



INGENIERÍA INDUSTRIAL

Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales e
Ingeniería Química

PROYECTO FIN DE CARRERA

Análisis de viabilidad técnica y económica de
implantación de un sistema de obtención de
biocombustibles a partir de aceite usado

Autor: Rubén Montesinos López

Tutor: Antonio Aznar Jiménez

Julio 2012

Índice

Índice	2
Índice de figuras	5
Índice de tablas	8
Introducción y objetivos.....	9
Capítulo I: Revisión tecnológica	11
1. La biomasa como energía renovable	11
1.1 Tipos de biomasa.....	14
1.2 Biocombustibles o biocarburantes: El biodiesel y el bioetanol	18
1.3 ¿Porqué biodiesel a partir de aceite usado?.....	20
2. Estado actual de la producción de biodiesel.....	23
2.1 Producción de biodiesel en Europa.....	24
2.2 Producción de biodiesel en España.....	27
2.3 Producción de biodiesel a partir de aceite usado en España.....	33
Capítulo II: Producción de biodiesel a partir de aceite usado.....	35
1. Logística para la recogida de residuos	35
1.1 Selección del modelo de contenedores	38
1.1.1 Modelos de contenedor diseñados para alojar botellas.....	39
1.1.2 Selección del modelo de contenedor.....	54
1.2 Localización de la planta y número de contenedores.....	55
1.2.1 Posibles zonas en las que realizar el estudio	57
1.2.2 Elección de la zona de estudio	62
1.2.3 Localización final de la planta dentro de la zona designada	64
1.3 Localización de los contenedores y ciudades que se incorporarán al sistema	85
1.3.1 Posición a ocupar por los contenedores en cada ciudad.....	85
1.3.2 Ruta de recogida diseñada para cada municipio	95

1.3.3 Opciones para decidir las ciudades del sistema.....	116
1.3.4 Estudio de costes de las distintas opciones	118
2. Procesos de producción	136
2.1 Tratamientos previos	136
2.1.1 Pretratamiento de los residuos grasos	136
2.1.2 Eliminación (retirada) del agua	137
2.1.3 Eliminación (retirada) de fosfolípidos	137
2.1.4 Eliminación (retirada) de ácidos grasos libres.....	138
2.1.5 Retirada de contaminantes.....	138
2.1.6 Procesos de refinado.....	139
2.2 Transesterificación	141
2.2.1 Tipos de transesterificación según proceso.....	142
2.2.2 Tipos de transesterificación según volumen de producción.....	147
2.2.3 Tipos de transesterificación según procedencia de la materia prima	148
2.3 Planta de producción	149
2.3.1 Características de la planta	151
2.3.2 Coste del proceso	161
Capítulo III: Aplicaciones, impacto medioambiental y posibles mejoras.....	165
1. Aplicaciones.....	165
1.1 Utilización en motores de combustión interna.....	165
1.2 Utilización para generación eléctrica	167
2. Impacto medioambiental.....	168
2.1 Emisiones contaminantes	168
2.2 Contaminación de aguas	170
3. Posibles mejoras.....	171
Capítulo IV: Conclusiones.....	172

Referencias..... 174

Índice de figuras

Figura 1, Principales materias primas y aplicaciones de la biomasa. “Una estrategia para la producción de biocarburantes”. APPA 2005

Figura 2, Distintas posibilidades para la valorización energética de desechos agropecuarios. Antonio Aznar (2010)

Figura 3, Tipos de biomasa y procesos hasta su conversión en diferentes tipos de energía útil por parte del hombre. Martin Gallardo (2008)

Figura 4. Evolución de las ventas de biodiesel en España por origen. APPA Biocarburantes

Figura 5. Evolución del consumo de gasolina y gasóleos en España en ktep (kilotoneladas equivalentes de petróleo). “Una estrategia de biocarburantes para España”, APPA

Figuras 6 y 7, JOFE-08 Estándar (670 Litros)

Figuras 8 y 9, JOFE-08 Mini (240 Litros)

Figura 10, Modelos y principales características modelos Cervic

Figura 11, Contenedores Neo 480 litros, Neo 240 litros y Neo 120 litros

Figura 12, Distinto sistema de introducción de botella según 240 l o 120 l.

Figura 13, Interior del modelo Neo de 480 litros

Figura 14, Dimensiones contenedores Sanimobel

Figura 15, Modelos Ref. S31(900 litros) con cubeta metálica y S32 (360 litros)

Figura 16, Modelos S33 y S34. Ambos de 360 litros.

Figuras 17 y 18, Contenedor IG.90 de Alquienvas

Figura 19, Contenedor IG.90 de Alquienvas

Figura 20, Contenedor CM.240

Figura 21, Modelo Ref. S31 (900 litros) con cubeta metálica

Figura 22, Mapa de los municipios más poblados de la Comunidad de Madrid

Figura 23, Zona designada

Figura 24, Plano de referencia para realizar el cálculo del centro de gravedad

Figura 25, Centro de cada municipio del sistema y centro de gravedad situado en Parque Polvoranca

Figura 26, Polígonos candidatos

Figura 27, Centro de cada municipio del sistema y localización de los tres emplazamientos candidatos

Figura 28, Red de carreteras de la zona

Figura 29, Mapa zona Leganés Tecnológico

Figura 30, Vista satélite Leganés Tecnológico

Figura 31, Vista aérea

Figura 32, Vista aérea 2

Figura 33, Planificación Leganés Tecnológico

Figura 34, Plano del Parque con las empresas instaladas actualmente.

Figura 35, Mapa de la zona Móstoles tecnológico

Figura 36, Mapa detalle de la zona

Figura 37, Vista aérea de la zona

Figura 38, Colocación contenedores Alcorcón

Figura 39, Colocación contenedores Leganés

Figura 40, Colocación contenedores Getafe

Figura 41, Colocación contenedores Móstoles

Figura 42 , Colocación contenedores Fuenlabrada

Figura 43, Colocación contenedores Parla

Figura 44, Colocación contenedores Pinto

Figura 45, Colocación contenedores Villaviciosa de Odón

Figura 46, Ruta Alcorcón 1

Figura 47, Ruta Alcorcón 2

Figura 48, Ruta Alcorcón 3

Figura 49, Ruta Leganés 1

Figura 50, Ruta Leganés 2

Figura 51, Ruta Leganés 3

Figura 52, Ruta Getafe 1

Figura 53, Ruta Getafe 2

Figura 54, Ruta Getafe 3

Figura 55, Ruta Móstoles 1

Figura 56, Ruta Móstoles 2

Figura 57, Ruta Móstoles 3

Figura 58, Ruta Fuenlabrada 1

Figura 59, Ruta Fuenlabrada 2

Figura 60, Ruta Fuenlabrada 3

Figura 61, Ruta Parla 1

Figura 62, Ruta Parla 2

Figura 63, Ruta Pinto

Figura 64, Ruta Villaviciosa de Odón

Figura 65, Producción de biodiesel de aceites usados mediante esterificación-transesterificación. "Biofuels", 2008

Figura 66, Conversión de aceite usado por transesterificación y esterificación.

Figura 67, Vista de la planta

Figura 68, Lay-out de la planta

Figura 69, Detalle reactor y decantadores

Figura 70, Flujoograma producción diesel

Índice de tablas

Tabla 1, Poder calorífico superior de distintos biocombustibles. Basada en datos de Francisco Marcos (Camps M., Michelena F. ()): “Los biocombustibles”, 2008)

Tabla 2, Producción etanol 2004. Fuente: “Biocarburantes en el transporte”, documento de IDAE

Tabla 3, Producción biocarburantes en la UE, 2004. Fuente: “Biocarburantes en el transporte”, documento de IDAE

Tabla 4, Municipios de más de 20.000 habitantes de la Comunidad de Madrid, INE

Tabla 5, Propiedades de biodiesel de aceite de palma

Tabla 6, Comparativa de emisiones entre biodiesel que cumple la norma y gasóleo. Basado en los datos de Gallardo (2008) y Camps (2005)

Introducción y objetivos

Este proyecto se centrará en el aprovechamiento del aceite vegetal usado como fuente de biomasa para la producción de biodiesel, un tipo de biocombustible, como alternativa a la utilización de aceites procedentes de cultivos energéticos.

Se tratará de hacer una revisión del estado del arte en el ámbito de la biomasa y más concretamente en el ámbito del biodiesel. Se estudiará la tecnología relacionada con la producción de biodiesel, así como la decisión de elegir el aceite vegetal usado como materia prima para su obtención. Se intentará también optimizar la recogida del aceite vegetal usado mediante un estudio logístico. Así, realizaremos un estudio detallado de la recogida del aceite vegetal usado como residuo, de los métodos de producción y un estudio de viabilidad económica e impacto ambiental.

De esta manera, el proyecto tendrá tres partes diferenciadas, estructuradas de la siguiente manera:

El primer capítulo se dedicará a una revisión tecnológica o del estado del arte. En él, se tratará de ubicar el lugar de la biomasa y los biocombustibles dentro de las energías renovables. Se tratará de justificar la decisión de la elección del aceite vegetal usado como materia prima, en términos de descenso del coste de la materia prima, alternativa a los denominados cultivos energéticos y la reducción de impacto ambiental tanto en contaminación de aguas como en reducción de emisiones de CO₂ y otros gases contaminantes. Además se estudiarán las estrategias actuales y futuras en el ámbito de producción de biodiesel y sus aplicaciones, así como el estado actual de la producción de biodiesel en general y biodiesel producido a partir de aceite usado en España y otros países.

En el segundo capítulo, se estudiarán los procesos de producción de biodiesel. Esto incluye tanto la transesterificación que sirve para la conversión de aceite vegetal en biodiesel como los procesos previos de tratamiento necesarios para convertir el aceite usado en un aceite capaz de ser transformado en biodiesel que cumpla los estándares de calidad. En este capítulo incluiremos también la parte de la logística correspondiente a la recogida del aceite para conocer el coste real de la adquisición de la materia prima. Para ello se estudiará un sistema de recogida designando una zona donde que incluya

cierto número de ciudades y se decidirá cuales de esas ciudades se integran finalmente en el sistema de manera que sea lo más rentable posible.

En el tercer capítulo, se comentaran las aplicaciones del biodiesel, el impacto ambiental y las posibles mejoras del proceso. Las aplicaciones se comentaran con la intención de conocer las posibilidades de mercado que tiene nuestro producto. Se hará una comparativa del impacto ambiental entre la producción y uso del biodiesel respecto al diesel tradicional cuantificando dicho impacto ambiental para nuestro proceso. También se incluirá en este capítulo un apartado sobre las posibles mejoras que se pueden introducir en el proceso para abaratar el coste y mejorar los resultados de la planta.

Los objetivos de este proyecto son:

- Mostrar las ventajas de uso de aceite vegetal usado como materias prima frente a los cultivos energéticos.
- Demostrar que se puede alcanzar una calidad que cumpla con los estándares partiendo de estas materias primas.
- Estudio de los procesos vinculados a la utilización de esta materia prima y diseño de una estrategia para su recogida de manera optimizada e involucrando a la ciudadanía.
- Estudio de la viabilidad económica de la producción de biodiesel a partir de aceite usado y comparación con la producción a partir de cultivos energéticos y aceite usado a precios actuales de mercado en España.
- Estudio de los beneficios en materia de impacto medioambiental de forma cuantitativa.

Capítulo I: Revisión tecnológica

1. La biomasa como energía renovable

Las energías renovables se definen como aquellas que proceden de fuentes que se “renuevan” o regeneran continuamente. Este tipo de fuentes de energía aprovechan distintos fenómenos naturales como la radiación solar, las corrientes de viento, las mareas o el ciclo del agua que se aprovecha con el desnivel de los ríos. Los principales tipos de energías renovables son:

- Energía solar
- Energía hidráulica
- Energía eólica
- Energía mareomotriz
- Energía geotérmica
- Energía proveniente de biomasa

Aunque algunas de ellas puedan producir distintos vectores de energía, ya sea para producir energía eléctrica o térmica. Este proyecto queda encuadrado dentro de la biomasa en tanto que el biodiesel es un biocombustible.

La biomasa se define como aquella materia orgánica no fósil derivada de vegetales, animales, hongos o bacterias. Se genera en el caso de la masa vegetal mediante la fotosíntesis, proceso mediante el cual absorbe el CO₂ por medio de la energía solar que junto con el hidrogeno del agua que absorbe la planta va formando carbohidratos, que almacenan la energía. Esta materia de la que se puede extraer energía puede así provenir de muy distintas fuentes tales como la madera de árboles, residuos agrícolas, industriales o incluso residuos sólidos urbanos.

Su aprovechamiento para generar energía puede ser directo, utilizando la materia sólida como combustible como se hace por ejemplo con la madera desde hace mucho tiempo o bien transformando dicha materia en combustibles líquidos como los biocombustibles o gaseosos como se hace para producir biogás. Estos

combustibles se convierten en energía calorífica, que a su vez puede convertirse también en energía eléctrica si así se considerara. En la siguiente tabla, podemos observar la energía que se puede extraer de algunas de las fuentes más conocidas de biomasa en forma de poder calorífico superior (PCS).

Biocombustible	Poder calorífico superior anhidro MJ/kg
Leñas y astillas	18,81-22,15
Pellets y briquetas de madera	18,21-22,15
Carbón vegetal y briquetas de carbón vegetal	30,10-32,6
Líquido piroleñoso	33,44-35,53
Líquido de hidrólisis	33,44-35,53
Bioetanol	40,15-43,89
Bioaceite	40,15-43,89
Metiléster	40,15-43,89
Biogás	Variable

Tabla 1. Poder calorífico superior de distintos biocombustibles. Basada en datos de Francisco Marcos (Camps M., Michelena F. ()): “Los biocombustibles”, 2008)

Un biogás con alto contenido en metano puede llegar a contener 55 MJ/kg. La combustión de biomasa libera el CO₂ almacenado cumpliendo así el ciclo del CO₂. Esto supone una gran ventaja frente a los combustibles fósiles que almacenaron el carbono hace millones de años. Además, la utilización de biomasa permite canalizar diversos residuos dándoles un uso y ahorrando costes en su tratamiento. También permite desarrollar zonas agrícolas cuyos cultivos dejaron de ser rentables y que fueron abandonados. Como contrapartida está la controversia que causan los cultivos energéticos al encarecer el precio de ciertos productos dedicados a la

alimentación, la deforestación en ciertas regiones para llevar a cabo este tipo de cultivos o que ve cuestionada su calidad para diversos usos.

1.1 Tipos de biomasa

Como se ha visto anteriormente, la biomasa puede proceder de diversos tipos de residuos, así podemos establecer una clasificación en función de su procedencia:

Biomasa natural. Aquella que se produce en la naturaleza sin que exista acción humana como sucede con la madera procedente de los bosques.

Biomasa residual seca. Generada por los residuos procedentes de la actividad agrícola o forestal, así como parte procedente de la industria, tanto la agroalimentaria como la maderera.

Biomasa residual húmeda. Procedente de distintos tipos de vertidos. Incluiría tanto los residuos sólidos urbanos como los industriales y los procedentes de la actividad ganadera.

Cultivos energéticos. Se trata de la biomasa procedente de cultivos que no se destinan a la alimentación (aunque en ocasiones puede que dicho cultivo tuviera la opción de tener un uso alimentario). Estos cultivos pueden ser herbáceos o forestales.

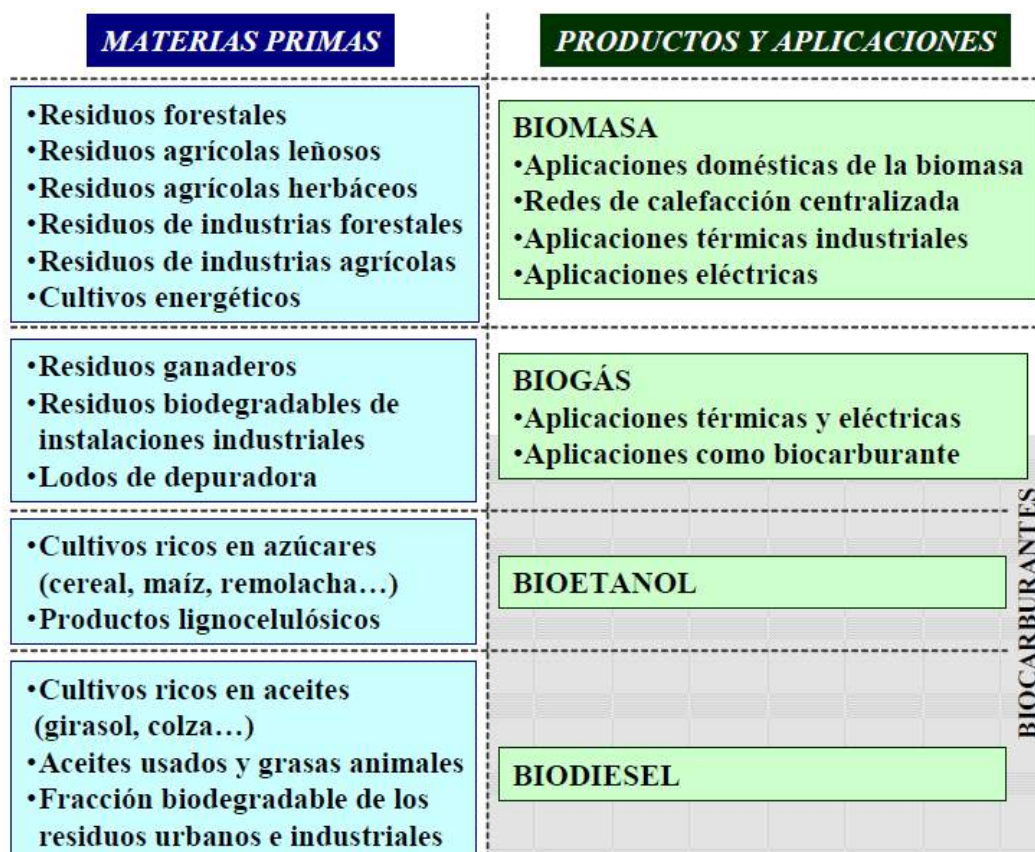


Figura 1, Principales materias primas y aplicaciones de la biomasa. “Una estrategia para la producción de biocarburantes”. APPA 2005

La generación de energía se obtiene mediante la combustión de la biomasa. Así la biomasa seca se puede aprovechar mediante incineración (quemado, combustión), co-combustión (biomasa+carbón), gasificación (producción de gas combustible) o pirolisis (sin O₂). La biomasa húmeda se puede aprovechar mediante fermentación anaerobia donde se aprovechan celulosas, lodos y residuos agrícolas o mediante fermentación alcohólica.

La figura 2 muestra las distintas posibilidades para la valorización energética de desechos agropecuarios.

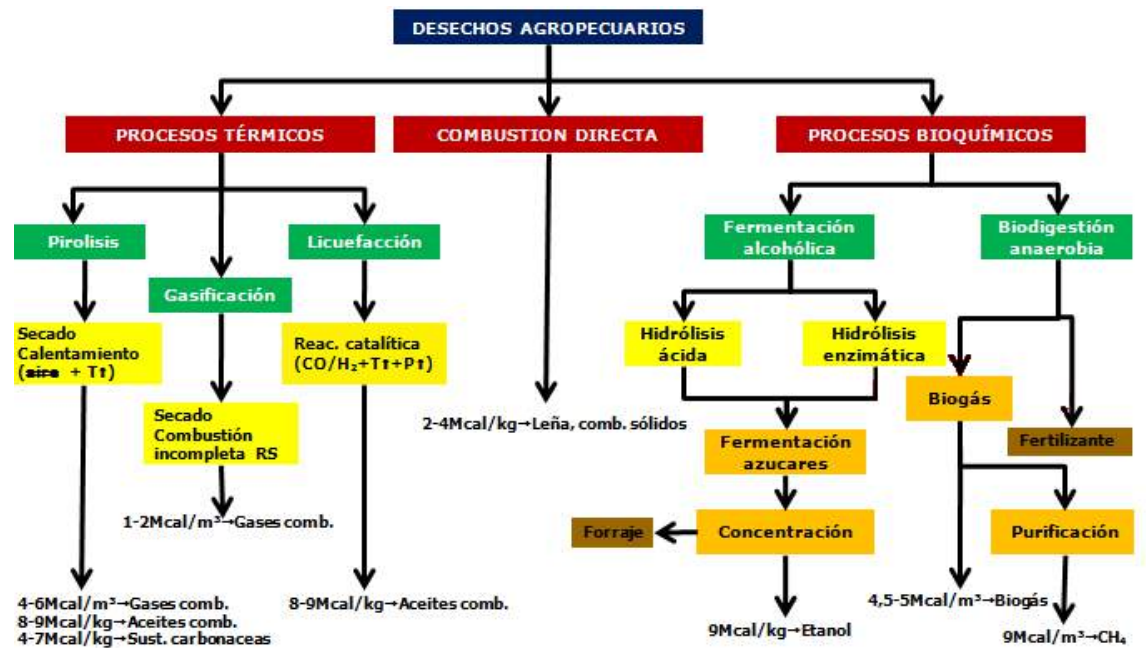


Figura 2, Distintas posibilidades para la valorización energética de desechos agropecuarios. Antonio Aznar (2010)

Sin embargo, otra clasificación también utilizada frecuentemente distingue entre el tipo de biomasa según su estado, esto es sólido, líquido o gas, y los distintos combustibles que se pueden obtener para cada uno de esos estados. Así tendremos:

- Combustibles sólidos:
 - Pellets
 - Biomasa triturada; sawdust
- Combustibles líquidos:
 - MTBE y ETBE obtenidos a partir de alcohol metílico y etílico.
 - Aceites obtenidos por prensado de semillas y frutos.
 - Aceites para uso en gasificación y pirolisis.
- Combustibles gaseosos:

- Biogás, obtenido a partir de digestión (descomposición en fermentación) anaeróbica.
- Syngas, gas sintético.

La figura 3 muestra bastante bien las distintas procedencias de la biomasa y los distintos procesos hasta su conversión en combustible y su uso final para producir energía.

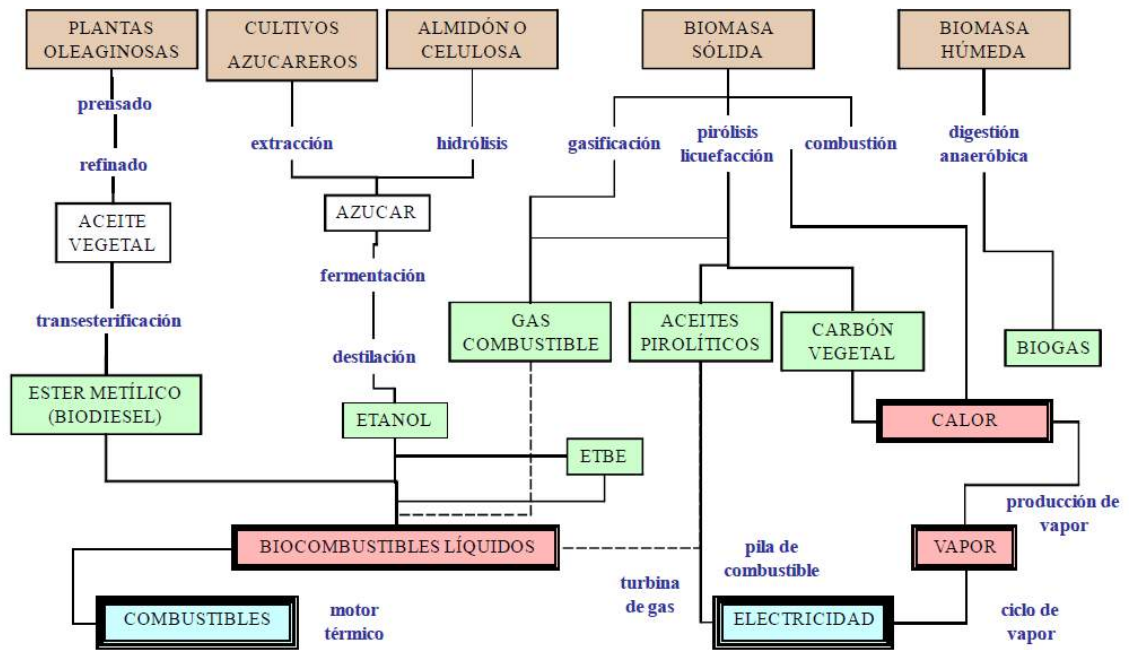


Figura 3, Tipos de biomasa y procesos hasta su conversión en diferentes tipos de energía útil por parte del hombre. Martin Gallardo (2008)

1.2 Biocombustibles o biocarburantes: El biodiesel y el bioetanol

Dentro de la biomasa se ha visto que existen diversos biocombustibles presentados tanto en estado sólido como en estados líquido y gaseoso. Sin embargo, cuando alguien se refiere a los biocombustibles, se tiende a pensar en los biocarburantes, es decir, el grupo de aquellos que pueden ser utilizados en motores de combustión interna. Generalmente aquellos en estado líquido aunque también se puede usar biogás. Actualmente los más utilizados son el biodiesel y el bioetanol.

El biodiesel se obtiene de aceites vegetales obtenidos a partir de semillas oleaginosas de cultivos energéticos, aunque también se puede obtener a partir de grasas animales o de aceite usado. El proceso para su obtención se denomina transesterificación y consiste básicamente en la sustitución de la glicerina contenida en las grasas por metanol. Esto se realiza en presencia de un catalizador alcalino que acelera la reacción permitiendo obtener de manera separada esteres metílicos (biodiesel) y la glicerina que queríamos separar, que será un subproducto del proceso. Más adelante, se explicará este proceso en más profundidad. Ese biodiesel se suele comercializar mezclado con diesel normal, dando mezclas mucho menos contaminantes. Estas mezclas, normalmente con porcentajes muy inferiores de biodiesel que varían en porcentaje según el país (el más común en Estados Unidos es el B20, que contiene un 20% de biodiesel y un 80% de diesel normal), se pueden utilizar en condiciones normales en cualquier motor sin ningún tipo de modificación y obteniendo un rendimiento similar. También existe el B100 (100% biodiesel), aunque éste suele estar recomendado para aquellos coches a partir de una fecha (aproximadamente mediados de los años 90) ya que puede atacar aquellas partes hechas con goma (caucho), como la goma del circuito del combustible o manguitos. Aunque ya son escasos los coches con estos problemas algunas marcas de automóviles prefieren recomendar a sus usuarios la no utilización de biocombustibles, dificultando así su expansión. Existe una clasificación que diferencia entre el biodiesel producido a partir de aceite vegetal nuevo proveniente de cultivos

energéticos (BD100A1) y el proveniente de aceites vegetales usados (BD100A2).

El bioetanol se obtiene a partir de la fermentación de vegetales que contienen almidón o azúcares. Sus aplicaciones van dirigidas a la mezcla con gasolinas. También se utiliza para la fabricación de ETBE, un aditivo oxigenado para las gasolinas sin plomo, dando así mezclas de mayor índice de octano y menos contaminantes. El uso de este aditivo tiene como ventajas una menor volatilidad y solubilidad, así como una mayor eficiencia térmica y ser menos corrosivo.

En el caso de usar el bioetanol en mezclas directas para gasolina, las mezclas comunes en este caso son el E5 (5% de bioetanol, 95% de gasolina) y E10 (10% de bioetanol, 90% de gasolina). El E10 es el más usado en Estados Unidos y el E5 es el más usado en Europa, aunque se ha modificado la legislación para usar más E10 y fomentar su uso teniendo en cuenta que es lo que toleran en estos momentos los vehículos. Mezclas con mayor porcentaje de bioetanol, más utilizadas en países como Brasil, como el E85 (85% bioetanol), E95 y E100 necesitan de otro tipo de motores, los denominados flexifuel.

Otros biocarburos menos importantes son el biogás, el biometanol y el bioaceite (necesita de motores especiales adaptados para su uso debido a su alta viscosidad).

1.3 ¿Porqué biodiesel a partir de aceite usado?

Tradicionalmente el uso de biocombustibles se ha amparado en la sustitución de combustibles derivados del petróleo, así como en la captura de CO₂ por parte de la planta como parte del ciclo del carbono. De esta manera, las emisiones de CO₂ provocadas en la combustión se compensan con el absorbido por las plantas. Esto no ocurre con los combustibles fósiles ya que absorbieron el carbono hace millones de años. A estos factores hay que unir la notable reducción de emisiones de otros gases contaminantes derivados del proceso de combustión (NO_x, SO_x, hollín...). Sin embargo, la práctica totalidad de la producción de biocombustibles hasta este momento se basa en los cultivos energéticos como materia prima ya sea para obtener bioetanol por fermentación, o bien biodiesel a partir de aceite vegetal. Esto ha suscitado numerosas críticas al entrar su producción en conflicto debido a una posible influencia en la subida de precios de ciertos cultivos alimentarios. Ya sea por utilizar dichos cultivos con posibilidades de producir alimentos en la fabricación de biocombustibles o por ser desplazados cultivos alimentarios por cultivos energéticos reduciendo así la producción de ese alimento.

Por todo esto, la utilización de aceite usado es una alternativa para la producción de biodiesel, ya que antes de su recolección ya ha cumplido su uso alimentario y cumple igualmente el ciclo de emisiones de carbono. Además, se estima que aproximadamente la mitad de los costes de producción del biodiesel viene dada por el cultivo, recolección y refinado de la materia prima. Recoger el aceite usado supone que ese coste ya ha sido cubierto por el consumidor del aceite vegetal alimentario, por lo que los únicos costes derivados de la obtención de la materia prima serán los derivados de la recogida del aceite y los del pretratamiento para poder realizar la transesterificación. Esto supone teóricamente un descenso en los costes y será, sin duda, una parte central del proyecto en la que se tratará de ver si esto es realmente así, de manera que este tipo de producción sea competitiva y mejore realmente la competitividad en precios del biodiesel, el principal problema en comparación con el diesel proveniente del petróleo.

El eje para la viabilidad de este tipo de producción se centrará de ese modo en desarrollar un plan logístico que reduzca los costes de la recogida en la medida de lo posible y el proceso de producción en el que se incluirán las distintas etapas del proceso de pretratamiento. Veremos incluso que muchas de las etapas de pretratamiento como el desgomado coinciden con las que se llevan a cabo en el refinamiento de aceite de cultivos energéticos.

Aparte del abaratamiento de costes, un objetivo primordial en cualquier proceso productivo, el otro objetivo importante de este proceso de producción es la reducción de contaminación que produce el aceite usado cuyo tratamiento como residuo está incluido en el proceso y cuyo mayor efecto es la contaminación del agua al ser vertido al desagüe en domicilios, canal HORECA (Hoteles, restaurantes y catering) y demás localizaciones (cocinas de hospitales, colegios, etc.) donde se usa para freiduría y alimentación en general. Se calcula que un litro de aceite vertido contamina unos mil litros de agua. Esta contaminación se podría ver reducida notablemente, lo que sin duda ahorraría costes tanto en la depuración de aguas residuales como en el mantenimiento de tuberías tanto del sistema general de abastecimiento como en el de los domicilios. Esto abre la posibilidad de que las administraciones competentes en la materia de la depuración de aguas residuales participen colaborando en labores de concienciación debido a su propio interés. Y es que, aunque ya hay una recogida de una gran cantidad de aceite procedente del canal HORECA, la recogida de los aceites provenientes de los domicilios es mínima a pesar de ir apareciendo ciudades donde sí que se realiza.

Al no haber en la mayoría de municipios un sistema de recogida para su reciclaje como ocurre con otros materiales como vidrio, papel y cartón, envases o pilas. Esto hace que tan solo se pueda llevar al punto limpio más cercano, lejano en ocasiones (hablamos de distancias de más de 15 km) si no se habita en una ciudad medianamente grande que cuente con uno propio. Esta circunstancia no ayuda al fomento de la recogida del aceite, ya de por sí más complicada que otros reciclajes al tener que introducirlo en un

recipiente. Y aunque ya hay iniciativas empresariales que han hecho que se empiece a recoger este tipo de aceites habilitando contenedores para ese fin, son muy pocos los pueblos y ciudades que cubren. Esto se produce también debido a que es mucho más atractiva una red de establecimientos hosteleros que producen “aparentemente” una cantidad mucho mayor y cuya recogida es mucho más fácil de optimizar. Sin embargo, se calcula que en España el 70% del aceite usado se produce en los hogares. Por eso una estrategia eficaz de concienciación es fundamental para llevar a cabo el reciclaje en hogares.

En este proyecto se estudiará tanto la viabilidad de una red para la producción de aceite usado generado en los domicilios como la posterior incorporación progresiva de establecimientos hosteleros que tengan contratado un servicio con otra empresa dando mejor servicio y con la idea de integrarse en el sistema de recogida de la zona. De esta forma se estudiará una población de tamaño razonable y la posibilidad de integrar a poblaciones vecinas, de forma que se vea a partir de qué población es rentable la recogida y si merece la pena la integración de varios municipios en un mismo sistema de recogida. Tendrá especial importancia también la previsión del porcentaje de aceite usado que se espera recoger respecto al total generado como residuo.

En línea con las futuras posibilidades del sector, se intentará también plantear la posibilidad de hacer uso de grasas animales para intentar agregarlas al proceso de producción de biodiesel dado el cambio en normativas que restringen su uso para producción de piensos para animales, que hace que se necesite darles nuevos usos. También en ese sentido, se tratará de ver las posibilidades de mercado que tienen los subproductos derivados del proceso de producción.

2. Estado actual de la producción de biodiesel

A nivel mundial debido al tipo de cultivos energéticos de gran producción mayoritarios fuera de la Unión Europea, es más común la producción de bioetanol. Brasil está a la cabeza de la producción mundial (15.000 millones de litros en 2004), producido casi en su totalidad a partir de la caña de azúcar. También es uno de los principales consumidores. Estados Unidos es el mayor consumidor de bioetanol y el segundo país productor. Países grandes productores de azúcar como Tailandia están implementando importantes planes de crecimiento de la producción y también destacan grandes países como China e India (tercer y cuarto productor mundial respectivamente). Malasia, segundo productor mundial de aceite de palma, apuesta sin embargo por el biodiesel.

La mayoría de países ha fijado un porcentaje de mezcla obligatoria en los combustibles y/o una cuota de consumo de biocarburantes respecto al total de gasolinas y gasóleos para fomentar su producción y consumo.

Los principales productores de bioetanol se resumen en la siguiente tabla:

<i>Producción de etanol durante 2004, incluyendo usos energéticos e industriales (en miles de metros cúbicos)</i>			
Brasil	15.100	Italia	151
EE.UU.	13.381	Australia	125
China	3.649	Japón	117
India	1.749	Pakistán	98
Francia	829	Suecia	98
Rusia	750	Filipinas	83
Sudáfrica	416	Corea del Sur	83
Reino Unido	401	Guatemala	64
Arabia Saudita	299	Cuba	61
España	299	Ecuador	45
Tailandia	280	México	34
Alemania	269	Nicaragua	30
Ucrania	250	Islas Mauricio	23
Canadá	231	Zimbabwe	23
Polonia	201	Kenya	11
Indonesia	167	Swazilandia	11
Argentina	159	Otros	1.279
Total			40.769

Tabla 2, Producción etanol 2004. Fuente: “Biocarburantes en el transporte”, documento de IDAE

2.1 Producción de biodiesel en Europa

En Europa, sin embargo, el biodiesel es el biocarburante predominante en la producción. De hecho la UE es la principal región productora de este producto. Así, en 2004 se produjeron 2,4 millones de toneladas de biocarburantes de los cuales el 80% fueron biodiesel y en 2005 se produjeron 3,9 millones de toneladas de biocombustibles, de los cuales el 81,5% fueron biodiesel. Sin embargo, ésta producción solo es un 1,6% del mercado de gasóleo (muy variante de un estado a otro) en la UE. Los principales productores son Alemania, Francia e Italia.

En la siguiente tabla se puede observar la producción de biocarburantes de los principales productores europeos.

<i>Producción de biocarburantes en la UE durante 2004 (en toneladas)</i>			
País	Biodiésel	Bioetanol	Total
Alemania	1.035.000	20.000	1.055.000
Francia	348.000	102.000	450.000
Italia	320.000	—	320.000
España	13.000	194.000	207.000
Dinamarca	70.000	—	70.000
República Checa	60.000	—	60.000
Austria	57.000	—	57.000
Suecia	1.400	52.000	53.400
Polonia	—	35.840	35.840
Eslovaquia	15.000	—	15.000
Reino Unido	9.000	—	9.000
Lituania	5.000	—	5.000
Bioetanol vendido por la Comisión Europea	—	87.200	87.200
Total	1.933.400	491.040	2.424.440

Tabla 3, Producción biocarburantes en la UE, 2004. Fuente: “Biocarburantes en el transporte”, documento de IDAE

Como podemos observar en la tabla España en 2004 era un país eminentemente productor de bioetanol, puntero en Europa en ese sentido. Sin embargo, y como veremos en el siguiente apartado, se ha hecho durante estos últimos años un gran esfuerzo y la producción de biodiesel en 2008 ya era de 190.000 toneladas y la de bioetanol de 273.600 toneladas.

La UE ha tratado de fomentar la producción de biocarburantes a través de directivas que fijan unas cuotas objetivo de producción para el total de la UE. Con esto se intenta tanto disminuir la emisión de gases de distintos tipos, así como disminuir la dependencia energética del exterior. La directiva 2003/30/CE de promoción del uso de los biocarburantes y otros combustibles renovables en

el transporte, velaba porque se establecieran unos mínimos de consumo expresados en porcentaje sobre los mercados de gasóleo y gasolina, esa proporción era de un 2% en 2005 y un 5,75% en 2010. Esto se reforzó con una normativa europea en febrero de 2006: la “Estrategia de la UE para los biocarburantes”, que mantenía esos objetivos y era más ambiciosa en el futuro, fijando un consumo en el año 2020 del 8% de biocarburantes en gasolinas y gasóleo, y una sustitución del 20% de los combustibles convencionales por combustibles alternativos dentro de un Plan Europeo global. Cada país ha utilizado distintos instrumentos para establecer incentivos fiscales que hagan competitivos a los biocarburantes. En España, por ejemplo, se aplica un tipo cero del impuesto sobre hidrocarburos de manera que su producción pueda ser viable económicamente.

2.2 Producción de biodiesel en España

La producción de biodiesel en España en el año 2008 fue de 190.000 toneladas, sin embargo, la capacidad era mucho mayor, concretamente de 2.070.020 toneladas en el año 2008. Es decir, un ratio producción/capacidad de un 9%. Esto ocurrió debido a una apuesta importante por la producción de biodiesel en España, pero sobre todo por el gran aumento de las importaciones de biodiesel de otros países haciéndose con el 71% del mercado español disminuyendo así la demanda del producido en España. Esto se producía debido a que estaban doblemente subvencionados (en país origen y en país destino), dándose el fenómeno de dumping.

El dumping consiste en la fijación de precios del producto exportado a un precio menor al coste de producción (o a los precios habituales) de dicho producto en el país importador. En este tema ha habido grandes avances, como las medidas antisubvención y antidumping adoptadas por la Comisión Europea para frenar la importaciones de biodiesel, sobre todo el proveniente de Estados Unidos. Aunque las subvenciones en origen siguen siendo un problema de competitividad, dado que a veces conducen a precios por debajo de costes de producción.

APPA Biocarburantes, que representa a las 36 empresas que producen la mayoría del bioetanol, biodiesel y biogás en España, ya propuso en 2008 que la obligación de consumo de biocarburantes, se cumpliera sólo con biocarburantes fabricados en la Unión Europea, al tiempo que se complementa con las medidas del fomento de consumo de biocarburantes. Esto ya se ha adoptado en otros países del entorno como Francia, Portugal o Italia para asegurar la supervivencia de la industria nacional. (APPA Biocarburantes está integrada en la Asociación de Productores de Energías Renovables, APPA)

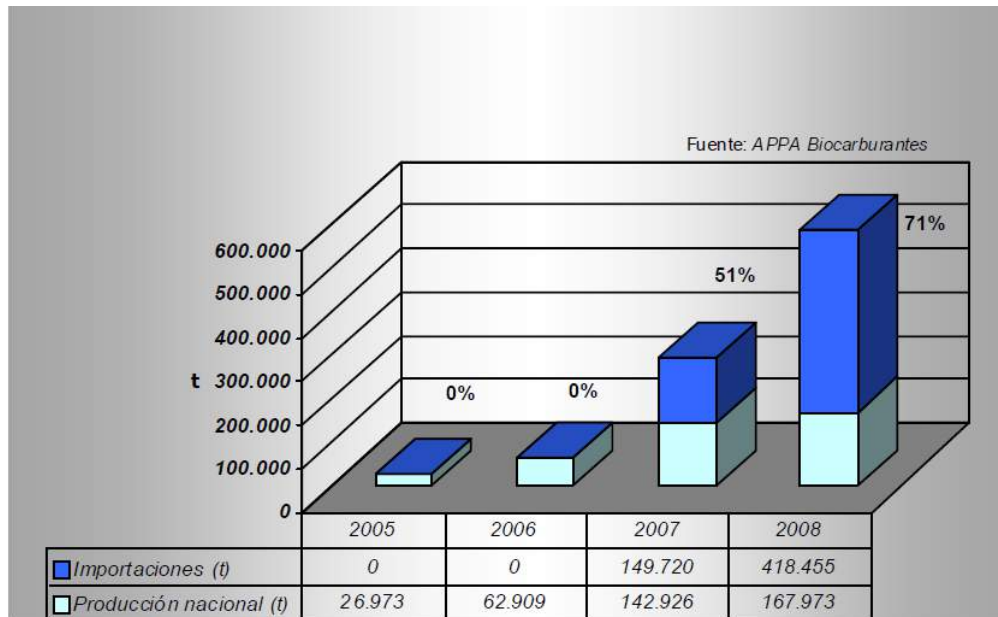


Figura 4. Evolución de las ventas de biodiesel en España por origen. APPA Biocarburantes

En 2010 había 57 plantas de producción de biodiesel en España. 36 de ellas ya operaban en 2008, 18 más empezaron a producir en 2009 y tres más en 2010. La capacidad de producción total de biodiesel en 2010 era de 4.719.620 de toneladas, repartida de la siguiente manera (Fuente: APPA Biocarburantes):

- Plantas de biodiesel en España a 31 de diciembre de 2008.

EMPRESA	LOCALIDAD	PROVINCIA	CAPACIDAD
<i>Infinita Renovables</i>	Castellón	Castellón	300.000 t
<i>Bioenergética Extremeña 2020</i>	Valdetorres	Badajoz	250.000 t
<i>Bio-Oils Huelva I</i>	Palos de la Frontera	Huelva	250.000 t
<i>Combustibles Ecológicos Biotel</i>	Barajas de Melo	Cuenca	150.000 t
<i>Biocarburentes CLM</i>	Ocaña	Toledo	105.000 t
<i>Biodiésel Aragón</i>	Altorricón	Huesca	100.000 t
<i>Linares Biodiésel Technology</i>	Linares	Jaén	100.000 t
<i>Biocom Energía</i>	Algemesí	Valencia	75.000 t
<i>Biodiésel Caparroso</i>	Caparroso	Navarra	70.000 t
<i>Biocombustibles de Cuenca</i>	Cuenca	Cuenca	50.000 t
<i>Ecoproductos Cast. La Mancha</i>	Montalbo	Cuenca	50.000 t
<i>Bionet Europa</i>	Reus	Tarragona	50.000 t
<i>Entabán Biocomb. Guadalquiv.</i>	Sevilla	Sevilla	50.000 t
<i>Biodiésel Castilla la Mancha</i>	Santa Olalla	Toledo	45.000 t
<i>Biodiesel de Andalucía 2004</i>	Fuentes de Andalucía	Sevilla	40.700 t
<i>Combunet</i>	Monzón	Huesca	40.000 t
<i>Energía Gallega Alternativa</i>	Cerceda	A Coruña	40.000 t
<i>Bionor Berantevilla</i>	Berantevilla	Álava	35.320 t
<i>Biocarburentes de Galicia</i>	Begonte	Lugo	35.000 t
<i>Grupo Ecológico Natural</i>	Llucmajor	Baleares	33.000 t
<i>Stocks del Vallès</i>	Montmeló	Barcelona	31.000 t
<i>Hispanergy Puertollano</i>	Puertollano	Ciudad Real	25.000 t
<i>Entabán Biocomb. del Pirineo</i>	Alcalá de Gurrea	Huesca	25.000 t
<i>Biocarburentes Almadén</i>	Almadén	Ciudad Real	21.000 t
<i>Biocarburentes de Castilla</i>	Valdescorriel	Zamora	20.000 t
<i>Diesol</i>	Alcalá de Henares	Madrid	15.000 t

<i>Bioteruel</i>	Albalate del Arzobispo	Teruel	10.000 t
<i>Comb. Ecol. Mediterráneo</i>	Elda	Alicante	10.000 t
<i>Albabio Andalucía</i>	Níjar	Almería	6.000 t
<i>Biocarbuos de Alanzora</i>	Cuevas de Alanzora	Almería	6.000 t
<i>Biodiésel Carburantes</i>	Carranque	Toledo	6.000 t
<i>Bercam</i>	Los Yébenes	Toledo	6.000 t
<i>Bionorte</i>	San Martín del Rei	Asturias	5.000 t
<i>Biocomb. de Castilla y León</i>	San Cristóbal de Entrevías	Zamora	6.000 t
<i>Transportes Ceferino Martínez</i>	Vilafant	Girona	5.000 t
<i>Asthor Biodiésel</i>	Gijón	Asturias	4.000 t
TOTAL			2.070.020 t

- Nuevas plantas de biodiesel en España en 2009:

<i>EMPRESA</i>	<i>LOCALIDAD</i>	<i>PROVINCIA</i>	<i>CAPACIDAD</i>
<i>Infinita Renovables</i>	Castellón	Castellón	+300.000 t
<i>Infinita Renovables</i>	Ferrol	A Coruña	300.000 t
<i>Iniciativas Bioenergéticas</i>	Calahorra	La Rioja	250.000 t
<i>Abengoa San Roque</i>	San Roque	Cádiz	200.000 t
<i>Biodiésel Bilbao</i>	Ziérbana	Vizcaya	200.000 t
<i>Saras Energía</i>	Cartagena	Murcia	200.000 t
<i>Cogeneración de Andújar</i>	Andújar	Jaén	200.000 t
<i>Biocombustibles de Ziérbana</i>	Ziérbana	Vizcaya	200.000 t
<i>Entabán Biocomb. de Galicia</i>	Ferrol	A Coruña	200.000 t
<i>Biocarburantes Peninsulares</i>	Narón	A Coruña	120.000 t
<i>Greenfuel Extremadura</i>	Los Santos de Maimona	Badajoz	110.000 t
<i>Sdad. Coop. Gral. Agrop. Acor</i>	Olmedo	Valladolid	100.000 t
<i>Aceites del Sur – Coosur</i>	Tarancón	Cuenca	50.000 t
<i>Dipesa Gestión</i>	Madrid	Madrid	50.000 t
<i>Augas Mansas</i>	As Pontes	A Coruña	34.000 t
<i>Solartia</i>	Los Arcos	Navarra	28.500 t
<i>Hispanergy del Cerrato</i>	Herrera de Valdecañas	Palencia	25.000 t
<i>Biocom Pisuerga</i>	Castrojeriz	Burgos	6.000 t
TOTAL			2.273.500 t

- Nuevas plantas de biodiesel en España en 2010:

<i>EMPRESA</i>	<i>LOCALIDAD</i>	<i>PROVINCIA</i>	<i>CAPACIDAD</i>
<i>Bio-Oils Huelva II</i>	Palos	Huelva	250.000
<i>Greenfuel Aragón</i>	Andorra	Teruel	110.000
<i>Biodiésel de la Ribera</i>	Milagro	Navarra	16.100
<i>TOTAL</i>			<i>376.100 t</i>

A pesar de algunas medidas tomadas en 2008, las importaciones de biodiesel seguían ocupando un mercado del 60% a finales de 2010 (la mayoría de Argentina, aunque también de Estados Unidos, Canadá y Malasia) y las plantas españolas produjeron un 10% respecto a su capacidad. Esto hizo que cerraran varias plantas reduciéndose el número total a 46. Sin embargo, hay planes de grandes empresas energéticas para construir nuevas plantas con gran capacidad.

Para impulsar el consumo de biodiesel, el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio remitió a la Comisión Nacional de la Energía (CNE) una propuesta de normativa que incluye objetivos de mezcla obligatoria de biocarburantes del 5,9% en 2011, del 6% en 2012 y del 6,1% en 2013. La nueva propuesta normativa establece también un mecanismo para evitar las importaciones desleales con las que se pone en peligro el esfuerzo inversor realizado en España con la construcción de las 46 plantas de biodiesel. El nuevo sistema establece el reparto de unas cantidades de producción por planta que contabilizan para la consecución de los objetivos nacionales. Todo el biocombustible que entre en España fuera de este sistema de cantidades no valdrá para que los operadores cumplan las metas oficiales, lo que desincentivará la importación desleal. Además, las cuotas, que superarán ampliamente la demanda, serán intransferibles para evitar la especulación. El sistema estará vigente durante dos años, prorrogable a otros dos más.

España consume progresivamente más diesel y menos gasolina, consecuencia sobre todo de los precios más bajos del diesel dado que sus impuestos son menores que los de la gasolina, debido a que originariamente lo utilizaban sobre todo vehículos pesados y vehículos comerciales (ambos los que más kilometraje

realizaban), con la intención de no gravarles mucho. Sin embargo, esos precios y el menor consumo de los motores diesel han aumentado la demanda de dicho producto a pesar de que un vehículo con motor diesel es más caro que uno con motor para gasolina (ciclo Otto).

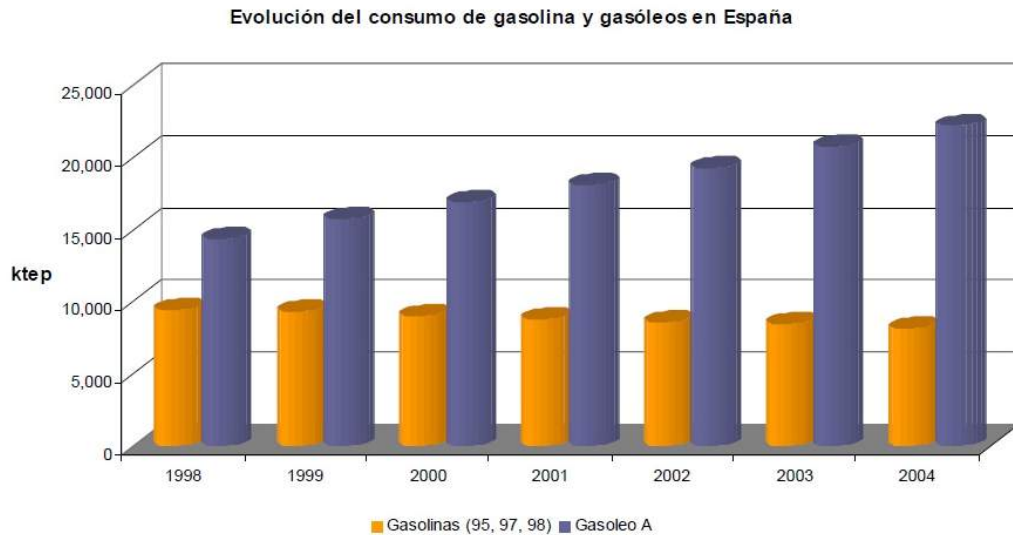


Figura 5. Evolución del consumo de gasolina y gasóleos en España en ktep (kilotoneladas equivalentes de petróleo). “Una estrategia de biocarburantes para España”, APPA

Esto ha producido dos efectos. Por una parte el precio actual del combustible diesel está mucho más cercano al de la gasolina que antes (a pesar de seguir siendo más barato). Y por otra parte, hace que tengamos que importar diesel y exportar gasolina, ya que las refinerías de España están pensadas con un modelo de cracking orientado a producir una cantidad mayor de gasolina que de diesel. Un ejemplo claro de esto es la reciente importante inversión de Repsol en su refinería de Cartagena para producir más diesel.

Esta es una razón más para apostar por el biodiesel como combustible que ayude a España a disminuir la dependencia energética del exterior.

2.3 Producción de biodiesel a partir de aceite usado en España

De las plantas nombradas anteriormente producen biodiesel a partir de aceites usados al 100% o en alguna proporción con otros aceites las siguientes: Bionet Europa (50.000 t/año), en Reus (Tarragona); Biodiesel Castilla La Mancha (45.000 t/año), en Santa Olalla (Toledo); Bionor Transformación(35.320 t/año), en Berantevilla (Álava); Grupo Ecológico Natural (33.000 t/año), en Lluçmajor (Mallorca); Stocks Del Vallés(31.000 t/año), en Montmeló (Barcelona); Biocarburantes De Castilla(20.000 t/año), en Valdescorriel (Zamora); Albabio Andalucía(6.000 t/año), en Níjar(Almería); Bionorte(5.000 t/año), en San Martín del Rey Aurelio (Asturias); y Asthor Biodiesel (4.000 t/año), en Gijón.

Estas plantas suman un total de 229.320 toneladas al año de capacidad de producción y alguna de ellas produce con una parte de aceites no usados. Por lo que podemos afirmar que todavía hay un gran margen para producir biodiesel a partir de aceite usado debido a que se estima que se generan en España 750.000 toneladas al año de aceite usado (2004). A eso hay que sumar que se habla de capacidad, puesto que esas plantas probablemente produjeron menos de su capacidad y teniendo en cuenta que la recogida de aceite usado de hogares se estima en un 70% de dichos residuos y brilla por su ausencia en la mayoría de ciudades españolas como sistema de recogida, salvo por los puntos limpios y alguna zona de España donde si se realiza comúnmente (Extremadura, ciudades de Andalucía como Sevilla o Cádiz y alguna pequeña región).

Cabe destacar que la mayoría de las plantas no tienen integrado un sistema de recogida, existiendo un mercado de aceite usado. Unas veces, estas plantas fueron proyectadas por empresas de recogida de aceite usado que cobran a la planta por dicho servicio y otras veces las plantas compran dicho aceite a la empresa de recogida de turno. Integrar la recogida en el proceso de producción sería un paso adelante que abarataría la materia al no haber intermediario y por el hecho de poder optimizar la logística desarrollando en ocasiones proyectos de plantas cercanas al lugar de generación de dichos residuos. Esta es una de las

novedades del proyecto, puesto que como se observa ya hay plantas operando con este tipo de tecnología, pero no tienen integrada la recogida en su proceso y alguna de ellas no realiza los tratamientos previos a la transesterificación para acondicionar dicho aceite usado. Estos dos aspectos son el centro del proyecto para estudiar el abaratamiento del coste de producción mediante dicha integración.

Externalizar la recogida elimina riesgos de suministro y en caso de no realizar en planta los tratamientos previos se eliminan riesgos derivados de la calidad del producto, pero encarece el producto final en un sector en el que de partida sin exenciones fiscales (tipo cero del impuesto de hidrocarburos) sería inviable económicamente y en el que la materia prima es aproximadamente la mitad del coste del producto final en el caso del biodiesel fabricado a partir de cultivos energéticos. Este aspecto es la ventaja competitiva que se trata de alcanzar con la producción a partir de aceite usado.

Capítulo II: Producción de biodiesel a partir de aceite usado

1. Logística para la recogida de residuos

En este apartado se tratarán todos los aspectos relacionados con la recogida del aceite usado, así como la localización de la planta y las posibilidades de transporte posterior del biodiesel.

Como hemos analizado en el capítulo anterior, la recogida del aceite usado es la etapa más importante puesto que aproximadamente la mitad del coste de producción del biodiesel se debe a la materia prima. De esta manera, se pretende que el coste de obtención de la materia prima disminuya al reducirse exclusivamente a los costes de recogida del aceite usado.

En un principio, se había contemplado la recogida de aceites tanto de hogares como del canal HORECA (Hoteles, restaurantes y catering) y otros establecimientos públicos como hospitales, escuelas e institutos, así como intentar integrar en el proceso las grasas provenientes de la industria alimentaria. Sin embargo, finalmente se ha optado por centrarse en la recogida de aceite usado que se produce como residuo en los hogares debido a varios factores:

- En los hogares españoles se producen aproximadamente el 70% de los aceites vegetales usados.
- Salvo en algunas ciudades y regiones donde sí que existe una recogida semejante al del resto de materiales reciclables con contenedores, en la mayoría de ciudades la recogida de este producto se restringe a los llamados Puntos Limpios, no presentes en todas las poblaciones y que según datos de OCU de 2008, el 46% de la población no ha usado nunca un punto limpio. Por lo que es un sector de recogida a explotar tanto por falta de infraestructura como por el bajo porcentaje de aceite usado producido por este sector que se recoge actualmente.
- El canal HORECA y otros establecimientos como hospitales y colegios ya suelen tener contratado un servicio de recogida periódica de aceites con compañías con experiencia en el sector, al estar regulado en la

mayoría de las ciudades para este tipo de establecimientos. Esto hace más complicado entrar en ese sector, aunque se podría intentar integrarlo posteriormente en la recogida al establecer la planta en el municipio o región. Sobre todo los edificios públicos dependientes del municipio.

Así pues, trataremos de demostrar la reducción de costes de la materia prima mediante recogida de aceite vegetal usado centrándonos en el producido en domicilios. Se tratará de hacer una aproximación real mediante el análisis de una recogida en varias ciudades de distinto tamaño de población que nos den unos costes reales de la obtención de la materia prima y que nos permita ver para que tramos de tamaño de población puede resultar rentable establecer un sistema de recogida. Además permitirá establecer unos volúmenes de materia que tendremos en cuenta para el diseño de la planta. El sistema de recogida utilizado en un principio será el de recogida periódica del residuo de contenedores, semejante al que se utiliza actualmente para recoger en las ciudades los residuos reciclables tales como papel y cartón, vidrio, envases o pilas.

En un principio, se pensó seleccionar dos ciudades de distinto tamaño para realizar el estudio. Se pensaba en ese caso, seleccionar una gran ciudad-dormitorio del área metropolitana de Madrid como ciudad grande (entorno a los 150.000-200.000 habitantes) y otra ciudad del área metropolitana de menor tamaño cercana a los 70.000 habitantes. La razón de seleccionar estas dos ciudades era fundamentalmente tener dos tamaños distintos que pudieran darnos una magnitud de la rentabilidad en función del tamaño de la población. Además, debían ser dos ciudades bien comunicadas y que tuvieran espacios donde poder desarrollar la planta de producción.

Sin embargo, tras contactar con expertos del sector, obtener información y hacer unos primeros cálculos, se llegó a la conclusión de que teniendo en cuenta la recogida de residuos esperada se descartaba en cualquier caso la posibilidad de instalar la planta en la ciudad de menos habitantes considerándola como abastecedora única, al no tener unas expectativas de recogida suficientes como para garantizar unos niveles mínimos de producción que permitan la viabilidad de la planta. Es más, las cantidades estimadas para la gran ciudad dormitorio resultarían

para montar una planta de pequeña producción, por lo que su rentabilidad estaría por ver.

Una cantidad razonable de recogida es de unos 600 kg al mes por contenedor, para un nivel de contenerización de 3.000 habitantes por contenedor. Esto hace que la cantidad recogida anualmente en una población de 70.000 habitantes (47 contenedores con una contenerización de 3.000 habitantes por contenedor) sea de:

$$Re\ cogida = 24contenedores * 600 \frac{kg}{contenedor * mes} * 12 \frac{mes}{año} = 172.800 \frac{kg}{año} = 172,8 \frac{Tn}{año}$$

La planta más pequeña de España en la actualidad tiene una capacidad de 4.000 toneladas de producción anual. De la misma manera a la ciudad metropolitana más grande de Madrid, que es Móstoles con 205.015 habitantes le corresponderían 69 contenedores, por lo que la recogida esperada sería:

$$Re\ cogida = 68contenedores * 600 \frac{kg}{contenedor * mes} * 12 \frac{mes}{año} = 489.600 \frac{kg}{año} = 489,6 \frac{Tn}{año}$$

Se observa que la población de 70.00 habitantes tendría una producción muy pequeña y Móstoles empezaría a acercarse a una cantidad producida como para barajar el montar una planta que consiga su suministro de varias ciudades de esta magnitud. Por estas razones, al final se ha decidido hacer un estudio con la planta a las afueras de una ciudad dormitorio que tenga próximas a ella otras ciudades dormitorio, al ser posible también de gran tamaño, para estudiar la rentabilidad de ampliar la red de recogida a ciudades cercanas. De esta manera se verá si merece la pena el aumento de la cantidad recogida, aumentando la distancia y los kilómetros de ruta a la planta. Se detallarán más estos factores y dando datos cuantitativos en los apartados 1.2 y 1.3 de este capítulo, referidos respectivamente a “localización de la planta y número de contenedores” y a “localización de los contenedores”.

Así, el diseño de la recogida tendrá en cuenta el volumen esperado de recogida del residuo, el modelo, número y localización de los contenedores, los vehículos a

utilizar y la ruta más adecuada de manera que se trate de optimizar al máximo el coste de dicha recogida.

1.1 Selección del modelo de contenedores

Se ha elegido una recogida con contenedores semejante a la del papel o vidrio ya que es la más aceptada por la gente debido a su proximidad frente a otros modelos como los de reciclaje en supermercado que son más incómodos y donde haría falta llegar a un acuerdo con las distintas marcas para tener un sistema efectivo. Por otra parte, el tener contenedores próximos a otros para otros materiales como pueden ser el papel y el vidrio, hacen más fácil la tarea del reciclaje a la persona que desee llevarla a cabo.

Una vez establecido que queremos llevar a cabo una recogida del aceite mediante contenedores, deberemos elegir el modelo concreto a utilizar según las posibilidades que hay en el mercado. Tras un estudio preliminar se pueden definir principalmente dos tipos de contenedores disponibles en el mercado. Un primer tipo diseñado para alojar botellas que habrían sido llenadas de aceite usado por la persona que la tira en el contenedor y un segundo tipo de contenedor en el que se puede verter directamente a través de una rejilla el aceite usado. El primer modelo parece a priori menos engorroso para el usuario aunque el segundo permite la reutilización del recipiente que es rellenado de aceite usado. La comodidad para el usuario, unida al menor coste y complejidad de recogida, hacen que la balanza se incline hacia el sistema para recolectar aceite en botellas. De ese modo no necesitaremos unos camiones con medias especiales como cisternas a la hora de realizar la recogida. Además, se ha constatado que hay una mayor relación de empresas que fabrican contenedores para la recogida en botellas que contenedores para verter directamente el aceite, por lo que a la hora de una negociación final, será más fácil ajustar precios. Por todas estas razones, se va a analizar la oferta de los distintos modelos de contenedores de este tipo.

1.1.1 Modelos de contenedor diseñados para alojar botellas

Tras investigar los productos que había en el mercado y contactar con las distintas empresas fabricantes de contenedores, se presenta aquí la oferta de los productos y modelos que más se adecuan a idea de recogida de residuo que se desea implantar en este proyecto.

La oferta aquí recogida es de precios unitarios y por lotes pequeños de determinado número de unidades, ya que los fabricantes no se comprometen a dar presupuestos para lotes grandes en un principio. Es por esto, que cabe destacar que de adquirir grandes cantidades de contenedores, se podría llegar sin duda a mejores precios. No obstante servirá para tener una primera idea de la oferta de precios.

Los fabricantes de los que a continuación pasaremos a detallar sus modelos son: Jofesa, Cervic, Sannimobel y Alquienvas.

Modelos Jofesa

La marca Jofesa presenta dos modelos, el Jofe-08 Estándar y el Jofe-08 Mini. Ambos con distinta capacidad.

Características técnicas del contenedor Jofe-08:

- Capacidades: 120 lt, 240 lt, 360 lt, 670 lt y 900 lt.
- Acero Galvanizado de 2 mm de espesor.
- Esquinas anti-impactos de 3 mm de espesor.
- Bancada para anclar al suelo de 6 mm de espesor y galvanizada en caliente para evitar corrosiones.
- Rampa de seguridad interior antiderrames.
- Doble cerradura con cerrojos tipo "fac".

- Fabricación modular para el cambio "insitu" de piezas por posibles golpes o accidentes.
- Pintura ignífuga lacada en polvo de epóx-poliéster polimerizado al horno. Además va provisto de un recubrimiento nanocerámico que incrementa la resistencia a la corrosión en las superficies metálicas pintadas. Color a concretar por el cliente.
- Cuba interior metálica o de polietileno de alta densidad fabricada con material virgen, ignífugo y con certificado de calidad ISO 9001 e ISO 14001.
- Trampilla de vertido retornable con burletes antivandálica y antihurtos.

Los precios para ambos varían según el número de contenedores a adquirir, aquí se presenta la oferta para los modelos de 240 y 670 litros:

Modelo	Capacidad (Litros)	Unidades	Precio Unidad	Cubo interior	IVA	Precio total
Jofe-08 Estandar	670	1	800 €	130 € extra	144 €	1.074 €
		1 a 10	750 €		135 €	1.015 €
		10 o más	730 €		131 €	991 €
Jofe-08 Mini	240	1	500 €	78 € extra	90 €	668 €
		1 a 10	450 €		81 €	609 €
		10 o más	430 €		77 €	585 €





Figuras 6 y 7, JOFE-08 Estándar (670 Litros)



Figuras 8 y 9, JOFE-08 Mini (240 Litros)

Modelos Cervic

La empresa Cervic presenta varios modelos. El modelo estándar que recibe nombre según su distinto tamaño: Maxi, Mini y Micro y el modelo NEO que se presenta en tres tamaños 120, 240 y 480 litros.

Características técnicas de los contenedores Maxi, Mini y Micro:

- 100% estanco sin riesgo de derrames o fugas.
- Estructura exterior y cuba interior metálicas 100% ignífugas.
- Excelente resistencia a agentes ambientales externos.
- De construcción modular y antivandálica, permite la sustitución de elementos.
- Posee dos bocas de deposición delantera y trasera con autocierre y sistema para dificultar la extracción del interior.
- Puerta de acceso al interior protegida con cierres de seguridad.
- Disponible versión Maxi adaptada para personas con movilidad reducida.



Capacidad: 900 litros	Capacidad: 450 litros	Capacidad: 360 litros	Capacidad: 120 litros
Carcasa exterior: metálica	Carcasa exterior: metálica	Carcasa exterior: metálica	Carcasa exterior: metálica
Cuba interior: metálica	Cuba interior: metálica	Cuba interior: polietileno de alta densidad (2 ruedas)	Cuba interior: polietileno de alta densidad (2 ruedas)
Dimensiones: 1050x1400x1900 mm	Dimensiones: 830x910x1600 mm	Dimensiones: 830x910 x1600 mm	Dimensiones: 670x610 x1400 mm
100% Ignífugo	100% Ignífugo		

Figura 10, Modelos y principales características modelos Cervic

Características técnicas de los contenedores Neo:

- Compatible con cualquier contenedor de 120 y 240 litros, (también presentación para alojar 480 litros).
- Estructura metálica y contenedor interior de plástico de 2 ruedas.
- Estructura exterior 100% ignífuga.
- Excelente resistencia a agentes ambientales externos.

- Boca de deposición con autocierre y sistema para dificultar la extracción del interior.
- Puerta de acceso al interior protegida con cierres de seguridad.
- Rotulación identificativa del residuo integrada.
- Posibilidad de incorporación de bandeja interior estanca.



Figura 11, Contenedores Neo 480 litros, Neo 240 litros y Neo 120 litros



Figura 12, Distinto sistema de introducción de botella según 240 l o 120 l.



Figura 13, Interior del modelo Neo de 480 litros

Este es el resumen de precios de los distintos modelos de Cervic:

Marca	Modelo	Capacidad (Litros)	Unidades	Precio Unidad	Cubo interior	IVA	Precio total
Cervic	NEO	480	1	725 €	Incluido	Incluido	725 €
		240		450 €			450 €
		120		330 €			330 €
	MAXI	900		1.056 €			1.056 €
	MINI	450		862 €			862 €
	MINI	360		700 €			700 €
	MICRO	120		483 €			483 €

Modelos Sanimobel

La empresa Sanimobel presenta varios modelos. Los modelos Ref. S31 y S32 de 900 y 360 litros respectivamente y los modelos Ref. S33 y S34.

Características técnicas de los contenedores S31, S32, S33 y S34:

- Presentación en 2 tamaños: 900 y 360 litros de capacidad.
- Estructura metálica. Construcción robusta, con un diseño específico para recogida selectiva de distintos materiales.
- El contenedor S31 de 900 litros incluye en su interior una cuba de acero galvanizado. Los modelos de 360 litros es opcional el cubo de polietileno interior.
- Recogida de aceite mediante puerta abatible manual.
- Opción de llave de seguridad o candado en la puerta.
- Dimensiones:

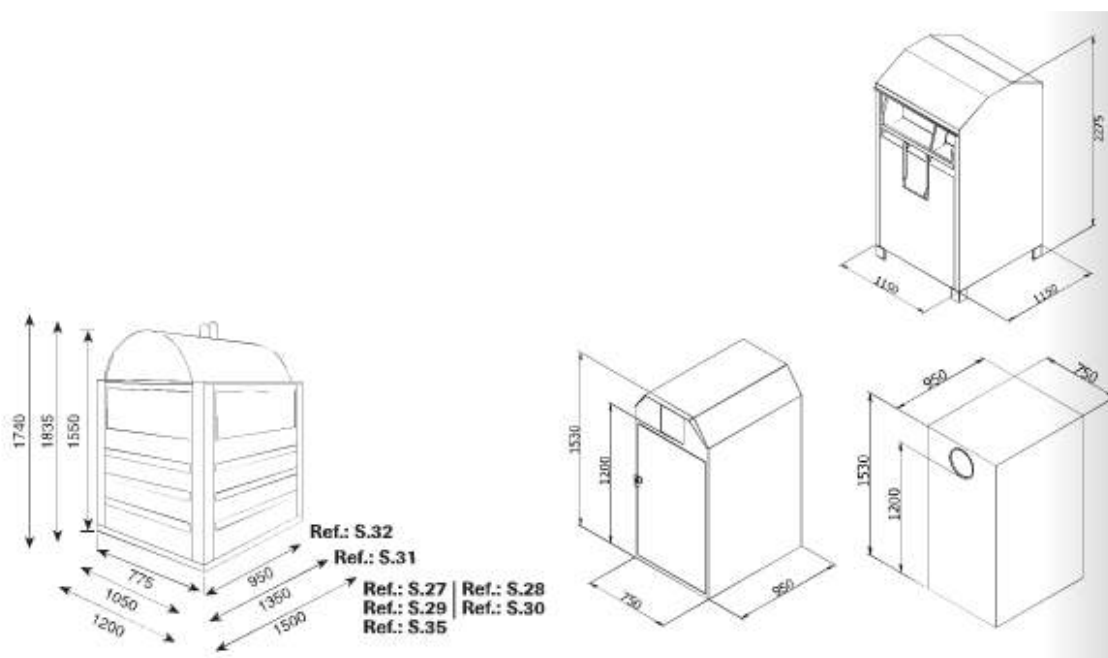


Figura 14, Dimensiones contenedores Sanimobel



Figura 15, Modelos Ref. S31(900 litros) con cubeta metálica y S32 (360 litros)



Figura 16, Modelos S33 y S34. Ambos de 360 litros.

Estos son los precios de los distintos modelos de Sanimobel. El precio es por contenedor comprando el número de contenedores indicado. Además,

esta empresa incluye en el precio el transporte de los lotes dentro de la península.

Marca	Modelo	Capacidad (Litros)	Unidades	Precio Unidad	Cubo interior	IVA	Precio total
Sanimobel	Ref.S31	900	19	800 €	Incluido	144 €	944 €
	Ref.S33, S34	360	39	400 €		72 €	472 €

Modelos Alquienvas

La empresa Alquienvas comercializa un modelo de 900 litros, el IG.90 y un modelo de 240 litros, el CM.240.

Características técnicas del contenedor IG.90:

- Contenedor galvanizado para recogida selectiva de aceite doméstico usado, embotellado.
- Contenedor formado por una carcasa exterior de chapa de acero galvanizado de 2mm. de espesor y una cuba interior estanca de (LxAxH): 110 x 90 x 125 cm, también de acero galvanizado.
- Ganchos y tornillería tratados contra la corrosión.
- La cuba interior dispone en su parte superior de agujeros para su izado y manipulación mediante grúa.
- El contenedor dispone de dos buzones o bocas superiores uno en la cara frontal y otra en la cara posterior. Estas bocas metálicas son basculantes con abertura hacia el interior, tipo buzón. Recubiertas en su perímetro de una goma para evitar el ruido. Este tipo de bocas permite una fácil y cómoda introducción de los envases. Permitiendo botellas, bidones o garrafas de aceite doméstico de hasta 5 litros.
- La carcasa exterior tiene unos orificios en los patines de la base para atornillarla al suelo y así evitar vuelcos o desplazamientos.

Imágenes del contenedor IG.90:



Figuras 17 y 18, Contenedor IG.90 de Alquienvas



Figura 19, Contenedor IG.90 de Alquienvas

Características técnicas del contenedor CM.240:

- Contenedor metálico en color gris oscuro muy discreto, que mejora la funcionalidad y la apariencia de los espacios reservados para la recogida selectiva de aceite usado.
- En su interior se puede utilizar un contenedor rodante (NO incluido) para recogida mecanizada de 140 o 240 litros (según modelo).
- Tiene una puerta frontal para facilitar la extracción de dicho contenedor plástico.
- Tapa superior que facilita la inserción controlada de las botellas con residuo.
- Se pueden fijar al suelo mediante tornillos e instalar varios contenedores uno al lado del otro gracias a sus formas cuadradas.

- Personalizables bajo demanda con adhesivo para la recogida selectiva.
- Capacidad: 240 l.
- Largo: 72 cm.
- Ancho: 85 cm.
- Alto: 130 cm.
- Peso en vacío: 80 Kg

Imágenes del contenedor CM.240:



Figura 20, Contenedor CM.240

Este es el resumen de precios de los contenedores de Alquienvas:

Marca	Modelo	Capacidad (Litros)	Unidades	Precio Unidad	Cubo interior	IVA	Precio total
Alquienvas	IG.90A	900	1	950 €	Incluido	171 €	1.121 €
	CM.240	240	1	968 €		174 €	1.142 €
			12	580 €		104 €	684 €

Tabla resumen de precios de los distintos vendedores

Marca	Modelo	Capacidad (Litros)	Unidades	Precio Unidad	Cubo interior	IVA	Precio total
Jofesa	Jofe-08 Éstandar	670	1	800 €	130 € extra	144 €	1.074 €
			1 a 10	750 €		135 €	1.015 €
			10 o más	730 €		131 €	991 €
	Jofe-08 Mini	240	1	500 €	78 € extra	90 €	668 €
			1 a 10	450 €		81 €	609 €
			10 o más	430 €		77 €	585 €
Cervic	NEO	480	1	725 €	Incluido	Incluido	725 €
		240		450 €			450 €
		120		330 €			330 €
	MAXI	900		1.056 €			1.056 €
	MINI	450		862 €			862 €
	MINI	360		700 €			700 €
	MICRO	120		483 €			483 €
	Sanimobel	Ref.S31		900			19
Ref.S33, S34		360	39	400 €	72 €	472 €	
Alquienvas	IG.90A	900	1	950 €	Incluido	171 €	1.121 €
	CM.240	240	1	968 €		174 €	1.142 €
			12	580 €		104 €	684 €

1.1.2 Selección del modelo de contenedor

Las características de los contenedores en general son similares y prácticamente todos cumplen con las condiciones necesarias para un correcto almacenamiento y posterior recogida. Casi todas las compañías presentan algún modelo con cubeta metálica para cumplir las condiciones de seguridad.

Una característica importante es la capacidad, ya que el único coste de la recogida será el combustible gastado durante la recogida y transporte del residuo, junto con los gastos asociados de equipo y personal. Por lo tanto, cuantos menos viajes se realicen mejor resultará. Siguiendo este criterio se va a elegir un modelo entre los de capacidad de 900 litros.

Así, nos quedarían los modelos de Cervic, Sanimobel y Alquienvas. De entre estos tres el precio será un factor determinante. El más barato es el de Sanimobel, pero es que además dicho precio incluye el transporte a cualquier punto de la península, lo que nos da una razón más para elegir el modelo S31 de Sanimobel que cuesta 944€ cada unidad.



Figura 21, Modelo Ref. S31 (900 litros) con cubeta metálica

1.2 Localización de la planta y número de contenedores

En España se producen aproximadamente 750.000 toneladas al año de aceite vegetal usado (dato de 2004). Suponiendo que los residuos generados por persona sean semejantes en la actualidad y teniendo en cuenta que en 2004 España contaba con unos 44 millones de habitantes, la cantidad de residuo generada es de unos 17 kg/persona al año. Teniendo en cuenta que como hemos dicho, el 70% de ese aceite usado es el generado en domicilios, podemos afirmar que se producen 11,93 kg/persona, es decir, aproximadamente 12 kg/persona al año de de aceite doméstico.

$$\frac{750.000.000 \frac{kg}{año}}{44.000.000 personas} = 17,04 \frac{kg}{persona * año} \rightarrow 17,04 \frac{kg}{persona * año} * 0,7 = 11,93 \frac{kg}{persona * año}$$

Este dato permitirá acercarnos a la cifra de residuo que se produce en una determinada ciudad sabiendo el número de habitantes. Evidentemente esa cifra no será la del aceite que se va a recoger ya que siempre se tendrá en cuenta un porcentaje determinado que se espera recoger y que irá aumentando conforme esté instaurado el sistema y pase el tiempo. Así se podrán hacer proyecciones para los primeros años o estimar en base a los niveles de contenerización teniendo en cuenta la experiencia en otras ciudades donde ya esté instaurada la recogida de aceite usado.

Si aplicamos el dato de 12 kg/persona al año para los dos tipos de ciudades que habían sido elegidas inicialmente para el estudio, entonces tenemos que para Majadahonda, con 70.076 habitantes (INE, 1/1/2010), produce 840.192 kg/año. Teniendo en cuenta la densidad del aceite (0,92 kg/l) serían 913.252 l/año. Lo dejaremos así ya que la capacidad de los contenedores viene dada en litros.

Para Leganés con 186.552 habitantes (INE, 1/1/2010), produciría 2.433.287 kg/año.

Sin embargo, como hemos dicho dichas cantidades están muy lejanas a las esperadas a recoger. De hecho otros materiales en los que el reciclaje lleva

mucho tiempo implantado han tardado en obtener buenos porcentajes de recogida.

Un aspecto importante a tener en cuenta en el caso de la recogida en vía pública mediante contenedores es el nivel de contenerización. Esto es la cantidad de habitantes por contenedor que es lo que definirá el número de contenedores instalados.

Para los residuos habituales como el vidrio o el papel y cartón, el nivel adecuado de contenerización debe ser de un contenedor por cada 1.500 o 2.000 habitantes, dependiendo del tipo de ciudad. Sin embargo, para la recogida de aceite usado, lo habitual es que dicho nivel de contenerización descienda hasta un contenedor cada 3.000 habitantes.

Si se aplican estos parámetros a las ciudades seleccionadas, Majadahonda necesitaría 24 contenedores en caso de aplicar un nivel de contenerización de 3.000 habitantes por contenedor. Leganés necesitaría 62 contenedores con el nivel de 3.000 habitantes por contenedor.

Con estos datos y unas proyecciones de lo que se suele recoger por contenedor a medida que pasa el tiempo desde que se instalaron los contenedores, basadas en experiencias previas desarrolladas en otras ciudades, trataremos de obtener el volumen esperado aproximado que nos servirá para el diseño de la planta donde transformaremos el aceite vegetal usado en biodiesel.

Con los niveles de contenerización indicados anteriormente para la recogida de aceite usado se estima que se pueden recoger en un periodo corto de tiempo unos 600 kg/mes en un contenedor de 600 litros o mayor. E incluso pueden llegar a los 1.000 kg/mes trascurrido un tiempo cuando el sistema ya está implantado.

Tomando los 600 kg/mes como una medida inicial coherente para un nivel de contenerización de 3.000 habitantes por contenedor, se hace un cálculo para las 2 ciudades tomadas como primera toma de contacto como se ha hecho al principio del capítulo, de manera que se sacarían los siguientes datos:

Los 600 kg equivalen a 652,17 litros/mes de aceite. Para Majadahonda, que habíamos calculado 24 contenedores, se recogerían 15.652 litros/mes lo que multiplicado por los 12 meses darían 187.826 litros/año. Para Leganés, que habíamos calculado 62 contenedores, se recogerían 40.555 litros/mes lo que multiplicado por los 12 meses darían 486.657 litros/año.

Esta primera aproximación nos lleva a ver que el volumen de producción que podríamos sacar en una ciudad con una población cercana a 70.000 habitantes no sería el suficiente como para montar una planta de producción. De hecho, la planta más pequeña de España produce 4.000 toneladas al año como se había comentado. Esto deja claro, que aunque la producción que se podría alcanzar en Leganés teniendo en cuenta nuestros cálculos es ya un volumen a considerar, se debería estudiar la posibilidad de hacer el estudio logístico para hacer la recogida de aceite usado en una zona donde haya varios municipios muy poblados. La zona de Leganés, con municipios de gran población a su alrededor sería una seria posibilidad a considerar.

1.2.1 Posibles zonas en las que realizar el estudio

Como se ha comentado, la posibilidad de montar un centro de producción dependiente de una sola ciudad es complicado, salvo que estemos hablando de grandes urbes con las que en principio podría resultar más complicado llegar a acuerdos para hacerse cargo de la recogida de un residuo. El estudio se centrará en elegir una zona donde haya varias ciudades bastante pobladas de manera que se estudiará como influye la incorporación de grandes ciudades al sistema de recogida de aceite en la rentabilidad de dicha recogida.

De este modo, se podría establecer el centro de producción en una zona cercana a varias ciudades muy pobladas que podrían adherirse a un sistema de recogida asociado a dicho centro, nos centraremos en elegir una zona de ese tipo dentro de la Comunidad de Madrid. La razón de dicha elección radica en que la ciudad de Madrid está rodeada de varias zonas metropolitanas que cumplirían esos requisitos, además de tener una tradición de polígonos y producción industrial. A esto hay que sumar que tanto la

ciudad de Madrid como la región de la Comunidad de Madrid poseen unas comunicaciones óptimas por red de carreteras y ferroviaria que favorecerían el posterior transporte del producto, así como podrían suponer un potencial centro de consumo cerca del centro de producción, lo que supondría un coste muy pequeño de transporte final del producto y su distribución.

No hace falta que esté cerca de un puerto puesto que la producción no va a ser muy grande en comparación con otras grandes plantas (en España las hay cercanas a 300.000 toneladas al año) y además en la región sólo hay en estos momentos dos plantas de producción de biodiesel (se desconoce si están o no produciendo en estos momentos, dado el mal momento del sector). El único inconveniente sería quizás un suelo industrial más caro que en otras regiones pero lo que se está intentando en este caso es obtener una materia prima competitiva, por lo que lo más importante es la instalación de la planta o centro de recepción cercano a la zona de recogida, en la que prima en este caso la cantidad y la densidad de población que harán más fácil obtener dichos residuos.

En cuanto a las probables zonas para la planta, se van a analizar las ciudades más pobladas de la Comunidad de Madrid, así como su densidad de población y se intentará agruparlas por zonas de manera que se puedan establecer varias posibles zonas para elegir finalmente una donde realizar el estudio. Excluiremos Madrid al ser una ciudad demasiado grande y compleja como para hacer un estudio en profundidad y detallado (habría que colocar 1.088 contenedores para montar una red de recogida eficiente). Así, según datos INE actualizados en base al padrón municipal a 1 de enero de 2011, los datos de población, superficie y densidad de población de los municipios de la Comunidad de Madrid son los siguientes:

	Municipio	Población (Habitantes)	Superficie (km ²)	Densidad (Habitantes/km ²)
1º	Madrid	3.265.038	605,77	5.389,88
2º	Móstoles	205.015	45,36	4.519,72
3º	Alcalá de Henares	203.686	87,72	2.321,95
4º	Fuenlabrada	198.560	39,41	5.038,31
5º	Leganés	186.552	43,09	4.329,19
6º	Getafe	170.115	78,38	2.170,41
7º	Alcorcón	168.523	33,73	4.995,89
8º	Torrejón de Ardoz	122.589	32,62	3.757,69
9º	Parla	121.995	24,51	4.977,84
10º	Alcobendas	109.705	44,98	2.438,90
11º	Coslada	91.861	12,01	7.646,03
12º	Las Rozas de Madrid	89.151	58,31	1.528,94
13º	Pozuelo de Alarcón	82.916	43,2	1.919,36
14º	San Sebastián de los Reyes	79.825	58,66	1.360,73
15º	Rivas-Vaciamadrid	72.896	67,38	1.081,90
16º	Majadahonda	70.076	38,47	1.821,55
17º	Valdemoro	68.418	64,17	1.066,21
18º	Collado Villalba	60.998	26,52	2.300,06
19º	Aranjuez	55.755	201,11	277,23
20º	Arganda del Rey	54.220	79,65	680,74
21º	Boadilla del Monte	46.151	47,2	977,87
22º	Pinto	45.643	62,04	735,66
23º	Colmenar Viejo	45.468	182,56	249,05
24º	San Fernando de Henares	41.380	39,86	1.038,04
25º	Tres Cantos	41.065	37,93	1.082,55
26º	Galapagar	32.575	64,99	501,21
27º	Villaviciosa de Odón	26.646	68,05	391,57
28º	Navalcarnero	24.613	100,22	245,59
29º	Ciempozuelos	23.354	49,64	470,5
30º	Mejorada del Campo	22.677	17,21	1.317,54
31º	TorreloDONEs	22.354	21,95	1.018,51
32º	Algete	20.701	37,88	546,49

Tabla 4, Municipios de más de 20.000 habitantes de la Comunidad de Madrid (INE)

Hemos elegido los municipios por encima de 20.000 habitantes, ya que municipios menores no tienen en principio un interés relevante. De estos municipios elegiremos los que están por encima de 50.000 habitantes (los 20 primeros) para intentar establecer las posibles zonas que queremos encontrar.

En algún caso, si fuera relevante, podríamos añadir alguno de los otros que aparecen si estuvieran próximos a una de las zonas candidatas y supusieran una mejora del coste total de recogida.

Utilizaremos un mapa de la zona con una leyenda de círculos de distintos tamaños que marque los municipios más poblados en cuatro niveles:

- Municipios mayores de 160.000 habitantes.
- Municipios entre 100.000 y 160.000 habitantes.
- Municipios entre 50.000 y 100.000 habitantes.
- Municipios entre 20.000 y 50.000 habitantes.

El mapa resultante es el siguiente:

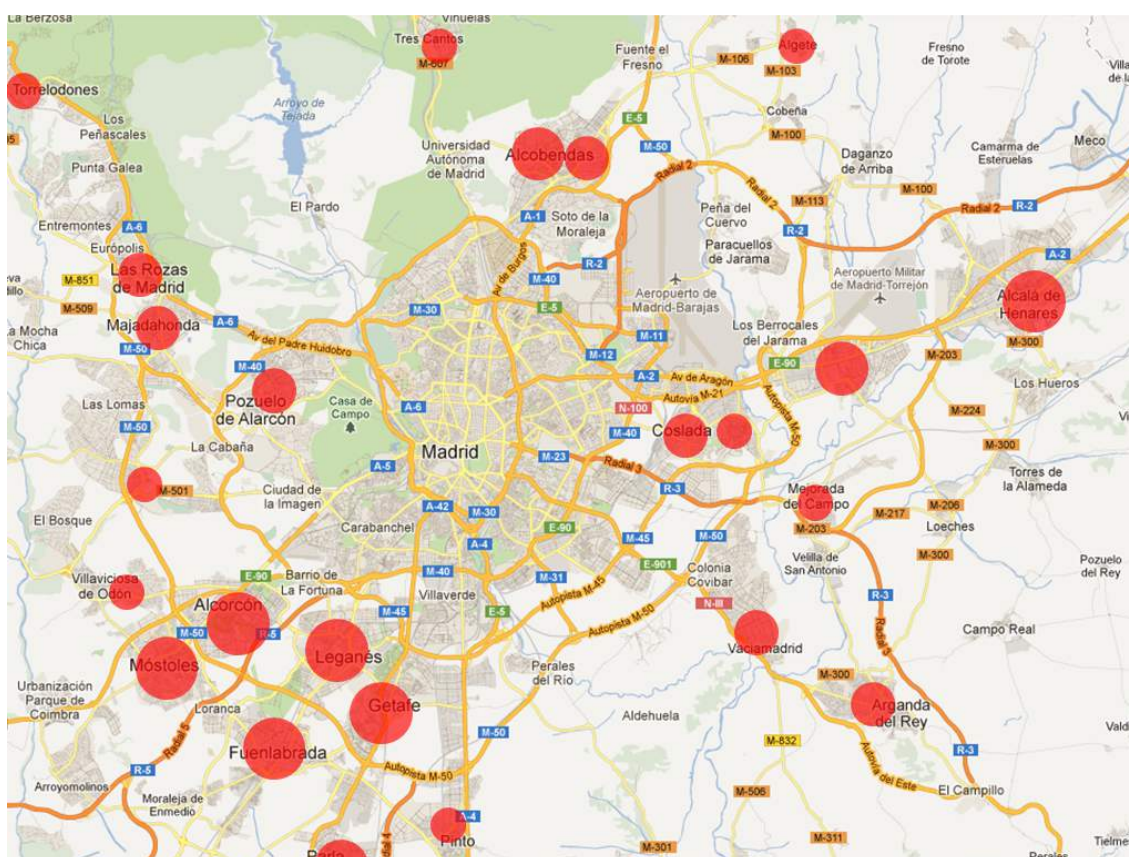


Figura 22, Mapa de los municipios más poblados de la Comunidad de Madrid

En la imagen se observan claramente dos posibles zonas donde implementar el sistema de recogida de aceite usado. Una sería la zona al suroeste de Madrid que comprendería Leganés, Getafe, Alcorcón, Móstoles y Fuenlabrada. En las que habría que estudiar si además sería factible incluir Parla, Pinto o Villaviciosa de Odón (unas por tamaño y proximidad y otras tan solo por proximidad).

La otra zona interesante correspondería al llamado Corredor del Henares (al Este de Madrid) que discurre paralelo a la autopista A-2 y que incluiría a Coslada, San Fernando de Henares, Torrejón de Ardoz, Alcalá de Henares y Mejorada del Campo.

A priori, por el tamaño y número de las ciudades de una y otra zona parece que la mejor zona es la de los municipios situados al suroeste de Madrid. No obstante, se va a hacer un estudio más minucioso para elegir la zona.

1.2.2 Elección de la zona de estudio

A continuación se analizará la población, el número de contenedores que debería tener cada municipio en base al criterio correcto de contenerización y las cantidades de aceite que se esperarían recoger mensual y anualmente.

Este es el resumen de los municipios de la zona suroeste en el que se incluyen los datos consecuencia de sumar todos los municipios de la zona:

	Municipio	Población	Contenedores	Aceite(kg/mes)	Aceite(kg/Año)
2º	Móstoles	205.015	68	41.003	492.036
4º	Fuenlabrada	198.560	66	39.712	476.544
5º	Leganés	186.552	62	37.310	447.725
6º	Getafe	170.115	57	34.023	408.276
7º	Alcorcón	168.523	56	33.705	404.455
9º	Parla	121.995	41	24.399	292.788
22º	Pinto	45.643	15	9.129	109.543
27º	Villaviciosa de Odón	26.646	9	5.329	63.950
	Zona Suroeste	1.123.049	374	224.610	2.695.318

Para la zona del corredor del Henares, los datos son los siguientes:

	Municipio	Población	Contenedores	Aceite(kg/mes)	Aceite(kg/Año)
3º	Alcalá de Henares	203.686	68	40.737	488.846
8º	Torrejón de Ardoz	122.589	41	24.518	294.214
11º	Coslada	91.861	31	18.372	220.466
24º	San Fernando de Henares	41.380	14	8.276	99.312
30º	Mejorada del Campo	22.677	8	4.535	54.425
	Corredor del Henares	482.193	161	111.018	1.332.214

Comparando los datos de población y derivados de estos, los datos de contenedores y cantidad de aceite que se espera recoger, se verifica lo que se pensaba a priori, la zona suroeste está mucho más poblada que el corredor del Henares y por tanto se podría obtener una producción significativamente mayor. Incluso sin incluir a Pinto y Villaviciosa de Odón. De hecho, las

2.695 Tn se aproximan a las plantas industriales más pequeñas de España (4.000 Tn), por lo que sería ya una seria opción a considerar.

También hay que tener en cuenta que las distancias entre los municipios de la zona suroeste que prácticamente se solapan unos con otros son más pequeñas que las que existen entre los municipios del corredor del Henares, que está más dispersos.

Además de estos datos, y con vistas a proyectos futuros, si analizamos los distritos pertenecientes a la ciudad de Madrid cercanos a cada zona con vistas a una futura integración en el sistema de recogida, se observa también que los próximos a la zona suroeste están más poblados y próximos.

Así los distritos cercanos a la zona suroeste, que son Latina (247.450), Carabanchel (252.326), Usera (138.555) y Villaverde (146.957), suman en total 785.288 habitantes. Mientras que los cercanos al corredor del Henares, que son Barajas (46.559), San Blas (156.696), Vicálvaro (70.913) y Villa de Vallecas (96.485), suman 370.653 habitantes.

Por todo esto la decisión final es elegir la zona de grandes ciudades al suroeste de la ciudad de Madrid para la realización del estudio de localización de la planta de producción de biodiesel a partir de aceite usado.

1.2.3 Localización final de la planta dentro de la zona designada

Una vez decidida la zona donde se ubicará la planta de producción, el siguiente paso es hallar la ubicación exacta e idónea de la planta que nos permita posteriormente desarrollar el estudio logístico que optimice los costes de recogida del aceite usado, nuestra materia prima para el proceso de producción de biodiesel.



Figura 23, Zona designada

Para decidir la localización de la planta, tendremos en cuenta una serie de factores. Estos factores deben cumplir dos requisitos para ser tenidos en cuenta para ubicar la planta en una localización determinada. Estos requisitos son:

- El factor debe ser sensible a la localización. Se deben desechar aquellos factores que no vayan a ser decisivos para la localización en nuestro caso aunque en otros casos si puedan serlo.

- El factor debe tener un gran impacto para lograr los objetivos del productor.

Estos dos requisitos se utilizan para elegir entre los factores que son utilizados normalmente a la hora de fijar la localización de una planta de producción y que pueden ser o no factores determinantes en nuestro caso.

Normalmente se suele distinguir entre factores determinantes y factores secundarios. Los determinantes se tiene siempre en cuenta salvo que no cumplan los requisitos mencionados anteriormente, mientras que los secundarios son factores que deben ser tenidos en cuenta tan solo si son aplicables al caso de estudio.

Cuando se hayan fijado los factores a tener en cuenta para nuestro caso de localización de una planta, se procederá a elegir entre varias localizaciones, si hubiera varias viables, mediante una matriz de preferencias. Para localizar nuestra planta tenemos que tener en cuenta que ya hemos hecho parte del trabajo al determinar una región concreta. Esto se verá a medida que se vayan nombrando los distintos factores, ya que nuestro factor más importante sin duda era la proximidad a zonas de recogida que presentaran una alta densidad de población para tener el volumen suficiente de producción. Así, al haber elegido una región, algunos de los factores serán similares para las distintas localizaciones y no deberán ser tenidos en cuenta.

Los factores dominantes son los siguientes:

- Clima laboral favorable.
- Proximidad de los mercados.
- Calidad de vida de la región.
- Proximidad de proveedores y recursos.
- Utilidades, impuestos y coste del suelo.

Al haber elegido la región al suroeste de Madrid por ser de vital importancia la proximidad de los recursos, muchos de estos factores serán iguales para cualquiera de las posibles ubicaciones. Por eso, de ahora en adelante no tendremos en cuenta ni el clima laboral, ni la calidad de vida de la región puesto que son prácticamente iguales en toda la zona y no son un factor diferenciador.

En cuanto a otros factores distintos a los dominantes, tendremos en cuenta posibilidades futuras de expansión, accesibilidad a distintos modos de transporte y la posibilidad de colocar la planta en un parque tecnológico. Este último factor nos da la posibilidad de tener en cuenta dos ubicaciones en la zona. La posibilidad de instalar la planta en un parque tecnológico puede dar lugar a una serie de ventajas en las que entraremos más tarde.

Los posibles emplazamientos elegidos en la zona serán por tanto:

- El parque tecnológico de Leganés, ligado a la Universidad Carlos III.
- El parque tecnológico de Móstoles, ligado a la Universidad Rey Juan Carlos.
- Un tercer emplazamiento en el que se tendrá en cuenta el peso que tienen las distintas ciudades en la recogida y la cercanía a éstas. Es decir, el que a priori será el emplazamiento ideal si nos atuviéramos tan sólo a estrictos criterios de proximidad al recurso.

Para la elección del tercer emplazamiento, utilizaremos el método Load-distance (Peso-distancia). Este método tiene en cuenta el peso de cada ciudad que suministrará aceite sobre el total del sistema, así como la posición en la que se haya cada ciudad, de manera que se designe una localización óptima para la planta.

Este método hallará un centro de gravedad, donde el peso será la cantidad de aceite que se espera recoger en cada ciudad, y nos dará unas coordenadas en dos dimensiones del sitio en torno al cual debe estar localizada la planta.

Con esto se quiere indicar que aunque designe unas coordenadas exactas,

seguramente ese emplazamiento no pueda ser ocupado por la planta, por lo que se buscará el sitio más próximo en el que se den las condiciones para instalar la planta.

Otra herramienta habitual utilizada para hallar la localización de la planta entre distintos candidatas es el análisis de costes relacionado con la producción (cantidad de producto que se produce), sin embargo, se utilizará esta herramienta posteriormente para decidir que ciudades decidimos incluir finalmente en la recogida una vez que ya sepamos dónde se va a situar la planta. Esta herramienta utiliza los costes fijos y variables utilizados en todo el proceso productivo que son determinantes de cara a la localización. Sin embargo, en este caso el factor costes para la localización de la planta incluirá tan sólo los costes de suelo e impuestos sobre el suelo.

Se procederá por tanto a hallar el tercer emplazamiento por dicho método para posteriormente hacer el análisis mediante la matriz de preferencias con los tres emplazamientos candidatos, que permitirá hallar la localización final de la planta.

Análisis por el método peso-distancia

Como se ha mencionado, este método utiliza un centro de gravedad para resolver el emplazamiento idóneo en el que se localizará la planta. En este caso el peso será la cantidad de aceite recogido, que como ha sido calculado para cada ciudad en proporción al número de habitantes (dividido entre 3.000 correspondiente a los habitantes por contenedor y multiplicado por 600kg/contenedor al mes), nos quedaremos con el número de habitantes como peso.

Para hallar las distancias que darán las coordenadas de la planta, hemos hecho los cálculos en base a un plano a escala de la zona.



Figura 24, Plano de referencia para realizar el cálculo del centro de gravedad

Las fórmulas utilizadas para hallar las coordenadas x e y del centro de gravedad son las siguientes:

$$x_G = \frac{\sum_i l_i x_i}{\sum_i l_i} \quad y_G = \frac{\sum_i l_i y_i}{\sum_i l_i}$$

Donde x e y son las coordenadas del centro de cada ciudad y l es el peso de cada ciudad, es decir, el número de habitantes.

Así, tomando el mapa a escala de la zona se halla el centro de gravedad utilizando las fórmulas indicadas anteriormente y utilizando los datos de peso y coordenadas de la siguiente tabla:

	Municipio	Población	X(cm)	Y(cm)
2º	Móstoles	205.015	7,1	6,1
4º	Fuenlabrada	198.560	13	1,6
5º	Leganés	186.552	16,7	6,5
6º	Getafe	170.115	19	3,85
7º	Alcorcón	168.523	10,7	9,3
9º	Parla	121.995	15,8	-4,35
22º	Pinto	45.643	22,3	-4,55
27º	Villaviciosa de Odón	26.646	3,8	10,05

Las coordenadas del centro de gravedad serán:

Xg	Yg	Unidad
13,5651256	4,03590631	cm
12,6776874	3,77187506	Km

Viene indicada en cm para el mapa a escala y en km como distancia real al eje de coordenadas utilizado en este caso.

Se puede observar en el siguiente mapa que la coordenada del centro de gravedad hallada se encuentra dentro del Parque Polvoranca, situado entre Leganés y Fuenlabrada, cercano a la M-50 y a varios polígonos industriales como Dehesillas (Leganés) y el polígono Cogulladas II (Fuenlabrada).

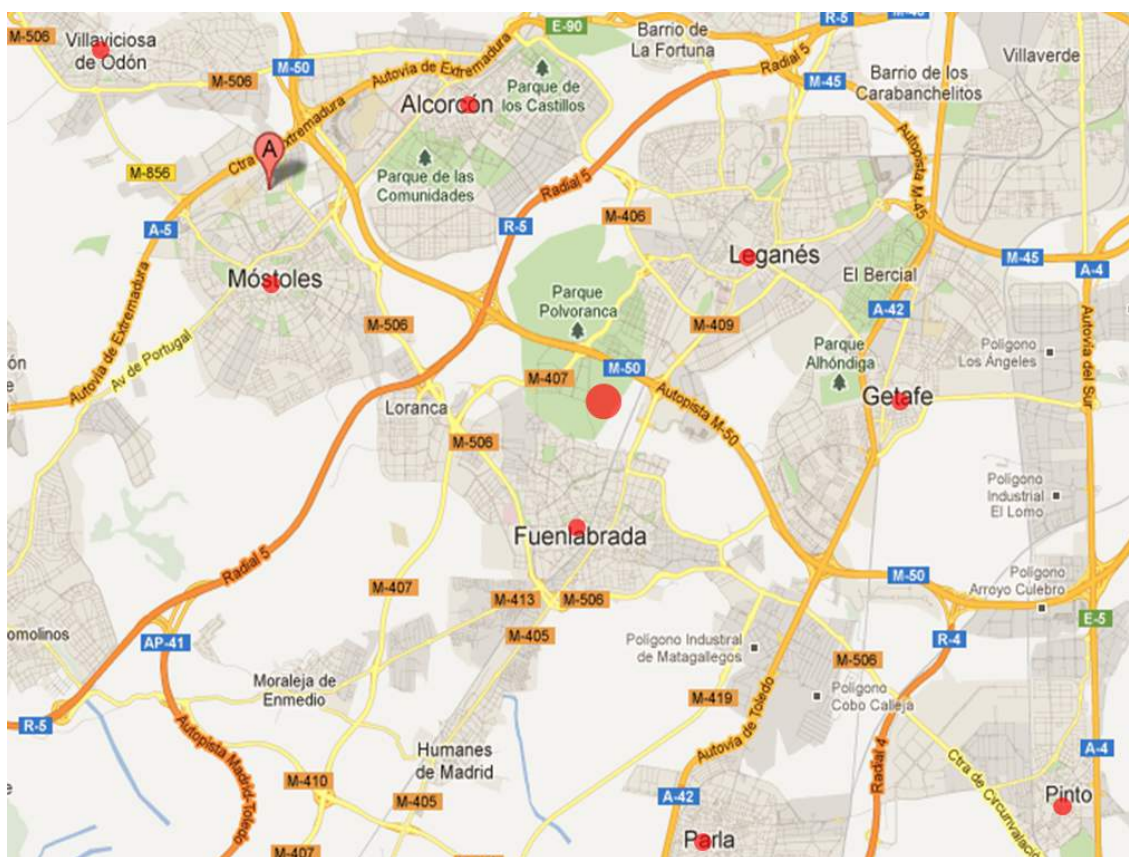


Figura 25, Centro de cada municipio del sistema y centro de gravedad situado en Parque Polvoranca

Si nos fijamos más detenidamente en la zona y en los dos polígonos próximos al centro de gravedad hallado:



Figura 26, Polígonos candidatos

El polígono industrial Dehesillas está mucho mejor comunicado con la red de autopistas y carreteras y es más grande por lo que las posibilidades de encontrar una nave disponible seguramente sean más factibles. Eso hace que una nave en el polígono industrial Dehesillas sea nuestro tercer posible emplazamiento.



Figura 27, Centro de cada municipio del sistema y localización de los tres emplazamientos candidatos

Ahora que se dispone de los tres posibles emplazamientos, se procederá a hacer el análisis de los factores decisivos en la localización de la planta mediante la matriz de preferencias, que dará una ponderación del análisis de los factores. Se procede al análisis de los factores decisivos.

- **Proximidad de los mercados.** Debido a la situación geográfica de la región designada para las tres opciones, todos los emplazamientos están próximos tanto a Madrid como a las ciudades del estudio, en ambos casos potenciales consumidores del combustible que será el producto final. Esto hace que no se establezcan grandes ventajas entre unos y otros salvo que Leganés Tecnológico está mejor colocado para abastecer llegado el momento a la ciudad de Madrid y el emplazamiento en el polígono industrial Dehesillas está mejor colocado para abastecer a todo

los municipios incluidos en el estudio. Sin embargo, no son diferencias significativas, todas las opciones cumplen bastante bien con este factor.

- **Proximidad de proveedores y recursos.** El emplazamiento en el polígono industrial Dehesillas sería el mejor posible respecto a este factor, ya que es el emplazamiento elegido mediante el análisis por el método peso-distancia correspondiente a la cantidad de aceite (el recurso) y la distancia para transportarlo a la planta de producción una vez recogido.

En cuanto a los otros dos emplazamientos, al haber seleccionado una región que no es muy grande podrían no suponer una diferencia muy grande pese a no ser los mejores posibles. Así, la ubicación en Leganés Tecnológico dejaría la planta en el mismo municipio en una ubicación de longitud (Este-Oeste) semejante pero un poco más al Norte, tan sólo a 11 kilómetros de distancia por carretera del polígono industrial Dehesillas.

En cuanto a Móstoles Tecnológico, se sitúa en una latitud semejante, un poco más al Norte. Sin embargo, se sitúa más al Oeste, quedándose un poco alejada de los núcleos urbanos situados al Este de la región seleccionada a pesar de que se encuentra tan sólo a 12,4 km por carretera del polígono industrial Dehesillas.

Se debe tener en cuenta que tras elegir una ubicación final, los municipios que interesan ser incorporados podrían variar, sobre todo los alejados y de menor población, por lo que a pesar de que el centro de gravedad tiene en cuenta la ponderación de la población de cada municipio, si nos quedásemos con menos ciudades de las seleccionadas porque fuera más rentable, el centro de gravedad variaría ligeramente. En especial, si no incorporamos al sistema los municipios un poco más alejados, Parla y Pinto. En ese caso el centro de gravedad se situaría ligeramente más al norte y al oeste. Debemos tener esto en cuenta a la hora de valorar las ubicaciones en los parques tecnológicos.

- **Utilidades, impuestos y coste del suelo.** Las utilidades (electricidad, agua, teléfono) son iguales para cualquiera de los emplazamientos. Exactamente igual ocurre con los impuestos al estar situado en la misma comunidad autónoma a excepción del IBI (Impuesto de Bienes Inmuebles) que será distinto para Leganés y para Móstoles).

En el caso del IBI en Leganés se aplica actualmente un tipo del 0,26% mientras que en Móstoles se aplica un tipo del 0,68%. Por lo que respecta a este impuesto, sería preferible establecerse en Leganés.

El coste del suelo variará dependiendo del emplazamiento. Para los Parques Tecnológicos estará más regulado y será más barato al ser suelo público puesto a disposición de la creación de nuevas empresas o nuevas plantas. Para el polígono industrial Dehesillas variará en función del mercado y será más caro.

- **Futura expansión.** Si en un futuro se quisiera proceder a una expansión incorporando a municipios distintos a los considerados desde el principio, está claro que la zona clara de expansión serían los cuatro distritos del sur de Madrid que se comentó llegan a aglutinar 785.288 habitantes que casi doblarían la capacidad de producción. Ya que los municipios incluidos en el estudio suman 1.123.049 habitantes si finalmente incluimos todos los municipios en el sistema.

Está claro que en ese sentido la ubicación mejor colocada sería Leganés Tecnológico, que linda con algunos de estos distritos. La siguiente mejor sería Dehesillas y la última por estar más alejada sería Móstoles tecnológico.

Se podría realizar una expansión incluyendo en el sistema municipios incluidos en la primera lista del estudio como Valdemoro (68.418 habitantes) y Ciempozuelos (23.354) para el caso de Dehesillas. O incluir los municipios de Boadilla del Monte (46.151), Pozuelo de Alarcón (82.916) y Navalcarnero (24.613) en el caso de finalmente elegir

Móstoles como ubicación. Pero en ningún caso serían comparables a la opción de incorporar al sistema esos cuatro distritos de Madrid.

- **Accesibilidad a distintos modos de transporte.** Los tres emplazamientos tienen conexiones de tren de cercanías, metro y autobuses relativamente cerca. Además, pueden todas disfrutar de los servicios y conexiones de que dispone Madrid. Esto es red ferroviaria de transporte de mercancías, red ferroviaria de media y larga distancia incluido servicio AVE a número grande de capitales de provincia españolas, así como tiene a disposición de uno de los cinco mayores aeropuertos internacionales de Europa a apenas 35 km en coche máximo según la ubicación (23,8 km Leganés tecnológico, 30,8 Dehesillas y 34,8 km Móstoles tecnológico).

Por todo esto, el análisis diferencial de este factor para la ubicación de la planta se centrará en la red de autopistas y carreteras entorno a cada ubicación y su conexión con los municipios del estudio.



Figura 28, Red de carreteras de la zona

Como podemos observar en la figura, la M-50 atraviesa como eje central las ciudades incluidas en el estudio. En ese sentido, tanto el emplazamiento en Dehesillas como Móstoles Tecnológico estarán perfectamente comunicados con la totalidad de los municipios del estudio al estar próximos a esta vía. Destacar la M-506 que discurre paralela a la M-50 desde Villaviciosa de Odón hasta Pinto.

El polígono industrial Dehesillas está entre Leganés y Fuenlabrada perfectamente conectado con ellos. Dada su magnífica ubicación tiene vía M-50 de acceso a la A-42 que la conectaría con Getafe y Parla y por la A-4 o M-506 con Pinto. Conecta por la M-50 de manera directa con Móstoles, Alcorcón y Villaviciosa de Odón.

La opción de Móstoles tecnológico permite una ubicación cercana a Móstoles, Alcorcón y Villaviciosa de Odón. Está conectada vía A-5 con la M-50. Dispone vía M-50 de acceso directo a Leganés y Fuenlabrada a la A-42 que la conectaría con Getafe y Parla y por la A-4 o M-506 con Pinto. Aunque conecta fácilmente vía M-50 con la totalidad de los municipios incluidos en el estudio, está alejada de algunos de ellos. Más alejada cuanto más al Este se sitúa el municipio en el que se desea realizar la recogida.

La opción de Leganés Tecnológico se sitúa al lado de Leganés en clavada entre la M-40 y la M-45. Puede acceder a Móstoles y Alcorcón (y de ahí con Villaviciosa de Odón) por la A-5 vía M-40 y a Getafe y Parla por la A-42 vía M-45 realizando en cualquiera de los casos recorridos cortos. Puede conectar con Pinto por la A.4 vía M-45. Para conectar con Fuenlabrada puede atravesar Leganés por vías de doble carril o rodearlo por la A-42 vía M-45 para llegar a Fuenlabrada por la M-50. Como se observa salvo para ir a Pinto y quizás a Parla, tiene a pocos kilómetros el resto de municipios del estudio.

- **Posibilidad de establecerse en un Parque Tecnológico.** Como se ha comentado a lo largo del estudio de localización dos de las ubicaciones

elegidas en la zona son parques tecnológicos ligados a universidades de prestigio. Ambos Parques están integrados en la Red de parques científicos y Tecnológicos de la Comunidad de Madrid. La posibilidad de poder instalar la planta en un Parque Tecnológico da unas ventajas competitivas. Sobre todo en cuanto a asesoramiento se refiere, pudiendo instalarse en el vivero de empresas para terminar de definir el plan de negocio antes de lanzar la empresa y también el asesoramiento durante los primeros pasos de la empresa. Algunos de los servicios que suelen prestarse son: pre-incubadora de negocios, incubadora, formación, consultoría, soporte técnico, eventos empresariales y ayuda para la tramitación de subvenciones y ayudas públicas. Además, otra ventaja es la ayuda puntual que se puede recibir de profesionales de la universidad expertos en muy diversos campos. Esto lleva a una transferencia de conocimiento entre la universidad y la empresa.

Leganés Tecnológico está ligado a la Universidad Carlos III de Madrid. Esta universidad tiene en Leganés su campus tecnológico dedicado a las titulaciones ligadas a ingeniería. Este parque tecnológico está bastante desarrollado y cuenta con un buen número de empresas tanto consolidadas que se han instalado en el parque como empresas que han surgido del vivero de empresas. Tiene integrado el instituto IMDEA-Networks de telecomunicaciones. Se muestra a continuación alguna imagen del emplazamiento.



Figura 29, Mapa zona Leganés Tecnológico



Figura 30, Vista satélite Leganés Tecnológico



Figura 31, Vista aérea



Figura 32, Vista aérea 2

Se muestra a continuación el plan de desarrollo de Leganés Tecnológico:

Datos básicos

	Fase 1	Fases 2 y 3	Total
Superficie Total:	507.374 m ²	2.297.504 m ²	2.804.878 m ²
Superficie Edificable:	263.949 m ²	1.020.149 m ²	1.284.092 m ²
con los siguientes usos:			
- Terciario Comercial:	56.716 m ²	456.919 m ²	513.635 m ²
- Tecnológico Industrial:	149.559 m ²	436.495 m ²	586.055 m ²
- Tecnológico Empresarial:	57.674 m ²	126.735 m ²	184.408 m ²
Fecha inicio obras:	2004	2009	
Fecha fin obras:	2007	2012	



Fase 1
Las obras de urbanización de la Fase 1 se iniciaron en el año 2004 y finalizaron en el año 2008, lo que ha permitido poner en funcionamiento los primeros 507.374 m² y la instalación de 53 empresas.

Fases 2 y 3
- Se estima que las obras de urbanización comiencen en el 1er trimestre de 2009.
- Su desarrollo permitirá mantener una oferta de parcelas en el mercado durante más de 5 años.

Inversión
- La inversión total es de 333 millones de €.
- La inversión total inducida es de 1.200 millones de €.

Figura 33, Planificación Leganés Tecnológico

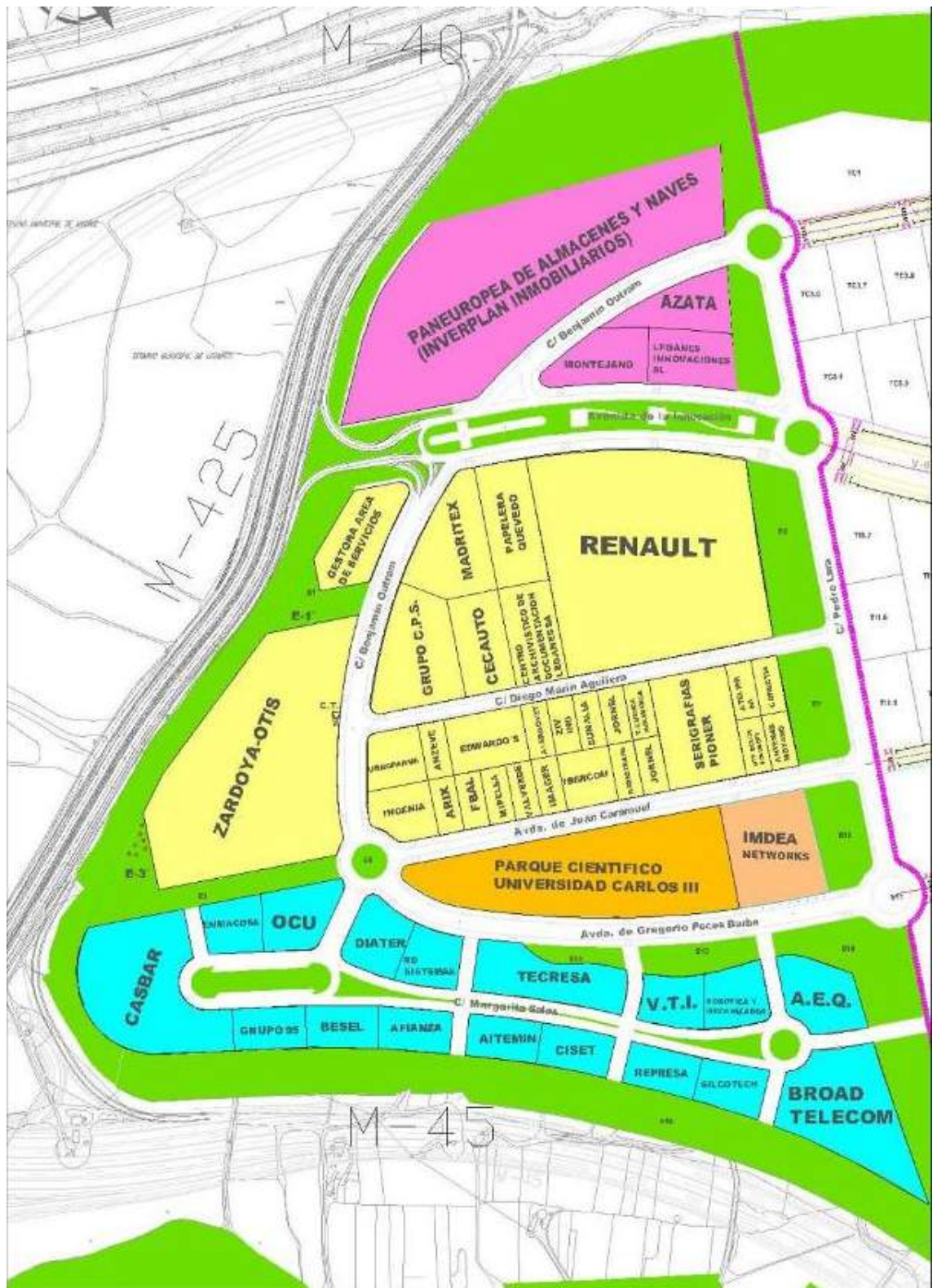


Figura 34, Plano del Parque con las empresas instaladas actualmente.

Móstoles Tecnológico está ligado a la universidad Rey Juan Carlos, está situado cerca de su campus de Móstoles ligado a la actividad científica y tecnológica de la universidad. Tiene integrado en el centro de investigación formación de la empresa Repsol y el instituto IMDEA-Energy de energía. Tiene un cierto número de empresas instaladas aunque está menos desarrollado que Leganés Tecnológico. Se muestra a continuación alguna imagen del emplazamiento.



Figura 35, Mapa de la zona Móstoles tecnológico

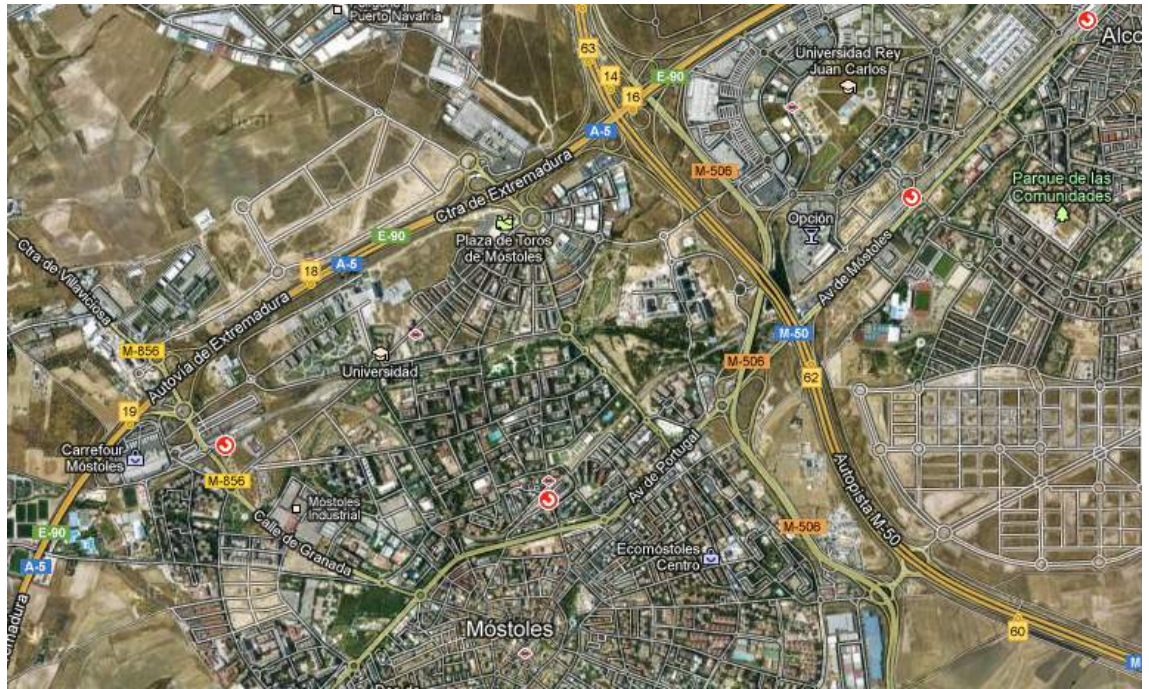


Figura 36, Mapa detalle de la zona



Figura 37, Vista aérea de la zona

Por último, el polígono industrial Dehesillas no pertenece evidentemente a ningún Parque Tecnológico, por lo que en el caso de analizar este factor tendrá esa desventaja.

Análisis de la localización mediante la matriz de preferencia

Después de haber analizado cada factor se procede a realizar el análisis mediante la matriz de preferencias para elegir la mejor ubicación. A cada factor se le dará un peso según su importancia para la localización de la planta de modo que entre todos los pesos sumen uno. Se puntuará cada factor para las tres posibles ubicaciones en función del análisis que hemos realizado dando una puntuación de 0 a 5.

De esta manera con las puntuaciones multiplicadas por los pesos según el factor saldrá una puntuación final de 0 a 5 para cada candidata que designará cual es la mejor ubicación entre las tres posibilidades.

Matriz de preferencias

Factor decisivo	Peso	Polígono Industrial Dehesillas		Leganés Tecnológico		Móstoles Tecnológico	
		Puntuación	Puntuación*Peso	Puntuación	Puntuación*Peso	Puntuación	Puntuación*Peso
Proximidad a los mercados	0,05	4,5	0,225	5	0,25	4	0,2
Proximidad de proveedores y recursos	0,3	5	1,5	4	1,2	3,5	1,05
Utilidades, impuestos y coste de suelo	0,2	3	0,6	4	0,8	3,5	0,7
Futura expansión	0,1	4	0,4	5	0,5	3	0,3
Accesibilidad a distintos modos de transporte	0,2	5	1	4	0,8	4	0,8
Parque tecnológico	0,15	0	0	4	0,6	3	0,45
Suma	1		3,725		4,15		3,5

Se puede observar que en base al análisis previo y a la matriz de preferencias, la mejor localización es Leganés Tecnológico que obtiene un anota final de 4,15 frente al 3,725 del Polígono Industrial Dehesillas y el 3,5 de Móstoles Tecnológico. A partir de este momento estudiaremos la incorporación de las ciudades al sistema en función de su rentabilidad teniendo en cuenta esta localización.

1.3 Localización de los contenedores y ciudades que se incorporarán al sistema

Ahora que se conoce la localización de la planta y el número de contenedores que deberían ser instalados en cada ciudad para alcanzar un nivel de contenerización correcto, se va a proceder a designar la posición que ocuparán los contenedores en cada una de las ciudades. Una vez se haya decidido, se tomarán varias opciones sobre que municipios incorporar al sistema dentro de los elegidos.

Tomaremos una serie de opciones para las cuales se diseñarán unas rutas que tendrán unos costes asociados. Teniendo en cuenta las diferentes opciones, se hará un estudio de costes mediante el cual se seleccionarán la opción de ciudades a incluir en el sistema más rentable para nuestra ubicación.

1.3.1 Posición a ocupar por los contenedores en cada ciudad

Ya se han calculado el número de contenedores que debería tener cada una de las ciudades incluidas en el estudio.

	Municipio	Población	Contenedores
2º	Móstoles	205.015	68
4º	Fuenlabrada	198.560	66
5º	Leganés	186.552	62
6º	Getafe	170.115	57
7º	Alcorcón	168.523	56
9º	Parla	121.995	41
22º	Pinto	45.643	15
27º	Villaviciosa de Odón	26.646	9
	Zona Sur	1.123.049	374

De este modo se procederá a colocar en cada municipio los contenedores siguiendo los criterios de intentar que todo el municipio cuente con un contenedor relativamente cerca y que en la medida de lo posible se encuentren en vías principales. Se restringe su colocación a zona urbana evitando polígonos industriales y nuevos desarrollos urbanísticos en construcción o pendientes de construir. Además, se colocarán más

contenedores en el centro de las ciudades al ser zonas más densamente pobladas y menos en las zonas de urbanizaciones donde las viviendas están más dispersas y aparecen más viviendas unifamiliares. Se intentará ajustar la cantidad de contenedores instalados a los calculados mediante el nivel de contenerización pero lo primordial será que toda la ciudad tenga un contenedor a una distancia razonable. Esto puede llevar a que en las ciudades más densamente pobladas haya algún contenedor menos de los previstos y en las menos densamente pobladas se necesite algún contenedor más para cumplir con un mínimo de proximidad.

A continuación se analiza la localización de los contenedores para cada ciudad:

Alcorcón

Al intentar colocar el número de contenedores fijado previamente, se observa que se necesita colocar algún contenedor más para cubrir correctamente toda la ciudad. Sin embargo, esto no cambiará las cantidades que esperábamos recoger en un principio debido a que estaban calculadas en base a la población. La colocación de los contenedores en el municipio será como vemos en la siguiente imagen:



Figura 38, Colocación contenedores Alcorcón

Como se observa en la imagen, exceptuando zonas industriales y nuevos desarrollos urbanísticos, el municipio queda bien cubierto. En este caso se han utilizado 64 contenedores, alguno más de lo planteado en un principio (56 contenedores). La cantidad de aceite esperada a recoger será la misma como se ha comentado.

Esto ocurrirá seguramente en otros municipios como se verá al irlos analizando.

Leganés

La colocación de los contenedores en el municipio de Leganés será la siguiente:

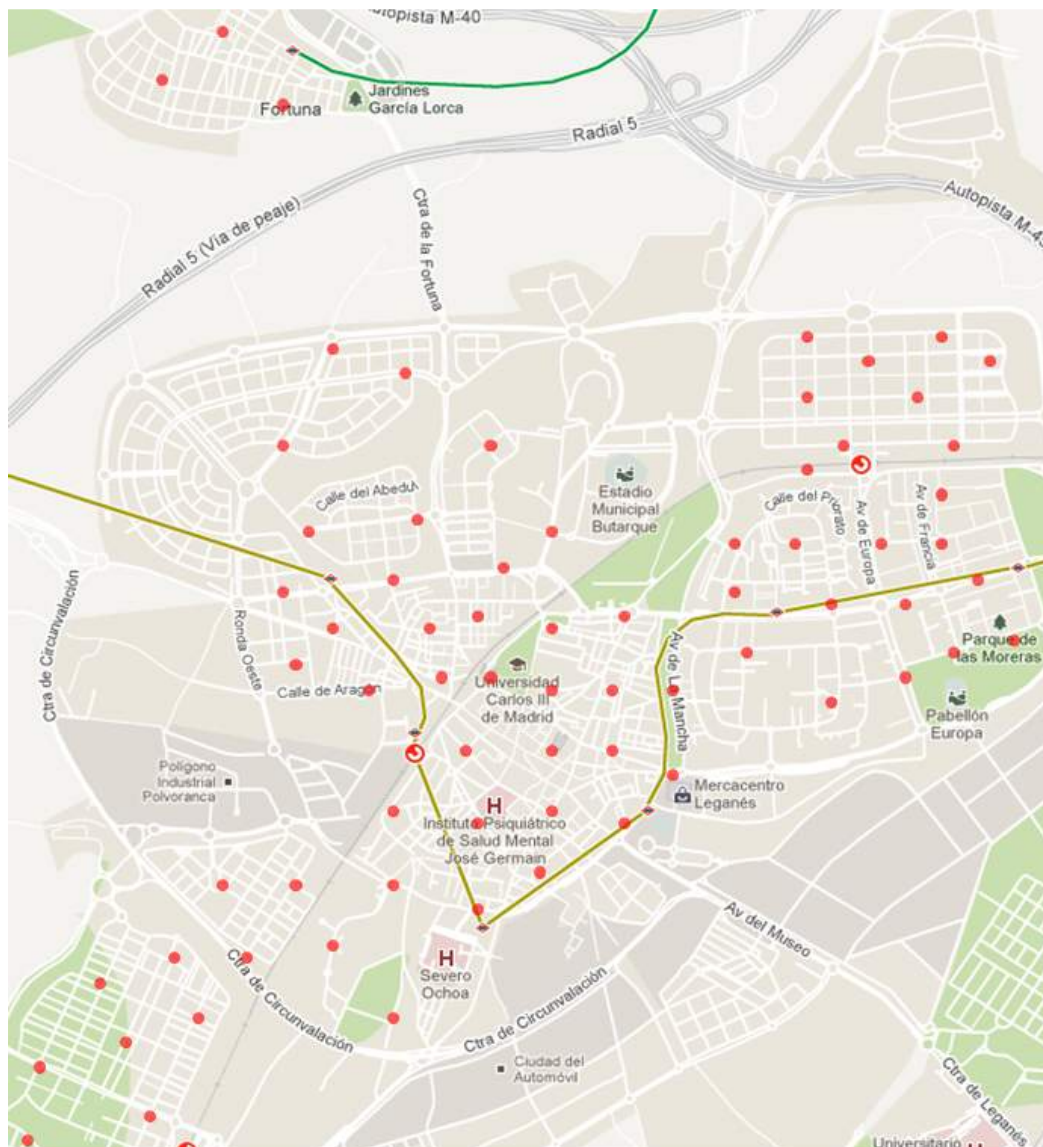


Figura 39, Colocación contenedores Leganés

Como en Alcorcón el número de contenedores para llegar a todas las zonas es ligeramente mayor al proyectado, en este caso son 70 contenedores en lugar de 62. Se procederá de igual manera al calcular las rutas, la cantidad de aceite que se espera recoger es la misma que inicialmente.

Getafe

La colocación de los contenedores en el municipio de Getafe será la siguiente:

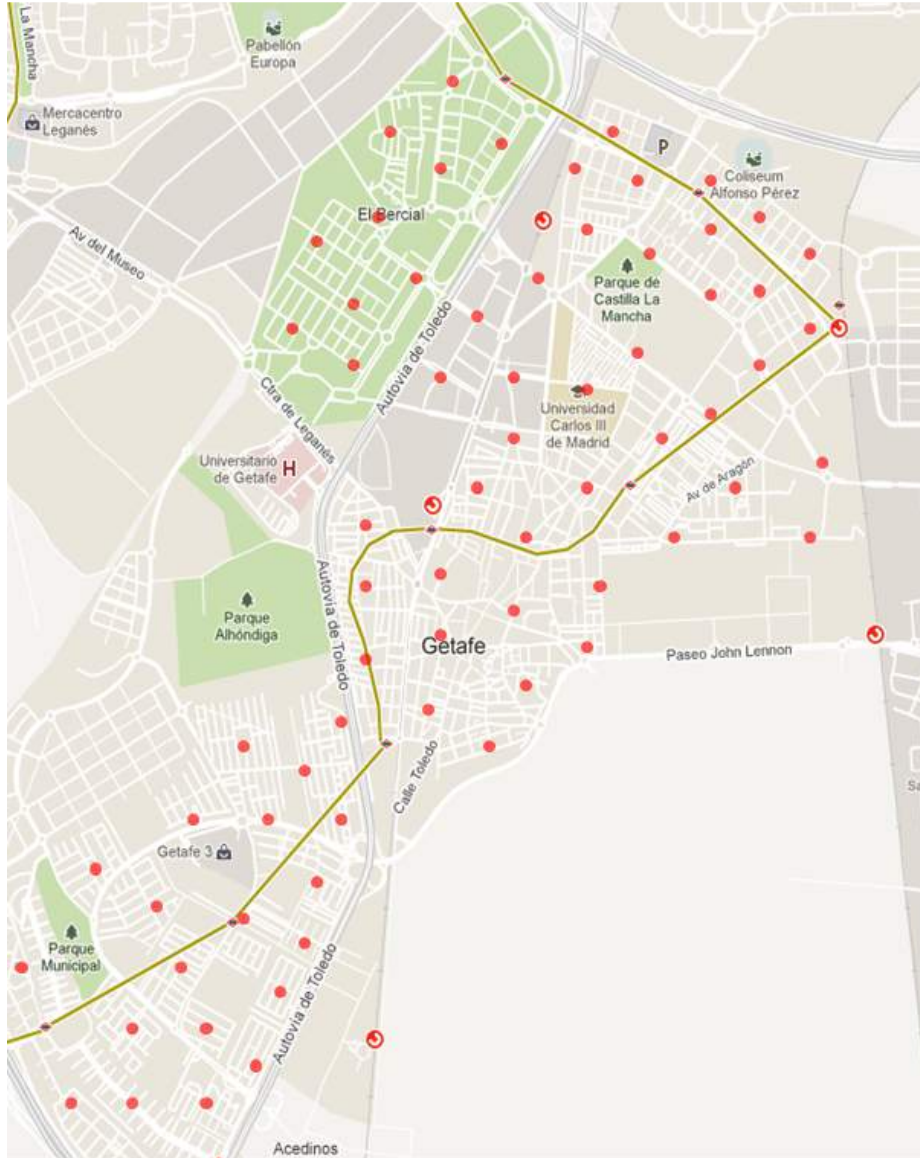


Figura 40, Colocación contenedores Getafe

Como en las anteriores ciudades, el número de contenedores para llegar a todas las zonas es ligeramente mayor al proyectado, en este caso son 71 contenedores en lugar de 57. Se procederá de igual manera al calcular el número de rutas.

Móstoles

La colocación de los contenedores en el municipio de Móstoles será la siguiente:



Figura 41, Colocación contenedores Móstoles

En este caso se ha colocado una cantidad ligeramente inferior a la proyectada, 54 contenedores en lugar de 68. Esto se debe a que Móstoles es un municipio muy densamente poblado, por lo que cubrir todo el municipio es más sencillo de lo proyectado y por lo tanto no se colocan más

contenedores ya que saturarían la ciudad. En este caso los parámetros de recogida tampoco variarán al no ser una variación muy grande respecto al modelo proyectado y contar con unos contenedores de gran capacidad (900 litros) que nos permitirán que no haya una saturación del sistema.

Fuenlabrada

La colocación de los contenedores en el municipio de Fuenlabrada será la siguiente:

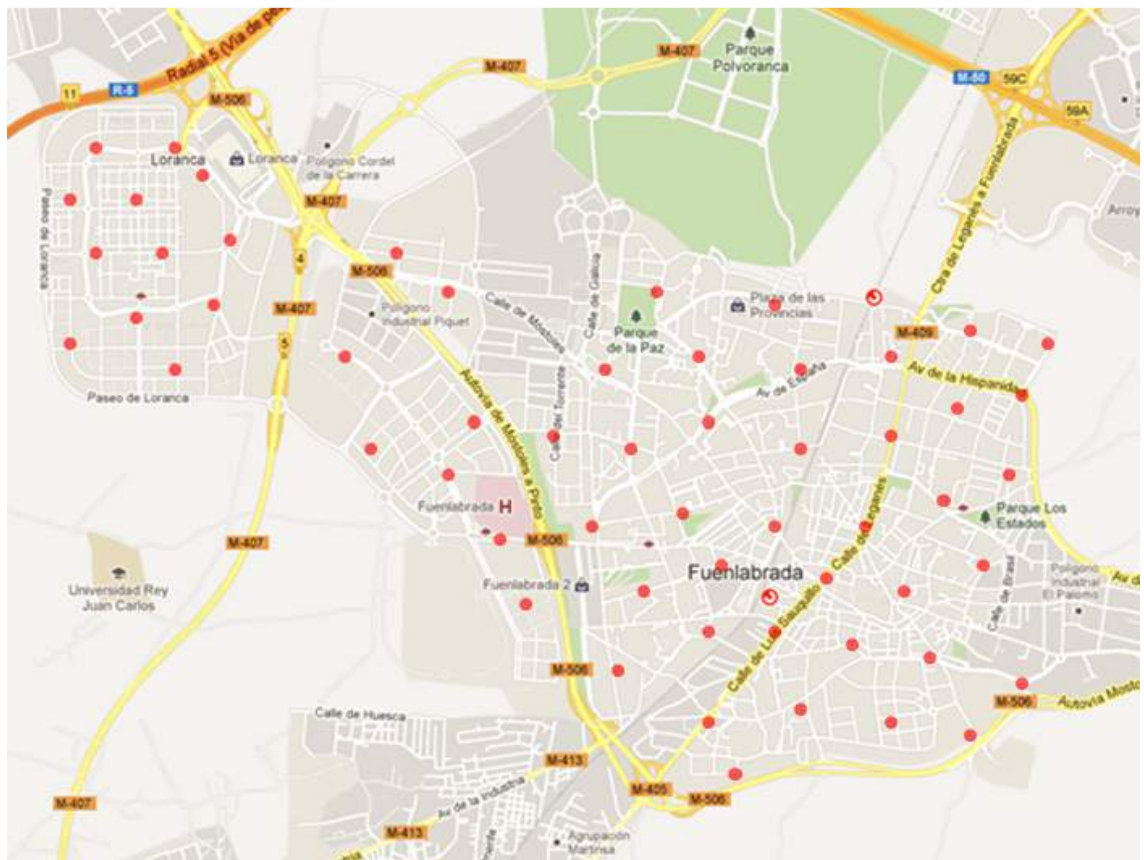


Figura 42, Colocación contenedores Fuenlabrada

Se han colocado 57 contenedores, en lugar de los 66 proyectados. Ocurre como en Móstoles, se trata de una ciudad muy densamente poblada pero los parámetros calculados inicialmente para la recogida no cambiarán.

Parla

La colocación de los contenedores en el municipio de Parla será la siguiente:



Figura 43, Colocación contenedores Parla

Se han colocado 41 contenedores en este caso, se observa que es la misma cantidad exacta respecto a los contenedores proyectados inicialmente.

Pinto

La colocación de los contenedores en el municipio de Pinto será la siguiente:

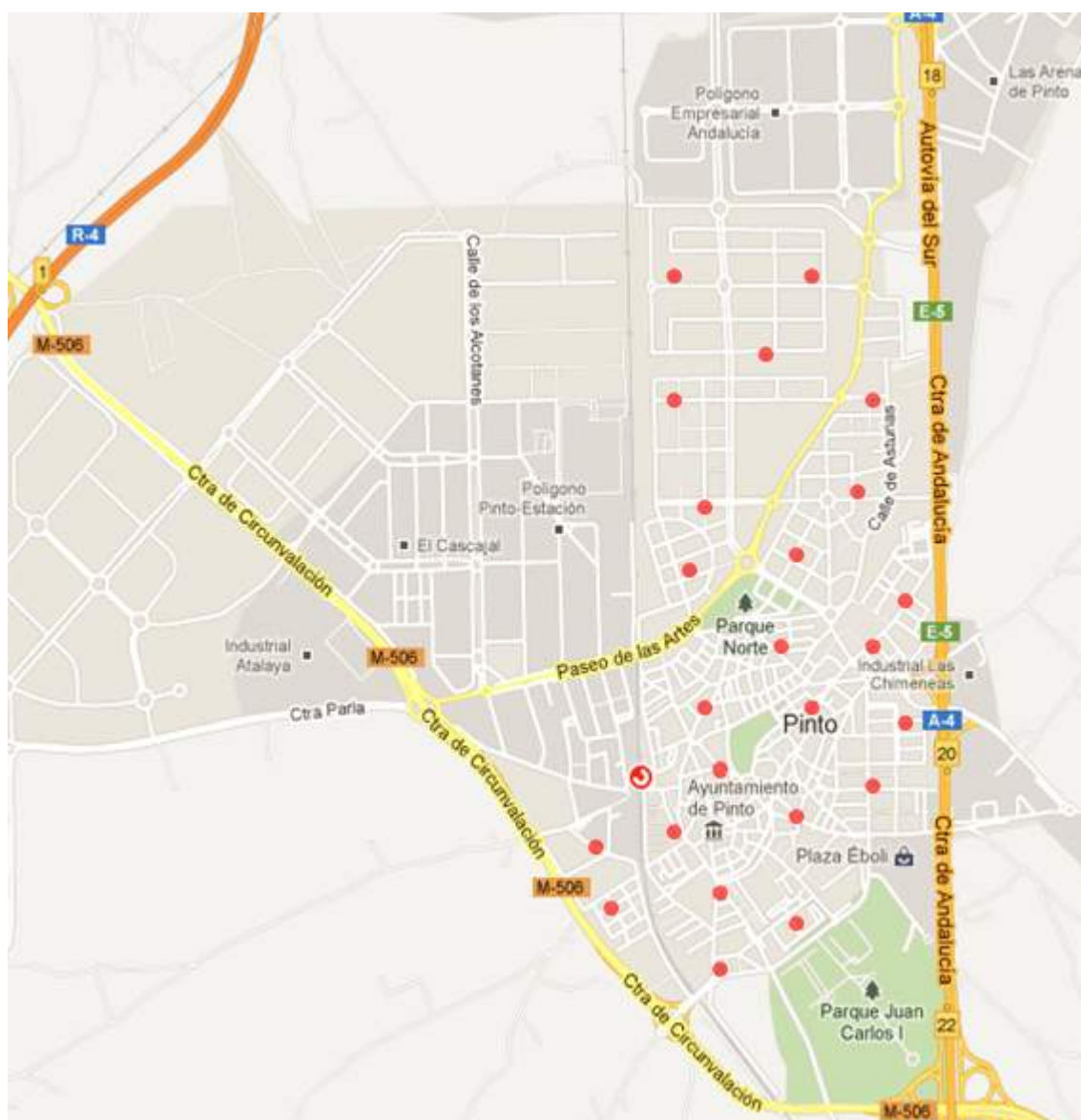


Figura 44, Colocación contenedores Pinto

Se han colocado 24 contenedores en lugar de los 15 proyectados. En este caso, al ser un municipio más pequeño en el que la densidad de población es menor y la población está más dispersa, se ha necesitado algún contenedor más para cumplir los criterios de proximidad. Como en casos anteriormente comentados, esto no cambiará los criterios iniciales calculados para la recogida.

Villaviciosa de Odón

La colocación de los contenedores en el municipio de Villaviciosa de Odón será la siguiente:

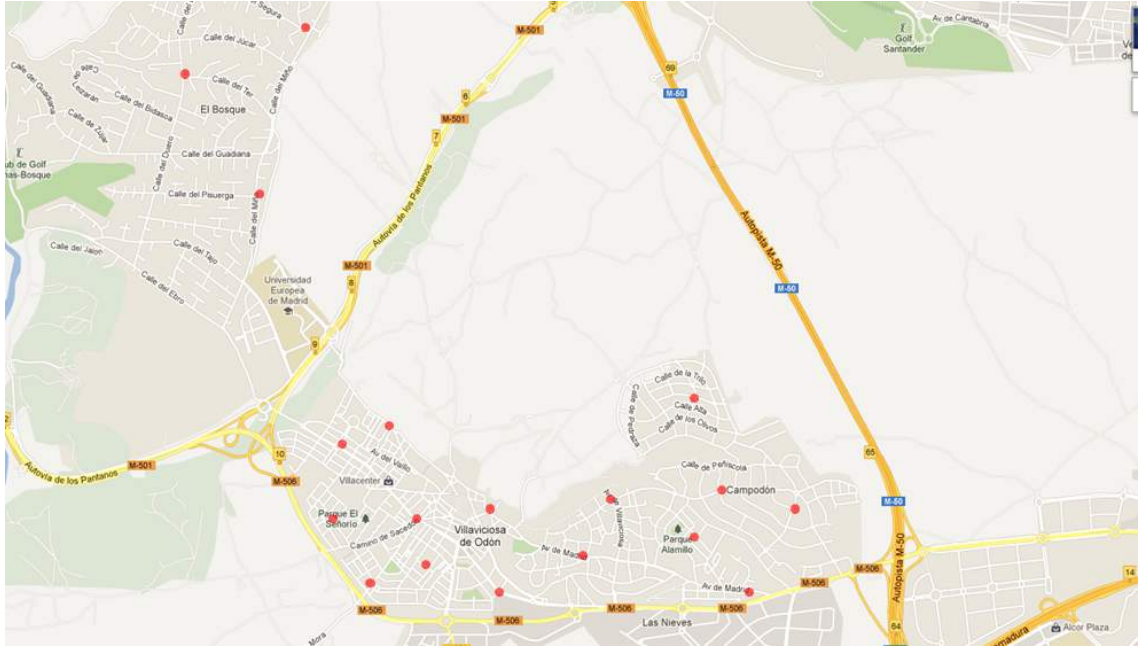


Figura 45, Colocación contenedores Villaviciosa de Odón

El número de contenedores colocados finalmente es el doble del previsto, dado el carácter residencial de este municipio que hace que sea el menos densamente poblado de todos los incluidos en el estudio.

Este es número de contenedores con el que contará al final cada ciudad:

	Contenedores
Móstoles	54
Fuenlabrada	57
Leganés	70
Getafe	71
Alcorcón	64
Parla	41
Pinto	24
Villaviciosa de Odón	18

1.3.2 Ruta de recogida diseñada para cada municipio

A continuación se muestran las rutas de recogida diseñadas para cada municipio que permitirán hacer posteriormente un análisis para conocer si la recogida de aceite usado es rentable. Las rutas se han realizado con la herramienta de rutas de Google maps que permite meter puntos intermedios a lo largo de un recorrido inicial establecido dando lugar a la ruta más corta posible una vez designados todos los puntos. Para la mayoría de ciudades se ha necesitado realizar la ruta en tres pasos debido a la limitación que tiene la aplicación a la hora de designar un número de puntos intermedios. Se presentan a continuación la ruta para cada ciudad indicando la distancia en kilómetros así como el tiempo que se tarda en realizar.

Ruta Alcorcón Parte 1(21,5 km 48 min)

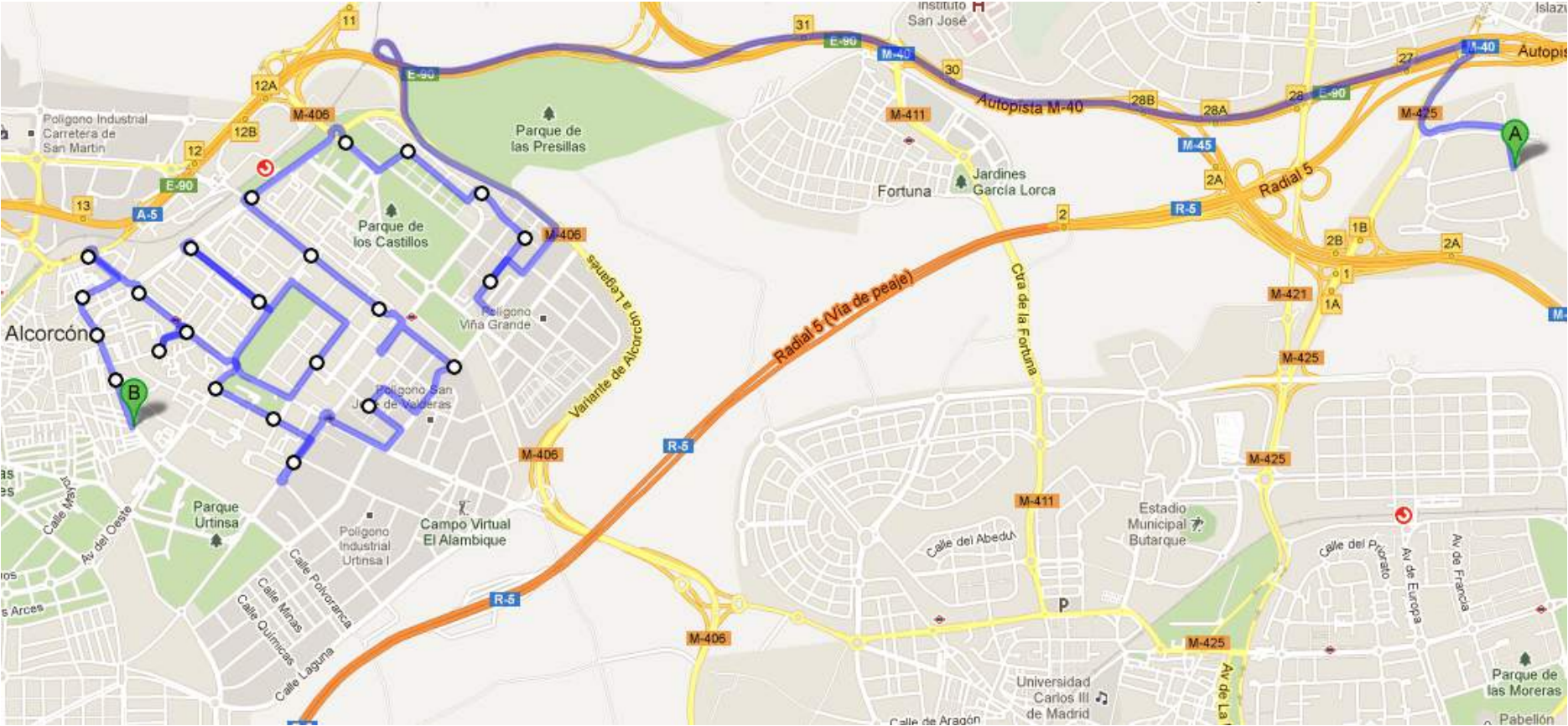


Figura 46, Ruta Alcorcón 1

Ruta Alcorcón Parte2 (15,3 km 42 min)

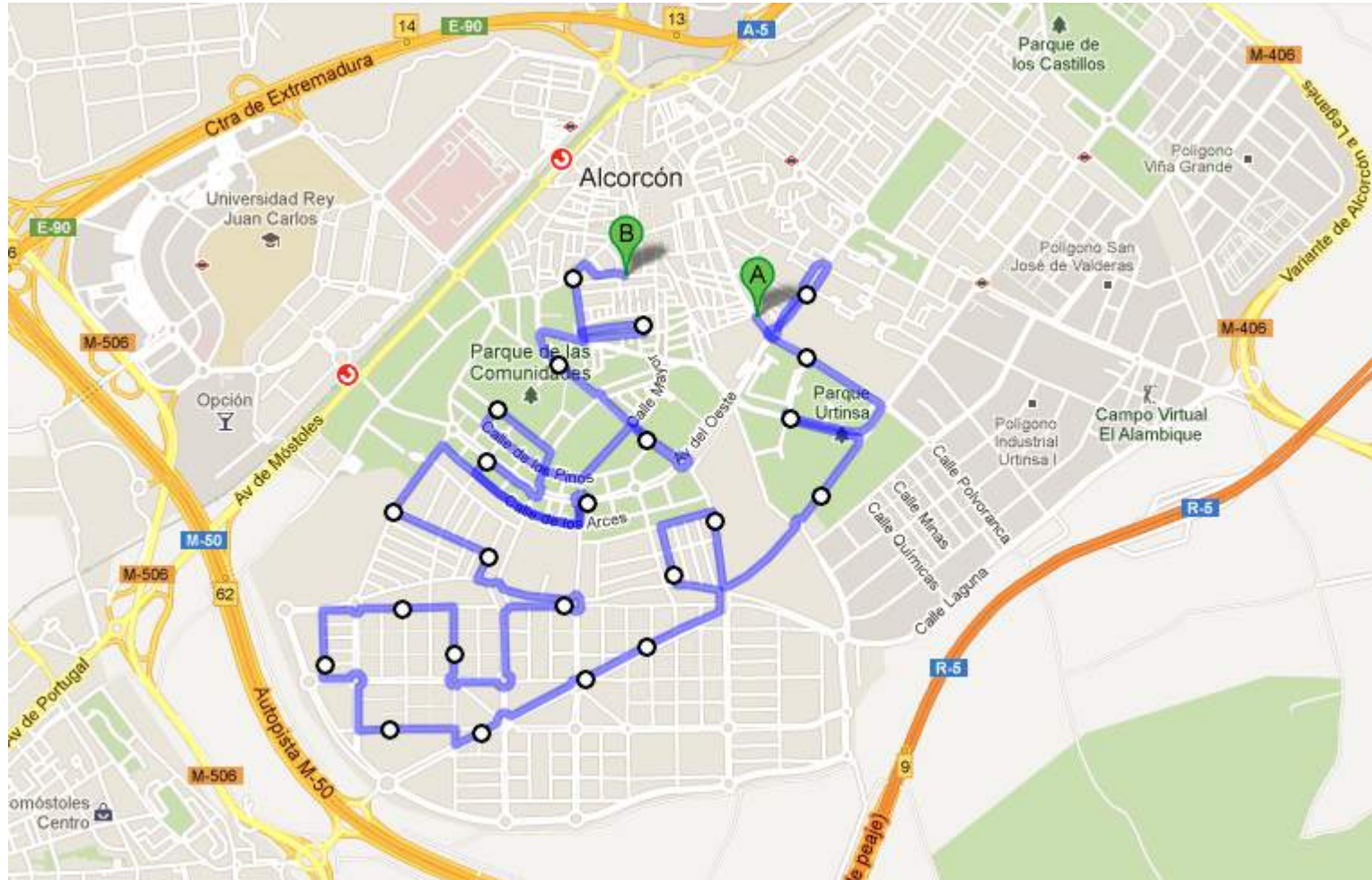


Figura 47, Ruta Alcorcón 2

Ruta Alcorcón Parte3 (18,1 km 31 min)



Figura 48, Ruta Alcorcón 3

Ruta Leganés Parte 1(20,3 km, 55min)

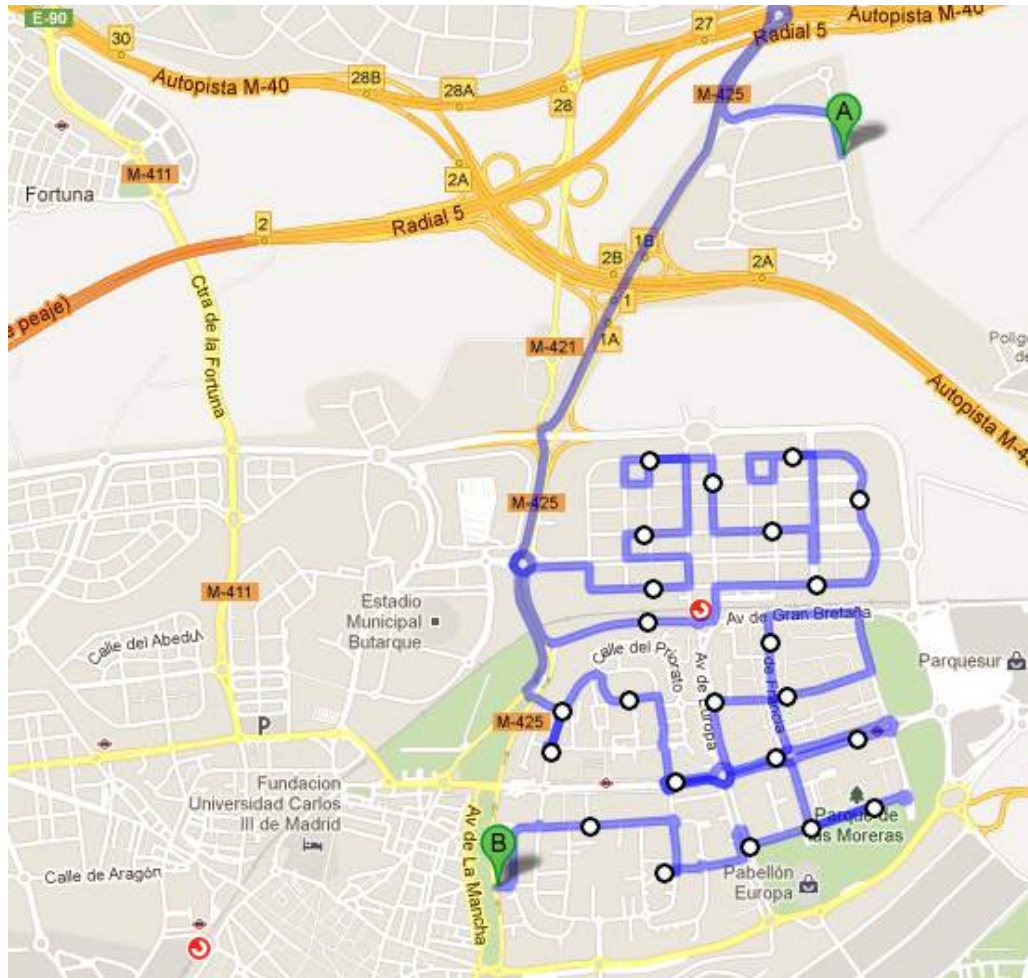


Figura 49, Ruta Leganés 1

Ruta Leganés Parte 2(19,7 km, 57min)

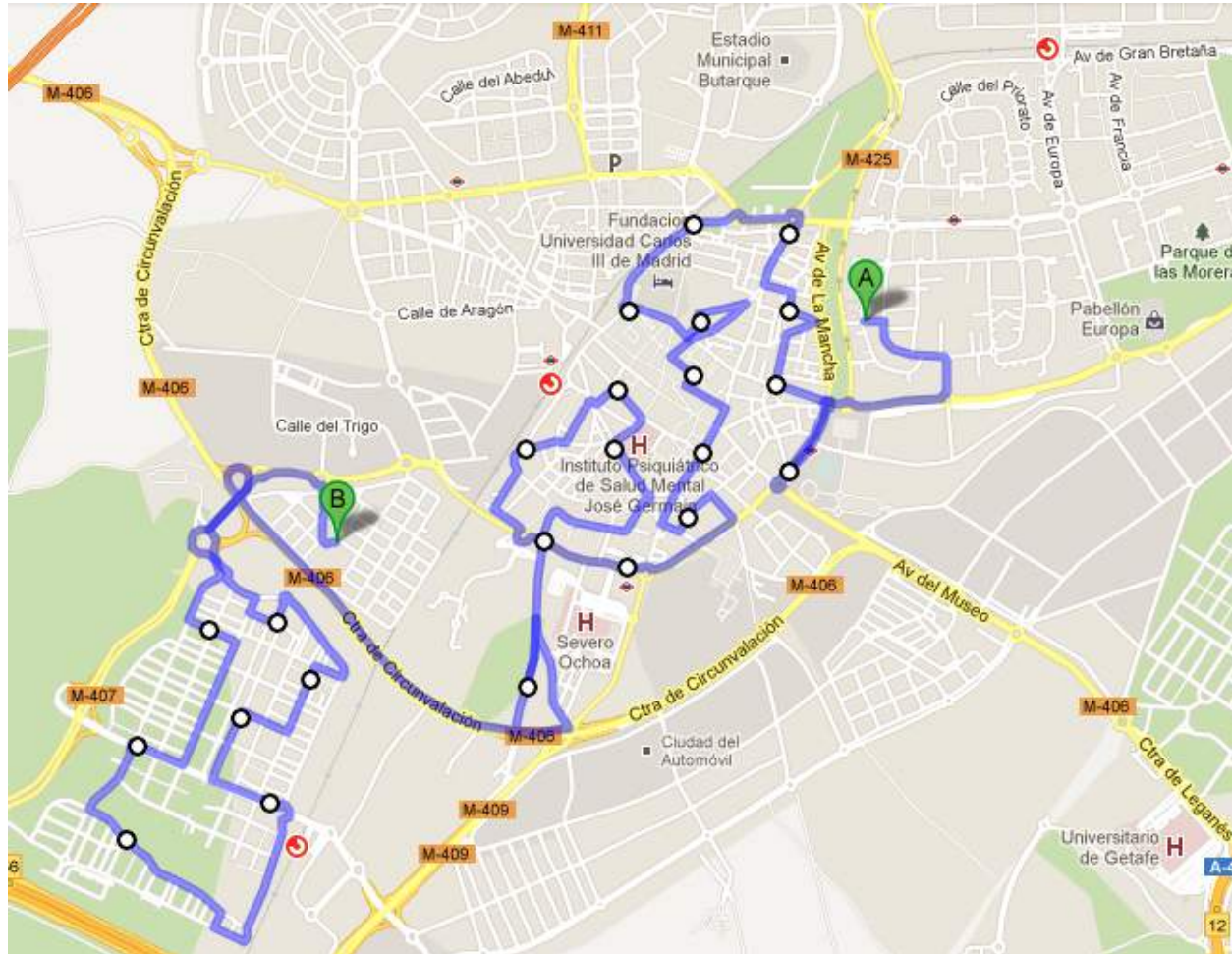


Figura 50, Ruta Leganés 2

Ruta Leganés Parte 3(14,4km, 40 min)

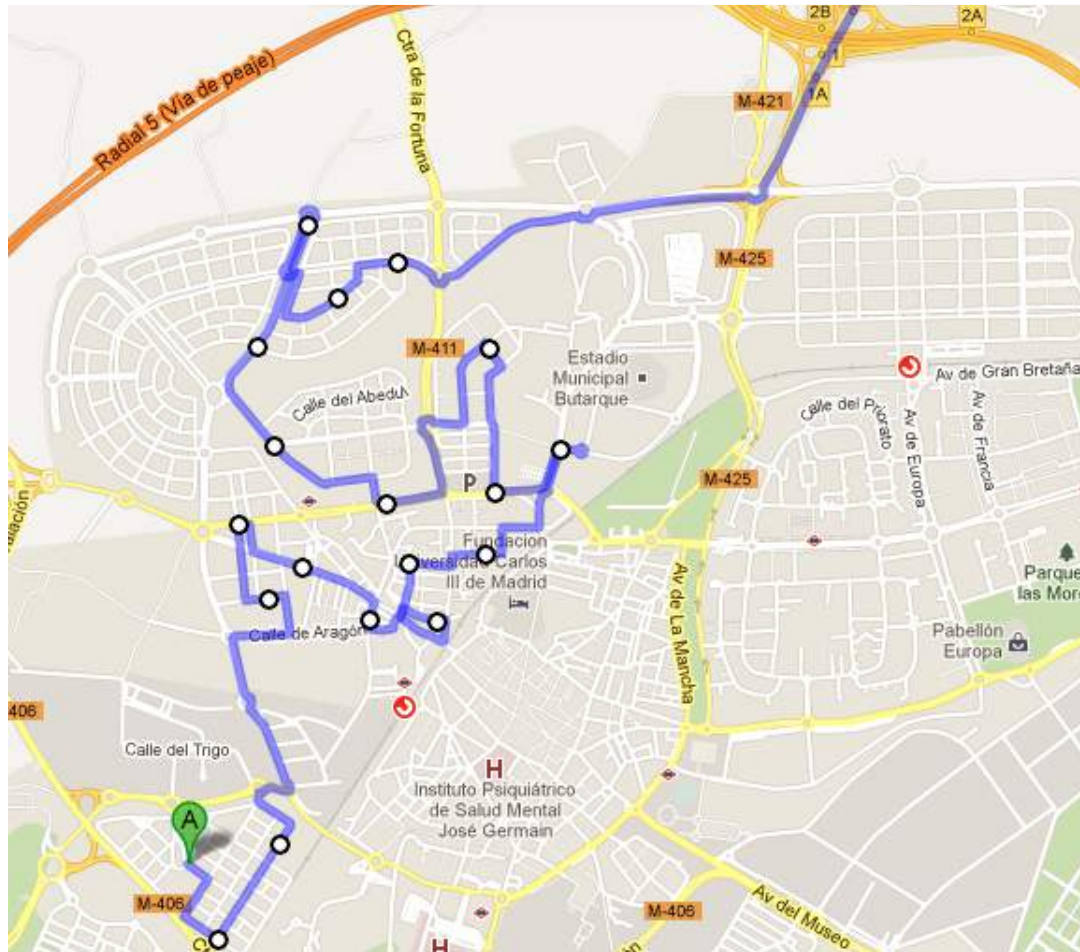


Figura 51, Ruta Leganés 3

Ruta Getafe 1 (24,1 km, 1h 2 min)



Figura 52, Ruta Getafe 1

Ruta Getafe 2 (22,5 km, 1h 8 min)

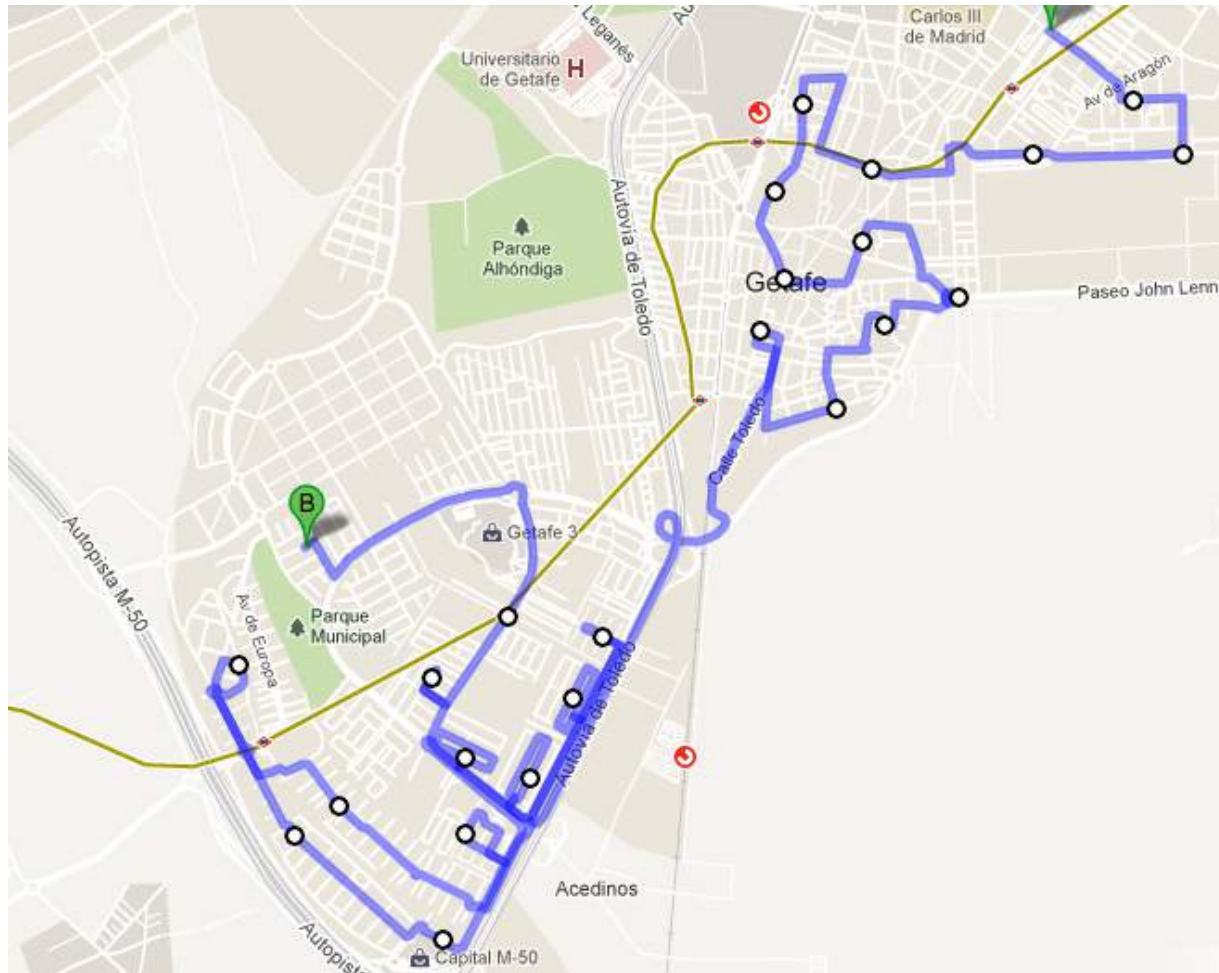


Figura 53, Ruta Getafe 2

Ruta Getafe 3 (24,8km, 1h 3 min)



Figura 54, Ruta Getafe 3

Ruta Móstoles 1 (30,5 km, 1h 9 min)

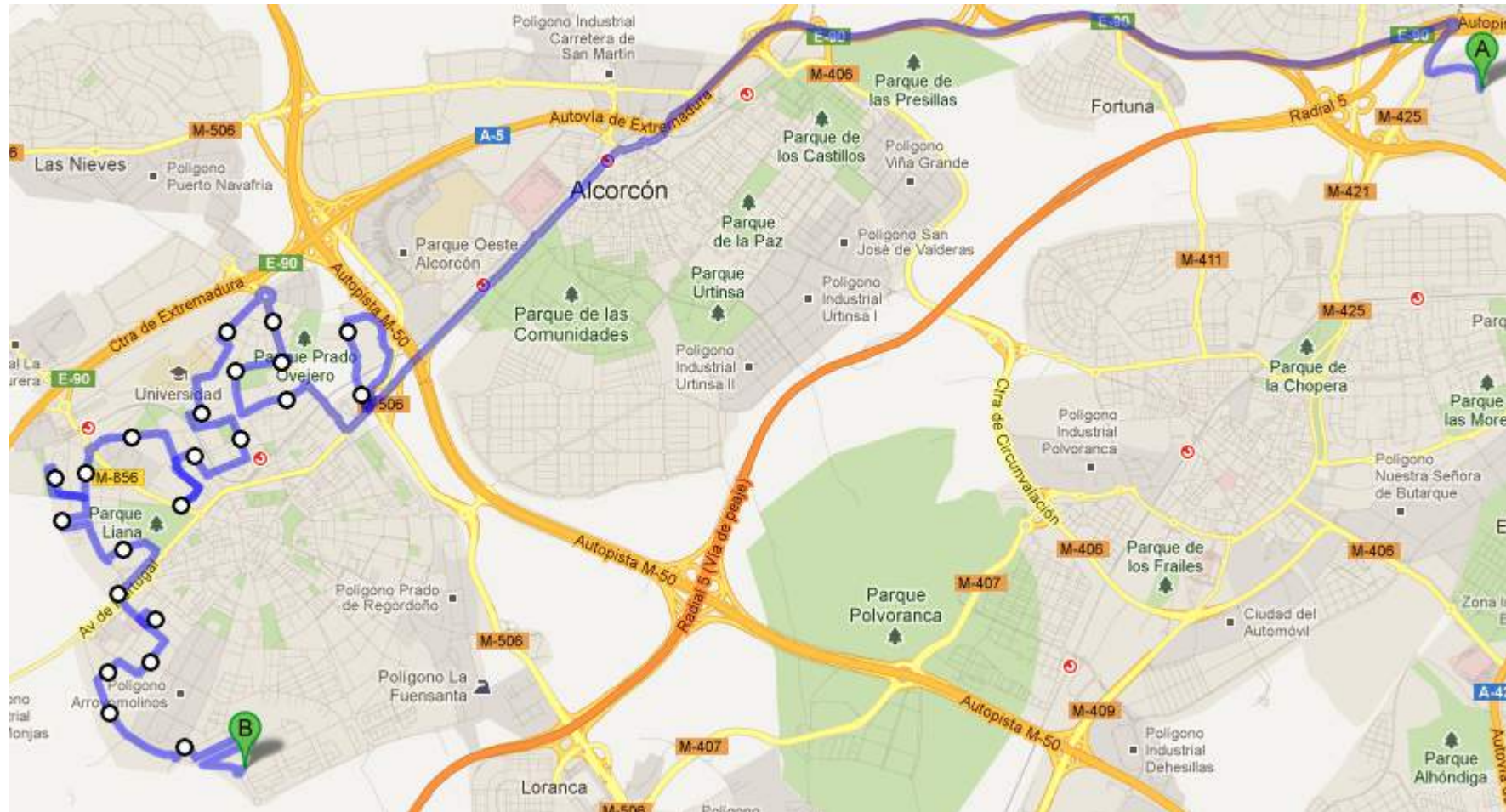


Figura 55, Ruta Móstoles 1

Ruta Móstoles 2 (13,9 km, 43 min)



Figura 56, Ruta Móstoles 2

Ruta Móstoles 3 (17,7 km, 24 min)



Figura 57, Ruta Móstoles 3

Ruta Fuenlabrada 1 (31,7 km, 1h 4 min)



Figura 58, Ruta Fuenlabrada 1

Ruta Fuenlabrada 2 (21,1 km, 58 min)



Figura 59, Ruta Fuenlabrada 2

Ruta Fuenlabrada 3 (15,3 km, 34 min)

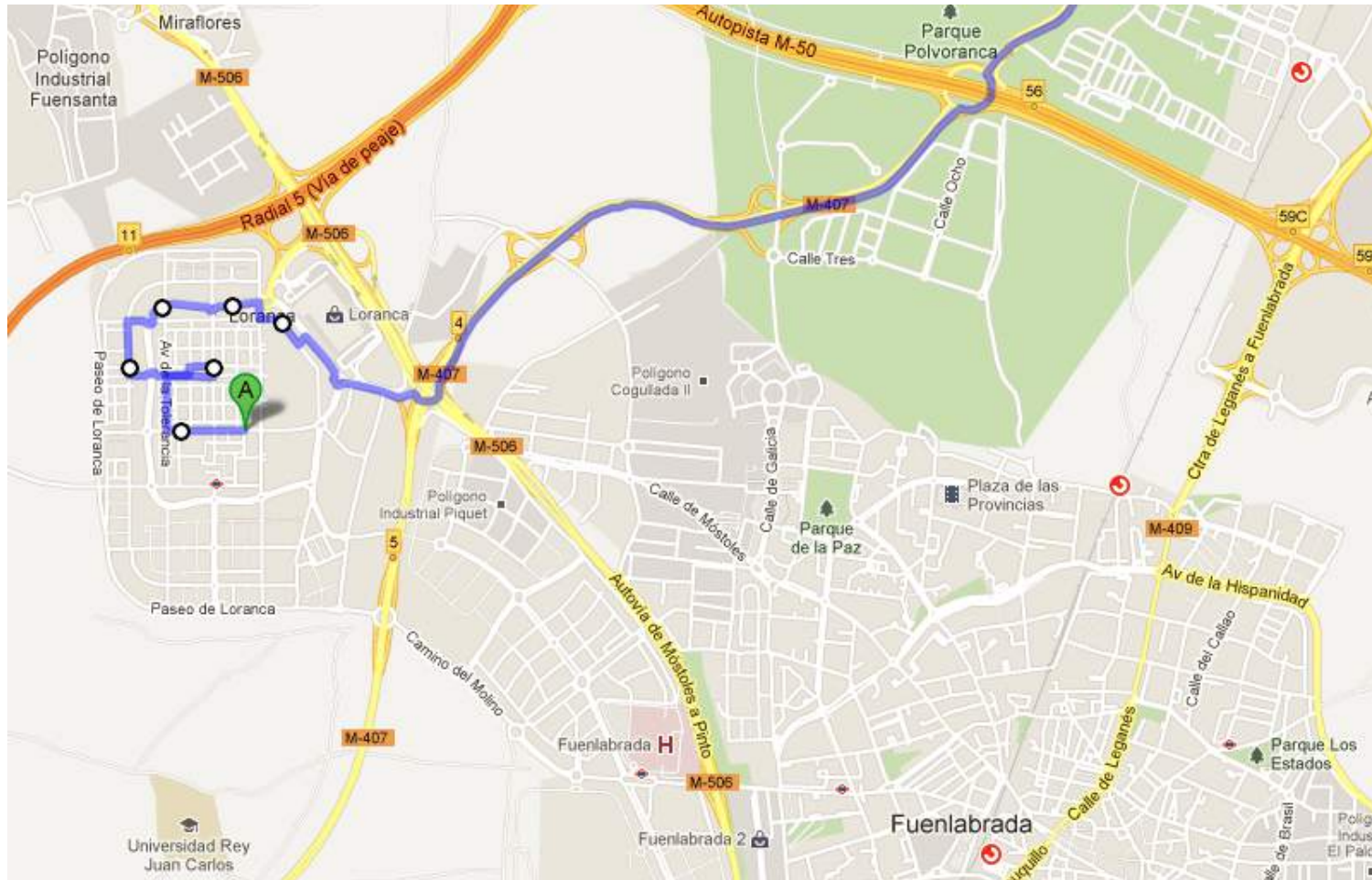


Figura 60, Ruta Fuenlabrada 3

Ruta Parla 1 (31,9 km, 1h 7min)



Figura 61, Ruta Parla 1

Ruta Parla 2 (32,8 km, 1h)

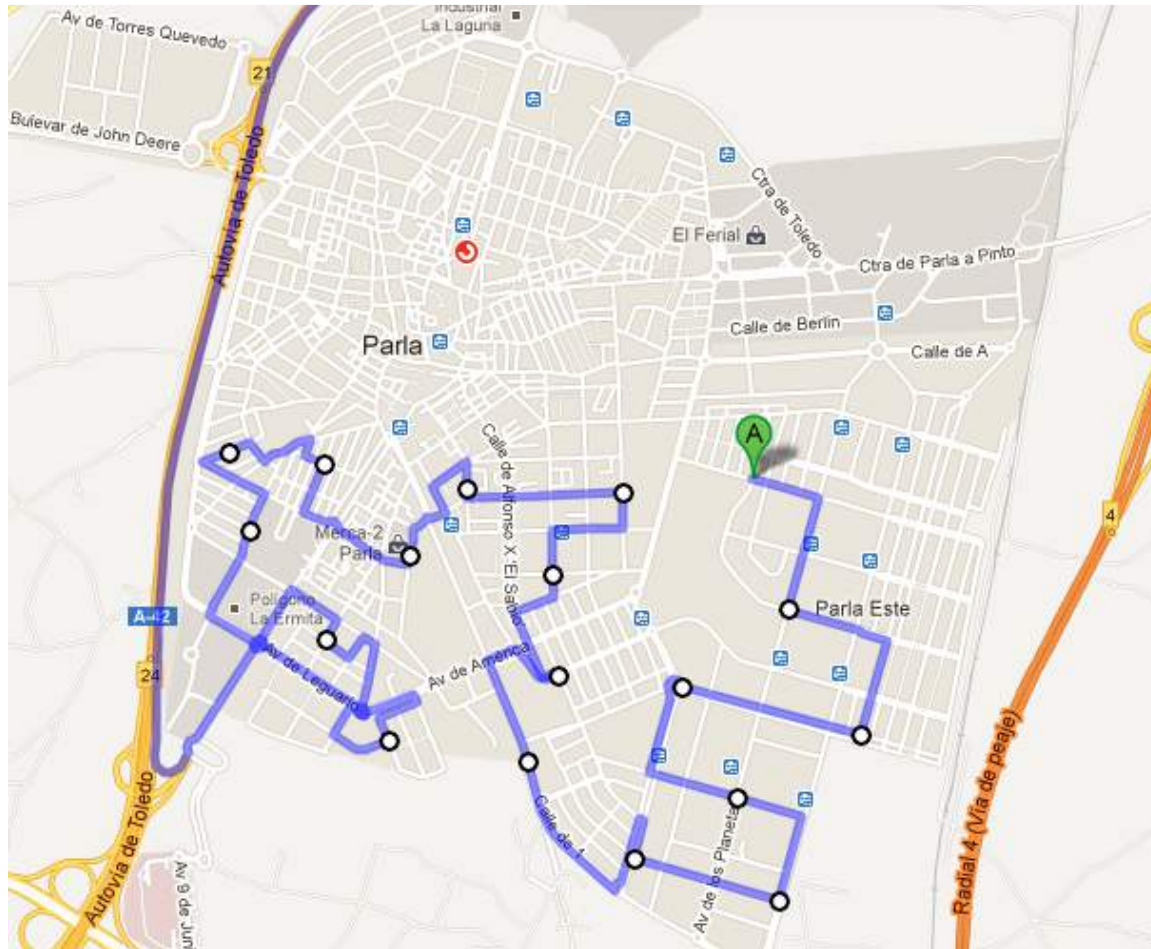


Figura 62, Ruta Parla 2

Ruta Pinto (53,1km, 1h 27min)

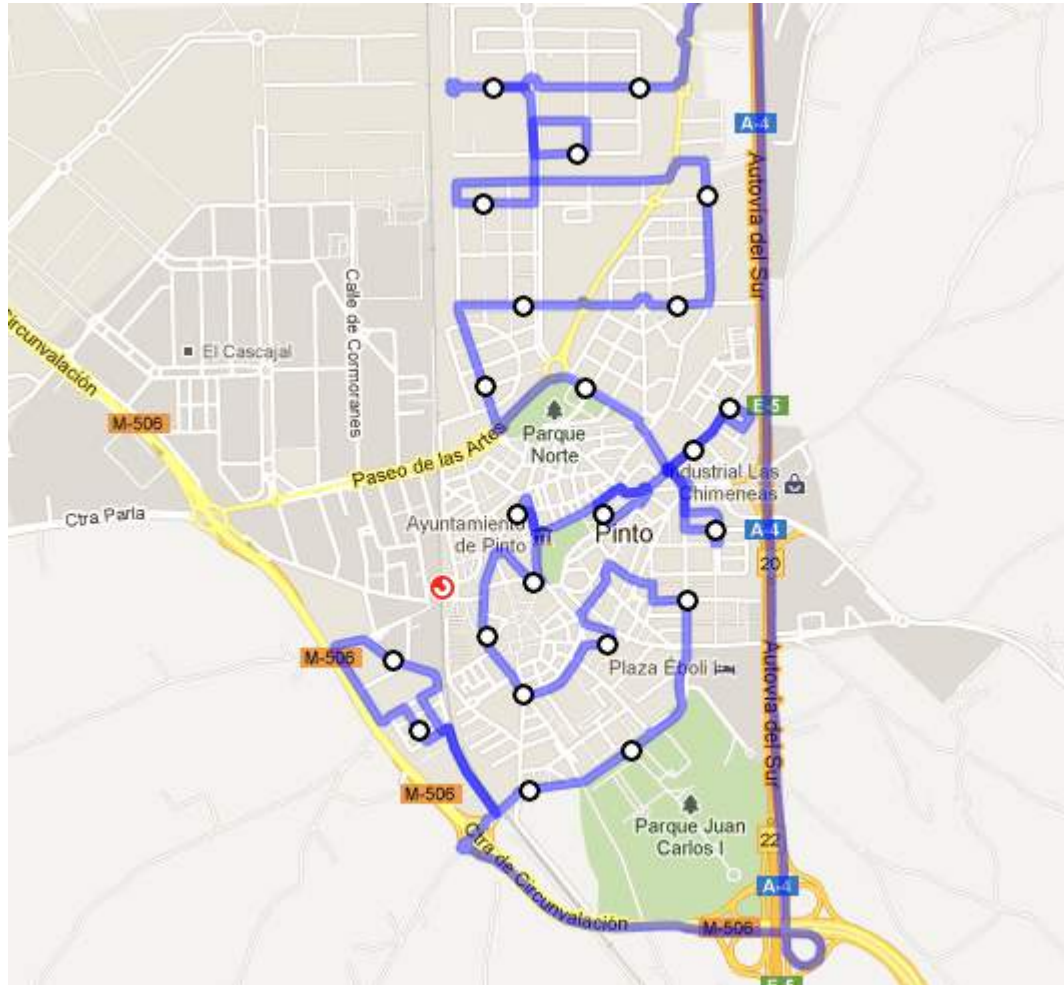


Figura 63, Ruta Pinto

Ruta Villaviciosa de Odón (56km, 1h 43 min)

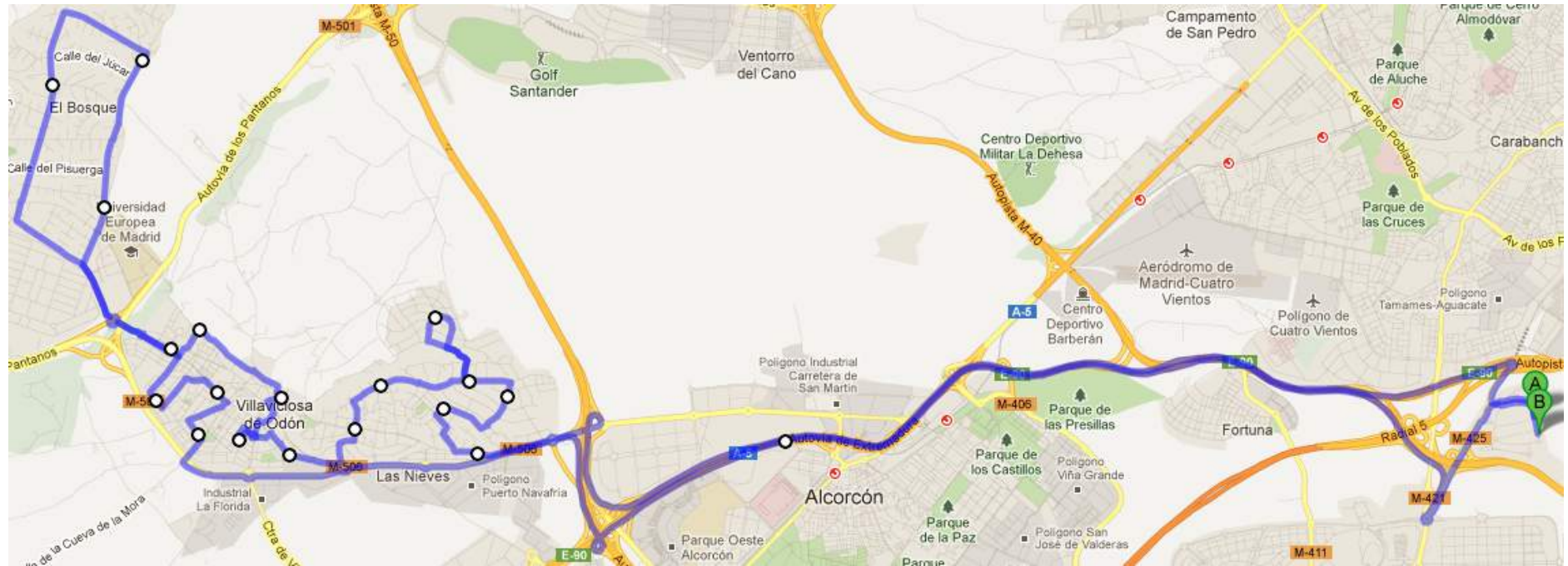


Figura 64, Ruta Villaviciosa de Odón

A modo resumen, se adjuntan las tablas de distancia y duración del recorrido para cada ciudad como suma de las partes en las que se ha dividido cada ruta para poder llevar a cabo su cálculo.

Distancia	Parte 1(km)	Parte 2(km)	Parte 3(km)	Total(km)
Alcorcón	21,5	15,3	18,1	54,9
Leganés	20,3	19,7	14,4	54,4
Getafe	24,1	22,5	24,8	71,4
Móstoles	30,5	13,9	17,7	62,1
Fuenlabrada	31,7	21,1	15,3	68,1
Parla	31,9	32,8		64,7
Pinto	53,1			53,1
Villaviciosa	56			56

Tiempo	Parte 1(min)	Parte 2(min)	Parte 3(min)	Total(min)
Alcorcón	48	42	31	121
Leganés	55	57	40	152
Getafe	62	68	63	193
Móstoles	69	43	24	136
Fuenlabrada	64	58	54	176
Parla	67	60		127
Pinto	97			97
Villaviciosa	103			103

Estos datos nos permitirán calcular los costes que tendrá la recogida de los residuos.

1.3.3 Opciones para decidir las ciudades del sistema

Tras observar la localización de los contenedores en cada ciudad y ver las rutas que se harán para la recogida de aceite, se van a decidir las distintas opciones que serán utilizadas a la hora de elegir qué ciudades se incluyen en el sistema.

Como se ha contemplado a lo largo del proyecto, se necesita un mínimo de habitantes para que merezca la pena montar una planta de producción. Así se han pensado las siguientes opciones:

La primera opción será la constituida por las tres ciudades situadas más al norte y por lo tanto más cerca de la planta. Estas ciudades son Leganés Alcorcón y Móstoles. Tomamos esta primera opción por la cercanía, que debería dar un buen resultado económico en cuanto a minimizar el kilometraje y teniendo ya un volumen suficiente (1.260 Tn/año) como para pensar en operar una planta de pequeño tamaño.

A partir de aquí, las siguientes opciones son las que resultan de agregar ciudades a la primera opción. La opción 2 será añadir las dos ciudades más pobladas a la vez Móstoles y Fuenlabrada, con los que la producción ya sería de 2.229 Tn/año.

La opción 3 sería agregar Parla a todo lo anterior y las opciones 4 y 5 serían agregar Pinto y Villaviciosa de Odón a las opciones anteriores.

Se muestra a continuación un resumen del tonelaje y de los volúmenes que se obtendrían al ir acumulando ciudades:

	Población	Aceite(kg/mes)	Aceite(kg/Año)	Aceite(l/mes)	Aceite(l/Año)
Leganés+Getafe+Alcorcón	525.190	105.038	1.260.456	114.172	1.370.061
Móstoles+Fuenlabrada	403.575	80.715	968.580	87.734	1.052.804
SUMA ACUMULADA	928.765	185.753	2.229.036	201.905	2.422.865
Parla	121.995	24.399	292.788	26.521	318.248
SUMA ACUMULADA	1.050.760	210.152	2.521.824	228.426	2.741.113
Pinto	45.643	9.129	109.543	9.922	119.069
SUMA ACUMULADA	1.096.403	219.281	2.631.367	238.348	2.860.182
Villaviciosa	26.646	5.329	63.950	5.793	69.511
SUMA ACUMULADA	1.123.049	224.610	2.695.318	244.141	2.929.693

1.3.4 Estudio de costes de las distintas opciones

Se hará un estudio de costes en el que se tratarán los costes fijos y los costes variables para varias opciones de manera que se intente maximizar el beneficio. En este caso el beneficio vendrá dado por intentar recoger el máximo de aceite posible al mínimo coste.

Costes fijos

Los costes fijos en un proceso de producción son generalmente los costes del suelo, construcción de la planta, impuestos, seguros y equipamiento. En lo que atañe al coste de recogida, que es lo que se está estudiando en este momento para decidir que ciudades incluimos en el sistema de recogida, tan sólo algunos costes de equipamiento han de ser tenidos en cuenta. Estos costes son los de los contenedores y el de los camiones necesarios para poder recoger el aceite que genera cada ciudad.

En el caso de los contenedores, la idea es obtener acuerdos con empresas que estén dispuestas a sufragar la compra de un número de contenedores a cambio de aprovechar los contenedores como emplazamientos publicitarios por un periodo largo de tiempo a modo de patrocinio y a la vez mejorando su imagen corporativa. Sin embargo, de cara al cálculo de costes no podemos contar con esto ya que podría no cerrarse ningún acuerdo y los cálculos de costes para elegir las ciudades que entrarán no pueden depender de esto, así que tendremos en cuenta el coste de los contenedores seleccionados. El número variará como se ha visto, según las ciudades que se incluyan.

En el caso de los camiones encargados de realizar la recogida, se ha estudiado el mercado de vehículos para recogida de residuos urbanos y hay aparatos de hasta una capacidad de 22 m³, esto es 22.000 litros, por lo que hemos hecho unos cálculos para ver cuántos viajes aproximados al mes harían falta para asegurarnos que la recogida se efectúa correctamente. De esta manera, se podrían calcular dependiendo de las ciudades que se incluyan en el estudio el número de camiones que serían necesarios.

Se presenta un primer cálculo de aproximación para hacernos una idea. Se ha cogido el dato de aceite que se espera recoger cada mes para cada ciudad y se ha dividido entre la capacidad que presentan algunos de los camiones tenidos en cuenta para el estudio.

	Municipio	Aceite(l/mes)	14.000 l	16.000 l	18.000 l	20.000 l	22.000 l
2º	Móstoles	44.568,5	3,2	2,8	2,5	2,2	2,0
4º	Fuenlabrada	43.165,2	3,1	2,7	2,4	2,2	2,0
5º	Leganés	40.554,8	2,9	2,5	2,3	2,0	1,8
6º	Getafe	36.981,5	2,6	2,3	2,1	1,8	1,7
7º	Alcorcón	36.635,4	2,6	2,3	2,0	1,8	1,7
9º	Parla	26.520,7	1,9	1,7	1,5	1,3	1,2
22º	Pinto	9.922,4	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
27º	Villaviciosa de Odón	5.792,6	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3

Se puede observar que el número de viajes mensuales aunque incluyésemos todas las ciudades no es muy elevado podría ser realizado por un solo camión. Esto hace pensar que aunque se tendrá en cuenta para calcular el coste final, el coste del camión será determinante en la medida que elijamos un modelo u otro que cumpla las necesidades, pero no variará el número de camiones de una opción a otra.

Estudiando las opciones de cara a el uso de un camión para la recogida del residuo, se llega a la conclusión que al ser un proyecto de nueva creación lo más seguro será alquilar un camión durante la primera fase del proyecto hasta ver que es rentable. Esto permite no tener que realizar grandes inversiones iniciales. Además esta opción incluye el mantenimiento y los seguros necesarios para el vehículo. Tras buscar en el mercado opciones de alquiler de camiones con descarga trasera, que es la que nos interesa se ha encontrado una empresa, FV Rental, con sede en Ourense, que alquila dos modelos de este tipo de camión por 29.675,93€ al año. Ambos modelos constan de una capacidad de 16 m³ (16.000 l) lo que nos da el dato para calcular el número de viajes que deberán hacerse para cada ciudad.

Los dos modelos ofrecidos por FV Rental son los que se muestran a continuación:

Camión USADO Recogida Trasera DAFF

Marca: DAFF
 Modelo: AE 75
 Variante: 4X2.



Camión EURO II, con cambio manual de 8 velocidades.
 Distancia entre ejes de 4320 mm.
 Caja Ros Roca Modelo Cross con capacidad de 16 m3, para carga trasera.

Camión USADO Recogida Trasera Volvo

Marca: Volvo
 Modelo: FL6
 Variante: 4X2.



Camión EURO II, con cambio automático.
 Distancia entre ejes de 4000 mm.
 Caja Norba RL 300 con capacidad de 16 m3 y elevador Zooler, para carga trasera

El número de contenedores para cada ciudad ya se ha definido por lo que será fácil calcular su coste para cada ciudad teniendo en cuenta que se escogió el modelo de Sanimobel, que cuesta 944€ la unidad.

	Contenedores final	Coste (€)
Móstoles	54	50.976
Fuenlabrada	57	53.808
Leganés	70	66.080
Getafe	71	67.024
Alcorcón	64	60.416
Parla	41	38.704
Pinto	24	22.656
Villaviciosa de Odón	18	16.992

Costes variables

Los costes variables en este caso serán el gasto de combustible en función de las rutas que se decidan realizar y el gasto de personal derivado de la prestación de dicho servicio. El personal necesario para realizar la recogida será un conductor de camiones cualificado y dos operarios que se encargarán de extraer la cubeta del contenedor y aproximarla al camión. Estos mismos operarios se encargarán posteriormente de la descarga del camión y el vaciado de las botellas en planta.

El coste del combustible así como el gasto de personal vendrán dados por el número de viajes que se realicen en función de las ciudades que se incluyan en cada caso.

El coste del combustible se calculará de la siguiente manera. Se multiplicará el número de kilómetros de cada ruta por el número de viajes que se desee realizar para obtener el número total de kilómetros anuales de cada ruta. Se tendrá en cuenta el consumo del camión, unos 26 litros a los 100 km que corresponde a estos modelos. Se le añadirá un 10% como consecuencia del consumo al ralenti que tiene lugar durante las paradas. Y por último, se tendrá en cuenta el coste medio del diesel en la Comunidad de Madrid a 23/07/2012, que es de 1,35€/litro. Todos estos factores nos permiten calcular el coste anual de cada ruta de la siguiente manera:

$$\text{Coste} = \frac{\text{km}}{\text{viaje}} \times \text{viajes} \times \frac{26\text{litros}}{100\text{km}} \times 1,1 \times 1,35 \frac{\text{€}}{\text{litros}} = \text{Coste(€)}$$

A continuación, se presenta un resumen del número de viajes anuales para cada ciudad teniendo en cuenta la elección de un camión con capacidad para 16.000 litros, así como el kilometraje a realizar según la ruta de cada ciudad que nos permiten calcular junto con la fórmula anterior el consumo y coste anual de cada ruta.

	Ruta(km)	Viajes (16.000l)	Consumo(l)	Consumo total (l)	Coste(€)
Móstoles	62,1	34	548,96	603,86	815,21
Fuenlabrada	68,1	33	584,30	642,73	867,68
Leganés	54,4	31	438,46	482,31	651,12
Getafe	71,4	28	519,79	571,77	771,89
Alcorcón	54,9	28	399,67	439,64	593,51
Parla	64,7	20	336,44	370,08	499,61
Pinto	53,1	8	110,45	121,49	164,02
Villaviciosa de Odón	56	5	72,80	80,08	108,11

En cuanto a los gastos de personal, tenemos la duración de las rutas, a las que hay que sumarle medio minuto por parada para descargar la cubeta del contenedor en el camión y 20 minutos para descargar toda la carga al llegar a la planta. Esto dará la duración total de cada ruta.

$$Duración(\text{min}) = DuraciónRuta(\text{min}) + 0,5 \text{ min} \times \text{número de paradas} + 20 \text{ min descarga}$$

Como tenemos el número de rutas anuales para cada ciudad, esto nos dará los tiempos totales durante los que deberemos contar con el personal.

	Contenedores	Viajes (16.000l)	Tiempo(min)	TTotalRuta(min)	TAnual(min)	TAnual(horas)
Móstoles	54	34	136	183	6.222,0	103,70
Fuenlabrada	57	33	176	224,5	7.408,5	123,48
Leganés	70	31	152	207	6.417,0	106,95
Getafe	71	28	193	248,5	6.958,0	115,97
Alcorcón	64	28	121	173	4.844,0	80,73
Parla	41	20	127	167,5	3.350,0	55,83
Pinto	24	8	97	129	1.032,0	17,20
Villaviciosa de Odón	18	5	103	132	660,0	11,00

El coste de personal por lo tanto se calculará a partir de esas horas según la ciudad aplicadas al personal del que se dispone para la recogida. Esto es un conductor cualificado y dos operarios que realizarán la carga de la cubeta del contenedor al camión.

El salario en el caso del conductor será 21.000€ y de 15.000€ para los operarios. Estos salarios se darían en el caso de que trabajara 8 horas diarias, que serían 40 horas semanales y 1840 horas anuales si trabaja 46 de las 52 semanas hábiles del año. Por lo que en función de las horas que sean necesarias para cada opción se establecerán contratos y sueldos proporcionales. A esto habrá que unir el pago del 32% del salario correspondiente al pago de la Seguridad Social.

Para realizar el análisis comparativo entre las distintas opciones se asociarán los costes variables esperados a los litros que se esperan recoger en cada caso, de manera que el coste variable vaya en función del litro de aceite que se espera recoger. A continuación se procederá a realizar el estudio de costes de las distintas opciones.

Opción 1: Leganés, Alcorcón y Getafe

Para realizar el estudio de costes se utilizará una base de un año.

- **Costes fijos**

Como se ha comentado, los costes fijos serán los del camión y los de los contenedores. El coste del camión es de 29.675,93 €/año.

El coste de los contenedores será teniendo en cuenta que sumarían 205 contenedores, a 944€ el contenedor, sería de 193.520 €. Previendo una amortización a 20 años, el coste anual de estos contenedores sería de 9.676 €/año.

Si sumamos estas dos cifras, los costes fijos de esta opción serían de 39.351,93 €/año.

- **Costes variables**

Los costes variables serán los de combustible y los de personal.

Los costes de combustible para esta opción son los que resultan de sumar los de los tres municipios.

$$\text{CosteCombustible} = 651,12\text{€} + 771,89\text{€} + 593,51\text{€} = 2.016,52\text{€}$$

Los costes de personal son los que resultan de multiplicar las horas necesarias para cada ciudad por el coste de los dos operarios sumado al coste de las horas del conductor. En este caso el número de horas anuales necesarias para completar las rutas será:

$$\text{HorasPersonal} = 106,95 + 115,97 + 80,73 = 303,65\text{horas}$$

El sueldo de los operarios y el conductor será:

$$\text{SueldoOperario} = 15.000\text{€} \times \frac{303,65\text{horas}}{1840\text{horas}} \times 1,32 = 3.267,54\text{€}$$

$$\text{SueldoConductor} = 21000\text{€} \times \frac{303,65\text{horas}}{1840\text{horas}} \times 1,32 = 4.574,55\text{€}$$

$$\text{CostePersonal} = 2 \times 3.267,54\text{€} + 4.574,55\text{€} = 11.109,63\text{€}$$

Sumando los costes de combustible y los costes de personal anuales tendríamos el total de los costes variables anual.

$$\text{CosteVariable} = 2.016,52\text{€} + 11.109,63\text{€} = 13.126,15\text{€}$$

El coste variable anual para la opción 1 es de 13.138,95€ y la cantidad de aceite que se espera recoger durante un año es 1.370.061 litros.

Opción 2: Leganés, Alcorcón y Getafe +Móstoles y Fuenlabrada

Como se comentó las otras opciones resultan de ir añadiendo las otras ciudades por grupos de ciudades o de una en una según se ha creído conveniente. Así, la opción 2 resulta de añadir a la opción 1 las dos ciudades más pobladas, Móstoles y Fuenlabrada, e inmediatamente próximas a las de la opción 1.

- **Costes fijos**

Los costes fijos serán los del camión y los contenedores. El coste del camión es de 29.675,93 €/año.

El coste de los contenedores será teniendo en cuenta que sumarían 316 contenedores, a 944€ el contenedor, sería de 298.304€. Previendo una amortización a 20 años, el coste anual de estos contenedores sería de 14.915,2 €/año.

Si sumamos estas dos cifras, los costes fijos de esta opción serían de 44.591,13€/año.

- **Costes variables**

Los costes variables serán los de combustible y los de personal.

Los costes de combustible para esta opción son los que resultan de sumar los de la opción 1 y los dos nuevos municipios.

$$\text{CosteCombustible} = 2.016,52\text{€} + 815,21\text{€} + 867,68\text{€} = 3.699,42\text{€}$$

Los costes de personal son los que resultan de multiplicar las horas necesarias para cada ciudad por el coste de los dos operarios sumado al coste de las horas del conductor. En este caso el número de horas anuales necesarias para completar las rutas será:

$$\text{HorasPersonal} = 303,65 + 103,7 + 123,48 = 530,83\text{horas}$$

El sueldo de los operarios y el conductor será:

$$\text{SueldoOperario} = 15.000\text{€} \times \frac{530,83\text{horas}}{1840\text{horas}} \times 1,32 = 5.712,14\text{€}$$

$$\text{SueldoConductor} = 21000\text{€} \times \frac{530,83\text{horas}}{1840\text{horas}} \times 1,32 = 7.996,99\text{€}$$

$$\text{CostePersonal} = 2 \times 5.712,14\text{€} + 7.996,99\text{€} = 19.421,27\text{€}$$

Sumando los costes de combustible y los costes de personal anuales tendríamos el total de los costes variables anual.

$$\text{CosteVariable} = 3.699,42\text{€} + 19.421,27\text{€} = 23.120,69\text{€}$$

El coste variable anual para la opción 2 es de 23.120,69 € y la cantidad de aceite que se espera recoger durante un año es 2.422.865 litros.

Opción 3: Opción2+Parla

Como la opción 2 parece por la ecuación que será más rentable que la opción 1 (baja el coste por litro recogido de la parte variable), se decide añadir Parla en la opción 3 para ver si sigue dando buenos resultados lo que se pensaba desde el principio del proyecto en cuanto a las ciudades a tener en cuenta. Así, la opción 3 resulta de añadir Parla a la opción 2 de manera que integraría las ciudades de Leganés, Alcorcón, Getafe, Móstoles, Fuenlabrada y Parla.

- **Costes fijos**

Los costes fijos serán los del camión y los contenedores. El coste del camión es de 29.675,93 €/año.

El coste de los contenedores será teniendo en cuenta que sumarían 357 contenedores, a 944€ el contenedor, sería de 337.008€. Previendo una amortización a 20 años, el coste anual de estos contenedores sería de 16.850,4 €/año.

Si sumamos estas dos cifras, los costes fijos de esta opción serían de 46.526,33€/año.

- **Costes variables**

Los costes variables serán los de combustible y los de personal.

Los costes de combustible para esta opción son los que resultan de sumar los de la opción 2 y el nuevo municipio.

$$\text{CosteCombustible} = 3.699,42\text{€} + 593,51\text{€} = 4.199,03\text{€}$$

Los costes de personal son los que resultan de multiplicar las horas necesarias para cada ciudad por el coste de los dos operarios sumado al coste de las horas del conductor. En este caso el número de horas anuales necesarias para completar las rutas será:

$$\text{HorasPersonal} = 530,83 + 55,83 = 586,66\text{horas}$$

El sueldo de los operarios y el conductor será:

$$\text{SueldoOperario} = 15.000\text{€} \times \frac{586,66\text{horas}}{1840\text{horas}} \times 1,32 = 6.312,95\text{€}$$

$$\text{SueldoConductor} = 21000\text{€} \times \frac{586,66\text{horas}}{1840\text{horas}} \times 1,32 = 8.838,14\text{€}$$

$$\text{CostePersonal} = 2 \times 6.312,95\text{€} + 8.838,14\text{€} = 21.464,04\text{€}$$

Sumando los costes de combustible y los costes de personal anuales tendríamos el total de los costes variables anual.

$$\text{CosteVariable} = 4.199,03\text{€} + 21.464,04\text{€} = 25.663,07\text{€}$$

El coste variable anual para la opción 2 es de 25.663,07€ y la cantidad de aceite que se espera recoger durante un año es 2.741.113 litros.

Opción 4: Opción3+Pinto

Para la opción 4, añadiremos la ciudad de Pinto a la opción 3 para comprobar si seguimos disminuyendo el coste por litro de aceite recogido de la parte variable. Así esta opción integraría Leganés, Alcorcón, Getafe, Móstoles, Fuenlabrada, Parla y Pinto.

- **Costes fijos**

Los costes fijos serán los del camión y los contenedores. El coste del camión es de 29.675,93 €/año.

El coste de los contenedores será teniendo en cuenta que sumarían 381 contenedores, a 944€ el contenedor, sería de 359.664€. Previendo una amortización a 20 años, el coste anual de estos contenedores sería de 17.983,2 €/año.

Si sumamos estas dos cifras, los costes fijos de esta opción serían de 47.659,13€/año.

- **Costes variables**

Los costes variables serán los de combustible y los de personal.

Los costes de combustible para esta opción son los que resultan de sumar los de la opción 3 y el nuevo municipio.

$$\text{CosteCombustible} = 4.199,03\text{€} + 164,02\text{€} = 4.363,05\text{€}$$

Los costes de personal son los que resultan de multiplicar las horas necesarias para cada ciudad por el coste de los dos operarios sumado al coste de las horas del conductor. En este caso el número de horas anuales necesarias para completar las rutas será:

$$\text{HorasPersonal} = 586,66 + 17,2 = 603,86\text{horas}$$

El sueldo de los operarios y el conductor será:

$$\text{SueldoOperario} = 15.000\text{€} \times \frac{603,86\text{horas}}{1840\text{horas}} \times 1,32 = 6.498,04\text{€}$$

$$\text{SueldoConductor} = 21000\text{€} \times \frac{603,86, \text{horas}}{1840\text{horas}} \times 1,32 = 9.097,26\text{€}$$

$$\text{CostePersonal} = 2 \times 6.498,04\text{€} + 9.097,26\text{€} = 22.093,34\text{€}$$

Sumando los costes de combustible y los costes de personal anuales tendríamos el total de los costes variables anual.

$$\text{CosteVariable} = 4.363,05\text{€} + 22.093,34\text{€} = 26.456,39\text{€}$$

El coste variable anual para la opción 4 es de 26.456,39€ y la cantidad de aceite que se espera recoger durante un año es 2.860.182 litros.

Opción 5: Opción4+Villaviciosa de Odón

Para la opción 5, añadiremos la ciudad de Villaviciosa de Odón a la opción 4 para comprobar si seguimos disminuyendo el coste por litro de aceite recogido de la parte variable. De esta manera tendríamos integradas en el sistema todas las ciudades del estudio.

- **Costes fijos**

Los costes fijos serán los del camión y los contenedores. El coste del camión es de 29.675,93 €/año.

El coste de los contenedores será teniendo en cuenta que sumarían 399 contenedores, a 944€ el contenedor, sería de 376.656€. Previendo una amortización a 20 años, el coste anual de estos contenedores sería de 18.832,8 €/año.

Si sumamos estas dos cifras, los costes fijos de esta opción serían de 48.508,73€/año.

- **Costes variables**

Los costes variables serán los de combustible y los de personal.

Los costes de combustible para esta opción son los que resultan de sumar los de la opción 4 y el nuevo municipio.

$$\text{CosteCombustible} = 4.363,05\text{€} + 102,11\text{€} = 4.363,05\text{€}$$

Los costes de personal son los que resultan de multiplicar las horas necesarias para cada ciudad por el coste de los dos operarios sumado al coste de las horas del conductor. En este caso el número de horas anuales necesarias para completar las rutas será:

$$\text{HorasPersonal} = 603,86 + 11,0 = 614,86\text{horas}$$

El sueldo de los operarios y el conductor será:

$$\text{SueldoOperario} = 15.000\text{€} \times \frac{614,86\text{horas}}{1840\text{horas}} \times 1,32 = 6.616,41\text{€}$$

$$\text{SueldoConductor} = 21000\text{€} \times \frac{614,86, \text{horas}}{1840\text{horas}} \times 1,32 = 9.262,97\text{€}$$

$$\text{CostePersonal} = 2 \times 6.616,41\text{€} + 9.262,97\text{€} = 22.495,80\text{€}$$

Sumando los costes de combustible y los costes de personal anuales tendríamos el total de los costes variables anual.

$$\text{CosteVariable} = 4.471,15\text{€} + 22.495,8\text{€} = 26.966,95\text{€}$$

El coste variable anual para la opción 5 es de 26.966,95€ y la cantidad de aceite que se espera recoger durante un año es 2.860.182 litros.

Resumen costes de las distintas opciones

A continuación se presenta una tabla resumen de los costes de las cinco opciones para analizarlos con más claridad.

Opción	Ciudades	Vehiculo(€)	Contenedores(€)	Coste Fijo(€)	Combustible(€)	Personal(€)	Coste Variable(€)	Coste Total(€)	Aceite(l/año)
1	Leganés+Alcorcón+Getafe	29.675,93	9.676,00	39.351,93	2.016,52	11.109,63	13.126,15	52.478,08	1.370.061
2	Opción1+Móstoles+Fuenlabrada	29.675,93	14.915,20	44.591,13	3.699,42	19.421,27	23.120,69	67.711,82	2.422.865
3	Opción2+Parla	29.675,93	16.850,40	46.526,33	4.199,03	21.464,04	25.663,07	72.189,40	2.741.113
4	Opción3+Pinto	29.675,93	17.983,20	47.659,13	4.363,05	22.093,34	26.456,38	74.115,51	2.860.182
5	Opción4+Villaviciosa de Odón	29.675,93	18.832,80	48.508,73	4.471,15	22.495,80	26.966,95	75.475,68	2.929.693

Análisis de costes

Se procede a analizar los costes de las distintas opciones. El método más común para análisis de costes es el análisis de puntos de equilibrio (break-even analysis) utilizando las ecuaciones halladas para cada opción. Este tipo de análisis presenta una gráfica con costes fijos en el eje y frente a costes variables que varían en función de la cantidad de recurso que se produzca en el eje x. Se analizan donde se cruzan las ecuaciones en los llamados puntos de equilibrio, que dan los puntos a partir de donde se debe elegir una opción de producción u otra.

En nuestro caso, los costes variables vendrían dados en función de la cantidad de aceite que se recoge. Sin embargo, cabe comentar que en nuestro caso no existe tal relación lineal en la realidad, puesto que si se hicieran las mismas rutas y se recogiese menos aceite del esperado, el coste variable sería el mismo y lo que cambiaría sería el coste de cada litro de aceite recogido (€/litro), que aumentaría.

Lo que sí es correcto es el cálculo que hemos realizado del coste variable en función de los litros de aceite recogidos para cada opción. Que nos da un detalle más acerca de la rentabilidad de las rutas. Pero tendremos también que tener en cuenta el coste fijo, con lo que al final utilizaremos para elegir una de las opciones, cuánto ha costado la recogida de cada litro de aceite teniendo en cuenta el coste total, es decir, la suma del fijo más el variable.

Opción	Ciudades	Coste Fijo(€)	Coste Variable(€)	Coste Total(€)	Aceite(l/año)	Coste aceite(€/l)
1	Leganés+Alcorcón+Getafe	39.351,93	13.126,15	52.478,08	1.370.061	0,03830
2	Opción1+Móstoles+Fuenlabrada	44.591,13	23.120,69	67.711,82	2.422.865	0,02795
3	Opción2+Parla	46.526,33	25.663,07	72.189,40	2.741.113	0,02634
4	Opción3+Pinto	47.659,13	26.456,38	74.115,51	2.860.182	0,02591
5	Opción4+Villaviciosa de Odón	48.508,73	26.966,95	75.475,68	2.929.693	0,02576

Como se observa en la tabla, la opción 5 es la más rentable, siempre considerando que se obtengan los niveles de recogida proyectados. Se observa que la diferencia del coste del aceite recogido entre las distintas

opciones es muy pequeña, por lo que se tendrían que tener en cuenta dos criterios en el momento de tomar la decisión de elegir una de las opciones.

El primero, de dónde procederá el beneficio y el segundo si merecen la pena entre una opción y otra las inversiones iniciales.

Los beneficios aumentarán a medida que aumentemos la producción, por lo que parece claro, que aunque el precio de recogida del litro entre las opciones 4 y 5 sea ínfimo, estamos recogiendo más aceite, por lo que aumentaría el beneficio. Además el litro de aceite usado recogido mediante reciclaje se cotiza en el mercado español actualmente a unos 0,5-0,6 €/litro por lo que ya se podría obtener un beneficio importante antes siquiera de transformarlo en biodiesel. Es más, aunque se recogiera menos aceite del previsto durante los primeros meses de implantación del sistema, hay bastante margen para que siguiera siendo rentable su recogida.

Por otro lado, las inversiones están anualizadas como gasto de amortización en el caso de los contenedores, por lo que ya están incluidas en el coste, de modo que no cambiarían la decisión, salvo que no se pudiese contar llegado el momento con todo el capital necesario.

Por todo esto la opción elegida será la opción 5, que incluye a las ocho ciudades incluidas en el estudio.

Se observa que el coste es 0,02576 €/l para esta opción. Si el aceite recogido fuera la mitad del esperado y manteniendo las rutas, el coste sería el doble, 0,0514 €/l. Un coste bastante abajo a pesar de bajar tanto el nivel de recogida, por lo que podemos establecer que es bastante fiable la capacidad del sistema de recogida de obtener un precio competitivo.

2. Procesos de producción

Tras la recogida del aceite usado que llega a la planta, tienen lugar los procesos para transformación del aceite en biodiesel. El conjunto de estos procesos, se pueden dividir básicamente en dos: los tratamientos previos de refinado y la transesterificación.

En este apartado se mostrarán los procesos disponibles actualmente para hacer viable la transformación del aceite usado en biodiesel, así como se enumerarán los componentes de la planta de producción.

2.1 Tratamientos previos

De manera general, los aceites vegetales utilizados para obtener biodiesel, tanto los puros como los usados, necesitan unos tratamientos de refinado para eliminar sustancias como los ácidos grasos libres, la presencia de agua o la presencia de fosfolípidos y otros contaminantes (polímeros, residuos de productos alimenticios, residuos de empaquetado o compuestos inorgánicos). Esto hace que se necesiten pretratamientos o bien una transesterificación combinada con esterificación. De esta manera, mediante los tratamientos previos del aceite usado, se trata de eliminar los residuos generados durante su uso, así como algunas sustancias propias del aceite puro antes de ser usado. Se trata de obtener de esta manera un aceite refinado de la suficiente calidad como para que pueda alcanzar los estándares de calidad para ser transformado posteriormente en biodiesel mediante la transesterificación.

2.1.1 Pretratamiento de los residuos grasos

Los aceites usados o grasas altamente contaminados contienen residuos alimenticios como proteínas, polímeros polares, polímeros no polares y materia inorgánica que debe ser purificada mediante filtración a 60-80°C o mediante centrifugación. Aparecen más contaminantes en las grasas animales.

Además son tratados posteriormente a 80°C con una solución de un ácido fosfórico, cítrico o sulfúrico al 2% seguido de una centrifugación. Así se eliminan la mayoría de proteínas, hidratos de carbono, residuos inorgánicos y parte de los fosfolípidos.

También se usan inyecciones de vapor a 65°C y sedimentación. El uso de estas dos cosas da como resultado un descenso en la humedad contenida así como una reducción de los ácidos grasos libres, de la viscosidad cinética y de la materia insaponificable y un incremento del valor de la energía contenida.

2.1.2 Eliminación (retirada) del agua

La presencia de agua en el aceite afecta a la transesterificación alcalina y la esterificación ácida por saponificación y/o bajando los rendimientos debido a la reversibilidad de la reacción. Por eso el aceite debe ser secado calentándolo a 70-90°C al vacío al menos 30 minutos antes de la transesterificación o esterificación.

2.1.3 Eliminación (retirada) de fosfolípidos

Los aceites con un contenido en ácidos grasos libres por debajo del 3% y de fosfolípidos hasta 300 ppm se pueden convertir en biodiesel que cumpla los estándares europeos sin necesidad de ningún otro tratamiento.

Sin embargo, los fosfatos y gomas complican el lavado del biodiesel producido por transesterificación debido a la pobre separación de la capa de biodiesel-glicerol y la capa de biodiesel-agua resultando en un descenso del rendimiento del éster. Los aceites sin refinar de los que se han eliminado los fosfolípidos son aceptables sin tener que realizar procesos de decolorado y desodorización y son un 10-15% más baratos que los aceites altamente refinados.

En muchos casos, no contienen suficiente cantidad de fosfolípidos como para requerir desgomado. Proceso que sí que es necesario llevar a cabo si contiene una gran cantidad de gomas y compuestos fosforosos. En tal caso, se lleva a cabo mediante un lavado con una solución de ácido fosfórico o cítrico a 80°C durante 30 minutos. Puede ser necesario un proceso de adsorción con sílice para reducir todavía más el contenido de gomas a niveles aceptables de manera que el contenido en fósforo sea menor a 10 ppm. El desgomado reduce también contaminantes inorgánicos,

especialmente alcalinos, alcalino-térreos y ceniza sulfatada. La aplicación del decolorado da como resultado la eliminación de metales (Fe, Cu) y polímeros polares.

2.1.4 Eliminación (retirada) de ácidos grasos libres

Como se ha mencionado anteriormente, para la producción de biodiesel se suelen aceptar aceites con contenidos de ácidos grasos libres por debajo del 3% ya que no afectará al proceso negativamente. Si aparecen cantidades mayores, la reacción del catalizador alcalino provoca un aumento de la formación de jabón, que lleva a pérdida de catalizador y a bajar el rendimiento de los ésteres debido a la poca separación de las capas de glicerol y agua en presencia de cantidades más altas de jabón.

Los ácidos libres saturados se pueden retirar por varios métodos. Con inyección de vapor como se ha comentado previamente o también mediante neutralización química con KOH o NaOH que da lugar a la formación de borras que se separan del aceite por centrifugación. Estas borras pueden ser aprovechadas para fabricar biodiesel mediante esterificación. Otra alternativa es extraerlas mediante la capa de glicerol que se forma durante la transesterificación.

Otro método que se puede utilizar también, es la purificación en una columna con un 50% de silicato de magnesio y un 50% de óxido de aluminio básico, consiguiendo reducciones del 10.6% al 0.23%.

2.1.5 Retirada de contaminantes

La mayoría de contaminantes se consiguen eliminar mediante decolorado o mediante adsorbentes como la arcilla, el carbono activo o silicatos y/o mediante desodorización. Sin embargo, el decolorado mediante adsorbentes resulta muy caro, por lo que lo ideal sería retirar los contaminantes junto con los ácidos grasos libres. Esto se puede llevar a cabo cuando los aparatos trabajan a una presión de vapor relativamente baja.

2.1.6 Procesos de refinado

Tras ver los distintos tratamientos previos a los que debe someterse el aceite usado para su refinado, se debe decidir en qué orden deben aplicarse y de qué manera. Las dos secuencias de procesos más comunes de refinado son el refinamiento químico y el refinamiento físico. Estos se usan generalmente para aceites puros pero pueden ser utilizados como guía ya que incluyen la mayoría de las etapas necesarias, y añadir las etapas adicionales correspondientes al refinado del aceite usado. Otra razón más que refuerza el hecho de usar aceite usado, ya que sus tratamientos previos no suponen un sobrecoste importante respecto al refinamiento utilizado normalmente para el aceite puro.

El refinamiento químico incluye una primera etapa de desgomado usando agua y ácido fosfórico o cítrico, para eliminar fosfolípidos y otras gomas. Posteriormente se lleva a cabo una neutralización, con NaOH o KOH para transformar los ácidos grasos libres en borra que será separada por centrifugación, seguida de un decolorado usando un adsorbente (silicatos) para retirar materiales (materiales de alto peso molecular) como trazas de jabón, residuos pesticidas, PCB's y metales (Fe, Cu). El último paso es una desodorización calentando el aceite a 230-240°C durante 30-40 minutos en presencia de 1-2% de vapor a 1-2 mm de presión de vacío. En este proceso se eliminan los componentes volátiles (aldehydos de bajo peso molecular, cetonas, alcoholes, ácidos) generados por la oxidación de los ácidos grasos libres.

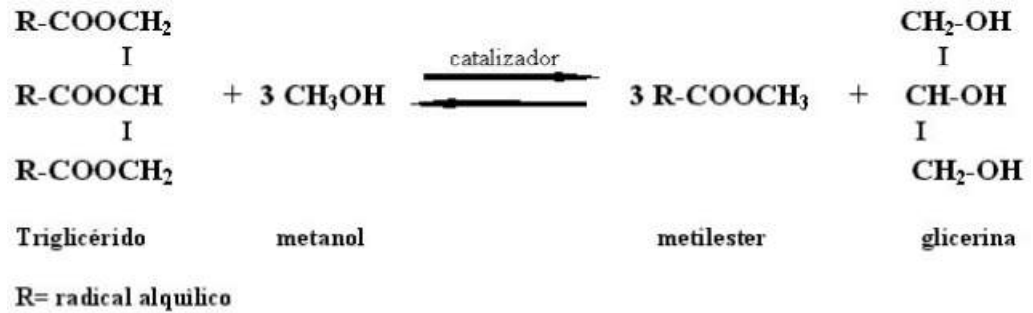
El refinamiento físico no incluye la eliminación de los ácidos grasos libres por neutralización para evitar la formación de borra y el consiguiente coste ambiental de la purificación del agua. Así, las etapas de desgomado y decolorado son idénticas a las del refinamiento químico y es en la desodorización donde se extraen los ácidos grasos libres junto con los otros contaminantes a una temperatura de 240-260°C durante 40-60 minutos.

Estas dos secuencias de procesos, garantizan un aceite refinado fácil de convertir en biodiesel que cumpla los estándares de la UE y Estados Unidos

siempre que se use la tecnología adecuada. Como observamos, simplemente habría que añadir a la secuencia una etapa de filtrado y una de secado anteriores a las descritas para adaptar el proceso al aceite usado.

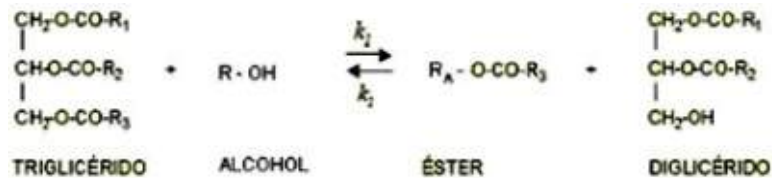
2.2 Transesterificación

La transesterificación es el proceso de conversión del aceite vegetal en biodiesel. Es un proceso químico en el que los ácidos grasos en presencia de metanol y un catalizador (por ejemplo KOH o NaOH) que acelere la reacción, reaccionan para transformarse en metiléster (biodiesel) y glicerina.

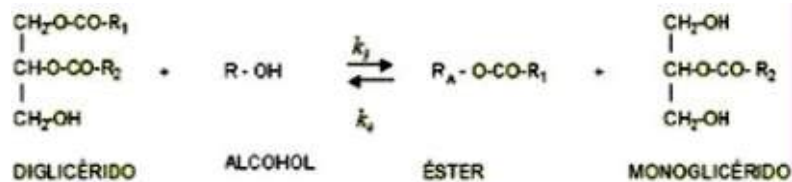


Aunque en realidad el mecanismo de la reacción química se lleva a cabo en tres pasos de la siguiente manera:

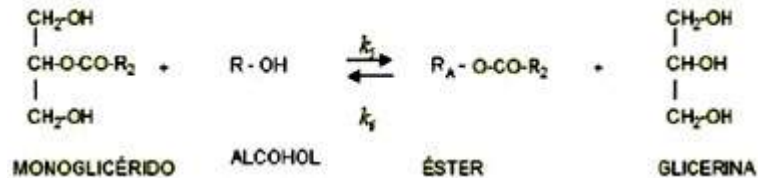
- 1) El ión metóxido (OH⁻) ataca a la cadena de carbonos convirtiendo el triglicérido en un diglicérido y formando el primer éster.



- 2) El diglicérido reacciona con el metanol en exceso, que lo vuelve a atacar para formar un monoglicérido y más éster.



- 3) La última reacción da lugar a más esteres y glicerina.



La cantidad de metanol en el proceso, debe ser mayor para forzar la reacción a la derecha, así el exceso de glicerina no interviene de forma crítica en la reacción. También se puede ir eliminando glicerina a medida que se liberan los radicales alquílicos y está mezclada con el resto de reactivos, de esta manera se evita la regeneración de los ácidos grasos. Así, se asegura que toda la grasa se ha esterificado y se elimina el riesgo de que ésteres metílicos formados vuelvan de nuevo a su estado inicial de radical alquílico.

Para hacernos una idea de las proporciones de los reactivos y productos en el proceso:

Aceite vegetal (1 Ton) + Metanol (0.15 Ton) || Catalizador (0.01 Ton) || Esteres (Biodiesel) (1.05 Ton) + Glicerina (0.1 Ton)

2.2.1 Tipos de transesterificación según proceso

Aunque hemos visto los tratamientos previos, que darían lugar a un aceite refinado que pueda ser sometido a una transesterificación estándar, cabe comentar que se han desarrollado una serie de procesos de transesterificación que tienen en cuenta el aceite usado como materia prima para producir biodiesel. Al final, tendremos que ver qué tipo de plantas ofrece el mercado de fabricantes para elegir la opción que más nos convenga, por ello no se debe descartar ninguna opción y estos son los procesos que se utilizan en este momento:

- **Transesterificación alcalina.** Es la transesterificación habitual. NaOH, KOH, NaOMe y KOMe son los catalizadores más comunes para aceites usados y grasas de desecho que contengan menos de un 3% de contenido en ácidos grasos libres (requisito limitante ya comentado anteriormente). Para aceites con mayores porcentajes de ácidos grasos libres hay pérdida de catalizador que debe ser repuesto,

lo que no resulta ni práctico ni económico. Por eso este proceso es el que se suele utilizar para convertir aceites refinados o usados que hayan recibido unos pretratamientos. El catalizador ácido se puede usar también pero es mucho más lento. La elección del catalizador depende del precio, las condiciones de trabajo y el país donde se encuentra la planta (tradicción de uso de catalizador en ese país).

- **Interesterificación con catalizador ácido.** Como se ha citado antes, la transesterificación alcalina pierde eficiencia con ciertos niveles de ácidos grasos libres o agua debido a la aparición de jabón. A partir de un 1,5% de dichos ácidos, la opción de utilizar un catalizador ácido debe considerarse pese a su baja velocidad (mucho menor que con el básico). En este caso, usa ácido sulfúrico. Aunque bajo los efectos de la presencia de ácidos grasos libres, la presencia de agua baja notablemente la eficiencia de conversión.

Hay de todas formas estudios comparativos de uno y otro (básico y ácido) para comparar eficiencias de conversión. El uso de catalizador ácido debe ser considerado para alto porcentaje de ácidos grasos libres, sin embargo se usa poco debido a la lentitud del proceso, el incremento del coste debido a la necesidad de incremento de metanol que hay que usar para que funcione bien la reacción, la extracción del catalizador y la separación de la capa de éster.

- **Esterificación-transesterificación en dos pasos.** Distintos equipos investigadores han combinado ambos tipos de catalizadores: ácidos y básicos, para producir biodiesel a partir de aceites usados y grasas. Lo han hecho en una reacción en dos pasos en la que un tratamiento ácido convierte ácidos grasos libres en ésteres mientras que el catalizador alcalino está produciendo la transesterificación. Se han conseguido con estos dos pasos biodiesel de alta calidad. Se baja el porcentaje de ácidos grasos libres por debajo del 1% con la esterificación ácida y después se aplica la transesterificación alcalina. Es un método para aceites con alto porcentaje de ácidos grasos libres.

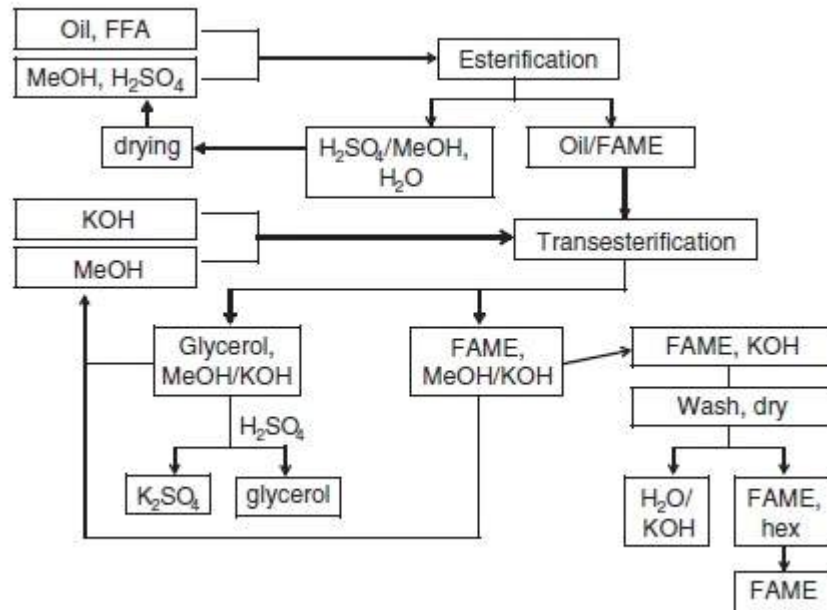


Figura 65, Producción de biodiesel de aceites usados mediante esterificación-transesterificación. "Biofuels", 2008

Este proceso en dos pasos puede servir también para convertir en biodiesel materia grasa de peor calidad, como los desecho generados en alguno de los tratamientos previos mencionados al principio.

- **Transesterificación-esterificación en dos pasos.** Se realiza otra vez una combinación de esterificación básica y ácida, pero esta vez el primer paso es la transesterificación básica seguida de la esterificación ácida. Ambas reacciones se llevan a cabo en el mismo reactor sin separación de capas entre ambas reacciones. Un requerimiento para este proceso es que el porcentaje de ácidos grasos libres debe ser menor al 10%. Si no, se pierde mucho catalizador alcalino. Podemos observar el esquema de este proceso en la figura:

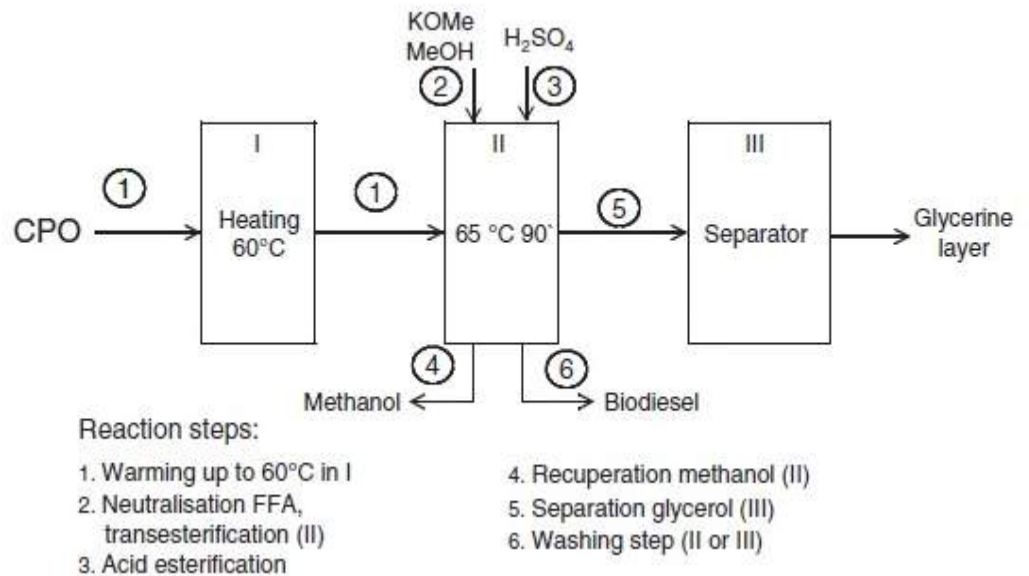


Figura 66: Conversión de aceite usado por transesterificación y esterificación.

El aceite se mezcla con el catalizador alcalino a 60°C. Durante la transesterificación la capa de glicerol se separa pero no se elimina. Cuando ha terminado la transesterificación se añade la cantidad determinada de ácido sulfúrico y la mezcla se agita durante 3 horas. La mayor ventaja de este proceso es que la materia prima no necesita refinado previo para la eliminación de fosfolípidos, gomas, pigmentos y trazas de proteínas e hidratos de carbono. El desgomado tiene lugar durante la esterificación ácida a 65°C para eliminar los compuestos fosforosos, gomas y proteínas mientras los pigmentos se descomponen y desechan con la capa acuosa. Además, la separación de capas es mucho más fácil con este proceso, debido a que no se forman emulsiones en medio ácido. Y también se eliminan trazas de tri-, di-, y monoglicéridos al convertirlos en biodiesel en la transesterificación ácida, resultando en un mayor contenido en ésteres del producto. Las propiedades obtenidas en un ensayo con aceite de palma usado mediante este proceso fueron:

Table 9.1 Properties of biodiesel from crude palm oil (CPO)

Analysis	Result	EN limit
Ester content	96.8	Min 96.5 % (m/m)
Carbon Conradson residue	<0.001 %	Max 0.3 % (m/m)
Sulfated ash content	<0.01 %	Max 0.02 % (m/m)
Total contamination	44 mg/kg	Max 24 mg/kg
Acid value	1.7 mg/g	Max 0.5 mg KOH/g
Methanol content	0.02 %	Max 0.2 % (m/m)
Monoglyceride content	0.52 %	Max 0.8 % (m/m)
Diglyceride content	0.15 %	Max 0.2 % (m/m)
Triglyceride content	<0.01 %	Max 0.2 % (m/m)
Free glycerol	<0.01 %	Max 0.02 % (m/m)
Total glycerol content	0.15 %	Max 0.25 % (m/m)

Tabla 5, Propiedades de biodiesel de aceite de palma

2.2.2 Tipos de transesterificación según volumen de producción

Según el volumen de la producción podemos establecer 3 tipos de proceso:

- Discontinuo o Batch (por lotes).

Este tipo de producción se utiliza en laboratorios de investigación, producciones a escala piloto o “Bench Scale” y pequeñas producciones en zonas rurales.

- Semicontinuo.

Este tipo de producción suele ser el utilizado por compañías regionales. Requiere de un nivel de ingeniería medio en cuanto a electricidad y electrónica. Se encarga tan sólo de la transformación del producto y requiere de una alta inversión y los costes del producto son elevados.

- Continuo.

Es el usado por las grandes empresas del sector energético. Usa el CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor) y requiere una tecnología avanzada, así como una alta inversión en tecnología, I+D+i e informática.

Suele llevar cabo una producción anual de millones de litros y engloban toda la línea de producción: extracción, transporte y transformación. Todo esto da lugar a unos bajos costes de producción.

2.2.3 Tipos de transesterificación según procedencia de la materia prima

La materia prima usada mayoritariamente es el aceite vegetal y también se utiliza aceite o grasa animal. Así, si analizamos su procedencia, este podrá ser:

- Aceite vegetal pretratado.
- Aceite vegetal o animal sin pretratar.
- Aceite vegetal o animal con elevada acidez.
- Aceites usados precedentes de freiduría.

Si analizamos la materia prima que da lugar al aceite vegetal para la producción de biodiesel este puede provenir de aceites tales como:

- Aceite de girasol
- Aceite de palma
- Aceite de cacahuete
- Aceite de colza
- Aceite de jatropha
- Aceite de algodón
- Aceite de soja
- Aceite de canola
- Aceite de copra
- Otros aceites similares

El aceite de oliva no se usa por su alto coste debido a su valor de mercado y tan solo se usaría procedente de freiduría. También se puede producir biodiesel con algas, alcoholes de cadena corta y aceites vegetales no comestibles procedentes de los tallos, hojas y serrín de los cultivos.

2.3 Planta de producción

La idea inicial del proyecto era incluir la planta realizando así un estudio económico completo de manera que se obtuviera un coste final del biodiesel después de todo el proceso. Para ello se contaba con pedir un presupuesto de la planta llave en mano de distintos fabricantes, ya que el proceso de transesterificación es en estos momentos un proceso muy estandarizado y no merece la pena entrar al detalle del diseño de los distintos componentes de la planta. A esto se une el factor de que ese no es el objetivo del proyecto, cuya finalidad es llevar a cabo el estudio logístico realizado que incide en la necesidad de encontrar maneras de hacer descender el coste de obtención de la materia prima que es lo que hace al mercado español no ser competitivo, así como demostrar la viabilidad técnica de la transesterificación de aceites usados, ya sea mediante la aplicación de tratamientos previos o mediante procesos de transesterificación que permitan su transformación logrando unos estándares de calidad aceptables.

El único inconveniente encontrado y que no ha sido resuelto en lo referente a la planta es que tras la toma de decisión de establecer la planta el Leganés Tecnológico no se puede disponer de un precio real del suelo. Esto se debe a que actualmente la primera fase está completamente construida y las fases segunda y tercera no se construirán hasta dentro de tres o cuatro años. Tras consultar con personal de la universidad perteneciente al parque tecnológico, se llega a la conclusión de que los solares salen a subasta, no tienen por lo tanto precios fijados, y además las cifras facilitadas sobre costes se refieren a edificios (entorno a los 3 millones de euros suelo+edificio) y no a naves, más baratas. En la práctica esto supondría no poder tener en cuenta el coste del suelo que iría ligado al presupuesto anual en forma de amortización.

Así, se calculará el coste de proceso y se estimará un coste del suelo y construcción de la nave para realizar los costes totales.

El contacto con los suministradores de plantas de producción de biodiesel llave en mano fue realmente difícil. Después de lograr varios presupuestos, todos de fuera de España, la mayoría estaban incompletos en algún aspecto no cumplían

algún requisito. Sólo hubo uno, que aunque más simple al no estar la planta completamente automatizada, cumplía con toda la información necesaria para poder llevar a cabo los costes del proceso. A continuación se hace un breve resumen de los proveedores y las razones por las que no se han tenido en cuenta sus presupuestos a excepción de uno, que será del cual procederemos a describir sus características más tarde y utilizaremos para hacer el estudio de costes.

- Spectech (Ucrania), la principal razón para desechar este presupuesto fue que trabajan con una nueva tecnología para realizar la transesterificación. De esta técnica, la cavitación magnética, no se han encontrado suficientes referencias como para confiar en ella para el desarrollo del proyecto.
- Luzardo Bulkera (Argentina), presupuesto bastante completo pero no se disponía de datos esenciales como la potencia o el consumo eléctrico de ninguno de los componentes o de la planta en su conjunto como para poder calcular los costes del proceso de una manera adecuada.
- Biodiesel del Plata (Argentina), presupuesto completo y con todos los datos necesarios. Será la planta elegida, en el siguiente apartado se detallan más sus características

2.3.1 Características de la planta

Planta BDP-10TD

Detalle de provisión, instalación, montaje y puesta en marcha, de una planta con una capacidad de producción de hasta 3.600 m³/año, partiendo de aceites vegetales (de soja, girasol, colza, tártago, palma u otros) nuevos, crudos, refinados, desgomados o usados de frituras, libres de partículas en suspensión, produciendo biodiesel de primera calidad según las normas IRAM 6515, ASTM D-6751 y EN 14214 (normativa europea). Información facilitada por el fabricante.

Características generales

La planta utiliza como materias primas aceite, alcohol y un catalizador.

El aceite deberá podrá ser de soja, girasol, colza, canola, tártago, ricino, jatropa, lino o arroz. Y cualquier otro aceite vegetal en general. Podrá ser nuevo o usado (también conocido como aceite de fritura), siendo en éste último caso, necesario efectuar un proceso para corregir el grado de acidez y mejorar la calidad del mismo, debiéndose recibir éste aceite con un nivel mayor de filtrado para la eliminación de las partículas indeseables en suspensión.

El alcohol a utilizar será el Metanol, que no presenta dificultades de disponibilidad y que generalmente se encuentra disponible en cualquier sitio.

El catalizador indicado con preferencia, es el hidróxido de sodio (NaOH).

La planta tiene una capacidad de producción de hasta 420 l/horade biodiesel, totalizando hasta 10.000 l/día (considerando su utilización durante las 24 horas). Estando en funcionamiento 26 días al mes produciría 262.080 l/mes que multiplicado por 12 meses podría producir 3.144.960 l/año.

La plantas descrita no produce impacto ambiental alguno, ya que al trabajar con un proceso de circuito cerrado, no producen efluentes sólidos ni líquidos (no se realizan lavados de biodiesel).

El biodiesel obtenido da cumplimiento con los parámetros indicados en la Norma de Calidad: IRAM 6515-1 y su sub-producto (glicerol) es apto para ser procesado por diferentes medios a fin de obtener glicerina del tipo industrial, alimenticia y con fines farmacopeas.

Proceso de producción

La planta elegida trabaja mediante proceso discontinuo o batch: utilizando diferentes fases tanto de dosificación como de mezcla y transvases de los productos a lo largo del recorrido de la cadena de proceso.

1-Pre-tratamiento del aceite: filtrado y precalentado.

Para eliminar cualquier impureza y lograr una alta conversión en la transesterificación.

2-Transesterificación.

Etapas de esterificación de los ácidos grasos para dejarlos neutros y adición de la cantidad apropiada de hidróxido sódico o potásico. El proceso dentro del reactor permite un eficiente proceso de transesterificación.

3-Decantación.

Para obtener dos productos: metiléster (biodiesel) y Glicerol (incluyendo sales sódica y potásica).

4. Purificación y filtrado, para eliminar posibles residuos.

Un altamente efectivo filtro permite que el producto cumpla con las normas técnicas de biodiesel ASTM -DIN - IRAM o equivalentes

Memoria descriptiva

Los procesos que requieren temperatura, son calefaccionados mediante el vapor que se produce en una caldera diseñada a tal efecto y que la empresa provee conjuntamente con la planta. También son parte de la planta, las electrobombas. Componentes:

a) Tanque de pretratamiento de aceite vegetal TRAV-420

Un tanque de precalentamiento con bomba de carga, de acero al carbono, diseñado con aislamiento externo para efecto térmico y calefaccionado interno por serpentín conductor de vapor a presión, para acondicionamiento del aceite vegetal y para su posterior incorporación al proceso de transesterificación en el reactor.

Capacidad total 550 litros. Aunque la operación de la planta es manual, la carga del primer tanque se limita mediante un elemento sensor de control de nivel mediante flotantes con comando eléctrico para el corte automático, a fin de no introducir más producto que el necesario.

b) Reactor de metóxido RM-420

Un reactor de metóxido de construcción metálica y canasto de malla fina interna para escamas del catalizador, para la correcta dosificación y preparación del metóxido, dentro del cual reaccionan en las proporciones que correspondan el metanol y el catalizador hidróxido de sodio en escamas, con su correspondiente tolva de carga, electrobomba y demás accesorios.

c) Reactor para la transesterificación BDP-420

Un reactor de biodiesel para la transesterificación entre el aceite y el alcohol en presencia del catalizador, con capacidad para la transesterificación de hasta 420 litros de biodiesel por cada batch realizado.

Este tanque posee una estructura reforzada de acero al carbono, con tapa superior de inspección, sometido a prueba hidráulica de cinco bar con revestimiento para efecto térmico y chapa exterior de cierre, con sistema de calefaccionado interno por serpentina conductora de vapor a 105 C°, con su correspondiente bomba de carga de fluidos y bomba de trasvase y todos los demás accesorios de montaje e instrumentación necesaria, su exterior se encuentra pintado con pintura epoxídica apta para combustibles.

El reactor BDP-420 logra una conversión cercana al 100% del aceite incorporado, sin necesidad de un lavado posterior del biodiesel.

d) Tanques de decantación del biodiesel y el glicerol TD-1000

Cinco tanques suplementarios de decantación, con aislamiento térmico, construidos con chapas de acero al carbono, para ser presurizado, de 1.000 litros de capacidad, con el fin de realizar el reposo y la decantación por separación de fases del metilester.

Estos tanques se proveerán especialmente acondicionados para soportar presión proveniente de un compresor que se proveerá a tal efecto y tienen una tolva con salida de 2" a los efectos de una mejor extracción del glicerol, una vez separadas las fases por densidad. Están equipados con una bomba de descarga del biodiesel ya decantado.

e) Unidad de filtrado del biodiesel

Dos unidades filtrantes para biodiesel de diseño especial, tipo canasto con malla lavable, equipado con filtro de gran eficiencia con el fin de lograr un filtrado de 10 micrones de espesor de las partículas, lo que garantiza un total y óptimo destilado del Biodiesel elaborado.

f) Unidad de filtrado de aceite vegetal

Dos unidades filtrantes de diseño especial, tipo canasto con malla lavable, equipado con filtro de gran eficiencia con el fin de lograr un filtrado de 10 micrones de espesor de las partículas, lo que garantiza un total y óptimo filtrado del aceite antes de ingresar al tanque de pretratamiento.

g) Caldera CTHV65

Una caldera productora de vapor de aproximadamente 100 kg/hora, de tipo horizontal, metálica y autoportante, con capacidad para entregar a los procesos que así lo requieran aproximadamente 65.000 kilocalorías, a una temperatura de 105° de agua.

La caldera se entregará completa, con bomba y quemador apto para el uso de biodiesel o gasoil, con sistema de seguridad, control de funcionamiento e instrumentación y con 2 bombas de agua (1 operativa y 1 en stand by).

h) Compresor

Un compresor de aire de 1 HP y 2 Bar.

i) Tablero eléctrico

Un tablero de comando de operaciones equipado con dispositivos de control y seguridad.

j) Instrumentos

Válvulas de seguridad, termómetros de contacto, manómetros y otros elementos y accesorios necesarios para la instalación, montaje, control y seguridad del proceso.



Figura 67, Vista de la planta

Listado de procesos

- Proceso de pretratamiento del aceite con su correspondiente filtrado.
- Proceso de preparación y dosificación automatizada del metóxido.
- Proceso de preparación de la mezcla mediante mezclador dinámico de fluidos.
- Proceso de transesterificación completo mediante alta temperatura y presión.
- Proceso de purificación del biodiesel con filtrado mediante filtro de 10 micrones.
- Proceso simple semiautomático con tablero de comandos centralizado.

En caso de no utilizarse aceite de buena calidad e incluso para mejorar notablemente la calidad del Biodiesel, se recomienda colocar al final del proceso de producción una centrifugadora de 500 litros/hora, que separa el biodiesel del glicerol, impurezas y posible metanol residual, limpiando el biodiesel sin necesidad de agua para realizar un lavado.

Haciendo el proceso de centrifugado, no solo se retienen sólidos, sino que además se clarifica y purifica el biodiesel.

Lay-out de la planta

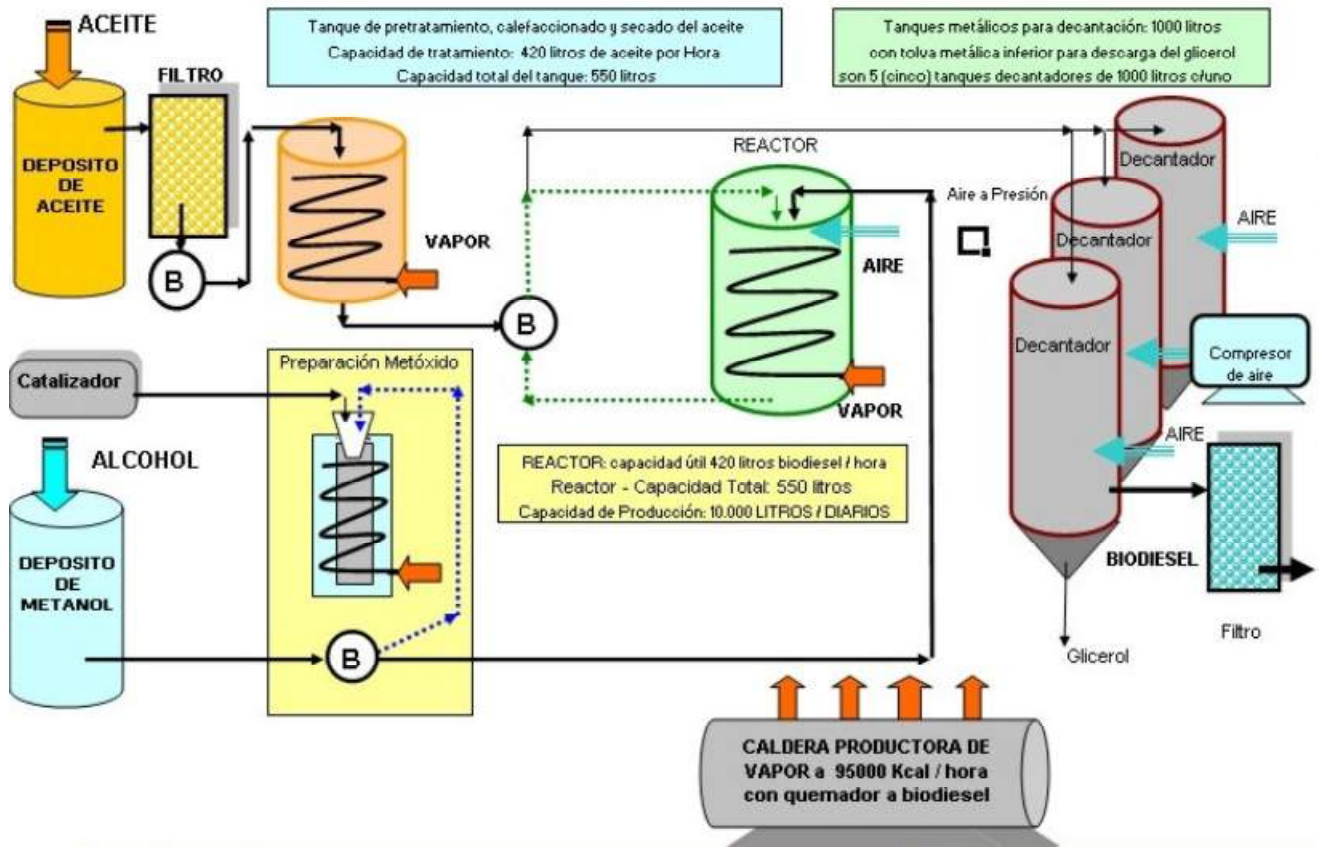


Figura 68, Lay-out de la planta



Figura 69, Detalle reactor y decantadores

Flujograma de producción de biodiesel

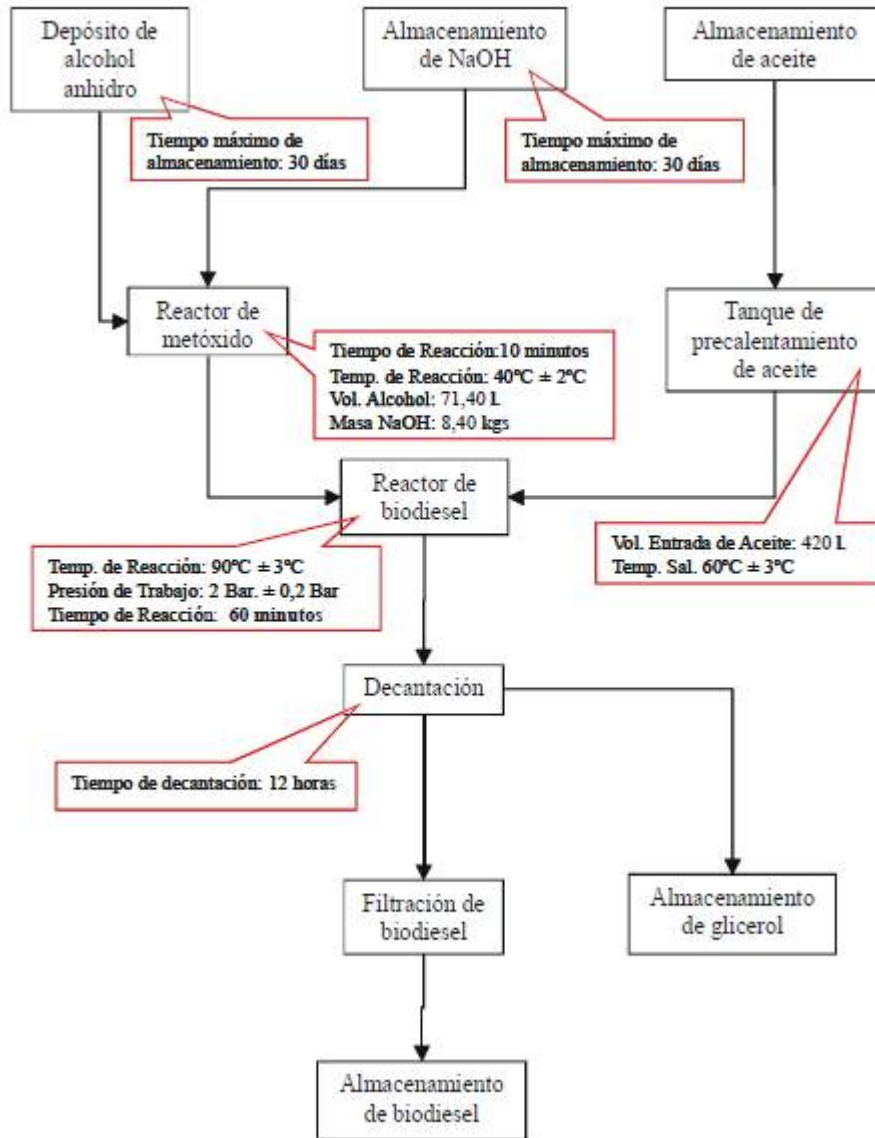


Figura 70, Flujograma producción diesel

Características técnicas

- Capacidad mínima diaria (un lote): 420 litros/día
- Capacidad máxima (con 5 tanques de decantación): 10.000 litros/día
- Consumo eléctrico por litro de biodiesel elaborado: 15-20 wh
- Consumo de gasoil o biodiesel cada 24 hs de operación: 26 litros
- Potencia instalada necesaria (220-380 VCA 50 hz): 20 HP
- Peso del reactor BDP-420: 400 kg
- Diámetro: 85 cm
- Altura: 2 m
- La planta completa ocupa aproximadamente: 45 m²
- Tiempo por lote: 1 hora
- Personal necesario: 2 personas
- Temperatura de reacción: 90 -105 °
- Presión de reacción: 2 bar
- Tiempo de decantación: 8 horas
- Metanol cada 100 litros de aceite: 17 litros
- Hidróxido de sodio cada 100 litros de aceite: 2 kg
- Local: medidas mínimas aconsejadas 120 m²
- 100 litros de aceite y 19 de metóxido producen: Biodiesel 100 litros, Glicerol 18 litros

2.3.2 Coste del proceso

Se anualizarán los costes de amortización de la instalación así como los de personal, para posteriormente conociendo la producción anual que se espera obtener sacar el coste asociado al litro de biodiesel

Los costes de electricidad, gasoil, así como los de las materias primas necesarias para la producción del biodiesel se calcularán directamente en base al litro de biodiesel producido.

La instalación tiene un coste de 500.000 US\$ que son 414.118,51€ (al cambio actualizado a 24/07/2012).

Para la nave, sondeando el mercado de naves del tamaño deseado (entorno a 125 m²) tomamos un valor medio de los precios encontrados en la Comunidad de Madrid: 250.000€.

Por lo que el coste total de la instalación sería de 664.118,51€ teniendo en cuenta un periodo de amortización de 20 años, el coste anual de amortización sería de 33.205,92€.

$$\text{Coste amortización}(\text{€/l}) = 33.205,92\text{€} / 2.929.693\text{l} = 0,0113\text{€/l}$$

El coste del personal sería de 2 operarios de planta que cobran 21.000€/año, más la aportación del 32% a la Seguridad Social. Como se realizarán tres turnos de 8 horas la mayoría de las jornadas se necesitarán 6 operarios para completar los tres turnos. Como la producción estimada es de 2.929.693 litros y la máxima es de 3.200.000 litros no modificaremos el salario proporcionalmente como hicimos con el personal que realiza las rutas de recogida.

$$\text{Coste Personal} = 21.000 \times 6 \times 1,32 = 166.320\text{€/año}$$

$$\text{Coste Personal}(\text{€/l}) = 166.320\text{€} / 2.929.693\text{l} = 0,0567\text{€/l}$$

El coste del consumo eléctrico vendrá dado por la media de lo estimado 17,5 wh por cada litro producido según especificaciones del fabricante. Y la electricidad industrial se paga en España a 0,1252€/Kwh.

$$17,5 \text{ wh} = 0,0175 \text{ kwh}$$

$$\text{Coste Electricidad}(\text{€/l}) = 0,0175 \text{ Kwh} \times 0,1252 \text{ €/Kwh} = 0,002191 \text{ €/l}$$

Se necesitan 26 litros de diesel para que la caldera funcione 24 h. En 24 h se producen 10.080 litros de biodiesel, así que la cantidad de gasóleo necesario para producir un litro de biodiesel sería:

$$\text{Gasóleo(l)} = 26 \text{ l diesel} / 10.080 \text{ l biodiesel} = 0,002579 \text{ litros diesel/litro biodiesel}$$

El coste teniendo en cuenta que el precio medio del gasóleo para calderas en la Comunidad de Madrid es de 1,113€/litro.

$$\text{Coste Combustible}(\text{€/l}) = 0,002579 \text{ l} \times 1,113 \text{ €/l} = 0,002871 \text{ €/l}$$

En cuanto al coste de los materiales, se usan en el proceso aceite, metanol e hidróxido sódico. El coste del aceite como vimos es de 0,02576 €/l.

Se utilizarán 17 litros de metanol por cada 100 litros de aceite en el proceso, esto es 0,17 litros de metanol por cada litro de aceite. Si el metanol encontrado tiene un precio de 0,79€/l, entonces:

$$\text{Coste metanol}(\text{€/l}) = 0,17 \text{ l met/l bio} \times 0,79 \text{ €/l met} = 0,1343 \text{ €/l bio}$$

Se utilizarán 2 kg de hidróxido sódico (NaOH) por cada 100 litros de aceite, entonces se utilizarán 0,02 kg por cada litro de aceite. Si tiene densidad de 2,13 kg/l de hidróxido entonces serán necesarios 0,00938 litros de hidróxido sódico por cada litro de aceite. Si el coste del litro de hidróxido sódico es de 6,4 €/l entonces:

$$\text{Coste NaOH}(\text{€/l}) = 0,00938 \text{ l NaOH/l bio} \times 6,4 \text{ €/l} = 0,0601 \text{ €/l bio}$$

Sumaremos todos los costes para ver cuál es el resultado final del coste del proceso.

Tipo de coste	Coste (€/l de biodiesel)
Amortización	0,0113
Personal	0,0567
Combustible	0,002871
Electricidad	0,002191
Aceite	0,02576
Metanol	0,1343
Hidróxido Sódico	0,0601
Coste Total	0,293222
Coste sin aceite	0,267462

Como se puede observar, el coste del litro de biodiesel después de todo el proceso es de 0,293 €/l. Puede parecer extremadamente bajo a primera vista pero la razón principal es el barato coste de la materia prima adquirida mediante la recogida de contenedores que es apenas 0,02576 €/l. El reducido coste del proceso en planta, 0,267 €/l se debe en gran parte al enorme aprovechamiento de la instalación. Seguramente falten costes asociados a impuestos de la instalación, seguros y mantenimiento de la planta que lo encarecerían ligeramente pero no mucho. Aunque el precio final de un litro de diesel proveniente de petróleo es de 1,35 €/l de media en Madrid, lleva asociados unos gastos de transporte, instalaciones y personal en estación de servicio que tampoco tenemos en cuenta y que junto con los impuestos del beneficio de la empresa aumenta el coste final.

Para demostrar que no es tan descabellado, se observarán tres escenarios alternativos de modo que se vean los costes en otros casos.

El primer escenario, será considerando que se recoge la mitad de aceite esto afectará al coste del aceite usado en el proceso y al coste por litro derivado de la amortización de las instalaciones así como del personal contratado.

El segundo escenario será el resultante producir la misma cantidad de biodiesel anual pero contando con el precio actual de mercado del aceite

usado en España, cuyo coste está en torno a los 0,5-0,6 €/l por lo que cogemos para los cálculos 0,55€/l.

El tercer escenario, será el tomado produciendo la misma cantidad de biodiesel pero considerando el precio del aceite procedente de cultivo energético de la colza, que está en torno a 0,65 €/l. Se resumen en la siguiente tabla dichos escenarios para nuestra planta.

Tipo de coste	Coste (€/l de biodiesel)	Mitad de producción (€/l)	Aceite usado a 0,55€ (€/l)	Cultivo energético(€/l)
Amortización	0,0113	0,0226	0,0113	0,0113
Personal	0,0567	0,1134	0,0567	0,0567
Combustible	0,0029	0,0029	0,0029	0,0029
Electricidad	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022
Aceite	0,0258	0,0515	0,5500	0,6500
Metanol	0,1343	0,1343	0,1343	0,1343
Hidróxido Sódico	0,0601	0,0601	0,0601	0,0601
Coste Total	0,2932	0,3870	0,8175	0,9175
Coste proceso sin aceite	0,2675	0,3355	0,2675	0,2675

Como se puede observar en la tabla, aunque recogiésemos la mitad de aceite respecto al esperado, el coste seguiría siendo bastante bajo.

De los escenarios tomados de haber tenido en cuenta los costes habituales del aceite para la fabricación de aceite en España salen precios más habituales y que no son tan rentables.

Esto hace pensar que la idea de desarrollar el proyecto entorno al estudio de una manera alternativa de obtener la materia prima era correcta, ya que es ahí donde reside claramente el problema de competitividad actual.

Capítulo III: Aplicaciones, impacto medioambiental y posibles mejoras

En este capítulo se tratará de hacer un análisis de aquellos temas ligados al proyecto pero que no han sido comentados hasta ahora al no pertenecer estrictamente al proceso de producción.

1. Aplicaciones

Una vez que se tiene el producto final es importante plantear como darle salida. El biodiesel se utiliza exactamente para lo mismo que el diesel, por lo que es fácil establecer sus aplicaciones. Sin embargo, también se comentará las ventajas e inconvenientes resultantes de usar cada uno para ver la facilidad con la que se le puede dar salida a nuestro producto.

Las aplicaciones del biodiesel son esencialmente dos: su utilización en motores de combustión interna y en centrales térmicas para generación eléctrica.

1.1 Utilización en motores de combustión interna

Su utilización en motores de combustión interna le hace ser una alternativa al uso del diesel tradicional ya sea parcial o totalmente, ya que como se ha visto existen normativas a nivel nacional y europeo para introducirlo progresivamente llegando a unas cuotas de producción, tanto como producto por sí mismo como mezclado con el diesel tradicional.

Una de las principales ventajas respecto a la utilización del diesel tradicional es el descenso de emisiones contaminantes, tanto de CO₂ como de otras como SO₂, NO_x, HC y otras partículas que se verán más detalladamente en el apartado de impacto medioambiental. Además su transporte es mucho más seguro que del diesel tradicional debido a la biodegradabilidad del metil éster y un punto de inflamación más alto (150° C frente a 60°C del diesel).

Si se analiza el funcionamiento desde el punto de vista mecánico con biodiesel en lugar del diesel tradicional, se encontrarán una serie de ventajas e inconvenientes en cuanto a su uso.

Entre las ventajas se presentan las siguientes:

- Presenta mayor índice de cetano, que compensa en parte la menor capacidad energética del biodiesel frente al diesel tradicional que es un 10% menor aproximadamente,
- Mejor capacidad solvente respecto al diesel, esto lleva a que los residuos existentes se disuelvan y sean enviados por la línea de combustible.
- El biodiesel posee excelentes propiedades lubricantes manteniendo un desempeño similar del motor respecto al diesel. Además la combustión es más completa y necesita menor compresión por lo que el motor tendrá un funcionamiento más silencioso.
- Pese a tener mayor viscosidad, tan sólo presenta problemas en el arranque en frío a muy bajas temperaturas.

Entre los inconvenientes:

- Corrosión de los componentes de goma y caucho, aunque estos ya no están incorporados desde hace bastante tiempo en la mayoría de los coches. Sólo habría que tener cuidado en coches antiguos, cercanos a los 20 años desde su fabricación.
- La menor liberación de energía por parte del biodiesel hace que aumente ligeramente el consumo de combustible y descienda la potencia entregada (cerca de un 5%).
- Ser biodegradable hace que presenta cierta dificultad a almacenamiento prolongados debido a una baja estabilidad hidrolítica y oxidativa.
- La no construcción del motor por parte de fabricantes para un uso optimizado para este combustible hace que sea una barrera para su utilización. Se pueden hacer modificaciones añadiendo un equipo de precalentamiento del combustible que arreglaría los problemas de arranque en frío pero suponen un coste extra muy superior al que se podría llegar con una producción en serie.

1.2 Utilización para generación eléctrica

Otra aplicación del biodiesel es la generación de energía eléctrica, ya sea en centrales térmicas o a través de pequeños motores. La principal ventaja de esta aplicación es la gran flexibilidad de estos dispositivos que pueden ser usados a pleno rendimiento cuando otras energías como la eólica tienen caídas en la producción.

Estos dispositivos son especialmente utilizados en islas dónde no existen grandes centrales y que pueden quedar aisladas en determinado momento del exterior. La utilización de biodiesel ya sea procedente de aceite usado o de cultivos energéticos puede hacer a los territorios de este tipo menos dependientes de la importación de combustibles fósiles. A su vez podrán irlos sustituyendo paulatinamente en las centrales que tienen este uso.

Además, la generación eléctrica se puede utilizar en régimen de cogeneración, que aprovecha el calor que desprenden el motor o caldera para darle uso. Este tipo de producción de electricidad entra dentro del denominado régimen especial y tiene un atractivo interesante en forma de primas en los precios a los que se paga el Kwh producido mediante este sistema.

2. Impacto medioambiental

Una de las ventajas del uso del biodiesel frente al diesel tradicional es la disminución del impacto medioambiental. En el caso de este proyecto, además, el uso de aceite usado implica también una disminución del impacto medioambiental respecto al uso de cultivos energéticos para la producción de biodiesel.

Se revisarán las ventajas del uso de aceite usado ligadas al menor impacto medioambiental tanto para emisiones contaminantes como para la contaminación de aguas. Se cuantificarán en la medida de lo posible la reducción de impacto medioambiental ligada al proyecto.

2.1 Emisiones contaminantes

Se estudiará el ciclo de carbono para situar la magnitud de la disminución de las emisiones contaminantes debida al consumo de biodiesel en lugar de combustible fósil en general y se extrapolarán a nuestra producción.

El ciclo de carbono se basa en las transformaciones que sufre el carbono en sus distintos estados a lo largo del tiempo. Se pueden distinguir dos ciclos: el ciclo biológico consistente fundamentalmente en la fotosíntesis mediante la masa vegetal o el fitoplancton y el ciclo biogeoquímico que regula la transferencia del carbono entre la atmósfera y el suelo y los océanos.

Los estudios para analizar el ciclo del carbono del biodiesel analizan el CO₂ absorbido durante la formación de la planta y el generado durante la fabricación del biodiesel y su posterior combustión. De esa manera, se puede ver si en el proceso total de fabricación del biodiesel se ha captado o generado CO₂. La diferencia fundamental con respecto a la producción y consumo del diesel tradicional captó el carbono hace muchísimos años y genera CO₂ en la actualidad debido a su combustión.

Estudios como los reseñados en las referencias Camps y Gallardo señalan que el CO₂ captado por el cultivo de la colza es de 7,87 kg CO₂/kg aceite, que aunque no sean exactamente nuestro perfil de oleaginosas, ya que en España se consume

mayoritariamente aceite de oliva y girasol, nos pueden servir para hacernos una idea del ciclo del biodiesel.

El CO₂ generado durante el cultivo, la transesterificación, el transporte y la combustión del biodiesel es de 4,6kg CO₂/kg aceite. Si hacemos un balance sale negativo, es decir, todo el proceso de cultivo producción y combustión absorbe 3,26 kg CO₂/kg aceite.

Si a esto le añadimos que el balance de de emisiones de CO₂ del diesel sale que emite 3,2 kg CO₂/kg diesel. Tendríamos un balance a favor de la utilización del biodiesel de 6,46 kg CO₂/kg aceite.

Si extrapolamos éste dato a la producción prevista de nuestra planta que sería de 2.695.318 kg el ahorro en emisiones de CO₂ derivados de la utilización de biodiesel en lugar de diesel fósil sería:

$$Ahorro(kgCO_2) = 6,46 \frac{kgCO_2}{kgaceite} \times 2.695.318kgaceite = 17.411.754,28kgCO_2$$

Se ahorran 17.411 toneladas de CO₂ anuales.

También es importante conocer en qué medida se reducen el resto de contaminantes, estos son datos procedentes del estudio de Gallardo con datos de la Unión Europea y el estudio realizado por Camps y que nos permiten conocer dicha reducción.

Emisiones	BD100A1(kg/100km)	Gasóleo(kg/100 km)	Diferencia (Gallardo,2008)	Diferencia (Camps,2005)
CO	0,37	0,46	-19,56%	- [5-65]%
HC	0,03	0,04	-25%	- [30-68]%
NOx	0,03	0,04	-25%	± [5]%
Partículas	0,62	1,85	-25%	- [40-60]%
CO2	0,87	4,67	-80%	-100%
SO2	0	1,62	-100%	-100%
Aldehídos	-	-	-13%	-13%

Tabla 6, Comparativa de emisiones entre biodiesel que cumple la norma y gasóleo. Basado en los datos de Gallardo (2008) y Camps (2005)

Se puede observar la unanimidad en la reducción de las emisiones de todas las partículas contaminantes, particularmente importante ligada a la salud de las personas es la reducción de compuestos aromáticos y aldehídos, compuestos altamente cancerígenos. Camps y otros estudios señalan la posibilidad de un ligero aumento de las emisiones de NO_x.

2.2 Contaminación de aguas

El efecto más importante de utilizar aceite usado en lugar de aceite proveniente de cultivos energéticos en cuanto a impacto ambiental se refiere es, sin duda, el efecto que tiene sobre las aguas, ya que actualmente casi la totalidad del aceite que no es reciclado se vierte por el desagüe dando lugar unos costes de depuración muy grandes y una gran contaminación de ríos, mares, acuíferos y suelos cuando no existen las debidas instalaciones de depuración.

Como ya se dijo en otra parte del documento un litro de aceite usado de fritura contamina 1.000 litros de agua. Los aceites usados vertidos en el agua originan una fina película que produce separación entre la fase del aire y la del agua. Con ello se impide que el oxígeno contenido en el aire se disuelva en el agua, perturbando seriamente el desarrollo de la vida acuática.

A esto se deben añadir los riesgos que implican las sustancias tóxicas contenidas en los aceites usados, vertidos en el agua que pueden ser ingeridas por el hombre o los animales. También hay que tener en cuenta la mala biodegradabilidad del aceite usado precisamente por contener estas sustancias.

3. Posibles mejoras

Aunque el proceso parece a priori rentable, hay algunas mejoras que se podrían implementar para rebajar costes.

- Estudiar la posibilidad de obtener tanto el calor como la electricidad para surtir a la planta mediante el calor procedente de cogeneración. Obtendríamos un buen precio en el mercado de la electricidad por la energía sobrante, al entraren la categoría de régimen especial.
- Ajustar la producción todavía más a la capacidad de la planta. Esto se haría ampliando la recogida a alguno de los distritos de Madrid nombrados en el proyecto.
- Si se tienen unas perspectivas de producción a largo plazo, se podría comprar un camión nuevo, que consumiría menos que los modelos ofrecidos en régimen de alquiler y cuyo coste anual de amortización sería bastante inferior al del alquiler.
- Una vez que se empiece a producir biodiesel propio de calidad podremos suministrar de forma más barata tanto al camión como a la caldera con nuestro propio producto.
- Se pueden seguramente pactar precios más baratos comprando grandes cantidades de metanol e hidróxido sódico que los precios encontrados.

Capítulo IV: Conclusiones

Al principio del proyecto se planteaba el principal problema de la situación del sector del biodiesel en España: el elevado coste de la materia prima utilizada que es aceite procedente de cultivos energéticos en su mayoría. Tras este análisis se planteó la posibilidad de producir biodiesel a partir de aceite usado, para lo cual se ha intentado demostrar su viabilidad tanto económica como técnica.

Para demostrar su viabilidad económica se ha desarrollado un sistema logístico de recogida basado en la cercanía a una zona de ciudades muy pobladas. Tras designar la zona se analizaron varias opciones para la localización de la planta, considerando el emplazamiento de Leganés Tecnológico la zona más adecuada. Una vez conocida la situación de la planta, se diseñaron en función de la población y del urbanismo de cada ciudad unas rutas que intentaran minimizar costes y que nos permitieran establecer varias opciones sobre que ciudades incluir de entre las que se encuentran dentro de la zona seleccionada para el estudio.

Tras estudiar las distintas opciones, se decidió que todas las ciudades incluidas en el estudio debían ser integradas en el sistema. El coste de adquisición del litro de aceite usado para esta última opción, 0,0258 €/l, es muy satisfactorio si lo comparamos con los precios habituales de mercado de esta materia, 0,55€/l de media y mejores todavía si los comparamos con el precio de los aceites procedentes de cultivos energéticos, 0,65€/l.

Del coste de adquisición obtenido se deduce que seguirá siendo muy rentable la incorporación de municipios al sistema salvo que estén muy alejados de la planta o tengan muy poca población. Sin embargo, el coste es difícil de mejorar como se ve comparando los costes de las distintas opciones estudiadas, salvo que se añadan poblaciones cercanas muy pobladas (en nuestro caso serían los distritos del sur de la ciudad de Madrid nombrados en el estudio). No obstante los precios para las otras opciones con algún municipio menos eran sólo un poco más elevados y también serían adecuados para establecer un sistema de recogida.

El precio al que se llegó aunque parezca muy barato, es sólido, ya que en el supuesto de que recogiésemos la mitad de aceite respecto al esperado, lo cual se podría evaluar en

un principio como desastre, el precio del litro de aceite sería de 0,0516 €/l. Un precio que seguiría siendo muy competitivo dentro del sector.

El hecho de que la materia prima sea aceite usado y no refinado, plantea el análisis de la viabilidad técnica. Desde un principio se conocía que ya hay plantas produciendo a partir de esa materia prima. Pero al investigar el tema un poco más en profundidad se han visto las múltiples posibilidades que se conocen en este momento y que se podrían dividir en dos grupos. La opción de hacer unos tratamientos previos que garanticen un aceite de calidad similar al refinado y que ha resultado tener casi todos los tratamientos previos que se hacen normalmente para obtener un aceite refinado con el que realizar la transesterificación salvo por un par de etapas. Y la otra opción, que es la de procesos de transesterificación existentes en la actualidad que permiten transformar aceite usado en biodiesel sin realizar tratamientos previos.

Demostrada la viabilidad técnica, se buscaron proveedores en el mercado capaces de entregar una planta llave en mano. Esta tarea fue realmente complicada y de tres presupuestos recibidos, tan solo uno contaba con toda la información necesaria como para calcular el coste del proceso de producción del biodiesel.

Como se imaginaba desde el principio, al analizar el coste final (0,2932 €/l) y compararlo con costes del proceso entero si hubiésemos empleado las otras materias primas (0,8175 €/l y 0,9175 €/l respectivamente), se reafirma el hecho de que el problema de competitividad del sector está en el coste de la materia prima.

En el último capítulo, se comentan a título informativo las aplicaciones del biodiesel, así como el impacto medioambiental tanto en lo referente a emisiones como en contaminación de aguas y las posibles mejoras del sistema. Se contabilizan las emisiones de CO₂ que se evitarían anualmente con el uso del biodiesel fabricado en la planta en lugar del diesel tradicional.

Referencias

Libros

- Camps M., Michelena F.: “Los biocombustibles”. 2ª Edición. Mundiprensa. 2008
- Gallardo M.: “Proyecto fin de carrera: Diseño de un reactor de transesterificación para la producción de biodiesel”. Universidad Carlos III de Madrid. Junio 2008
- Krajewski L. J., and Ritzmann L. P.: “Operations management. Processes and value chains”. 7ª Edición. Pearson Prentice Hall. 2005
- Sotaert W., Vandamme E.J.: “Biofuels”, Gante (Bélgica): John Wiley & Sons Ltd. 2009
- Vallhonrat J. M., Corominas A.: “Localización, distribución en planta y manutención”. Productica. 1991

Recursos electrónicos

APPA y PriceWaterhouseCoopers: “Una estrategia de biocarburantes para España (2005-2010)”. Junio 2005

http://www.appa.es/descargas/Estrategia_Biocarbur_APPA.pdf

Página consultada por última vez el 26/07/2012

APPA Biocarburantes: “Capacidad, producción y consumo de biocarburantes en España-Situación y perspectivas”. Noviembre 2008

http://www.appa.es/descargas/Informe_Capacidad_produccion_consumo_biocarburantes.pdf

Página consultada por última vez el 26/07/2012

APPA Biocarburantes: “AppaAbril09”. Abril 2009

http://www.appa.es/descargas/Appa_Abr09.pdf

Página consultada por última vez el 24/10/2011

Rico J. (APIA): “Manuales de energías renovables: Biocarburantes en el transporte”, Madrid. Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE) y Asociación de Periodistas de Información Ambiental (APIA). Septiembre 2006

http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_10822_Biocarburantes_en_el_transporte_2008_503da5d6.pdf

Página consultada por última vez el 26/07/2012

Páginas de empresas consultadas

Cervic. www.cervic.com

Página consultada por última vez el 26/07/2012

Sanimobel. www.mmm-sanimobel.com

Página consultada por última vez el 26/07/2012

Alquienvas. www.alquienvas.com

Página consultada por última vez el 26/07/2012

Jofesa. www.contenedoresjofesa.es

Página consultada por última vez el 26/07/2012

Spechtech. <http://www.spectech.dn.ua/>

Página consultada por última vez el 26/07/2012

Biodiesel del Plata. www.biodieseldelplata.com.ar

Página consultada por última vez el 26/07/2012

Luzardo Bulkens. www.luzardobulkens.com

Página consultada por última vez el 12/10/2011

Documentos

Aznar A.: Presentación “Valorización de residuos agropecuarios mediante digestión anaerobia”. Grupo de Tecnología Apropriada, Universidad Carlos III de Madrid.

Documento transferido personalmente. 2010

Comunicación personal

Ángel Rodrigo. Presidente de Geregras (Asociación nacional de Gestores de Residuos de aceites vegetales y Grasas)