el impacto de la nueva tasa del Gobierno». *Diputación de Málaga*,  
<[https://www.malaga.es/comunicacion/2746/com1\\_md3\\_cd-50251/la-diputacion-se-marca-el-objetivo-de-aumentar-el-porcentaje-de-separacion-y-reciclaje-de-residuos-para-reducir-el-impacto-de-la-nueva-tasa-del-gobierno](https://www.malaga.es/comunicacion/2746/com1_md3_cd-50251/la-diputacion-se-marca-el-objetivo-de-aumentar-el-porcentaje-de-separacion-y-reciclaje-de-residuos-para-reducir-el-impacto-de-la-nueva-tasa-del-gobierno)>. [Consulta: 21-08-2025].

Ekondakin, S. A. (2024): «Declaración ambiental 2023 – CMG-1». *Ekondakin*,  
<[https://www.ekondakin.eus/contenidos/documentos/DeclaracionAmbiental2023\\_CMG1\\_29022024\\_firmado.pdf](https://www.ekondakin.eus/contenidos/documentos/DeclaracionAmbiental2023_CMG1_29022024_firmado.pdf)>. [Consulta: 29-08-2025].

Endesa (2022): «How can you calculate the electricity your house consumes?». *Endesa's blog*,  
<<https://www.endesa.com/en/blogs/endesa-s-blog/light/calculate-electricity-house-consumption>>. [Consulta: 11-09-2025].

ERP Recycling (s. f.): «¿Qué son los flujos de residuos?». *ERP Recycling*,  
<<https://erp-recycling.org/es-es/que-hacemos/flujos-de-residuos/>>. [Consulta: 12-08-2025].

European Commission, Joint Research Centre (JRC) (2019): «Best Available Techniques (BAT) reference document for waste incineration (BREF Waste Incineration, WI) (JRC118637)». *Publications Office of the European Union*,



<[https://bureau-industrial-transformation.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-01/JRC118637\\_WI\\_Bref\\_2019\\_published\\_0.pdf](https://bureau-industrial-transformation.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-01/JRC118637_WI_Bref_2019_published_0.pdf)>. [Consulta: 02-09-2025].

European Commission (2019): «Commission Implementing Decision (EU) 2019/2010 of 12 November 2019 establishing the BAT conclusions under Directive 2010/75/EU for waste incineration (BREF WI)». *Official Journal of the European Union*, L 312/55–110,

<[https://aida.ineris.fr/sites/aida/files/documents-bref/BATC\\_WI\\_CELEX\\_32019D2010\\_EN.pdf](https://aida.ineris.fr/sites/aida/files/documents-bref/BATC_WI_CELEX_32019D2010_EN.pdf)>. [Consulta: 07-09-2025].

European Union (2018): «Directive (EU) 2018/850 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 1999/31/EC on the landfill of waste». *Official Journal of the European Union*, L 150, 100–108, <<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/850/oj/eng>>. [Consulta:17-07-2025].

European Union (s. f.): «Waste hierarchy». *EUR-Lex*,

Eurostat (2025): «Municipal waste down by second consecutive year». *Eurostat News*, <<https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20250213-1>>.

[Consulta:23-07-2025].

German JR (s. f.): «Las 5 fases de la gestión de residuos». *German JR*, <<https://germanjr.es/blog/las-5-fases-de-la-gestion-de-residuos>>. [Consulta:

12-08-2025].



- GHK, S. A.U. (s. f.): «Complejo Medioambiental de Gipuzkoa». *GHK*, <<https://www.ghk.eus/complejo-medioambiental-de-gipuzkoa.htm>>. [Consulta: 26-08-2025].
- Instituto Nacional de Estadística (INE) (2024): «Población por municipios y sexo. Cifras oficiales de población resultantes de la revisión del Padrón municipal a 1 de enero». *INE*, <<https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=2882>>. [Consulta: 21-08-2025].
- Instituto Nacional de Estadística (INE) (2024): «Población por provincias y sexo (1900–2024)» [Conjunto de datos]. *INE*, <[https://www.ine.es/jaxi/Datos.htm?path=/t26/e068/p01/serie/10/&file=02003.px#\\_t\\_abs-tabla](https://www.ine.es/jaxi/Datos.htm?path=/t26/e068/p01/serie/10/&file=02003.px#_t_abs-tabla)>. [Consulta: 22-08-2025].
- Junta de Andalucía — Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul (s. f.): «Tipos de residuos». *Junta de Andalucía*, <<https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/areas-tematicas/residuos-suelos-contaminados-economia-circular/tipos-residuos>>. [Consulta: 15-08-2025].
- Lorenzo, E., Palacios, Á., & Souza, C. (2023): «La economía circular en la gestión de residuos ganaderos». *Economía y Desarrollo*, 167(2), e8, <<http://scielo.sld.cu/pdf/eyd/v167n2/0252-8584-eyd-167-02-e8.pdf>>. [Consulta: 27-07-2025].



Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (2024): «Observatorio de costes del transporte de mercancías por carretera. Julio 2024». *Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible*, <[https://cdn.transportes.gob.es/portal-web-transportes/transporte-terrestre/actividades-servicios/observatorios-costes-transporte-mercancias/2024/observatorio\\_costes\\_mercancias\\_2024-07\\_julio.pdf](https://cdn.transportes.gob.es/portal-web-transportes/transporte-terrestre/actividades-servicios/observatorios-costes-transporte-mercancias/2024/observatorio_costes_mercancias_2024-07_julio.pdf)>. [Consulta: 17-08-2025].

Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (s. f.): «Vehículos articulados de 5 o más ejes». *Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible*, <<https://www.transportes.gob.es/transporte-terrestre/inspeccion-y-seguridad-en-el-transporte/pesos-y-dimensiones/pesos/pesos-trailer/trailer-de-mas-de-cuatro-ejes>>. [Consulta: 16-08-2025].

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2024): «Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización». *MITECO*, <[https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia\\_huella\\_carbono\\_tcm30-479093.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf)>. [Consulta: 30-07-2025].

Parlamento Europeo y del Consejo (2008): «Directiva 2008/6/CE por la que se modifica la Directiva 97/67/CE en relación con la plena realización del mercado interior de los servicios postales de la Comunidad». *Diario Oficial de la Unión Europea*, L 52, 3–20, <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:32008L0006>>. [Consulta: 04-08-2025].

Reimann, D. O. (2012): «CEWEP Energy Report III (Status 2007–2010): Results of Specific Data for Energy, R1 Plant Efficiency Factor and NCV of 314 European



Waste-to-Energy (WtE) Plants». *CEWEP*,

<[https://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2017/09/13\\_01\\_15\\_cewep\\_energy\\_report\\_iii.pdf](https://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2017/09/13_01_15_cewep_energy_report_iii.pdf)>. [Consulta: 11-09-2025].

Repsol (s. f.): «¿Qué es la huella de carbono y por qué es importante?». *Repsol*,

<<https://www.repsol.com/es/sostenibilidad/ejes-sostenibilidad/cambio-climatico/reduccion-huella-carbono/index.cshtml>>. [Consulta: 29-07-2025].

Repsol (s. f.): «Tipos de residuos: cuáles existen y cómo clasificarlos». *Repsol*,

<<https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/tipos-de-residuos/index.cshtml>>. [Consulta: 14-08-2025].

Retema (2019): «Planta de Tratamiento Mecánico Biológico del Complejo

Medioambiental de Gipuzkoa». *Revista Técnica de Medio Ambiente (RETEMA)*,

<<https://www.retema.es/articulos-reportajes/planta-tratamiento-mecanico-biologico-del-complejo-medioambiental-gipuzkoa>>. [Consulta: 23-08-2025].

Strobel, R., Waldner, M. H., & Gablinger, H. (2018): «Highly efficient combustion with low excess air in a modern energy-from-waste (EfW) plant». *Waste Management*, 73, 301–306,

<<https://www.kanadevia-inova.com/files/2018/02/Highly-efficient-combustion-in-a-modern-EfW-plant.pdf>>. [Consulta: 01-09-2025].

U.S. Environmental Protection Agency (2002): «Waste Transfer Stations: A Manual for Decision-Making». *U.S. EPA*,



<<https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-03/documents/r02002.pdf>>. [Consulta: 07-08-2025].

Urbaser (s. f.): «Costa del Sol». *Costa del Sol Eco*, <<https://costadelsol.eco/costa-del-sol/>>. [Consulta: 20-08-2025].

Zero Waste Europe (2023): «Debunking Efficient Recovery – Full Report». *Zero Waste Europe*, <<https://zerowasteurope.eu/wp-content/uploads/2023/01/Debunking-Efficient-Recovery-Full-Report-EN.docx.pdf>>. [Consulta: 11-09-2025].