

OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE DESECHOS DE ARROZ



TOMO 1: ESTUDIO DE VIABILIDAD

- ESTUDIO DE MERCADO
 - LOCALIZACIÓN
 - ESTUDIO TÉCNICO
- ESTUDIO ECONÓMICO-FINANCIERO

IGNACIO ARCELUS MARTÍNEZ

ÍNDICE

1. ESTUDIO DE MERCADO
2. LOCALIZACIÓN
3. ESTUDIO TÉCNICO
4. ESTUDIO ECONÓMICO-FINANCIERO

ESTUDIO DE MERCADO

ÍNDICE

1	. ANÁLISIS DEL PRODUCTO.....	2
1.1	Características del bioetanol.....	2
1.2	Materias primas	3
1.3	Usos	5
1.4	Legislación a nivel europeo y nacional	6
2	. ANÁLISIS DE LA OFERTA.....	8
2.1	Mercado mundial.....	8
2.1.1	Producción mundial.....	8
2.1.2	Precio mundial del bioetanol	9
2.2	Mercado nacional	11
2.2.1	Producción nacional	11
2.2.2	Importaciones y exportaciones.....	14
2.2.3	Estimación de la producción de bioetanol.....	15
2.2.4	Análisis del sector.....	17
2.2.4.1	Competencia.....	17
2.2.4.2	Estructura de mercado del bioetanol producido en España.....	28
3	. ANÁLISIS DE LA DEMANDA.....	31
3.1	Consumo de bioetanol y gasolina en 2012, 2013 y 2014.....	31
3.2	Análisis del consumo y ventas en España	34
3.3	Perspectivas de futuro.....	36
4	. INTRODUCCIÓN DEL NUEVO PROYECTO.....	37
4.1	Localización	37
4.2	Capacidad de producción y materia prima	39
4.3	Precio de venta	40
4.4	Ventajas e inconvenientes de la nueva implantación	40
5	. CONCLUSIONES.....	41
6	. REFERENCIAS	41

1 . ANÁLISIS DEL PRODUCTO

Para analizar el bioetanol, se van a explicar en primer lugar sus principales características, posteriormente se detallan las distintas materias primas existentes en la fabricación del bioetanol y se justifica la materia prima elegida en este proyecto, después se comentan sus principales usos, y finalmente se hablará sobre la legislación existente tanto a nivel europeo como a nivel nacional.

1.1 Características del bioetanol

El bioetanol es un producto químico líquido, incoloro, volátil, y con un olor característico, el cual se obtiene a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales, como pueden ser: cereales, remolacha, caña de azúcar o biomasa. Estos azúcares se encuentran combinados en forma de sacarosa, almidón, hemicelulosa y celulosa.

El bioetanol tiene las mismas características y composición química que el etanol, ya que se trata del mismo compuesto. La diferencia radica en su proceso de producción, ya que el bioetanol se obtiene a partir de la biomasa, mientras que el etanol se obtiene mediante derivados del petróleo.

El bioetanol comparte unas propiedades físico-químicas muy parecidas a la gasolina, motivo por el cual puede sustituirla parcial y/o totalmente en los motores de combustión interna (Tabla 1).

Tabla 1: Comparación entre propiedades del bioetanol y gasolina (Fuente: Wikipedia).

Propiedad	Bioetanol	Gasolina
Poder calorífico (MJ/L)	20.000	32.200
Densidad (kg/m ³)	790	810
Peso molecular (g/mol)	46	46
P.fusión normal (°C)	-114	-114,1
P.ebullición normal (°C)	78	78,6

Entre las principales ventajas que tiene el uso del bioetanol, destacan las siguientes:

- El CO₂ que se produce en la combustión del bioetanol, se retira de la atmósfera por la planta en su crecimiento por lo que disminuye el efecto invernadero
- Su uso proporciona una fuente de energía renovable y por lo tanto inagotable
- Produce menos emisiones nocivas de azufre por unidad de energía que el uso de productos derivados del petróleo

1.2 Materias primas

En la fabricación del bioetanol es posible utilizar una gran variedad de materias primas. Según el origen de éstas, se puede clasificar el bioetanol como de primera generación o de segunda.

El bioetanol de primera generación es aquél que proviene de biomasa, especialmente de cultivos agrícolas destinados a la alimentación humana, mientras que el de segunda generación procede de biomasa que no compite con la producción de alimentos.

Entre las principales materias primas utilizadas actualmente para la fabricación de bioetanol se encuentran tanto la caña de azúcar como el maíz, aunque también se utilizan pero en menor proporción, la remolacha, el trigo y residuos forestales.

Se está estudiando la posibilidad de cultivar árboles, con alto contenido de celulosa, con el único fin de producir etanol, como pueden ser el chopo o sauce. Igualmente el cultivo específico de algunas plantas con el fin de producir combustible podría ser una alternativa a las tierras sin cultivo, en el marco de la Política Agraria Común de la Unión Europea.

Otra alternativa a las cosechas dedicadas a fines energéticos, es el uso de residuos de procesos agrícolas, forestales o industriales, con alto contenido en biomasa. Estos residuos pueden ir desde la paja de cereal, hasta los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) o las cáscaras de cereal o arroz. Estos residuos tienen la ventaja de tener un bajo coste, ya que son la parte no necesaria de otros productos o procesos, salvo cuando son utilizados en la alimentación del ganado. Los RSU tienen un alto contenido en materia orgánica, como papel o madera, que los hace una potencial fuente de materia prima, aunque debido a su diversa procedencia pueden contener otros materiales cuyo pre-proceso de separación incrementa mucho el precio en la obtención del bioetanol.

Como se ha indicado anteriormente, las materias primas correspondientes a desechos agrícolas, forestales o industriales, suponen una gran ventaja económica en el proceso de producción del bioetanol, debido a que abaratan bastante dicho proceso. Por este motivo, este proyecto se va a centrar exclusivamente en las materias primas relativas a residuos.

Dentro de estos residuos, se excluyen los RSU, que como se ha explicado antes suelen requerir un pre-proceso de separación, lo que aumentaría los costes de producción. Se van a analizar principalmente los residuos agrícolas.

Los residuos agrícolas son aquellos que proceden de cultivos leñosos y herbáceos y, entre otros, hay que destacar los producidos en los cultivos de cereal. Como en España se producen una gran cantidad de cereales, se eligen éstos como materia prima de este proyecto.

Tabla 2: Cantidad de residuos generados de arroz, trigo y de otros cereales y leguminosas en España en 2013 (Fuente: Instituto Nacional de Estadística).

Desechos arroz (miles toneladas)	Desechos trigo (miles toneladas)	Desechos de otros cereales y leguminosas (miles toneladas)
173,071	997,132	2,347

Las pautas que se van a seguir para la elección de la materia prima, son que haya suficiente disponibilidad de la misma (Tabla 2), así como que su precio de venta sea económicamente rentable.

Siguiendo dichas pautas, se prescinden de los otros cereales y leguminosas debido a su baja disponibilidad, centrándose sólo en los desechos de trigo y desechos de arroz. Para poder comparar sus precios se van a estimar los mismos, dividiendo la cantidad de éstos por las ventas que han generado (Tabla 3).

Tabla 3: Ventas y estimación del precio de venta para los residuos del arroz y trigo en 2013
(Fuente: Instituto Nacional de Estadística).

	Ventas (miles euros)	Precio venta (euros)
Desechos arroz	21.038	121,55
Desechos trigo	217.801	218,42

Como puede observarse en la Tabla 3, los residuos del arroz son más rentables económicamente que los desechos del trigo, por esta razón la materia prima elegida van a ser los residuos del arroz.

Habitualmente, los desechos de arroz se queman, siendo una de estas prácticas la responsable de la contaminación del aire. Dichos desechos constituyen un residuo agrícola con un bajo valor útil, lo que supone que su obtención tenga un coste muy barato. De manera que dándole utilidad a estos residuos, se están planteando alternativas a su quema, con la consiguiente disminución en la contaminación del aire, así como amortizando su bajo coste como materia prima.

Entre los principales usos actuales de los desechos del arroz, se tienen: su uso tradicional como fertilizante, su uso para alimentar al ganado y finalmente su empleo en la fabricación de materiales aislantes.

En este proyecto, se propone un uso diferente a los nombrados anteriormente, ya que se plantea la obtención de bioetanol a partir de tales residuos, concretamente a partir de las cascarillas de arroz. Para hacerse una idea de la producción de cascarillas de arroz en España en estos últimos años, se toma la consideración de que por cada 5 toneladas de arroz se genera 1 tonelada de cascarilla (Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos, Sánchez Riaño, A. M). Por ello, se toma la producción de arroz en España desde el año 2008 hasta el 2013 (Tabla 4).

Tabla 4: Datos de producción de arroz y cascarillas de arroz en España en los años 2008-2013.
(Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).

Año	Producción (miles toneladas)	Producción Cascarilla de arroz (miles toneladas)
2008	634,0	126,8
2009	913,8	182,7
2010	927,8	185,5
2011	921,7	184,3
2012	897,3	179,4
2013	876,6	175,3

En la Tabla 4, se observa claramente el gran aumento en la producción de arroz desde el 2008 al 2009, año en el cual la producción puede considerarse que se ha estabilizado. La producción de cascarilla de arroz en el último año, tal como se refleja en la Tabla 4, fue de 175.300 toneladas.

El precio de venta de la cascarilla de arroz puede presuponerse como 70 euros/tonelada (Arrocera del Pirineo S.C.L).

1.3 Usos

Entre los principales usos del bioetanol caben destacar dos: su uso como combustible y su uso como aditivo de las gasolinas. La utilización del bioetanol como combustible ha pasado por varias etapas a través de los años. Al comienzo de la industria de los automóviles, éste fue el principal combustible. Los motores de ciclo Otto fueron los primeros en utilizarlo como combustible, pero con el posterior desarrollo de la industria del petróleo, los fabricantes se decantaron por esta opción. Cuando se temió por la estabilidad de los mercados en los años 20 y el posterior embargo petrolífero del año 1973 se volvió a invertir en desarrollar el bioetanol. El primer país que asumió este reto fue Brasil que a partir de ese año empezó a mezclar etanol y gasolina en la proporción de 22:78. En 1980, la mayoría de los coches fabricados en dicho país estaban diseñados para funcionar únicamente con bioetanol.

Hasta los años 80 la razón principal por la cual se fabricaba bioetanol, era su uso como combustible alternativo en la automoción, para poder así disminuir la dependencia de las importaciones de crudo y minimizar el impacto que ocasionan las fluctuaciones del mercado en los precios. Junto con esta motivación, hay que destacar también el desarrollo que se llevó a cabo en cuanto a políticas de mejoras medioambientales, principalmente en lo relativo a emisiones gaseosas.

El creciente interés en estos últimos años sobre los problemas derivados del cambio climático, ha hecho que se busquen combustibles menos nocivos que los que existen actualmente. Al igual que con el biodiesel, la combustión del bioetanol produce el CO₂ que absorbió la planta durante su crecimiento, exceptuando el emitido debido a la actividad energética necesaria en el proceso de su producción, por lo que algunos autores indican que el balance en cuanto a emisiones de CO₂ es cero.

El uso de los alcoholes como sustituto de la gasolina se realizó a gran escala, tras la crisis energética de principios de los años setenta, siendo el país que más recursos utilizó para ello

Brasil. Pero dicho auge en el uso de los alcoholes como combustibles ha ido perdiendo peso con el paso del tiempo, y ahora se propone principalmente como aditivo de la gasolina y no como su sustituto.

El empleo del bioetanol como único combustible debe realizarse en motores específicos para ello. En el caso de su uso en mezclas, los vehículos no requieren cambios especiales, siempre y cuando el alcohol esté deshidratado, ya que éste es altamente higroscópico, es decir, posee una gran afinidad con el agua, lo cual hace que el agua tienda a condensarse en los pistones del automóvil en el momento de la explosión. Esta condensación, con el tiempo se va acumulando en la parte baja de los pistones, donde se encuentra el aceite del motor, lo que causa un desgaste en sus piezas.

En cuanto al uso del bioetanol como aditivo de la gasolina, destacar que es la materia prima que se utiliza junto con el isobutileno para obtener el ETBE (etil ter-butil éter). El ETBE posee las ventajas de ser menos volátil y más miscible con la gasolina que el propio etanol, y al igual que el etanol se adiciona a la gasolina en proporciones del 10-15%. Tanto la adición de ETBE como de etanol aumentan el índice de octano de la gasolina.

Actualmente, está investigándose como sustitutivo del bioetanol, un compuesto denominado biobutanol, el cual es más parecido a la gasolina que el propio bioetanol, aparte de ser no corrosivo y adecuado para ser distribuido a través de los oleoductos existentes. Aunque como ya se ha comentado, su tecnología está investigándose a día de hoy, por lo que su sector está muy poco desarrollado aún.

1.4 Legislación a nivel europeo y nacional

Desde enero de 2013, las únicas medidas que promueven el consumo de biocombustibles en España, están basadas en una normativa de consumo, ya que la exención de impuestos en el uso de biocombustibles expiró. La reducción en los impuestos de los hidrocarburos en 2012 representó un mayor incentivo para su uso en mezclas, debido a que dicho impuesto ascendía a los 0,401 euros/litro, aplicable a la proporción de bioetanol contenido en la mezcla. El coste de violar dicha normativa de consumo era de 0,770 euros/litro en el caso del bioetanol.

Sin embargo, según la resolución por el Secretario de Estado con fecha el 8 de julio de 2013, desde 2013, el incumplimiento de la normativa de consumo de bioetanol asciende a 0,385 euros/litro. Las normativas de consumo han sido revisadas levemente desde comienzos del 2013. Esta pobre revisión de los objetivos de consumo, ha contribuido a la reducción del mercado de bioetanol en España.

Otro reglamento del gobierno español en el sector de los biocombustibles, incluye que se especifiquen las condiciones técnicas de éstos en las mezclas con gasolina.

Los objetivos en el uso de combustibles para 2013, fueron revisados ligeramente por el Real Decreto 4/2013 para apoyar a los empresarios e impulsar el crecimiento económico, así como la creación de empleo. Como una consecuencia de esto, el objetivo de consumo de la energía total procedente de biocombustibles, ha sido reducido del 6,5% al 4,1%, y el porcentaje de consumo establecido para el bioetanol ha pasado de ser del 4,1% al 3,9% (Tabla 5). Estos objetivos de consumo permanecerán invariables en los próximos años, a menos que se establezca lo contrario.

Tabla 5: Objetivos de consumo de biocombustibles en España en porcentajes en términos de energía (Fuente: Orden ICT/2877/2008 MINETUR).

Año	Tipo de mandato	Biocombustibles, %	Bioetanol, %
2011	obligatorio	6,20	3,90
2012	obligatorio	6,50	4,10
2013	obligatorio	4,10	3,90
2014	obligatorio	4,10	3,90

La Comisión Nacional de Energía (CNE), que es el regulador independiente español de los mercados del sector energético, es el responsable de encargarse del control de las normas de consumo mínimas. Desde 2013, grandes multas son impuestas tanto a los comerciantes al por mayor como al por menor de biocombustibles, si no se cumplen los objetivos establecidos de consumo mínimo. Los últimos datos disponibles acerca del cumplimiento de la normativa de consumo son mostrados en la Tabla 6:

Tabla 6: Cumplimiento de la normativa de consumo en España en porcentajes en términos de energía (Fuente: CNE).

Año	Total		Bioetanol	
	Mandado, %	Consumido, %	Mandado, %	Consumido, %
2011	6,2	6,2	3,9	4,3
2012	6,5	8,5	3,6	4,1
2013	4,1	No disponible	3,9	No disponible

Las Islas Canarias, Ceuta y Melilla están exentas de tener que cumplir con un consumo específico de biodiesel.

En la Directiva de Energía Renovable 2009/28/Comisión Europea, se establece que los biocombustibles de segunda generación contarán con doble crédito. Esto significa que los biocombustibles hechos a partir de materiales lignocelulósicos, desechos y residuos de materiales contarán con mayor bonificación que los biocombustibles de primera generación en la consecución de que el 10% de la energía utilizada para el transporte en el año 2020 en Europa, proceda de energías renovables. Sin embargo, dicha bonificación no ha sido especificada aún.

Finalmente, en cuanto a las especificaciones técnicas de biocombustibles, la Unión Europea adoptó en abril de 2009 la directiva 2009/30, la cual permitió a los operarios de combustibles comercializar con E10, es decir, mezclas de gasolina con bioetanol con un contenido en el mismo del 10%. El Real Decreto 1088/2010 publicado en septiembre de 2010, transpuso la directiva mencionada anteriormente en una regulación nacional, que incrementó el contenido permitido de bioetanol desde un 5% a un 10%.

Las mezclas con un contenido volumétrico en bioetanol cerca del 10% o con un contenido volumétrico del 5% en bioetanol y un contenido del 2,7% en oxígeno en términos de masa, deben ser etiquetadas indicando el contenido de biocombustible.

2 . ANÁLISIS DE LA OFERTA

En este apartado se estudia tanto el mercado mundial como nacional del bioetanol, entrando en mayor detalle en el mercado nacional.

2.1 Mercado mundial

2.1.1 Producción mundial

A día de hoy, el bioetanol es el biocombustible con mayor producción mundial, siendo Brasil y EEUU los dos mayores productores de bioetanol en el mundo, los cuales obtienen su bioetanol principalmente de la caña de azúcar en el caso de Brasil, y del almidón del maíz en EEUU. La evolución de la producción mundial de bioetanol, se refleja en la Figura 1.

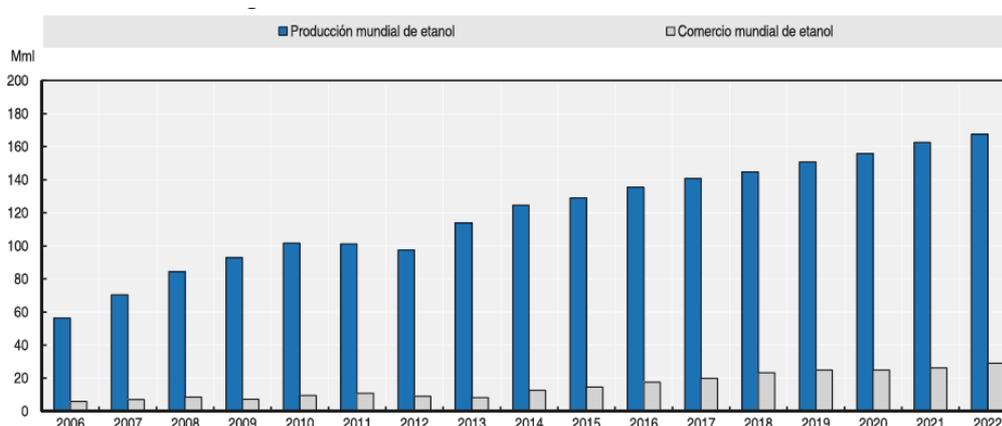


Figura 1: Desarrollo mundial en la producción bioetanol (Fuente: Secretariados de la OCDE y de la FAO).

La producción mundial de bioetanol se vio disminuida en 2012, por primera vez desde el año 2000, debido a las disminuciones en su producción en EEUU y Brasil. Con la reducción de los precios del maíz y azúcar en los años 2013 y 2014, se ha favorecido enormemente la producción en ambos países. En 2022, se prevé que la producción mundial de etanol aumente en casi el 70% respecto a la media de 2010-2012 y llegue a 168 millones de litros, como puede verse en la Figura 1.

Se espera que EEUU, Brasil y la Unión Europea sigan siendo los tres principales productores de bioetanol (Figura 2). El creciente uso del etanol en Brasil está relacionado con el desarrollo de la industria de combustible flexible y la demanda de importaciones de EEUU para cumplir el mandato de consumo de biocombustible avanzado.

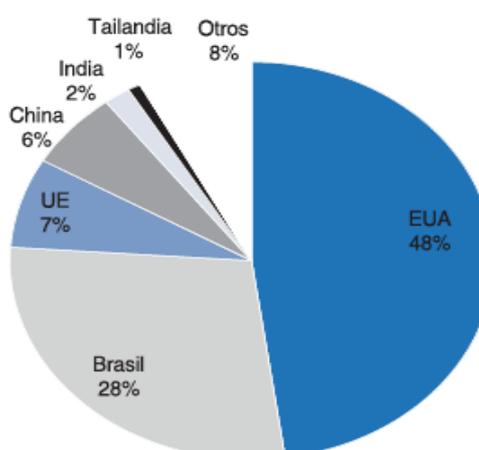


Figura 2: Distribución de la producción mundial de bioetanol en 2022 (Fuente: Secretariados de la OCDE y de la FAO).

2.1.2 Precio mundial del bioetanol

Con respecto a la cotización internacional del bioetanol, ésta se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7: Cotización internacional del bioetanol en el periodo 2010-2014 (Fuente: CNMC).

Año	Mes	Precio (\$/tonelada)	Variación respecto año anterior, %
2010	enero	1.021,42	-
2010	febrero	939,45	-
2010	marzo	783,78	-
2010	abril	735,40	-
2010	mayo	741,08	-
2010	junio	732,88	-
2010	julio	814,94	-
2010	agosto	902,62	-
2010	septiembre	1.043,12	-
2010	octubre	1.055,59	-
2010	noviembre	1.040,35	-
2010	diciembre	976,80	-
2011	enero	1.029,53	0,79
2011	febrero	1.099,45	17,03
2011	marzo	1.113,73	42,10
2011	abril	1.128,78	53,49
2011	mayo	1.137,77	53,53
2011	junio	1.134,54	54,81
2011	julio	1.123,23	37,83
2011	agosto	1.126,02	24,75

Año	Mes	Precio (\$/tonelada)	Variación respecto año anterior, %
2011	septiembre	1.085,40	4,05
2011	octubre	1.059,72	0,39
2011	noviembre	1.012,99	-2,63
2011	diciembre	935,69	-4,21
2012	enero	943,12	-8,39
2012	febrero	951,93	-13,42
2012	marzo	968,73	-13,02
2012	abril	988,45	-12,43
2012	mayo	965,24	-15,16
2012	junio	948,14	-16,43
2012	julio	1.088,47	-3,09
2012	agosto	1.139,82	1,23
2012	septiembre	1.172,79	8,05
2012	octubre	1.102,92	4,08
2012	noviembre	1.029,64	1,64
2012	diciembre	1.055,95	12,85
2013	enero	1.065,96	13,03
2013	febrero	1.081,21	13,58
2013	marzo	1.024,86	5,79
2013	abril	1.040,24	5,24
2013	mayo	1.073,38	11,20
2013	junio	1.052,81	11,04
2013	julio	1.056,15	-2,97
2013	agosto	1.018,45	-10,65
2013	septiembre	990,05	-15,58
2013	octubre	1.032,95	-6,34
2013	noviembre	921,21	-10,53
2013	diciembre	855,51	-18,98
2014	enero	816,65	-23,39
2014	febrero	797,01	-26,29
2014	marzo	881,05	-14,03

A continuación se presenta otra tabla con el precio medio del bioetanol por año, tanto en dólares/Tonelada como en euros/Tonelada:

Tabla 8: Precios medios bioetanol en 2010-2014 (Fuente: Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC)).

Año	Precio (\$/tonelada)	Precio (€/tonelada)
2010	898,95	717,97

Año	Precio (\$/tonelada)	Precio (€/tonelada)
2011	1082,40	864,46
2012	1029,60	822,26
2013	1017,73	812,76
2014	831,57	664,10

Destacar que en el cálculo del precio medio internacional del bioetanol en el año 2014, sólo se han tenido en cuenta los meses de enero, febrero y marzo, de los únicos de los que se tienen datos. Como puede observarse el precio del etanol ha ido disminuyendo desde el año 2011 en adelante, posiblemente como consecuencia del aumento en la demanda mundial de bioetanol.

En cuanto a la estabilidad de los precios del bioetanol (Figura 3), se proyecta que volverán a estabilizarse debido a los altos precios esperados del crudo del petróleo y a las políticas de biocombustibles en todo el mundo, que promueven la demanda de biocombustibles. Sin embargo, la incertidumbre evidente en torno a la implementación de políticas continuará afectando de manera significativa a los mercados de biocombustibles.

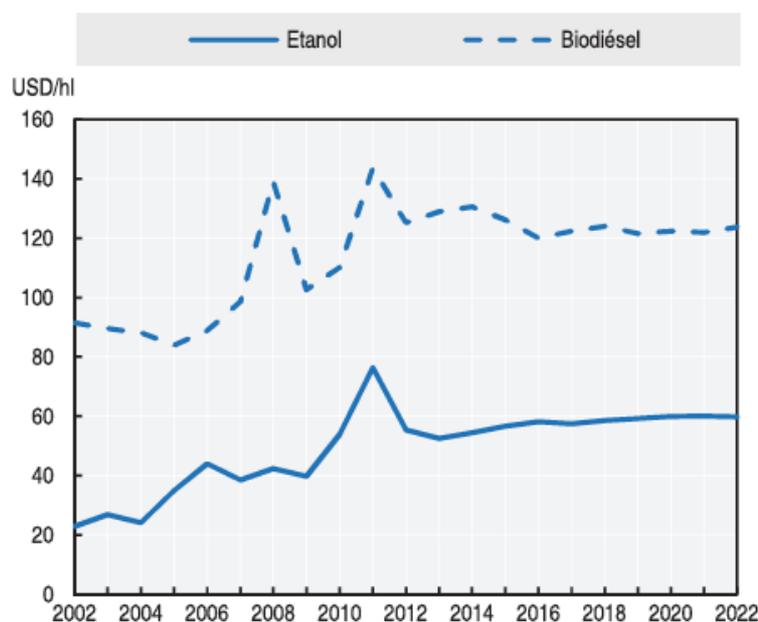


Figura 3: Evolución esperada en los precios de los biocombustibles (Fuente: Secretariados de la OCDE y de la FAO).

2.2 Mercado nacional

2.2.1 Producción nacional

La capacidad de producción de bioetanol instalada en España sigue inalterada desde 2009, y no parece que vaya a haber un cambio a corto plazo. En la Tabla 5 se recogen los datos relativos a las plantas de producción de bioetanol en España junto con sus respectivas capacidades de producción y localización.

Tabla 5: Plantas productoras de bioetanol en España (Fuente: FAS Madrid y Fuentes de Industria).

Planta	Capacidad producción (toneladas)	Empresa	Localización
Ecocarburantes Españoles	118.000	Abengoa 95% IDAE 5%	Cartagena (Murcia)
Bioetanol Galicia	154.000	Abengoa	Texeiro (La Coruña)
Biocarburantes Catilla y León	158.000	Abengoa	Babilafuente (Salamanca)
Bioetanol de la Mancha	34.000	Acciona - Uriel investments	Alcázar de San Juan (Ciudad Real)
Total	464.000		



Figura 4: Localización de las plantas de bioetanol en España (Fuente: FAS Madrid).

Como puede observarse en la Figura 4, no hay una zona exacta en la cual se concentre parcial y/o totalmente la producción de bioetanol. Por lo que se puede concluir que su producción en España está bastante diversificada.

Con respecto a los porcentajes de ocupación de cada una de las plantas en términos de capacidad de producción con respecto a la capacidad de producción total española, se obtienen los siguientes:

■ Ecocarburantes Españoles ■ Bioetanol Galicia
■ Biocarburantes Castilla y León ■ Bioetanol de la Mancha

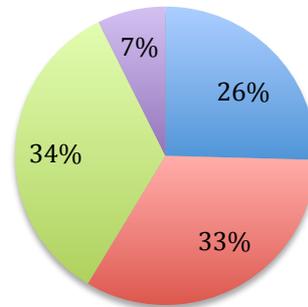


Figura 5: Porcentajes de ocupación sobre la producción total de bioetanol de cada una de las plantas españolas (Fuente: Elaboración propia).

La planta con mayor porcentaje de ocupación puede verse que es la de Biocarburantes Castilla y León, propiedad de la empresa Abengoa, la cual es casi enteramente responsable del 93% de la cantidad producida de bioetanol en España.

En la Figura 6 se representa la cantidad producida a nivel nacional frente al año correspondiente.

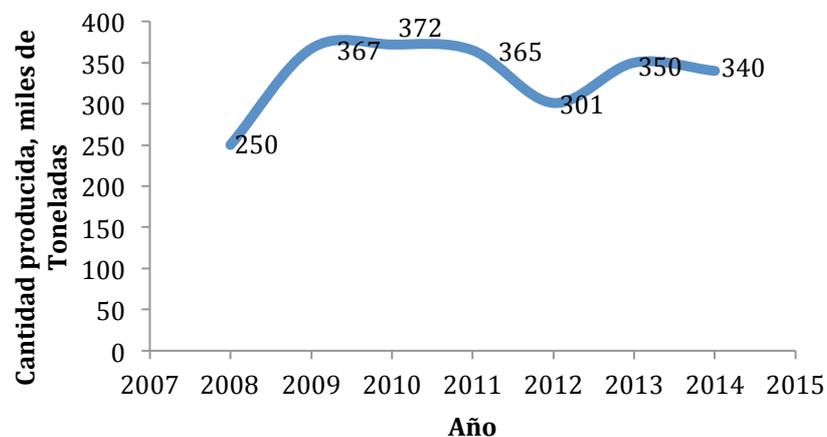


Figura 6: Cantidad producida en España de bioetanol en el periodo 2008-2014 (Fuente: ePURE, Fuentes de Industria y FAS).

La cantidad de bioetanol producida para el año 2014 ha sido tomada como una estimación de las páginas citadas como fuentes en la Figura 6, debido a la falta de datos de producción para dicho año.

Se puede apreciar en la Figura 6, como la producción de bioetanol alcanzó su máximo en el año 2010 y como poco a poco dicho máximo ha ido disminuyendo como consecuencia de la

crisis económica, así como de las leyes llevadas a cabo, nombradas anteriormente en el apartado 1.4, que han supuesto un descenso en la producción nacional de dicho compuesto.

Las operaciones de mantenimiento llevadas a cabo en la planta de bioetanol situada en Babilafuente (Salamanca) a principios de primavera y verano del año 2012, supuso un declive en la producción de bioetanol en ese mismo año.

La producción de etanol en dicha planta es totalmente sostenible y además es exportado a países de la Unión Europea. Las otras dos plantas, ambas propiedad de la compañía Abengoa, suministran a las refinerías bioetanol para producir ETBE. Cuando los márgenes son favorables, estas plantas pueden también producir bioetanol apto para ser exportado a otros países.

La mayoría del bioetanol comercializado en España es para fabricar ETBE, cerca del 89% (según el informe anual del 2011 de la CNE, cuyo valor puede considerarse que apenas ha variado desde entonces) del bioetanol producido se usa para elaborar dicho aditivo. El 11% restante se utiliza para mezclas directas con gasolina.

2.2.2 Importaciones y exportaciones

En lo referido a las importaciones y exportaciones, las exportaciones españolas de bioetanol son mayormente a nivel europeo, principalmente a Inglaterra e Italia. Por el contrario, las importaciones a España consisten en ETBE fabricado en Brasil o EEUU.

Las importaciones y exportaciones españolas durante el periodo 2010-2014 se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6: Importaciones y exportaciones españolas (Fuente: CNMC).

Año	Importaciones (miles toneladas)	Exportaciones (miles toneladas)
2010	209	180
2011	157	159
2012	131	120
2013	86	158

Tanto las exportaciones como importaciones han disminuido desde el año 2010 en adelante, siendo los años con una balanza comercial positiva, es decir, los años en los cuales ha habido un superávit comercial, 2011 y 2013. Los años 2010 y 2012, han representado un déficit comercial con una balanza comercial negativa ambos.

Los descensos ocurridos en las exportaciones desde el año 2010, tienen su origen en las dificultades crecientes para vender en los mercados europeos debido tanto a la llegada de importaciones de terceros países como al aumento de la capacidad instalada en muchos de ellos.

2.2.3 Estimación de la producción de bioetanol

Hasta ahora, el sector del bioetanol español se ha gestionado para hacer frente a la inestabilidad de los precios, a la competencia de las importaciones y a la reducción del mercado nacional, ajustando la producción y buscando nuevos mercados.

Los principales desafíos a los que se enfrentan los productores españoles de bioetanol van desde cambios en las leyes que fijan un consumo mínimo, hasta los impuestos y los efectos colaterales de la normativa actualmente bajo discusión, sobre introducir el factor ILUC, así como limitar la cantidad producida de biocombustibles de primera generación en favor de los de segunda generación.

El Indirect Land Use Change, también conocido como ILUC, se refiere a la consecuencia no deseada de la liberación de más emisiones de carbono, debidas a los cambios del uso del suelo en todo el mundo, inducidos por la expansión de las tierras de cultivo para producir bioetanol y biodiesel.

Dicho factor limitaría los cultivos para producir biocombustibles, y por lo tanto también condicionaría la producción de los mismos, si se llegara a implementar. Su introducción está actualmente bajo discusión en Bruselas.

Establecer límites en la producción de bioetanol de primera generación, puede dificultar la consecución de los objetivos de consumo de biocombustibles para el año 2020, a menos que se desarrollen métodos responsables, que sean favorables para los biocombustibles de segunda generación o bien para las energías alternativas.

La industria española defiende que los efectos positivos que tiene la producción de biocombustibles de primera generación, como el incremento de la disponibilidad de proteína para uso alimenticio, debería tenerse en cuenta antes de establecer un límite en la producción de los mismos.

A pesar de todo lo comentado anteriormente, se prevé que la producción española aumente ligeramente como resultado de la construcción de nuevas plantas en España, como la que se está construyendo actualmente en Extremadura, la cual va a tener una capacidad de producción de 87.000 toneladas, de manera que la capacidad de producción española de bioetanol aumentaría de 464.000 toneladas a 551.000 toneladas.

A continuación se va a estimar la cantidad que se va a producir en España en el año 2015, mediante el método de Jackson-Black. En este método hay que sacar logaritmos para linealizarlo y finalmente hacerle una regresión a partir de los datos.

La ecuación de Jackson-Black para la estimación de la producción es:

$$\sum Q = Q_0 t^j \quad (1)$$

Donde: $\sum Q$ es la producción acumulada de los distintos años, Q_0 y j son parámetros del modelo, y t es el año correspondiente. Linealizando la expresión (3):

$$\log \sum Q = \log Q_0 + j \log t \quad (2)$$

Ahora se van a tabular los datos necesarios de producción en el periodo de tiempo 2008-2014, para poder hacer la regresión lineal de la expresión (2):

Tabla 7: Datos para poder hacer regresión lineal modelo Jackson-Black (Fuente: CNME).

Año	Producción (miles toneladas)	Producción (L)	Producción acumulada (L)	log Prod.acumulada
2008	250	316.455.696	316.455.696	8,50
2009	367	464.556.962	781.012.658	8,89
2010	372	470.886.075	1251.898.734	9,09
2011	365	462.025.316	1.713.924.050	9,23
2012	301	381.012.658	2.094.936.709	9,32
2013	350	443.037.974	2.537.974.683	9,40
2014	340	430.379.746	2.968.354.430	9,47

Tabla 8: Continuación de la tabla 7 (Fuente: CNME).

Año	Producción (miles toneladas)	t, años	log t
2008	250	1	0,00
2009	367	2	0,30
2010	372	3	0,47
2011	365	4	0,60
2012	301	5	0,69
2013	350	6	0,77
2014	340	7	0,84

Si se representa $\log(\text{Producción acumulada})$ frente a $\log(t)$:

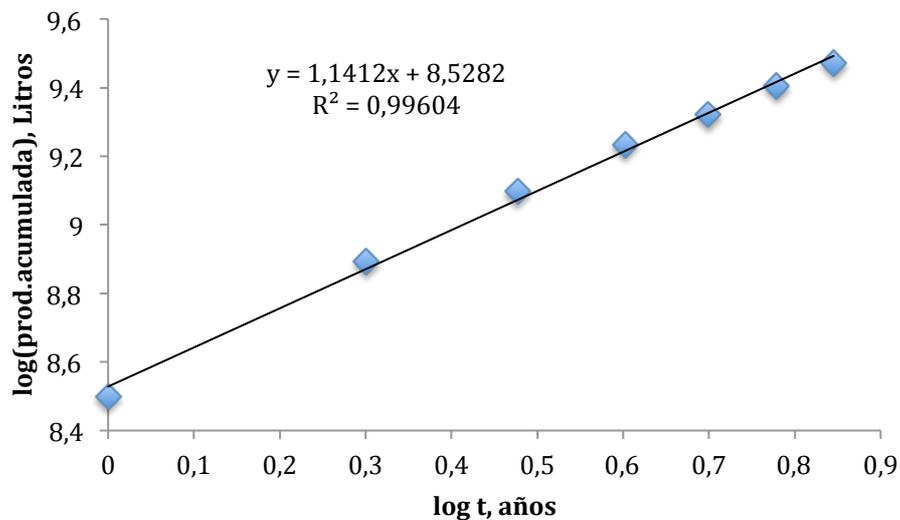


Figura 7: Regresión lineal de la expresión 2 con los datos de la Tablas 7 y 8 (Fuente: Elaboración propia).

Ya es posible conocer los valores de los parámetros Q_0 y J , los cuales son:

$$Q_0 = 10^{8,52} \quad J = 1,14$$

Sustituyendo ambos parámetros en la ecuación (1), así como el resto de datos pertinentes, se obtiene un valor de producción para el año 2015 igual a 575.949 litros, que equivale a 455.000 toneladas. Dicha estimación cumple con las predicciones en el aumento de la producción nacional de bioetanol.

2.2.4 Análisis del sector

En el análisis del sector, se analizan tanto las empresas que fabrican bioetanol, como la estructura de mercado del bioetanol producido.

2.2.4.1 Competencia

Como se mencionó en el apartado 2.2.1, en España existen actualmente cuatro fábricas de producción de bioetanol. Las cuales son: Ecocarburantes Españoles, Bioetanol Galicia, Biocarburantes Castilla y León y Bioetanol de la Mancha.

A continuación se va a hablar de las empresas que promueven dichas plantas de producción de bioetanol, así como sus beneficios, participaciones y números de empleados en estos últimos años:

- Ecocarburantes Españoles: Ecocarburantes Españoles S.A es la sociedad titular de esta planta localizada en Cartagena (Murcia). El 95% de las acciones de dicha sociedad es propiedad de la empresa Abengoa Bioenergía S.A, mientras que el 5% restante pertenece al Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

Tiene una capacidad de producción instalada de 150 millones de litros anuales de bioetanol, con un consumo de cereal de 300.000 toneladas anuales.



Figura 8: Fábrica de Ecocarburantes Españoles en Cartagena (Fuente: Abengobioenergy).

Las ventas disponibles de Ecocarburantes Españoles S.A en el periodo de años 2009-2013 se representa a continuación:

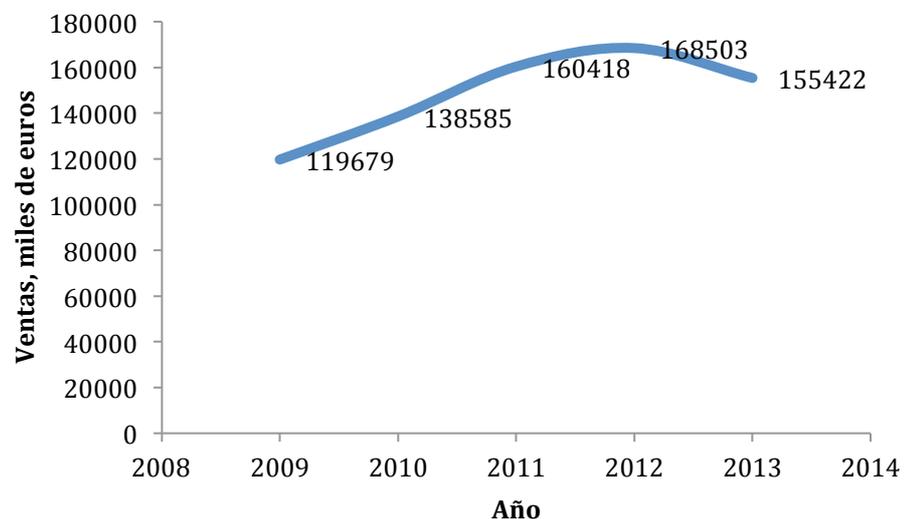


Figura 9: Ventas Ecocarburantes Españoles S.A en los últimos años (Fuente: Sabi).

Los ingresos de explotación de la fábrica han ido en aumento desde el año 2009 hasta 2012, mientras que en 2013 disminuyeron como consecuencia seguramente de la reducción del consumo nacional de etanol, el cual pasó de 313.000 toneladas en 2012 a 264.000 toneladas en 2013.

La variación del número de empleados con el tiempo, se refleja en el siguiente gráfico:

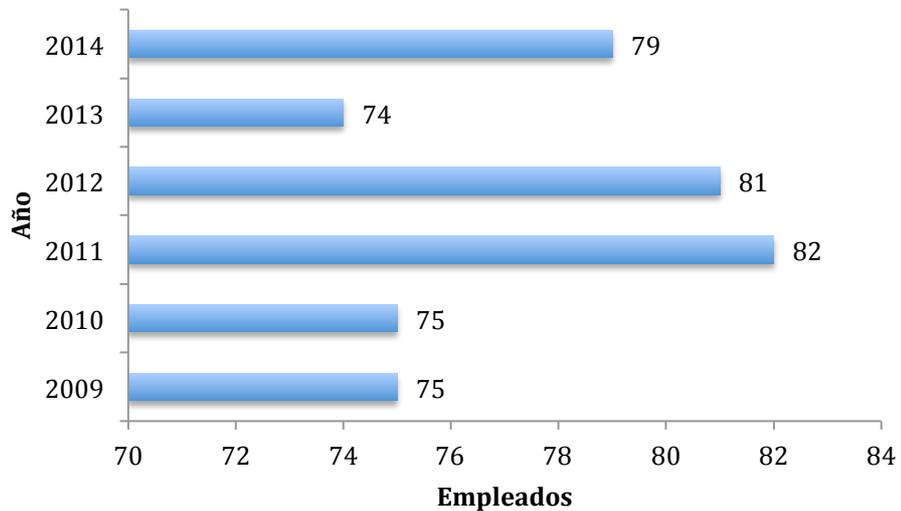


Figura 10: Número de empleados en el tiempo en Ecocarburantes Españoles S.A durante 2009-2014 (Fuente: Sabi y Abengoabioenergy).

El número de empleados ha ido aumentando de manera general con el paso de los años, volviendo a aumentar el número de éstos nuevamente en el año 2014, después de la reducción de plantilla en 2013.

En cuanto a la relación entre las ventas y el número de empleados:

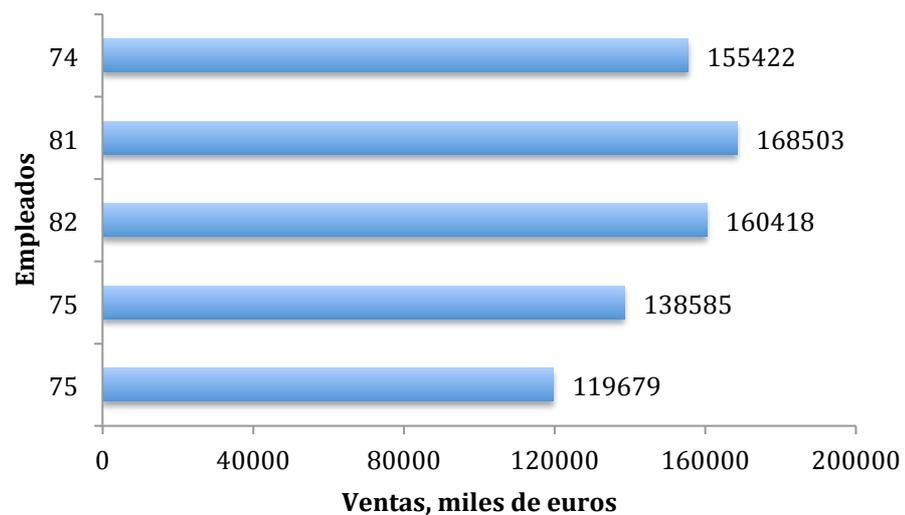


Figura 11: Relación entre ventas y número de empleados en Ecocarburantes Españoles S.A (Fuente: Sabi).

Los mayores ingresos fueron de 168.503.000 euros con un personal de 81 empleados. La mejor relación se alcanzó con 74 empleados y unos beneficios de 155.422.000 euros, ya que con una disminución del 8,64% en el número de empleados con respecto a los 81 alcanzados en el año con mayores beneficios, se llegó a obtener únicamente una reducción de beneficios del 7,76% con respecto a esos mismos beneficios.

- Bioetanol Galicia: Dicha fábrica es propiedad de Bioetanol Galicia S.A, de la cual Abengoa Bioenergía S.A posee el 100% de las acciones. Esta planta se encuentra ubicada en Texeiro (La Coruña). Posee una capacidad instalada de 196 millones de litros anuales de bioetanol, con un consumo en cereal de 365.000 toneladas anuales.



Figura 12: Fábrica de Bioetanol Galicia en Texeiro (Fuente: Abengoabioenergy).

Se hace una gráfica que represente la evolución de los ingresos de Bioetanol Galicia S.A con el tiempo:

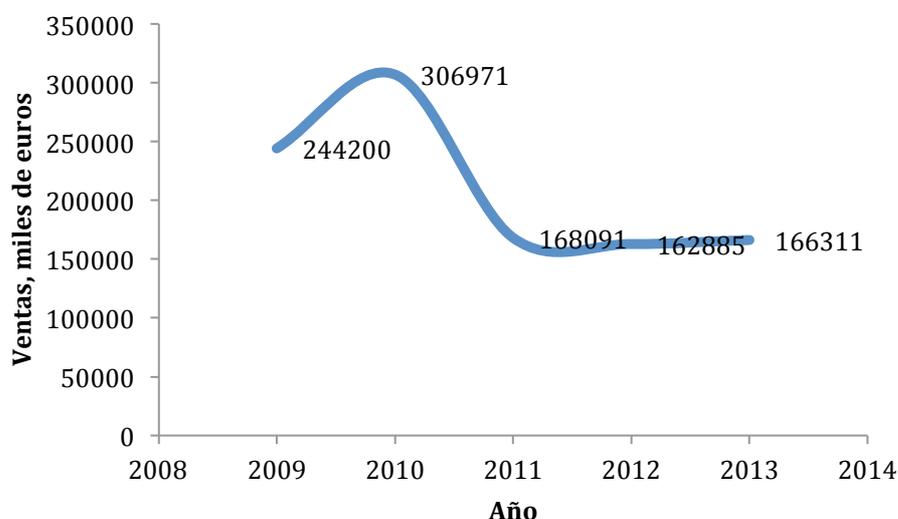


Figura 13: Ventas de Bioetanol Galicia S.A en los años 2009-2013 (Fuente: Sabi).

En términos generales se puede decir que los beneficios de esta empresa han decrecido bastante a partir del máximo alcanzado en 2010, que proporcionó unos ingresos de 306.971.000 euros. El máximo beneficio entre los años 2011 y 2013, fue el obtenido en 2011 con 168.091.000 euros en ingresos de explotación.

La evolución del personal de Bioetanol Galicia S.A se muestra a continuación:

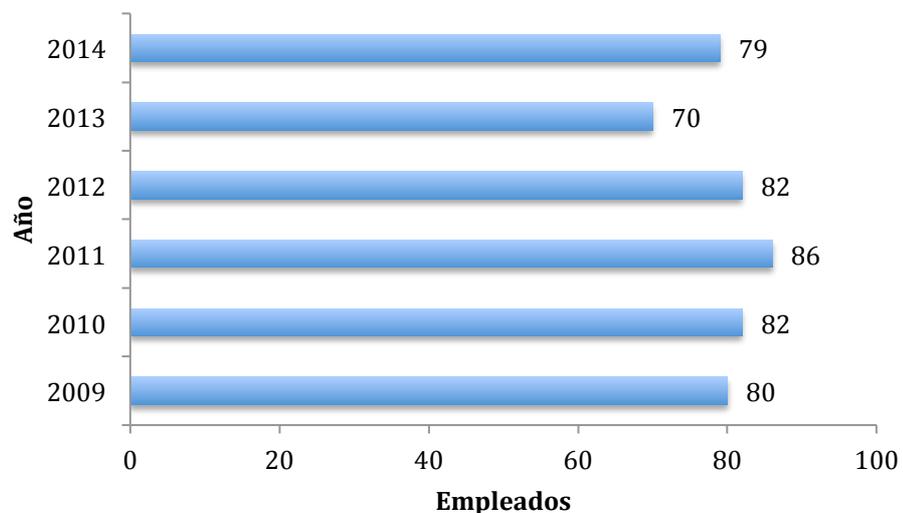


Figura 14: Evolución del personal en Bioetanol Galicia S.A con el tiempo (Fuente: Sabi).

La empresa comenzó con 80 personas en su plantilla, la cual ha ido aumentando hasta 2011, año en el que tuvo a su cargo el mayor número de empleados, y a partir del cual se redujo progresivamente, hasta finalmente estabilizarse en 79 empleados en 2014.

Para estudiar la relación ventas-empleados, se realiza el siguiente gráfico:

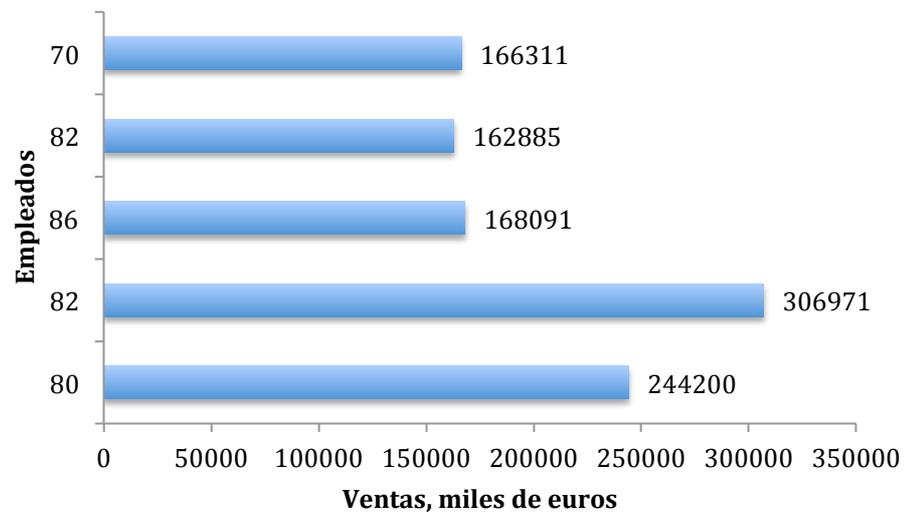


Figura 15: Relación ventas-empleados de Bioetanol Galicia S.A (Fuente: Sabi).

Tanto en 2010 como en 2012, había a disposición de la empresa 82 trabajadores, con los cuales se obtuvieron ingresos de 306.971.000 euros en 2010 y 162.885.000 euros en 2012. En el 2013, la plantilla se redujo en un 14,63% con respecto a los 82 empleados disponibles en ambos años 2010 y 2012, reduciéndose los beneficios con respecto a los 306.971.000 euros en un 45,82%, lo que pone de manifiesto el gran descenso en las ventas de la empresa. La relación más beneficiosa para esta empresa, fue la correspondiente a los ingresos de 306.971.000 euros con 82 empleados.

Claramente se puede observar que no hay una relación directa entre el número de empleados y los beneficios conseguidos.

- Biocarburantes de Castilla y León: Esta fábrica ubicada en Babilafuente (Salamanca), es propiedad de Biocarburantes de Castilla y León S.A, empresa que está participada 100% por Abengoa Bioenergía S.A. Su capacidad de producción es de 200 millones de litros anuales de bioetanol, con un gasto en cereal de 500.000 toneladas anuales.



Figura 16: Planta de fabricación de etanol de Biocarburantes de Castilla y León S.A en Babilafuente (Fuente: Abengoabioenergy).

La evolución temporal de los ingresos de esta empresa, viene dada por el siguiente gráfico:

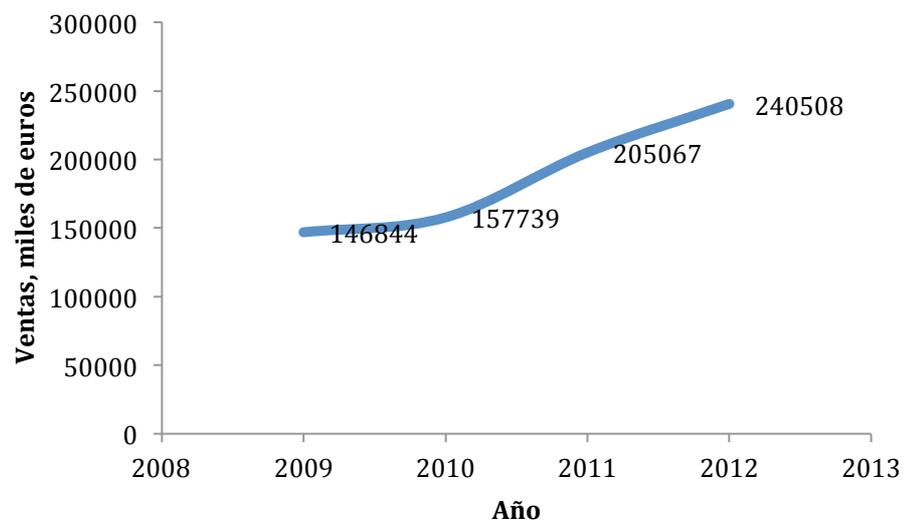


Figura 17: Evolución de las ventas de Biocarburantes de Castilla y León S.A en 2009-2012 (Fuente: Sabi).

Esta empresa ha ido incrementando sus beneficios desde 2009 hasta 2012. En 2012, alcanzó los mayores ingresos, los cuales fueron de 240.508.000 euros. Es destacable en esta empresa su tendencia ascendente en cuanto a beneficios logrados. Habría que comprobar los datos de ventas para el año 2013, de los cuales no se disponen, para ver si dicha tendencia sigue en aumento, o por el contrario ha disminuido.

En el análisis de los empleados de Biocarburantes de Castilla y León S.A en los últimos años, se obtiene:

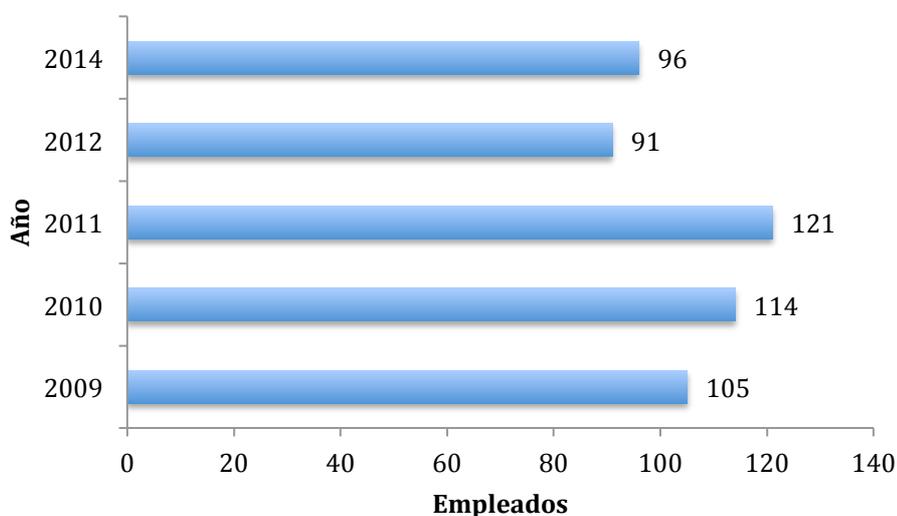


Figura 18: Empleados disponibles de Biocarburantes de Castilla y León S.A en los años recientes (Fuente: Sabi).

De la Figura 18, se ha excluido el año 2013 debido a la falta de datos del mismo. Del año 2009 al 2011, se produjo un aumento en el número de trabajadores del 15,23% con respecto a los del año 2009. Pero dicho incremento se ha visto mermado por la disminución del 24,79% de empleados en 2012, en relación al año anterior.

Siguiendo el mismo procedimiento llevado a cabo en el estudio de las empresas anteriores, se analiza la relación ventas-empleados de esta empresa:

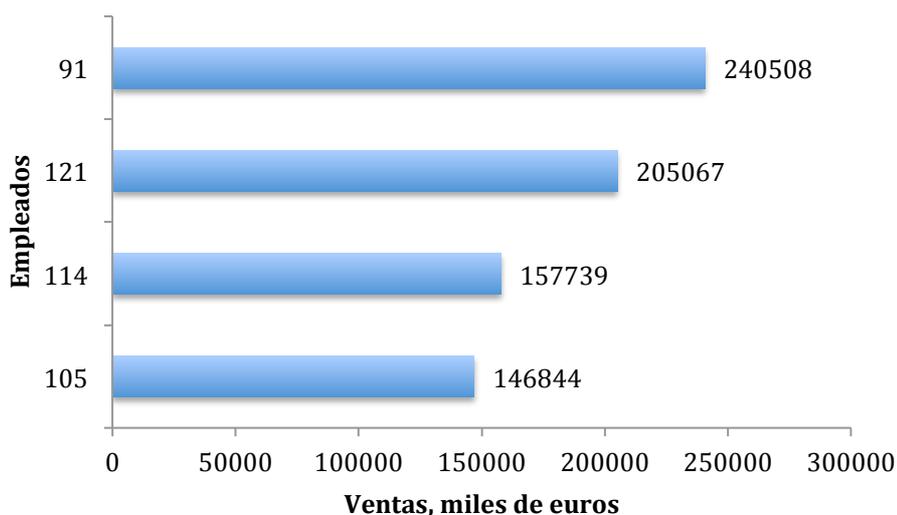


Figura 19: Relación ventas-empleados para Biocarburantes de Castilla y León S.A (Fuente: Sabi).

Para el análisis de la mejor relación ventas-empleados en esta empresa, se va a dividir las ventas por los empleados en el periodo 2009-2012, tal como se refleja en la tabla 9:

Tabla 9: Estimación de los ingresos aportados por cada empleado en los años 2009-2012 en Biocarburantes de Castilla y León S.A (Fuente: Sabi).

Año	Ingresos por empleado (miles de euros)
2009	1398,51
2010	1383,67
2011	1694,76
2012	2642,94

Los mayores ingresos por empleado, se lograron en 2012, con 2.642.940 euros/empleado, de manera que se puede considerar el 2012, como año en el que se tuvo la mejor relación ventas-empleados con una plantilla de 91 empleados, número muy inferior si se compara con el resto de empleados de los otros años.

- Bioetanol de La Mancha: La sociedad titular que se encarga de promover la planta es Bioetanol de La Mancha S.L, la cual se encuentra participada en un 50% por ACCIONA biocombustibles y el otro 50% por URIEL Inversiones. La fábrica está localizada en Alcázar de San Juan (Ciudad Real), y tiene una capacidad de producción de etanol de 33 millones de litros, elaborados a partir de alcohol vínico de 92°.

Debido a la baja producción de vino y al bajo volumen destilado en 2012 y 2013, dicha planta ha funcionado a la mínima capacidad de producción en ambos años. Este descenso en los suministros nacionales de vino fue compensado hasta cierto punto por las importaciones de alcohol procedentes de Pakistán. Desde el 10 de marzo de 2014, Bioetanol de La Mancha S.L se encuentra en concurso.



Figura 20: Fábrica de Bioetanol de La Mancha S.L en Alcazar de San Juan (Fuente: BiodieselSpain).

Para esta empresa sólo se tendrán en cuenta los datos de empleados y ventas hasta el año 2012, debido a la ausencia de datos del 2012 en adelante (Figura 21).

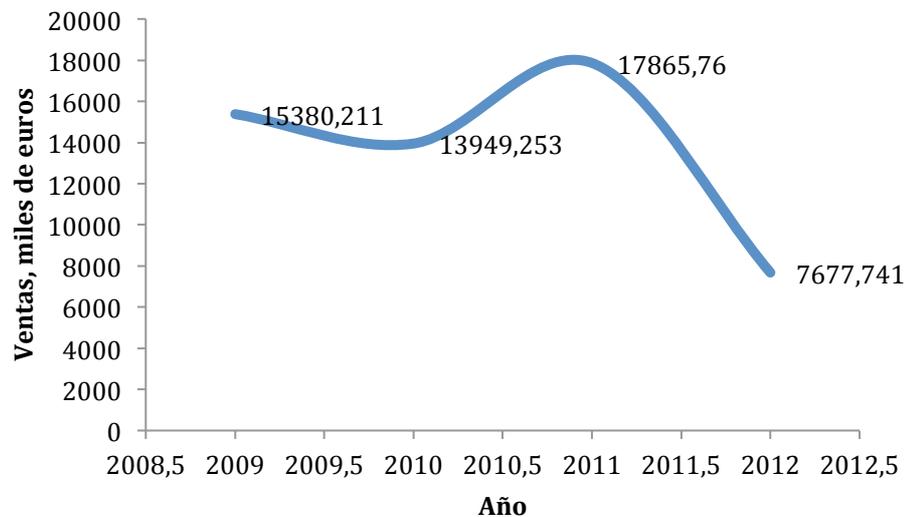


Figura 21: Seguimiento de las ventas de Bioetanol de La Mancha S.L con el tiempo (Fuente: Sabi).

Bioetanol de La Mancha S.L, desde 2011 ha sufrido una gran pérdida de ventas, las cuales se han reducido en 2012 en un 57,02% con respecto al año anterior, lo que ha supuesto una disminución importante en su cuota de mercado en cuanto a ventas. Como puede verse, el mejor año en ventas en el periodo comprendido entre 2009 y 2012, fue el 2011 con unos ingresos de 17.865.776 euros.

Los empleados de dicha empresa desde 2009 hasta 2012, se reflejan en la Figura 22:

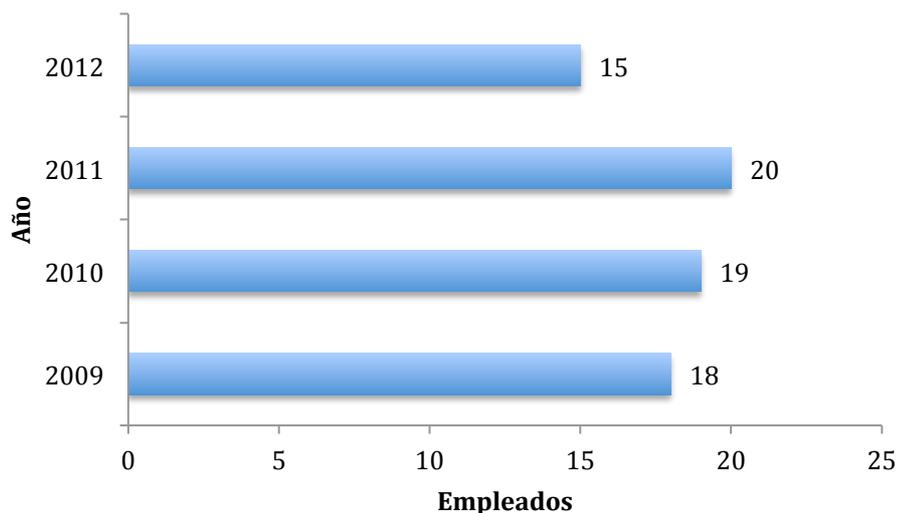


Figura 22: Evolución del número de empleados de Bioetanol de La Mancha S.L con el tiempo (Fuente: Sabi).

El mayor número de empleados lo tuvo en 2011, mientras que el mínimo fue en 2012, con 15 empleados sólo.

Finalmente, en cuanto a la relación ventas-empleados, se procede a analizarla (Figura 23).

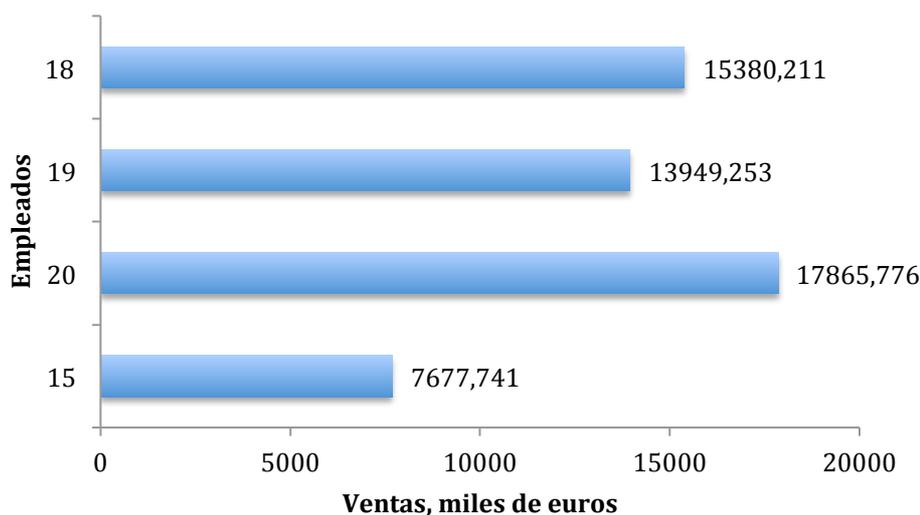


Figura 23: Relación ventas-empleados para Bioetanol de La Mancha S.L (Fuente: Sabi).

En el análisis de la relación ventas-empleados más beneficiosa para esta empresa, dividimos las ventas de cada año por el número de empleados en ese mismo año (Tabla 10).

Tabla 10: Estimación de los ingresos aportados por cada empleado en los años 2009-2012 en Bioetanol de La Mancha S.L (Fuente: Sabi).

Año	Ingresos por empleado (euros)
2009	854.456
2010	734.171
2011	893.288
2012	511.849

Los mejores ingresos por empleado se consiguieron en el año 2011, con 893.288 euros/empleado. Por lo tanto dicha relación ventas-empleados, fue la mejor lograda por esta empresa. Con respecto a la peor relación, se puede observar que es la correspondiente al año 2012, con 511.849 euros/empleado.

2.2.4.2 Estructura de mercado del bioetanol producido en España

La cuota de mercado en cuanto a ventas de las empresas anteriormente analizadas, se refleja en la siguiente tabla y gráfico, en los cuales se han tenido en cuenta los últimos datos disponibles de ventas de cada empresa. Para Ecocarburantes Españoles S.A y Bioetanol Galicia S.A, se han cogido los datos de ventas de 2013, mientras que para Bioetanol de La Mancha S.L y Biocarburantes de Castilla y León S.A se han tenido en cuenta los de 2012, debido a la ausencia de los de 2013, por lo que los datos de dichas empresas serán asumidos como si correspondieran a 2013 (Tabla 11).

Tabla 11: Datos de ventas de las empresas analizadas, así como el porcentaje acumulado de cada una de ellas en 2013 (Fuente: Sabi).

Nombre de la empresa	Ventas (miles de euros)
BIOCARBURANTES DE CASTILLA Y LEÓN S.A	240.508
BIOETANOL GALICIA S.A	166.311
ECOCARBURANTES ESPAÑOLES S.A	155.422
BIOETANOL DE LA MANCHA S.L	7.677

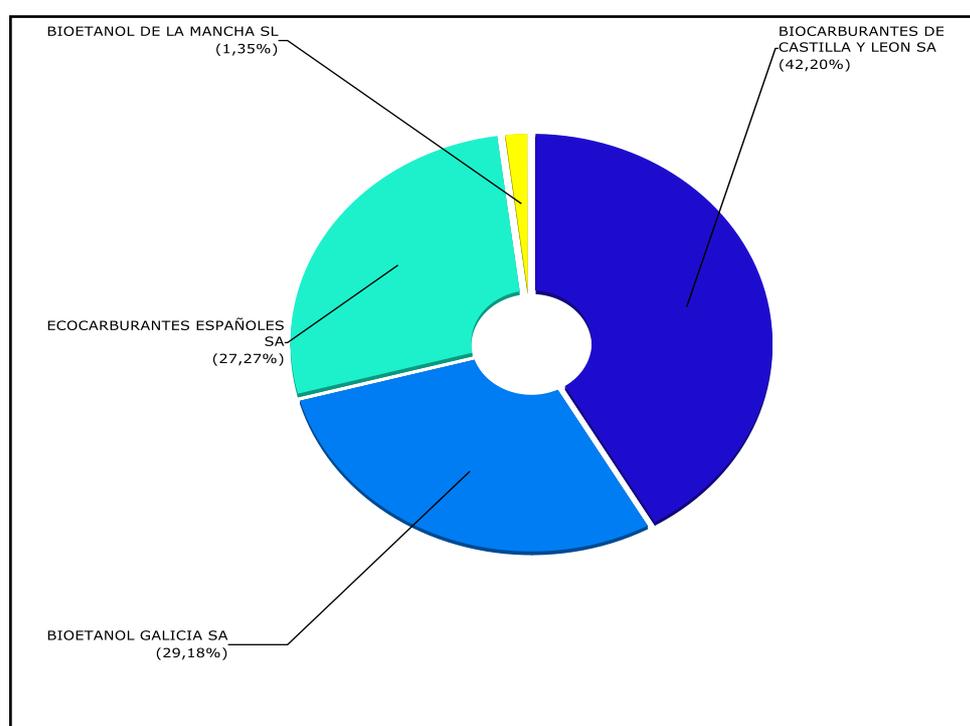


Figura 24: Cuota de mercado de las principales empresas españolas productoras de bioetanol en 2013 (Fuente: Sabi).

Como se refleja en la Figura 24, la mayor cuota de mercado pertenece a la empresa Biocarburantes de Castilla y León S.A, con un 42,20% de cuota, mientras que la menor cuota

de mercado es del 1,35% perteneciente a Bioetanol de La Mancha S.L. Como se indicó anteriormente, cada una de estas sociedades están participadas a su vez por otras varias, motivo por el cual se establecen las cuotas de mercado correspondientes para cada una de las empresas que gestionan dichas sociedades (Tabla 12).

Tabla 12: Cuota de mercado de las empresas que gestionan las sociedades anteriormente estudiadas (Fuente: Sabi).

Empresa	% Cuota de mercado
Abengoa	97,28
IDAE	1,36
Uriel Inversiones	0,67
ACCIONA biocombustibles	0,67

La empresa Abengoa es la responsable de la mayor parte de las ventas del bioetanol producido en España, seguida del IDAE en mucha menos proporción, y en último lugar en porcentajes iguales tenemos al grupo ACCIONA biocombustibles y a la empresa URIEL Inversiones.

La estructura de mercado del bioetanol elaborado en España, puede deducirse que corresponde a lo que se denomina oligopolio, ya que existen únicamente unas pocas empresas productoras de bioetanol en el mercado. Este tipo de estructura de mercado es muy típica en distintos sectores de la industria, tales como el energético y el petroquímico.

Al tratarse de un oligopolio, la competencia de bioetanol en España se encasilla en lo que se denomina competencia imperfecta, en la cual las empresas ofertantes de bioetanol en este caso, pueden influir en el precio de mercado del etanol. Sin embargo, ningún ofertante tiene el poder absoluto para fijar precios de manera individual, pero si puede influir si se pone de acuerdo con el resto de empresas productoras mediante lo que se denomina cártel.

La empresa más fuerte del sector de producción de bioetanol, es como se ha indicado anteriormente Abengoa. Dicha empresa practica lo que se conoce como holding, ya que ha adquirido todas o la mayor parte de las acciones de Ecocaburantes Españoles S.A, Bioetanol Galicia S.A y Biocarburentes Castilla y León S.A con el fin de poseer el control total sobre dichas empresas. Con esto logra pagar menos impuestos, debido a que en vez de ser sólo una agrupación de empresas en la que cada una debería tributar independientemente, el holding tiene su sede principal, en esta situación la empresa Abengoa es la que dispone de dicha sede, sobre la que dependen el resto de empresas, por ello, el pago de impuestos es global de la actividad y se ahorra.

Volviendo al tema de los cárteles, existe en España un organismo administrativo denominado Comisión Nacional de la Competencia (CNC) que se encarga de la aplicación de las normas de competencia españolas en los tres tipos de conductas de las empresas: colusorias, abusivas y desleales.

El artículo 1 de la Ley española de Defensa de la Competencia y el artículo 81 del Tratado de la Comunidad Europea prohíben cualquier contrato, acuerdo o práctica concertada entre dos o más empresas que tenga el objeto de impedir la competencia en España o en la Unión Europea, como por ejemplo los citados cárteles.

El artículo 2 de la Ley española de Defensa de la Competencia y el artículo 82 del Tratado de la Comunidad Europea prohíben a las empresas con una posición dominante adoptar conductas que afecten a la competencia.

Si se incumpliesen algunas de las normas recientemente citadas, las empresas responsables podrían ser sancionadas con grandes multas.

En cuanto a las ayudas públicas por fomentar la libre competencia, éstas van desde subvenciones y préstamos, hasta la venta de terrenos públicos.

Finalmente, se hace una regresión de la distribución de ventas por media de empleados de las empresas examinadas en el apartado 2.2.4.1 (Figura 24).

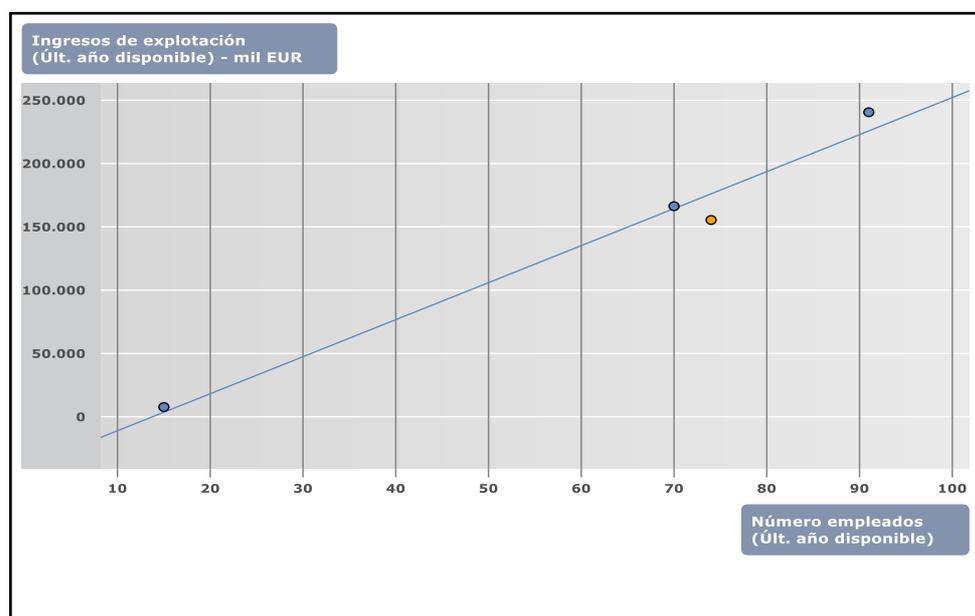


Figura 25: Regresión lineal en cuanto a la distribución de ventas por media de empleados de las empresas explicadas en el apartado 2.2.4.1 en 2013 (Fuente: Sabi).

Lo siguiente que se va a comentar, va en orden ascendente en los puntos de la Figura 25. El primer punto azul corresponde a Bioetanol de La Mancha S.L, el siguiente punto a Bioetanol Galicia S.A, el punto amarillo a Ecarburantes españoles S.A y el último punto azul a Bioetanol Castilla y León.

La ecuación de la recta obtenida de la regresión anterior es:

$$y = 2,92 * 10^6 x - 4,03 * 10^7 \quad (3)$$

En la expresión 3, la variable y presenta las ventas en miles de euros y la x el número de empleados. Dicha expresión presenta un índice de correlación igual a 0,98. Esta ecuación puede ayudar a estimar los ingresos de una empresa en función de su número de empleados para 2013, aunque como se indicó anteriormente, los datos para Bioetanol de La Mancha S.L y Biocarburantes de Castilla y León S.A son los de 2012, pero se asumirán iguales para 2013.

3 . ANÁLISIS DE LA DEMANDA

3.1 Consumo de bioetanol y gasolina en 2012, 2013 y 2014

Se procede a continuación a calcular el porcentaje de consumo que alcanzó el bioetanol con respecto a la gasolina en los años 2012, 2013 y 2014. Estos cálculos se van a realizar utilizando como unidad energética la tonelada equivalente de petróleo (tep). Se van a considerar en los cálculos, que todo el bioetanol vendido en España por los productores nacionales se ha introducido en gasolinas que se han vendido en España, ya sea como mezcla o bien como materia prima en la fabricación del ETBE, lo que vendría, lógicamente, a reducir la cuota de mercado del bioetanol que se vaya a calcular.

En 2012, como puede observarse en la Tabla 6, el consumo de bioetanol fue del 4,10% en términos energéticos de la gasolina consumida.

En el año 2013, el bioetanol consumido en España fue de 350.000 toneladas, lo que equivale a 224.000 tep, mientras que la gasolina que se consumió durante dicho año fue de 4.700.000 toneladas, lo que traducido a términos de tep son 4.935.000 tep.

Se puede concluir que el bioetanol alcanzó en España en 2013 un consumo en términos energéticos del 3,42% en relación a las gasolinas.

El porcentaje de consumo de bioetanol en el año 2013 no cumplió con los objetivos mínimos de consumo del 3,90%, y además se redujo con respecto al año anterior en un 16,58%. A efectos ilustrativos, se puede señalar también que la capacidad de producción a finales del año 2013 habría permitido, bajo el supuesto de máxima producción durante todo el año y destino íntegro de dicha producción al mercado español, obtener un consumo de bioetanol del 6,02% del consumo de gasolina de automoción ese año. Esto pone de manifiesto, el potencial de producción que fue desaprovechado.

Con respecto al año 2014, debido a la no disponibilidad de datos oficiales referidos al consumo, el valor de consumo será estimado a partir del método de estimación de ventas de Massey-Black. Ya que una vez calculada las ventas estimadas para 2014, sólo bastará dividir dicho valor por el precio medio internacional calculado en el apartado 2.1.2 para el 2014, cuyo valor es de 660,10 euros/tonelada.

La ecuación que permite calcular dichas estimaciones es la siguiente:

$$\Sigma V = V_0 t^m \quad (4)$$

Donde: ΣV , son las ventas acumuladas en los diferentes años, V_0 y m son parámetros del modelo, y t es el año al que corresponde. Los valores calculados a partir de este modelo son en euros. Si se sacan logaritmos decimales en la anterior expresión y se linealiza, se obtiene lo siguiente:

$$\log \Sigma V = \log V_0 + m \log t \quad (5)$$

Se tabulan a continuación los distintos datos, para poder hacer una regresión lineal, y así obtener los valores de los parámetros del modelo (Tabla 13).

Tabla 13: Datos para poder hacer regresión lineal modelo Massey-Black (Fuente: CNME).

Año	Ventas (miles €)	Ventas acumuladas (miles €)	Log ventas acumuladas	t, años	log t
2010	254.094	254.094	8,40	1	0
2011	307.676	561.770	8,74	2	0,30
2012	265.538	827.308	8,91	3	0,47
2013	214.532	1.041.840	9,01	4	0,60
2014	3,01E+05	1.342.840	-	-	-

Se procede ahora a representar $\log(\text{Ventas acumuladas})$ frente a $\log(t)$:

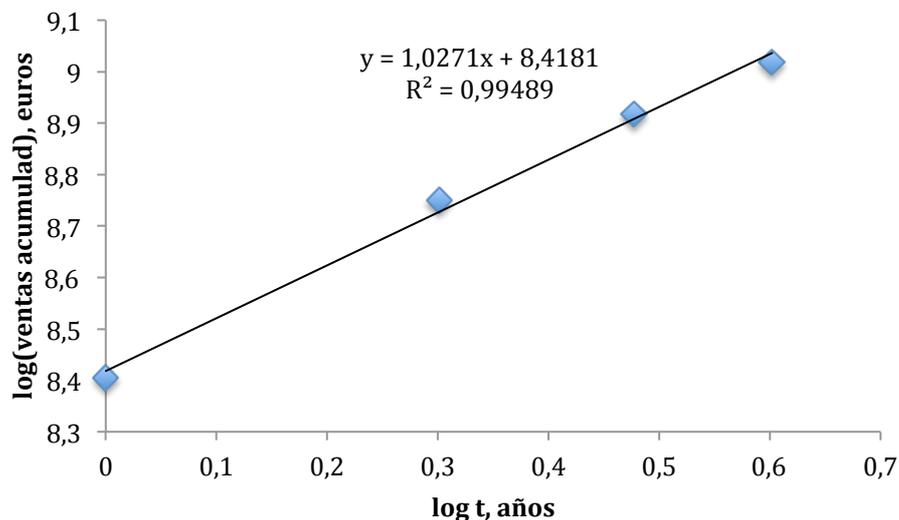


Figura 26: Regresión lineal de la expresión 5 con los datos de la Tabla 13 (Fuente: Elaboración propia).

De la Figura 26, se obtienen los valores de los parámetros, que son:

$$V_0 = 261,87 \times 10^6 \quad m = 1,02$$

En la Tabla 13, ya se ha calculado el valor de las ventas estimadas para 2014 con la ecuación (4), cuyo valor es de $3,01E+08$ euros. Para estimar el consumo en toneladas para el mismo año, únicamente hay que dividir ahora por el precio medio del bioetanol en 2014, obteniendo el siguiente consumo:

$$\text{Consumo} = \frac{3,01^8}{660,10} = 453 \text{ (miles toneladas)}$$

Con este dato estimado del consumo de bioetanol en 2014, se calcula el equivalente energético consumido, cuya cantidad es de 289.920 tep. En cuanto a la gasolina consumida en

2014, se va a hacer exactamente igual que con el consumo de bioetanol debido a la falta de datos del mismo, es decir, su cantidad se va a estimar de acuerdo con los últimos datos de consumo de gasolina, que se reflejan en la Tabla 14.

Tabla 14: Consumo de gasolina en los años 2008-2013 (Fuente: CORES y FAS Madrid).

Año	Consumo (miles toneladas)
2008	6288
2009	6005
2010	5670
2011	5293
2012	4917
2013	4700

Si se realiza una regresión lineal con los datos recogidos en la Tabla 14:

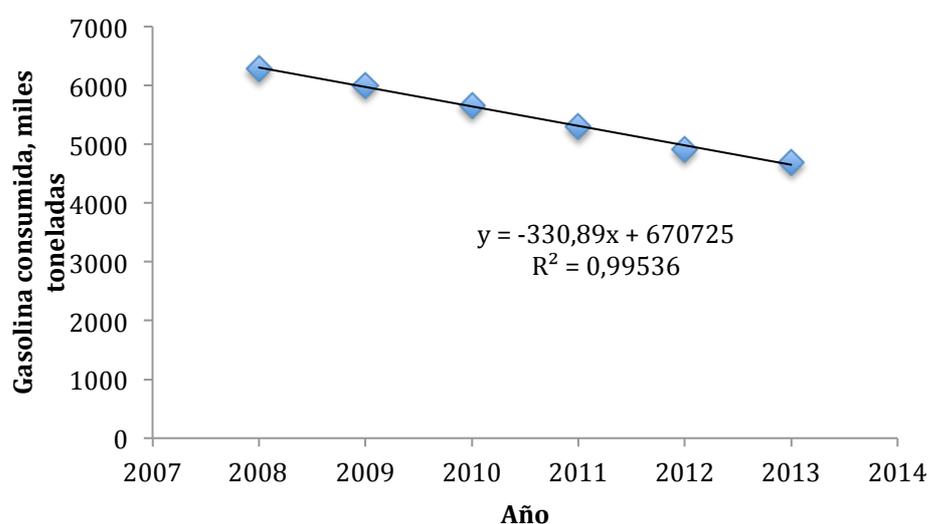


Figura 27: Regresión lineal de los datos de la Tabla 14 (Fuente: Elaboración propia).

Si en la ecuación obtenida en la regresión anterior, se introduce el valor de 2014:

$$y = -330,89(2014) + 670725 = 4312,54 \text{ (miles toneladas)}$$

El consumo de gasolina en 2014 se espera que sea de 4.312.540 toneladas, lo que equivale a 4.528.167 tep. Por lo tanto el porcentaje de consumo de bioetanol para 2014 sería de 6,40% en términos energéticos de la gasolina consumida.

La comparación de los porcentajes de consumo de bioetanol en relación con la energía procedente de la gasolina consumida en España en los años 2012, 2013 y 2014, se refleja en la Figura 28.

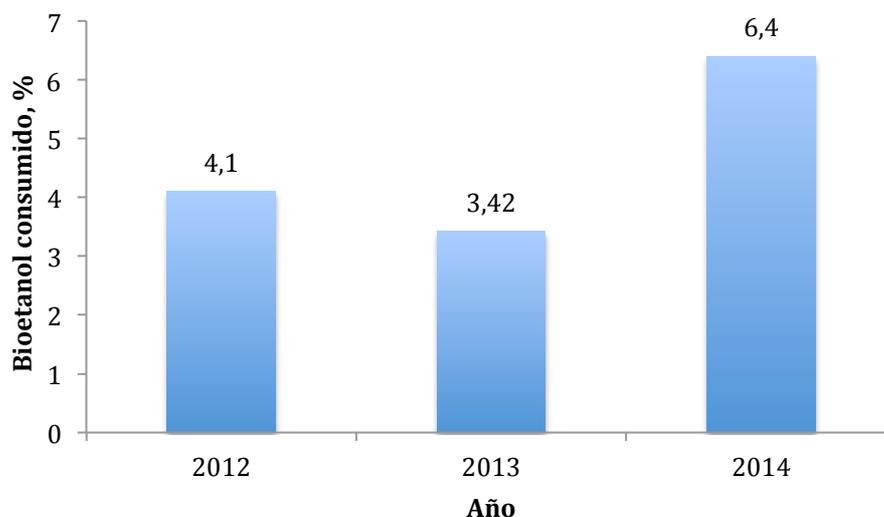


Figura 28: Comparación de los porcentajes de consumo de bioetanol en relación con la energía procedente de la gasolina consumida en España en los años 2012, 2013 y 2014 (Fuente: Elaboración propia).

De cumplirse con lo calculado para 2014, se estaría hablando de un gran paso adelante en la situación del mercado del bioetanol en España, ya que se aprovecharía casi toda la totalidad de la capacidad de producción de bioetanol española, la cual el año anterior estuvo en su mayor parte en desuso. Habrá que estar a la espera de la comunicación de los datos oficiales de consumo tanto para el bioetanol como para la gasolina en 2014, para comprobar la validez de los supuestos hechos.

3.2 Análisis del consumo y ventas en España

Los datos disponibles del consumo de bioetanol en España destinado tanto a mezclas directas con gasolina, como para la fabricación del aditivo ETBE en estos últimos años, abarcan el periodo de tiempo 2008-2013 (Figura 29).

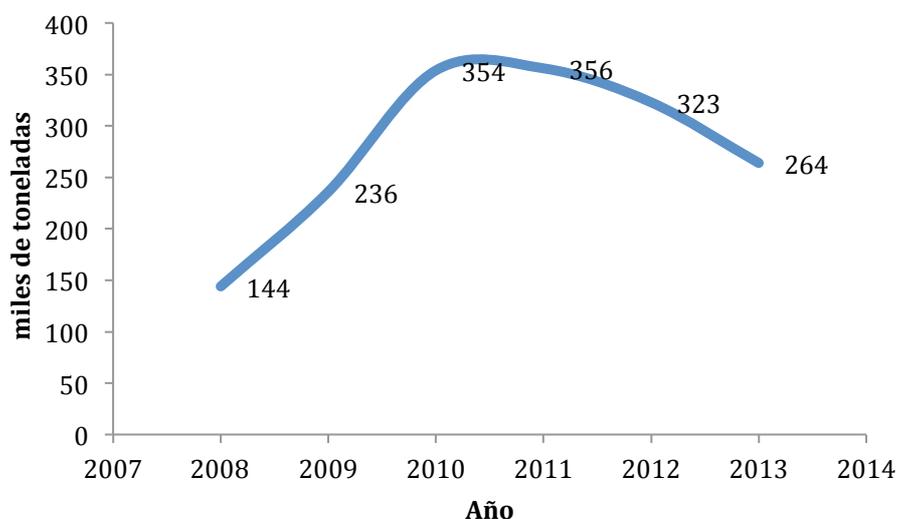


Figura 29: Evolución del consumo de bioetanol en España en los años 2008-2013 (Fuente: FAS Madrid).

Con la Figura 29, pueden deducirse las dos tendencias que se han dado en el periodo de tiempo 2008-2013, siendo la primera de ellas una tendencia al alza en el consumo de bioetanol desde el año 2008 hasta el año 2011, año desde el cual y hasta el 2013, la tendencia al alza se ha convertido en una tendencia a la baja en el consumo.

En lo referido a la ventas generadas en el sector del bioetanol, se tienen datos de las mismas desde 2010 hasta 2013 (Tabla 15), las cuales se han estimado en base a los datos de consumo de bioetanol por año y los precios medios internacionales del mismo por año.

Tabla 15: Beneficios obtenidos en base al bioetanol consumido en España desde 2010 hasta 2013 (Fuente: Elaboración propia).

Año	Ventas (miles euros)
2010	254.094
2011	307.676
2012	265.538
2013	214.532

Las ventas generadas por el consumo de bioetanol en España han disminuido de manera progresiva desde el año 2011, el cual fue el año con mayores beneficios en el periodo de tiempo estudiado, con unos ingresos de 307.676.780 euros.

En lo que respectó al 2013, el declive en el consumo de gasolina en favor del gasóleo, así como la baja revisión en las normas de consumo, forzaron un descenso en el consumo, el cual se tradujo en una disminución en ventas del 19,20% con respecto al año anterior.

Como se indicó en el apartado 2.2.1, el 89% del bioetanol en España se comercializa para producir ETBE, quedando el 11% restante únicamente para su mezcla en gasolinas.

Las tres principales empresas consumidoras del bioetanol producido en España son: Bp, Cepsa y Repsol YPF.

En el caso de Bp, durante estos últimos años, la única refinería existente de esta compañía en España, concretamente en Castellón, ha utilizado biocombustibles en la formulación de sus productos, principalmente en gasolinas y gasóleos. La cifra de estos biocombustibles utilizados, ETBE, hidrobiodiesel y sobre todo ésteres metílicos de los ácidos grasos fueron de 453.811 toneladas en 2012 (www.Bp.com).

Con respecto a Cepsa, dispone de dos plantas de producción de ETBE, en la que se consumen 60.000 toneladas/año de bioetanol. En 2010, incorporó 196.000 toneladas de bioetanol para producir ETBE introducido en las gasolinas (www.Cepsa.com).

En cuanto a REPSOL YPF, se han modificado las cinco refinerías disponibles en España para fabricar ETBE. La capacidad potencial de producción del mismo en la compañía es del orden de 450 millones de litros anuales (www.Repsol.com).

En las tres empresas anteriormente nombradas, el bioetanol consumido para la elaboración del ETBE procede mayormente del bioetanol producido en España.

En lo que respecta a las mezclas de gasolina y bioetanol, éstas se realizan en los cargaderos de la Compañía Logística de Hidrocarburos (CLH), que es la responsable del transporte y almacenaje de los productos petrolíferos en las refinerías de las distintas empresas en España, y además también transporta los productos elaborados en las refinerías a los clientes de las compañías, a través de sus instalaciones de carga de camiones cisterna. Para poder realizar dichas mezclas, CLH las realiza en los brazos de carga de los camiones cisterna que, posteriormente, las transportan a las estaciones de servicio y centro de suministro directo a flotas.

3.3 Perspectivas de futuro

Durante varios años la demanda interna de bioetanol ha sido motivada por las leyes de consumo y fue incluso incentivada con la exención de impuestos de hidrocarburos mencionada en el apartado 1.4. Con la vuelta de los impuestos referente a los biocombustibles, la única medida tomada para impulsar el consumo y por lo tanto la demanda, es el objetivo de consumo establecido. Dichos objetivos de consumo, son decisivos en la determinación del tamaño del mercado nacional de bioetanol. Estas leyes de consumo, tal como se hizo referencia en el apartado 1.4, permanecerán igual, a excepción de cambios futuros en los objetivos de dichos consumos.

Para que el consumo de bioetanol aumente en el futuro, se deberán promover las siguientes cuestiones: Existencia de porcentajes mínimos de uso obligatorio, los cuales existen actualmente, y por otro lado la puesta a disposición de los usuarios de estos productos mediante por ejemplo estaciones de servicio que dispensen mezclas de gasolina y etanol etiquetadas, las cuales en España no llegan a la docena, y/o con parques de vehículos flexi-fuel que puedan emplear etanol en proporciones altas.

Se va a realizar de manera estimativa, el cálculo del número de vehículos que deberán utilizar o únicamente bioetanol y/o bioetanol mezclado con gasolina, para cumplir con el objetivo

nombrado en el apartado 1.4, de que el 10% de la energía utilizada para el transporte en el año 2020 en Europa, proceda de energías renovables.

Para ello, se considerará que el consumo medio de un coche es de 6 litros cada 100 kilómetros, y que la distancia recorrida al año por un coche es de 20000 km. De esta forma, se puede decir que cada coche tiene un consumo de 1200 litros de gasolina, lo que equivale a 1,02 tep. En el año 2020, se espera que el consumo de energía procedente de la gasolina en Europa sea de 2925539 tep (Eurostat). Si se hace el 10% a esa cantidad, se obtienen 292553,9 tep, que divididas por los 1,02 tep que consume un coche, se estima que 286.817 coches deberán utilizar bioetanol mezclado con gasolina, o utilizar solamente bioetanol para el año 2020.

Por último se van a estimar las ventas para el año 2015, de la misma manera que se realizó en el apartado 3.1, es decir, mediante la fórmula de Massey-Black. Con la ecuación (4), y sustituyendo en ella los valores de los parámetros calculados para este modelo con la regresión que se realizó en el mismo apartado, se obtiene:

$$\Sigma V = 261,87^6 6^{1,02} = 1649449977 \text{ (euros)}$$

Si a dicha producción acumulada le restamos la del año anterior, que equivale a $1,34 \times 10^9$, resultan unos beneficios para 2015 de 309.449.977 euros, estimación que indica un aumento en la demanda de bioetanol.

4 . INTRODUCCIÓN DEL NUEVO PROYECTO

En este apartado, se justifica la localización de la planta de bioetanol, la capacidad de producción de la misma, así como el precio de venta del bioetanol. También se comentan las ventajas e inconvenientes de la nueva implantación.

4.1 Localización

La justificación de la localización va a seguir unos criterios que permitan ahorrar lo máximo posible en lo referente a los costes de obtención de la materia prima, así como que dicha planta disponga de una buena red comercial.

En la Tabla 16 se muestran las comunidades autónomas con mayores producciones y mayores áreas de cultivos de arroz en el año 2013.

Tabla 16: Superficies y producciones de arroz en 2013 por comunidades autónomas (Fuente: MAGRAMA).

Comunidad autónoma	Producción (toneladas)	Superficie (hectáreas)
Cataluña	136872	20884
Comunidad Valencia	114931	14761
Extremadura	199647	26228
Andalucía	369199	39769

De la Tabla 16, se descarta como localización de la planta la Comunidad Valenciana, ya que es la comunidad autónoma con menor producción de arroz en comparación con las otras de la tabla.

Ahora se analizan dentro de cada comunidad autónoma, las provincias con mayores producciones de arroz. Las superficies de cultivo de arroz que se muestran a continuación por provincia corresponden a los datos de 2012, ya que no se disponen de los de 2013. El valor del rendimiento de los cultivos de arroz en España fue 7,97 toneladas/hectárea en 2013 (Fuente: MAGRAMA), el cual se va a usar para calcular las producciones de arroz, considerando que las superficies de cultivo no han cambiado mucho desde el 2012 hasta ahora.

Tabla 17: Superficies y producciones de arroz por provincias (Fuente: MAGRAMA).

Provincia	Superficie (hectáreas)	Producción (toneladas)
Girona	939	7483,83
Lleida	29	231,13
Tarragona	19918	158746,46
Cáceres	5955	47461,35
Badajoz	22033	175603,01
Sevilla	36443	290450,71
Cádiz	2801	22323,97
Huelva	25	199,25

Con la Tabla 17, se puede hacer una idea de las provincias que pueden ser las que acojan este proyecto. Se descarta nuevamente siguiendo el criterio de menor producción de arroz, quedando únicamente como posibles opciones: Tarragona, Badajoz y Sevilla.

Para concluir con la localización de la planta, se presenta una figura con las distintas refinerías existentes en España, las cuales serán el destino final de la mayor parte del bioetanol producido en esta planta (Figura 30).

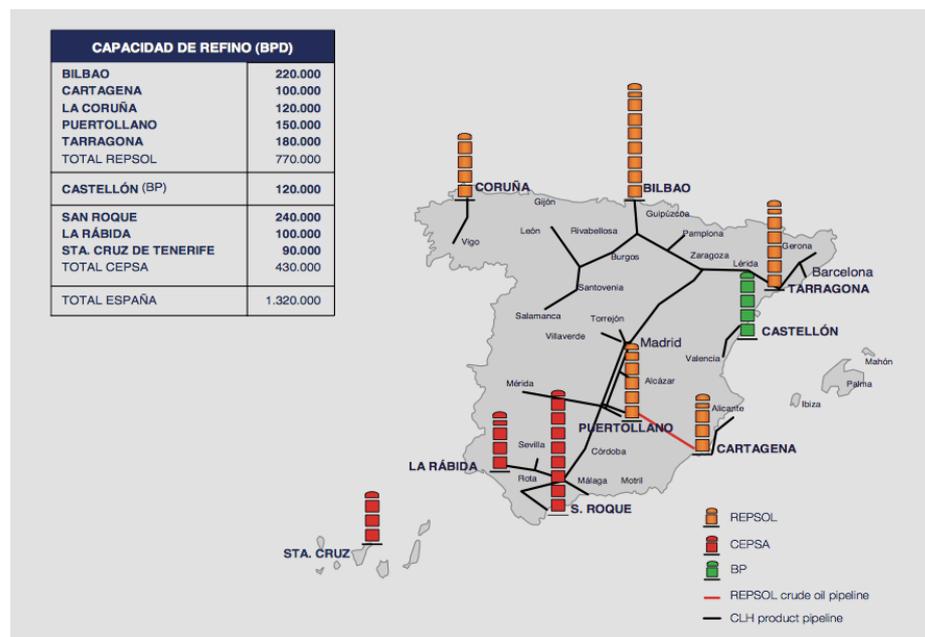


Figura 30: Las refinерías existentes en España (Fuente: www.realinstitutoelcano.org).

Atendiendo al criterio de disponer de una buena red comercial, se puede desechar Badajoz como provincia, ya que como puede verse en la Figura 30 las otras dos provincias parten de una situación mejor. En cuanto a si implantar la planta en Sevilla o en Tarragona, puede verse que Tarragona posee en su provincia una refinera, la cual es propiedad de Repsol, lo cual contribuiría de manera significativa a ahorros en el transporte por parte de dicha empresa en futuros acuerdos para obtener bioetanol, lo cual supone una gran ventaja de dicha provincia sobre Sevilla.

Si se observa nuevamente la Figura 30, se aprecia que la provincia colindante con Tarragona, la cual es Castellón posee otra refinera, la cual es propiedad de la compañía Bp, de manera que se estarían ampliando las posibilidades de comercialización del bioetanol. Otras refineras algo más lejanas son las de Cartagena, Bilbao y Puertollano.

Sevilla también posee una buena posición en cuanto a red comercial, ya que tiene cerca refineras como la de San Roque, La Rábida y Puertollano, pero una gran limitación que posee Sevilla y que no tiene Tarragona, es la posesión de un puerto, elemento clave para posibles importaciones, exportaciones y transporte de mercancías. Dicho todo esto, la localización final de la fábrica será en Tarragona.

4.2 Capacidad de producción y materia prima

En la determinación de la capacidad de producción, debido a que no ha habido ni hay demanda insatisfecha para el bioetanol, se va a coger el 5% de la capacidad de producción actual de bioetanol en España, la cual es de 464.000 toneladas. De esta forma, la capacidad de producción de esta planta será de 23.200 toneladas, las cuales irán destinadas a mezclas directas con gasolina y a la fabricación de ETBE.

Para hacer una estimación de la cantidad de materia prima que se necesitará, se coge el rendimiento de etanol en cascarilla de arroz, el cual es de 0,20 gramos etanol/gramo de

cascarilla de arroz (Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos, Sánchez Riaño, A. M) y se divide la capacidad de producción entre dicho rendimiento.. La predicción acerca de la materia prima que se necesitará es de 116.000 toneladas de cascarilla de arroz.

4.3 Precio de venta

El precio de venta del bioetanol en 2015, se va a estimar de la siguiente forma. Dividiendo las ventas estimadas en 2015 entre la producción estimada para ese mismo año.

$$\text{Precio venta bioetanol} = \frac{309449977}{455000} = 680,10 \frac{\text{euros}}{\text{tonelada}}$$

Con la introducción de este proyecto, se busca contribuir a mejorar la producción de bioetanol para colaborar en que dicho producto llegue a la mayoría de consumidores posibles, a la vez que se está fomentando la libre competencia, la cual está premiada por la Comisión Nacional de la Competencia.

Dicho todo lo anterior, el precio de venta del bioetanol correspondiente a este proyecto, busca ser un precio competitivo que permita obtener una pequeña parte de la cuota de mercado español, correspondiente al 1-2%. Para lograr dicho objetivo, el precio de venta se va a fijar en 675 euros/tonelada.

4.4 Ventajas e inconvenientes de la nueva implantación

Las ventajas que tendrá la implantación de la planta de producción de bioetanol de este proyecto son la de disponer de una buena red comercial con sus clientes y proveedores debido a la cercanía de la planta con éstos, ahorrar en la compra de las materias primas, ya que el bioetanol que se va a producir procede de desechos de arroz con muy bajo coste, a la vez que se ahorrará en el transporte de dicha materia prima, por lo comentado anteriormente. Otros alicientes de esta implantación son el de fomentar más aún la disminución de la dependencia del petróleo en España, y el de recibir ayudas fiscales y políticas por fabricar bioetanol de segunda generación, pendientes de ser especificadas como se citó en el apartado 1.4.

Finalmente, las desventajas de este proyecto consisten en el empleo de una tecnología que no se encuentra totalmente desarrollada aún, y que por dicho motivo se incurren en costes elevados de producción. Otro inconveniente es la poca competencia de este mercado en España, repartiéndose el mismo entre unas pocas empresas, lo que dificulta el poder entrar en el mercado, aunque este inconveniente se ve enormemente contrarrestado por las políticas favorecedoras de biocombustibles de segunda generación, ya que el bioetanol de las actuales empresas productoras en España es de primera generación.

5 . CONCLUSIONES

Como se ha indicado a lo largo de este documento, el sector de los biocombustibles en España, en mayor medida el del bioetanol, no está pasando por su mejor momento. Sin embargo, se prevé que dicha situación vaya cambiando con el tiempo a mejor, tanto en producción como en consumo. De tal manera, se pretende seguir fomentado el uso de bioetanol en detrimento de la gasolina en España.

La nueva fábrica de bioetanol se localizará en Tarragona, ya que en dicha provincia se encuentra una de las cooperativas de arroz más importantes a nivel nacional, siendo los desechos del arroz, concretamente la cascarilla, la materia prima principal para la obtención del bioetanol en este proyecto. Otro motivo de importante peso que ha favorecido la localización de la planta en Tarragona, es la existencia de una refinería tanto en Tarragona como en Castellón.

En cuanto a la capacidad de producción que tendrá la nueva planta industrial, se ha escogido el 5% de la producción nacional, por tanto ésta será de 23.200 toneladas, con un precio de venta de bioetanol de 675 euros/tonelada, con el cual se busca abarcar entre un 1-2% de cuota de mercado. Para lograr dicha cuota, también se va a pretender que el bioetanol elaborado tenga una mayor diferenciación que el resto producido en España, lo cual puede comprobarse en que el bioetanol de este proyecto va a obtenerse a partir de residuos agrícolas, mientras que el resto del bioetanol producido en España procede directamente de productos alimenticios.

6 . REFERENCIAS

Libros:

- Camps, M., Marcos, F. Los Biocombustibles, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 2002
- Jarabo Friedrich, F. Y Elortegui Escartin, N. Energía renovables, Ed. S.A.P.T. Publicaciones Técnicas, S.L, 2000
- Fullana, P; Puig, R. Análisis de ciclo de vida. Cuadernos de Medio Ambiente, Rubes Editorial, Barcelona, 1997

Páginas webs: www.INE.es, www.Bp.com, www.Cepsa.com, www.Repsol.com, www.ePURE.org, www.CORES.es, www.biodieselSpain.com, www.IDAE.es, www.APPA.es, www.minetur.gob.es, madrid.usembassy.gov, www.CNE.es, www.boe.es, Sabi.bvdinfo.com, www.MAGRAMA.gob.es, www.CNMC.es, www.cncompetencia.es, www.FAO.org, epp.eurostat.ec.europa.eu, www.Realstitutoelcano.org.

LOCALIZACIÓN

ÍNDICE

1	. ELECCIÓN DE LA PROVINCIA.....	2
2	. ELECCIÓN DE LA REGIÓN DENTRO DE LA PROVINCIA.....	2
2.1	Aspectos a tener en cuenta en la elección de la región.....	2
2.2	Posibles regiones que cumplen con los criterios de localización.....	4
2.2.1	Regiones próximas a la materia prima	4
2.2.2	Regiones próximas a la refinería de Repsol en Tarragona.....	5
2.2.3	Regiones con estación de ferrocarril	5
2.3	Elección de la región mediante el método cualitativo por puntos.....	6
3	. POLÍGONOS INDUSTRIALES EXISTENTES EN TARRAGONA.....	7
4	. ELECCIÓN DEL POLÍGONO INDUSTRIAL	14

1 . ELECCIÓN DE LA PROVINCIA

Como ya se indicó en el apartado 4.1 del estudio de mercado, la planta de producción de bioetanol, se va a localizar en la provincia de Tarragona perteneciente a la comunidad autónoma de Cataluña.



Figura 1: Ubicación de la provincia de Tarragona en España (Fuente: www.luventicus.org)

Los principales motivos que han hecho que se pretenda ubicar la fábrica en Tarragona, (explicados en mayor detalle en el apartado 4.1 del estudio de mercado) han sido disponer de suficiente materia prima, así como de una buena red comercial con los posibles futuros clientes. Otra razón que se ha tenido en cuenta a la hora de localizar la planta en esta provincia, es que, Tarragona posee buenos servicios de transporte, ya que cuenta con buenas comunicaciones a través de carretera, aeropuerto, puerto marítimo y estación de ferrocarril.

2 . ELECCIÓN DE LA REGIÓN DENTRO DE LA PROVINCIA

En este apartado, se explican los aspectos que se van a tener en cuenta a la hora de elegir una región específica dentro de la provincia de Tarragona, a la vez que se va a evaluar mediante el método cualitativo por puntos la región, la cual albergará la planta de producción de bioetanol del presente proyecto.

El costo del terreno es relativamente pequeño en comparación con el del edificio y el equipo que va dentro de él. Por tanto una política segura es comprar más terreno para el lugar que el necesario inmediatamente. Siguiendo dicho criterio, la parcela necesaria para abarcar el proyecto deberá de ser de 14000 m².

2.1 Aspectos a tener en cuenta en la elección de la región

Los aspectos más importantes que van a condicionar la construcción de la planta de bioetanol en una región determinada, se exponen a continuación.

- Disponibilidad de servicios de transporte: La consideración del transporte de materiales y productos, hacia y desde la planta, es algo bastante importante a la hora de seleccionar la ubicación de la planta.

A la hora de seleccionar el lugar, se va a tener en cuenta, que éste posea principalmente buenas conexiones mediante carretera y ferrocarril. El transporte por ferrocarril, es la opción más económica para el transporte de productos químicos a granel a largas distancias, como puede ser el caso de este proyecto.

Otras formas de transporte, algo menos relevantes con respecto a las anteriores son, la disponibilidad de un puerto marítimo y de un aeropuerto cercano. El transporte aéreo es sobre todo conveniente y eficiente para el desplazamiento de personal y equipos del proceso, por lo que se va a considerar la proximidad del emplazamiento respecto a un aeropuerto importante.

- Disponibilidad de mano de obra: Para construir la planta y mantenerla en funcionamiento, hará falta mano de obra. Por lo tanto debe tenerse en cuenta la existencia de una cantidad adecuada de mano de obra disponible en las cercanías de la planta.

Al tratarse este proyecto, de un tema novedoso y no muy desarrollado actualmente, se requerirá de mano de obra cualificada, necesaria para el correcto funcionamiento del proceso, razón por la cual se van a buscar zonas industrializadas principalmente.

- Terreno: La zona, en la cual se vaya a construir finalmente la fábrica, deberá disponer de terreno suficiente para la planta propuesta y para una futura ampliación. Otra característica que debe tener el terreno, es que sea plano.
- Proximidad a mercado dentro de España (principalmente Castellón y Tarragona): Con tal de abaratar el coste de envío del bioetanol, se va a tener en consideración que el lugar donde se construya la planta de bioetanol, se encuentre cerca de los principales puntos de venta. En este caso los principales puntos de venta, serán las refinerías localizadas en La Pobla de Mafumet (Tarragona) y Castellón.
- Disponibilidad de servicios generales adecuados a la planta: En el proceso de fabricación del bioetanol, se van a requerir cantidades significativas de agua de refrigeración, motivo por el cual la planta se deberá ubicar cerca de una fuente de agua de calidad adecuada.

La energía eléctrica, va a ser también necesaria para este proyecto, por lo tanto la planta se situará cerca de una fuente económica de energía. Otro aspecto a considerar, va a ser que la zona donde se localice la planta posea servicios de suministro de vapor.

Finalmente, en lo referido a la eliminación de los efluentes generados en el proceso, será estrictamente necesario, que la zona de donde se ubique la planta disponga de una estación depuradora de efluentes.

- Proximidad con la fuente suministradora de materias primas: La disponibilidad de las materias primas necesarias, determinará en gran medida la ubicación del lugar. La mejor ubicación para las plantas que producen productos químicos a granel es cerca de la fuente de la materia prima principal, ya que esto supone un gran ahorro en el envío de la materia prima.

La empresa que nos va a suministrar las cascarillas de arroz, es la Cambra Arrosera del Montsiá, ya que ésta es una de las cooperativas más importantes de España, y la mayor de Cataluña. Dicha cooperativa está ubicada en el municipio de Amposta, perteneciente a la comarca del Montsiá.

2.2 Posibles regiones que cumplen con los criterios de localización

Las regiones que se van a seleccionar como posibles opciones para ubicar la planta, se van a escoger siguiendo las siguientes pautas: proximidad con la fuente de la materia prima principal, proximidad con la refinería de Repsol y regiones que dispongan de estación de ferrocarril.

2.2.1 Regiones próximas a la materia prima

Los cultivos de arroz en Tarragona, se localizan en el parque natural del Delta del río Ebro, el cual se encuentra entre las comarcas del Bajo Ebro y del Montsiá. Dentro de estas comarcas, los municipios más importantes tanto por número de habitantes como por actividad económica son Tortosa y Amposta, respectivamente.

- Tortosa: Este municipio no está muy industrializado, siendo sus principales fuentes económicas la actividad agrícola y comercial. Dicho municipio posee un servicio de comunicaciones de transportes bastante regular, dispone de autovía y autopista, pero no de estación de ferrocarril.

El municipio de Tortosa cuenta con tres polígonos industriales: Polígono Industrial Cataluña Sur, Polígono Industrial Bajo Ebro y el Polígono Industrial de la Estación.

Todos estos polígonos disponen de agua de refrigeración, gas natural, telefonía y electricidad, pero ninguno cuenta con una estación depuradora de efluentes. En cuanto a terreno disponible, sólo el Polígono Industrial Bajo Ebro dispone de él.

Las distancias de este municipio a las refinerías de La Pobla de Mafumet y Castellón, son 91,7 km y 12,3 km por carretera respectivamente. Una ventaja que tiene Tortosa es que se encuentra bastante cerca de la fuente de suministro de cascarilla de arroz, a unos 19,3 km por carretera.

- Amposta: Tradicionalmente, el sector económico más importante ha sido la agricultura, sobre todo del arroz y los regadíos. En los últimos años han aparecido nuevas industrias, como las dedicadas al mueble, metal y la construcción. Este municipio es también un importante centro de servicios. En Amposta no hay ninguna estación de ferrocarril.

El polígono industrial de Amposta es el Polígono Industrial Tosses, el cual es más un polígono dedicado a la actividad comercial. La principal ventaja de este municipio, es que aquí se encuentra la cooperativa que va a proporcionar la cascarilla de arroz necesaria para este proyecto (la Cambra Arrosera del Montsià).

La distancia de Amposta a Castellón es de 113 km por carretera, mientras que el trayecto por carretera a La Pobla de Mafumet es de 86,5 km.

2.2.2 Regiones próximas a la refinería de Repsol en Tarragona

Como se ha indicado en el apartado 2.1, la refinería de Repsol localizada en la provincia de Tarragona, se encuentra ubicada en el municipio de La Pobla de Mafumet. Dicho municipio cuenta con dos polígonos industriales: Polígono Industrial de La Pobla de Mafumet y el Polígono Industrial de Repsol YPF.

El Polígono Industrial de La Pobla de Mafumet, aparte de ser un polígono con muy pocas empresas instaladas en él, siendo todas de carácter comercial, no dispone de terreno suficiente para afrontar la construcción de una nueva planta.

En cuanto al Polígono Industrial de Repsol YPF, es un polígono exclusivamente dedicado al refinado del crudo del petróleo, el cual está totalmente construido. Por este motivo, se descarta la elección de este municipio.

2.2.3 Regiones con estación de ferrocarril

Cuatro son los municipios que poseen estación de ferrocarril en Tarragona: Tarragona capital, Constantí, Les Borges del Camp y Flix.

Tanto Les Borges del Camp como Flix, no disponen de polígono industrial, por lo que se prescinde de ambos municipios.

- Constantí: Este municipio, está en la orilla derecha del río Francolí, en el límite con Tarragona ciudad. Se encuentra a 6 km de Tarragona, lo que ha propiciado que se instalen en dicho municipio diversas industrias, sobre todo del sector químico. Dentro del término municipal se encuentra parte de una refinería.

Este municipio cuenta con el denominado Polígono Industrial de Constantí, el cual dispone de una excelente red de comunicaciones, a 11 km de la autopista AP7, también se ubica al lado del aeropuerto de Reus y a 4 km del puerto de Tarragona. Como se ha indicado antes cuenta con una terminal de carga de Renfe, y también con bases logísticas de transporte por carretera (nacional e internacional).

En el polígono hay una estación depuradora de efluentes, así como suministro de telefonía, electricidad y agua de refrigeración. En cuanto a las distancias correspondientes de Constantí a la refinería de Repsol y a la refinería de Castellón, se tienen 3,8 km para la de Repsol y 190 km para la de Castellón. Finalmente, la distancia de este municipio a la zona de suministro de cascarilla de arroz es de 86 km.

- Tarragona capital: Tarragona ciudad, dispone de un gran número de polígonos industriales, en los cuales hay suficiente terreno como para poder construir la planta de bioetanol de este proyecto. Otros factores a favor de Tarragona, son su mano de obra tan cualificada, su cercanía con el puerto, aeropuerto y estación de ferrocarril, y la gran disponibilidad de servicios auxiliares, como pueden ser vapor, electricidad, agua de refrigeración, telefonía y estación depuradora de aguas residuales industriales.

La distancia de Tarragona a la refinería de Repsol es de 11,2 km, y a la refinería de Castellón de 188 km. Finalmente, la distancia de la ciudad de Tarragona a Amposta, municipio en el que se encuentra la empresa suministradora de la cascarilla de arroz es de 84,1 km por carretera.

2.3 Elección de la región mediante el método cualitativo por puntos

El método cualitativo por puntos, se basa en la definición de factores determinantes de la localización, a la vez que se le asigna a cada factor valores ponderados de peso relativo.

Los factores determinantes para la elección de la región, se establecieron y explicaron en el apartado 2.1. De entre todos esos factores, los de mayor importancia son el que la planta se encuentre cerca de la materia prima principal, también que se localice cerca de los principales puntos de venta y que se disponga de terreno suficiente para construir la planta, así como que el terreno también permita la posibilidad de una ampliación futura de la fábrica.

Otros factores de algo menos importancia son la disponibilidad de servicios auxiliares, mano de obra del personal y buena conexiones de transporte.

Atendiendo a la importancia recién explicada sobre cada uno de los factores, se procede a la evaluación de la región por el método cualitativo por puntos (Tabla 1 y Tabla 2).

Tabla 1: Evaluación de las distintas regiones para construir la planta de producción de bioetanol.

Factor	Peso	Zona	Constantí	Zona	Tarragona
		Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
Servicios transporte	0,15	9	1,35	9,5	1,425
Mano de obra	0,1	9	0,9	10	1
Terreno disponible	0,2	8	1,6	10	2
Proximidad mercado	0,2	9	1,8	8,5	1,7
Servicios auxiliares	0,15	8,75	1,175	10	1,5

Factor	Peso	Zona	Constantí	Zona	Tarragona
		Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
Proximidad materia prima	0,2	5	1	5,25	1,05
Totales	1		8,400		8,675

Tabla 2: Continuación de la tabla 1.

Factor	Peso	Zona	Tortosa	Zona	Amposta
		Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
Servicios transporte	0,15	5	0,75	6	0,9
Mano de obra	0,1	6	0,6	6	0,6
Terreno disponible	0,2	5	1	5	1
Proximidad mercado	0,2	6	1,2	6,5	1,3
Servicios auxiliares	0,15	6	0,9	6	0,9
Proximidad materia prima	0,2	9	1,8	10	2
Totales	1		6,25		6,70

Como puede observarse en las Tablas 1 y 2, la región con más calificación obtenida es Tarragona ciudad, con un 8,765, por lo que la planta se construirá en dicha zona.

3 . POLÍGONOS INDUSTRIALES EXISTENTES EN TARRAGONA

El valor de la producción química en Tarragona representa un 0,75% de la producción mundial. El polígono de Tarragona genera 40.000 puestos de trabajo.

En cuanto al puerto de Tarragona, es el quinto puerto más importante de España, reafirmandose como la puerta del Mediterráneo que acerca la industria química al mundo.

El área de Tarragona es el noveno principal territorio exportador del estado español. Los polígonos industriales de Tarragona se recogen en la Figura 2. Todos estos polígonos industriales, se encuentran bastante próximos tanto al puerto como al aeropuerto de Tarragona.

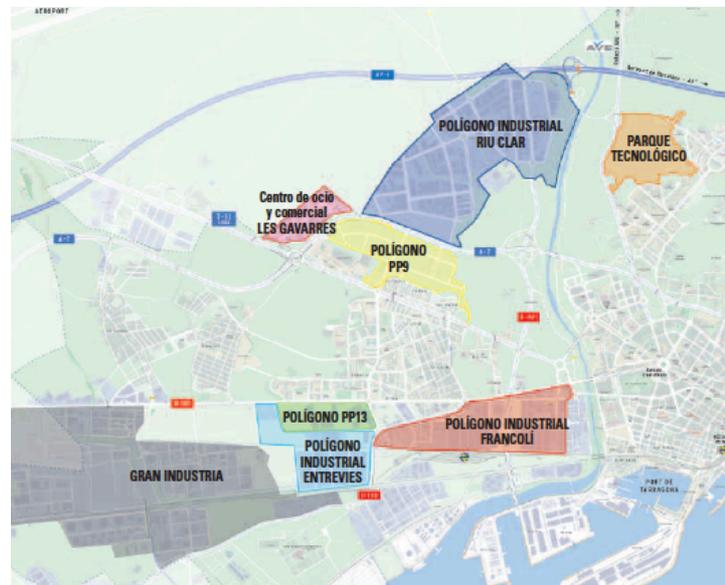


Figura 2: Polígonos industriales existentes en Tarragona (Fuente: Ayuntamiento de Tarragona).

Según la disponibilidad de ofertas de parcelas disponibles para suelo industrial, quedan disponibles los siguientes polígonos industriales: Riu Clar, PP13, Francolí, Polígono Entrevies y Polígono Gran Industria.

Se analiza cada uno de los polígonos nombrados anteriormente a continuación:

- Polígono Riu Clar: Este polígono posee una extensión de 2.027.662 m², con superficie suficiente disponible actualmente para construir. Hay una gran cantidad de empresas ubicadas en este polígono, aproximadamente 307 empresas dedicadas a la actividad comercial, industrial y de servicios. La administración responsable del polígono es el ayuntamiento de Tarragona.



Figura 3: Polígono Industrial Riu Clar (Fuente: CEPE-SI).

El acceso principal a este polígono es por autopista, concretamente por las carreteras AP7, A7 y N240. El promotor del suelo de este polígono es público, y como organización interna de las empresas pertenecientes al polígono, existe una asociación empresarial. El precio del terreno en este polígono es de 100 euros/m².

Las infraestructuras y servicios del polígono se muestran en las figuras 4 y 5.

Abastecimiento de agua	Alcantarillado	Viales urbanizados	Alumbrado exterior	Voz y datos	Energía eléctrica
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Aparcamientos públicos	Paradas de transporte público	Elementos localizadores	Red contra incendios		
Si	Si	No	Si		
Infraestructuras para recogida de residuos	Mobiliario urbano	Zonas verdes ajardinadas	Gas		
Si	No	No	Si		

Figura 4: Infraestructuras del Polígono Riu Clar (Fuente: CEPE-SI).

Limpieza y jardinería	Mantenimiento (viales, red de saneamiento)	Mantenimiento (alumbrado)	Recogida de residuos
Si	Si	Si	Si
Vigilancia	Transporte público	Bancos y cajeros	Restaurantes
Si	Si	No	Si
	Vivero de empresas	Estación de servicio	
	No	Si	
Mensajería / Correos			
Si			

Figura 5: Servicios del Polígono Riu Clar (Fuente: CEPE-SI).

Como puede observarse en las figuras 4 y 5, este polígono dispone de todos los servicios auxiliares y generales necesarios para una planta química, por lo que es una buena opción para construir la planta en tal polígono.

- **Polígono PP13:** El polígono PP13, dispone de una superficie de 223.421 m², de los cuales hay metros cuadrados disponibles para poder construir aún. Este polígono

cuenta con 13 empresas, en las cuales la actividad dominante es exclusivamente industrial. El acceso principal a dicho polígono es mediante carretera nacional, por la N340 y A7.



Figura 6: Polígono Industrial PP13 (Fuente: CEPE-SI).

El tipo de promotor del suelo en este polígono es privado, y en cuanto a las empresas disponibles en el polígono, no hay ningún tipo de asociación empresarial entre ellas. En cuanto a las infraestructuras y servicios disponibles en el polígono, hay suficientes servicios auxiliares y generales, aunque una desventaja del polígono, es que no posee paradas de transporte público, pudiendo dificultar esta situación, el transporte de algunos de los futuros empleados de la planta de bioetanol (Figuras 4 y 5). El ayuntamiento de Tarragona es el que se encarga de la administración de este polígono.

Limpieza y jardinería	Mantenimiento (viales, red de saneamiento)	Mantenimiento (alumbrado)	Recogida de residuos		
Si	Si	Si	Si		
Vigilancia	Transporte público	Bancos y cajeros	Restaurantes	Vivero de empresas	Estación de servicio
Si	No	No	No	No	Si
Mensajería / Correos					
Si					

Figura 7: Servicios del polígono PP13 (Fuente: CEPE-SI).

Abastecimiento de agua	Alcantarillado	Viales urbanizados	Alumbrado exterior	Voz y datos	Energía eléctrica
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Aparcamientos públicos	Paradas de transporte público	Elementos localizadores	Red contra incendios		
Si	No	No	Si		
Infraestructuras para recogida de residuos	Mobiliario urbano	Zonas verdes ajardinadas	Gas		
Si	No	No	Si		

Figura 8: Infraestructuras del polígono PP13 (Fuente: CEPE-SI).

- Polígono Francolí:** Dispone de una extensión de 669.874 m², estando la misma mayormente ocupada. Cuenta con aproximadamente 263 empresas, que se dedican sobre todo a la actividad industrial. El acceso principal a este polígono es por carretera nacional, por la N340 y N241.



Figura 9: Polígono Industrial Francolí (Fuente: CEPE-SI).

La administración responsable de este polígono es el ayuntamiento de Tarragona. En cuanto al promotor de este polígono, corresponde a una entidad privada. En este polígono el tipo de organización interna es de asociación empresarial por parte de las empresas existentes en él. El polígono goza de unas buenas infraestructuras y servicios (Figuras 10 y 11).

Limpieza y jardinería	Mantenimiento (viales, red de saneamiento)	Mantenimiento (alumbrado)	Recogida de residuos		
Si	Si	Si	Si		
Vigilancia	Transporte público	Bancos y cajeros	Restaurantes	Vivero de empresas	Estación de servicio
Si	Si	No	Si	No	Si
Mensajería / Correos					
Si					

Figura 10: Infraestructuras del polígono Francolí (Fuente: CEPE-SI).

Abastecimiento de agua	Alcantarillado	Viales urbanizados	Alumbrado exterior	Voz y datos	Energía eléctrica
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Aparcamientos públicos	Paradas de transporte público	Elementos localizadores	Red contra incendios		
Si	Si	Si	Si		
Infraestructuras para recogida de residuos	Mobiliario urbano	Zonas verdes ajardinadas	Gas		
Si	Si	No	Si		

Figura 11: Servicios del polígono Francolí (Fuente: CEPE-SI).

- **Polígono Entrevies:** La extensión de este polígono es de 287.543 m², cuyo nivel de ocupación es aproximadamente del 70%. El número aproximado de empresas en este polígono es de 23, las cuales se dedican al sector industrial mayormente. El acceso principal a este polígono es por autopista, por la AP7.



Figura 12: Polígono Industrial Entrevies (Fuente: CEPE-SI).

La entidad responsable del polígono es el ayuntamiento de Tarragona. El promotor del suelo del polígono es de tipo público, siendo el coste del mismo de 100 euros/m², y entre las empresas que hay existe una asociación empresarial. Este polígono, al igual que ocurre con el polígono PP13, no dispone de paradas de transporte público (Figuras 13 y 14).

Abastecimiento de agua	Alcantarillado	Viales urbanizados	Alumbrado exterior	Voz y datos	Energía eléctrica
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Aparcamientos públicos	Paradas de transporte público	Elementos localizadores	Red contra incendios		
Si	No	No	Si		
Infraestructuras para recogida de residuos	Mobiliario urbano	Zonas verdes ajardinadas	Gas		
Si	Si	No	Si		

Figura 13: Servicios del polígono Entrevies (Fuente: CEPE-SI).

Limpieza y jardinería	Mantenimiento (viales, red de saneamiento)	Mantenimiento (alumbrado)	Recogida de residuos		
Si	Si	Si	Si		
Vigilancia	Transporte público	Bancos y cajeros	Restaurantes	Vivero de empresas	Estación de servicio
Si	No	No	No	No	Si
Mensajería / Correos					
Si					

Figura 14: Servicios del polígono Entrevies (Fuente: CEPE-SI).

- **Polígono Gran Industria:** Este polígono, es el de mayor extensión localizado en Tarragona, ya que cuenta con una superficie de 4.700.000 m², con 350 hectáreas edificables. El número de empresas en este polígono asciende a 18, las cuales se dedican sobre todo al sector petroquímico y de plásticos. El acceso principal es por autopista, en concreto por la A7 y AP7.



Figura 15: Polígono Gran Industria (Fuente: CEPE-SI).

La administración responsable del polígono es el ayuntamiento de La Canonja. En cuanto al promotor del suelo, éste es privado. Existe una asociación empresarial en este polígono, la cual se denomina Asociación Empresarial Química de Tarragona (AEQT).

Finalmente, en cuanto a los servicios auxiliares y generales, este polígono los posee todos, tales como agua de refrigeración en exceso, estaciones depuradoras de efluentes, así como suministros de vapor y energía (Figuras 16 y 17).

Abastecimiento de agua Si	Alcantarillado Si	Viales urbanizados Si	Alumbrado exterior Si	Voz y datos Si	Energía eléctrica Si
Aparcamientos públicos Si	Paradas de transporte público Si	Elementos localizadores Si	Red contra incendios Si		
Infraestructuras para recogida de residuos Si	Mobiliario urbano Si	Zonas verdes ajardinadas Si	Gas Si		

Figura 16: Servicios del polígono Gran Industria (Fuente: CEPE-SI).

Limpieza y jardinería Si	Mantenimiento (viales, red de saneamiento) Si	Mantenimiento (alumbrado) Si	Recogida de residuos Si
Vigilancia Si	Transporte público Si	Bancos y cajeros No	Restaurantes Si
		Vivero de empresas No	Estación de servicio Si
Mensajería / Correos Si			

Figura 17: Infraestructuras del polígono Gran Industria (Fuente: CEPE-SI).

4 . ELECCIÓN DEL POLÍGONO INDUSTRIAL

Lo que se busca a la hora de elegir un polígono determinado, es que éste posea una importante actividad industrial, sobre todo relacionada con el sector petroquímico y químico a ser posible. Otras razones de importante peso en la elección del polígono, son que disponga de buenos servicios auxiliares (agua de refrigeración, estación depuradora, vapor y energía) y generales (paradas de transporte público, alumbrado, etc.).

Algunos otros motivos que van a hacer que se seleccione finalmente un polígono en concreto, son que haya suficiente terreno, y que exista una asociación empresarial entre las empresas que conforman el polígono, ya que esto permitirá futuros convenios con dichas empresas.

Siguiendo todas estas justificaciones, se excluyen como opciones tanto el polígono PP13, debido al poco espacio disponible actualmente así como la inexistencia de una asociación empresarial, el polígono Francolí, ya que dispone de poco terreno para poder construir, y finalmente el polígono Entrevies, el cual no sólo tiene poco suelo edificable, sino que tampoco dispone de paradas de transporte público.

Únicamente quedan como opciones el polígono Riu Clar y el Gran Industria. Este proyecto se va a decantar por el polígono Gran Industria, por disponer éste de un gran sector químico y petroquímico, lo que puede suponer en el futuro acuerdos de venta de bioetanol con las empresas petroquímicas existentes en dicho polígono, incrementando así el mercado de ventas de la planta de bioetanol del presente proyecto.

Debido a la falta de datos acerca del precio del terreno para el Polígono Gran Industria, se va a tomar como precio de referencia 100 euros/m².

El acceso a la refinería de Repsol localizada en Tarragona, es por medio de la carretera N-340, mientras que para acceder a la refinería ubicada en Castellón, se ha de entrar por la carretera CS-22.

Finalmente, para desplazarse desde el Polígono Gran Industria al aeropuerto de Reus, hay que tomar la carretera denominada T-11.

ESTUDIO TÉCNICO

ÍNDICE

1	. PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL BIOETANOL	3
1.1	Vía termoquímica	3
1.2	Vía bioquímica	4
1.2.1	Producción de bioetanol a partir de azúcares	4
1.2.2	Producción de bioetanol a partir del almidón.....	5
1.2.3	Producción de bioetanol a partir de materiales lignocelulósicos.....	5
1.3	Elección de la vía del proceso	6
2	. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN	6
2.1	Pre-tratamiento	6
2.1.1	Pre-tratamientos físicos	7
2.1.2	Pre-tratamientos químicos	7
2.1.3	Pre-tratamientos biológicos	8
2.2	Hidrólisis	8
2.3	Fermentación	9
2.4	Purificación.....	9
2.5	Deshidratación.....	10
2.6	Subproductos formados en el proceso.....	11
3	. ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE PROCESO	11
3.1	Pre-tratamiento	11
3.2	Filtros rotatorios a vacío	12
3.3	Hidrólisis de la celulosa.....	12
3.4	Intercambiadores de calor.....	13
3.5	Detoxificación-neutralización	13
3.6	Fermentación	14
3.7	Destilación.....	14
3.8	Deshidratación.....	15
3.9	Uso de los subproductos.....	15

3.9.1	Uso para la lignina.....	15
3.9.2	Uso para el dióxido de carbono	16
3.9.3	Uso para el sulfato de calcio.....	16
3.9.4	Corrientes residuales	16
3.10	Diagrama de bloques	17
4	. LISTADO DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS DEL PROCESO	17

1 . PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL BIOETANOL

El bioetanol puede ser elaborado mediante dos vías, una bioquímica y otra termoquímica, las cuales se exponen a continuación para finalmente elegir una de las dos rutas posibles.

1.1 Vía termoquímica

El proceso termoquímico consiste en la gasificación de la biomasa seguida de una reacción catalizada o fermentación. De hecho, en ambos casos, la primera etapa del proceso es la producción de un gas (syngas) con un poder calorífico bajo, el cual es limpiado, y es o fermentado o sintéticamente catalizado para producir el producto final.

Las tres principales etapas características del proceso con reacción catalítica son:

1. *Gasificación de la biomasa*, donde se produce el syngas de la biomasa. La gasificación consiste en la conversión termoquímica de la biomasa a altas temperaturas (800°C), en la presencia de un agente oxidante (aire, vapor u oxígeno), en un gas.
2. *Transformación del syngas*, donde la composición del gas es ajustada mediante un proceso de síntesis catalítica.
3. *Separación de los productos obtenidos*.

La principal ventaja de los procesos termoquímicos es la posibilidad de poder usar la totalidad de la biomasa, así como utilizar biomasa de diferentes materias primas. Los productos de este proceso se denominan BTL (Biomasa a Líquido) combustibles.

La síntesis del etanol y otros alcoholes procedentes del syngas es una parte muy importante del proceso. En particular, la síntesis del etanol es llevada a cabo de manera similar al proceso Fisher-Tropsch o al proceso de producción de metanol, pero con peores resultados y una menor eficacia global. Para incrementar el rendimiento en etanol, la razón H_2/CO debe ser optimizada, así como los parámetros del proceso tales como presión (generalmente > 50 bar), temperatura (240-350°C) y el tipo de catalizador (Bioethanol: Role and production technologies, David Chiaramonti).

Otra posible opción para la producción de bioetanol, como se comentó anteriormente es la fermentación del syngas. La etapa inicial de este proceso vuelve a ser la gasificación de la biomasa: el CO y H_2 ricos en el syngas son fermentados a bioetanol, el cual es recuperado mediante destilación y adsorción.

El reactor de fermentación puede ser un simple reactor gas-rocado que opere en continuo o discontinuo, o bien pueden ser dos reactores. Las desventajas del reactor gas-rocado son su baja productividad volumétrica, baja conversión de gas y la producción de un bioetanol muy diluido (hasta 2% v/v).

1.2 Vía bioquímica

El bioetanol puede ser producido a través de diferentes procesos biológicos en función del origen de la materia prima: azúcares, almidones o materiales lignocelulósicos. Los procesos biológicos para la elaboración de bioetanol mediante el uso de diferentes materias primas son ilustrados en la Figura 1.

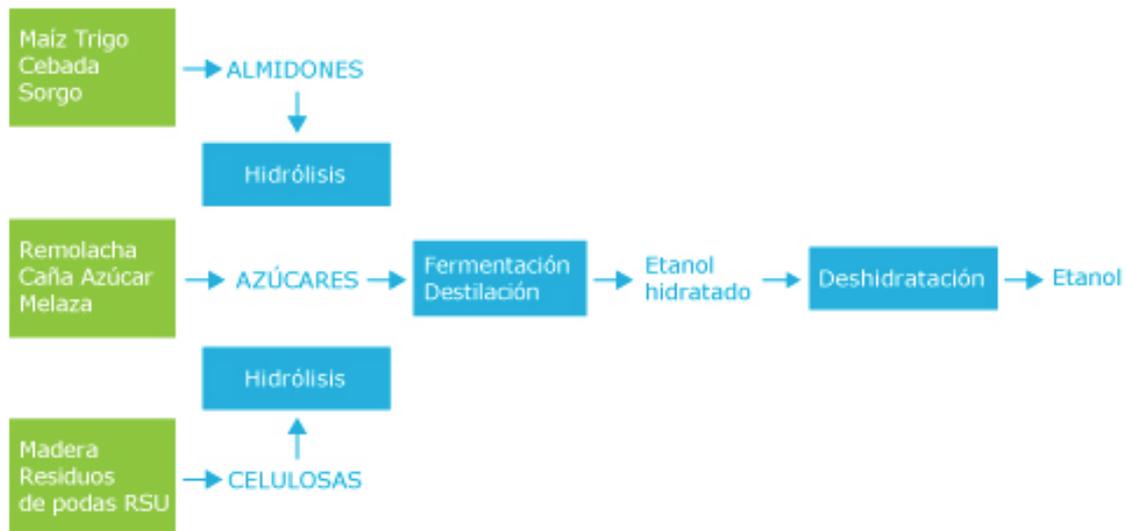


Figura 1: Proceso biológico de producción de bioetanol mediante el uso de distintos materiales renovables (Fuente: www.Alcanao.com).

Como puede verse en la Figura 1, el proceso de producción es bastante similar para las diferentes materias primas, variando únicamente las etapas iniciales, mientras que las etapas de fermentación, destilación y deshidratación siempre se mantienen.

1.2.1 Producción de bioetanol a partir de azúcares

Los principales materiales que pueden ser convertidos a través de los procesos de producción de bioetanol a partir de azúcares, son: la caña de azúcar, remolacha y el sorgo dulce. Estos materiales son ricos en azúcares, principalmente en sacarosa, que es rápidamente fermentada por levaduras o bacterias a bioetanol.

La remolacha es una planta cuyas raíces contienen una alta concentración de sacarosa, normalmente crece en ambientes fríos, mientras que el sorgo dulce es un sorgo que tiene un alto contenido en azúcar y crece en zonas calientes y secas.

La liberación de los azúcares procedentes de este tipo de materiales, puede ser lograda exprimiéndolos o mediante una simple extracción mecánica.

La caña de azúcar crece en lugares cálidos, o bien en zonas tropicales, y acumula biomasa y azúcares a gran velocidad. Cada tonelada de caña de azúcar alcanza rendimientos de 740 kg de jugo (135 kg de sacarosa y 605 kg de agua) y 260 kg de bagazo húmedo (Biomass to

Renewable Energy Processes, Jay J.Cheng). El jugo es usado para la producción de bioetanol a través de una fermentación y el bagazo es casi siempre secado y quemado para proporcionar energía para la destilación o para el proceso de fermentación.

Una vez es fermentado el jugo, se procede a la purificación del etanol. El contenido de etanol en la cerveza después de la fermentación suele ser estar entre el 10-15%. Para separar el etanol, se lleva a cabo una destilación y posterior deshidratación. La destilación solamente puede producir un etanol con una pureza cercana al 95% en peso, ya que la mezcla etanol-agua forma un azeótropo a concentraciones de etanol superiores al 95.6% en peso.

Finalmente para extraer el agua restante y obtener un etanol casi puro, se lleva a cabo una deshidratación, la cual suele ser una adsorción física.

1.2.2 Producción de bioetanol a partir del almidón

Este proceso incluye las siguientes materias primas: granos ricos en almidón (maíz, arroz, trigo, cebada y granos de sorgo), patatas y patatas dulces. El contenido de almidón en los granos está dentro del rango de 60-75%, y de 10-30% para las patatas y patatas dulces. La conversión del almidón a etanol implica una etapa adicional con respecto al proceso explicado anteriormente para los materiales azucarados en el apartado 1.2.1. Dicha etapa adicional, consiste en la sacarificación del almidón para producir azúcares fermentables (principalmente glucosa).

El proceso de sacarificación de los almidones suele llevarse a cabo mediante reacciones enzimáticas catalizadas por amilasas. El principal producto de la sacarificación es la glucosa, la cual es posteriormente fermentada a etanol mediante levaduras o bacterias. Después de esta etapa, se realizaría la destilación y deshidratación.

Dentro de todos los materiales que contienen almidón, el más utilizado para la producción comercial de bioetanol es el maíz.

1.2.3 Producción de bioetanol a partir de materiales lignocelulósicos

Los materiales lignocelulósicos tales como maderas, hierbas y residuos de la agricultura pueden ser usados también para la producción de bioetanol, ya que éstos tienen un alto contenido en celulosa y hemicelulosa.

La conversión de este tipo de materia prima es mucho más laboriosa que las explicadas para los compuestos azucarados y almidonados. El proceso implica un pre-tratamiento, una hidrólisis y una fermentación, siendo las etapas finales la destilación y la deshidratación.

La mayor parte de los compuestos lignocelulósicos están formados por celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa y la hemicelulosa están fuertemente enredadas entre sí, mientras que la lignina las envuelve firmemente como una pared protectora, haciendo que la estructura de este tipo de materiales sea muy resistente a la biodegradación.

El pre-tratamiento es necesario para extraer la lignina y así hacer que tanto la celulosa como la hemicelulosa sean aptas para ser hidrolizarlas y de esta manera producir azúcares fermentables.

1.3 Elección de la vía del proceso

La vía bioquímica es un proceso costoso, pero con el rápido avance de la tecnología, esto va a dejar de ser un inconveniente a corto plazo. En cuanto a la vía termoquímica, ésta parte de tecnologías maduras como los sistemas de limpieza y acondicionamiento del gas de síntesis, pero es necesario desarrollar catalizadores eficientes para la conversión del gas de síntesis a etanol. Existen catalizadores heterogéneos y homogéneos, los primeros son caros y operan en condiciones muy extremas y los segundos tienen producciones y selectividades muy bajas (Producción de etanol a partir de biomasa lignocelulósica por vía termoquímica, Carmen María Reyes Valle).

Actualmente, no existen datos suficientes para afirmar cual de las dos tecnologías es más prometedora, pero lo que es una realidad, es que se dispone de mayor cantidad de datos acerca del proceso bioquímico que del proceso termoquímico.

Otra ventaja del proceso bioquímico frente al proceso termoquímico es que a día de hoy, si existen algunas plantas que procesan bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica, mientras que plantas relacionadas con el proceso termoquímico no hay ninguna por el momento, por lo que se puede afirmar que la tecnología bioquímica está más asentada que la termoquímica. Por dichas razones el proceso bioquímico va a ser objeto de este proyecto.

2 . DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

Como ya se comentó en el estudio de mercado, la materia prima que se va a utilizar en este proyecto, es la cascarilla de arroz, la cual pertenece a la biomasa lignocelulósica, por dicho motivo el proceso de producción que se va a llevar a cabo corresponde con el explicado brevemente en el apartado 1.2.3. En este apartado se explica detalladamente el proceso general de producción de etanol a partir de materiales lignocelulósicos.

Como se explicó ya en el apartado 1.2.3, el proceso de producción se divide en pre-tratamiento, hidrólisis, fermentación, purificación y deshidratación.

2.1 Pre-tratamiento

El objetivo del pre-tratamiento es extraer la lignina de la lignocelulosa, reducir la cristalinidad de la celulosa y aumentar la porosidad del material, para así hacer que tanto la celulosa como hemicelulosa puedan producir azúcares fermentables en la etapa de fermentación.

El pre-tratamiento debe reunir los siguientes requisitos: mejorar la formación de azúcares, evitar la degradación o pérdida de los carbohidratos, evitar la formación de subproductos que puedan inhibir la posterior hidrólisis y fermentación, y finalmente que no sean excesivamente caros.

En los últimos años se han llevado a cabo varios estudios sobre el pre-tratamiento de la biomasa lignocelulósica, aportando distintos tipos de pre-tratamientos de carácter físico, químico y biológico.

2.1.1 Pre-tratamientos físicos

- Pulverización mecánica: Los compuestos lignocelulósicos pueden ser pulverizados mediante astillado o molienda para reducir la cristalinidad de la celulosa. El tamaño de las partículas es casi siempre de 1-3 cm después del astillado y de 0,2-2 mm después de la molienda.
- Explosión con vapor: Este método es uno de los más utilizados dentro de el pre-tratamiento de la biomasa lignocelulósica. En este método, la biomasa molida se trata con un vapor saturado a alta presión (0,69-4,83 MPa) y a continuación se lleva a cabo una descompresión. Esto causa la degradación de la hemicelulosa y transformación de la lignina, incrementando así el potencial de la celulosa para ser hidrolizada. Los factores que afectan a este tipo de pre-tratamiento son el tiempo de residencia, la temperatura, el tamaño de partícula y el contenido en humedad (Duff y Murray, 1996).

En este proceso es posible añadir ácido sulfúrico o dióxido de carbono para así mejorar la posterior hidrólisis, y disminuir la producción de compuestos que puedan inhibir la hidrólisis y/o fermentación. La principal ventaja de este proceso es el bajo requerimiento energético que necesita.

- Explosión con amoníaco: Aquí la materia prima es expuesta a amoníaco en fase líquida a altas temperaturas durante un cierto periodo de tiempo, sufriendo una posterior descompresión. Como puede observarse, el concepto de este pre-tratamiento es bastante similar al de explosión con vapor.

Es típico en estos procesos utilizar amoníaco líquido en una proporción de 1-2 kg/kg de biomasa seca a temperaturas de 90°C, y tiempos de residencia de 30 minutos (Biomass to Renewable Energy Processes, Jay J.Cheng).

- Explosión con dióxido de carbono: Similarmente a las operaciones explicadas anteriormente, en esta operación se pone en contacto el CO₂ con la biomasa. Con este proceso se mejora el grado de hidrólisis.

2.1.2 Pre-tratamientos químicos

- Ozonolisis: El ozono puede ser usado para degradar la lignina y hemicelulosa, aunque apenas degrada a la celulosa. Este pre-tratamiento tiene las siguientes ventajas: extrae eficazmente la lignina, no produce residuos tóxicos y la reacción puede llevarse a cabo a temperatura ambiente y presión atmosférica.
- Hidrólisis ácida: Se pueden emplear tanto ácidos diluidos como ácidos concentrados. Los ácidos más empleados son el sulfúrico y el clorhídrico.

El uso de ácidos concentrados, tiene una serie de desventajas tales como que son tóxicos y corrosivos. Esta última desventaja implica la necesidad de utilizar reactores

con materiales muy resistentes a la corrosión, lo cual incurre en gastos adicionales, encareciendo el proceso.

Los ácidos diluidos por su parte, no poseen ningún tipo de problemas relacionados con la corrosión e incluso toxicidad, ya que éstos suelen estar bastante diluidos (0,2-5% w/w). Este tipo de ácidos incrementa significativamente la velocidad de reacción a la vez que mejora la hidrólisis de la celulosa. El pre-tratamiento con ácidos diluidos ha sido el más utilizado desde siempre.

Hay dos formas de trabajar con los ácidos diluidos: de manera continua o discontinua. Cuando se trabaja en continuo se requieren altas temperaturas ($T > 160^{\circ}\text{C}$) y una baja carga de sólidos (5-10% w/w) (Brennan et al., 1986). Si el proceso es discontinuo, la manera de trabajar es con temperaturas inferiores a los 160°C y con cargas de sólidos entre 10-40% w/w) (Cahela et al., 1983).

Siempre que se utilice este pre-tratamiento, será necesario una posterior neutralización para poder llevar a cabo el proceso de fermentación en condiciones óptimas.

- Hidrólisis alcalina: Se cree que el mecanismo de la hidrólisis alcalina consiste en la saponificación de los enlaces ésteres intramoleculares. Este proceso es sencillo y no precisa de un gran consumo de energía. El agente alcalino más utilizado es el hidróxido sódico diluido.
- Pre-tratamiento Organosolv: Se mezcla un disolvente orgánico con otro inorgánico (HCl o H_2SO_4) para romper las cadenas internas de la lignina y hemicelulosa. Los disolventes orgánicos más empleados son el metanol, etanol, acetona y etilenglicol.

2.1.3 Pre-tratamientos biológicos

Consisten en utilizar microorganismos para degradar la lignina y hemicelulosa en residuos. Las ventajas del tratamiento biológico incluye bajos requerimientos de energía y condiciones de operación ambientales.

2.2 Hidrólisis

Con la hidrólisis se pretende convertir la celulosa en glucosa y la hemicelulosa en pentosas (xilosa y arabinosa) y hexosas (glucosa, galactosa y manosa). La conversión de la celulosa y hemicelulosa puede llevarse a cabo mediante enzimas, ácidos diluidos o sustancias alcalinas.

Los procesos relacionados con los ácidos diluidos y los compuestos alcalinos se explicaron en el apartado 2.1.

En cuanto a la hidrólisis enzimática, la conversión de la celulosa y hemicelulosa es catalizada mediante enzimas celulasa y hemicelulasa, respectivamente. Las condiciones de operación suelen ser las ambientales.

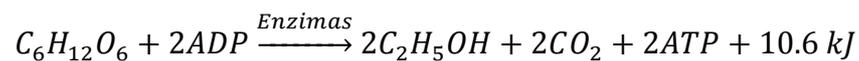
2.3 Fermentación

La fermentación de la glucosa para la producción del etanol puede ser llevada a cabo por levaduras o bacterias. La fermentación vía bacterias puede ser usada para la elaboración de algunos alcoholes, aunque la fermentación más usualmente utilizada para la producción de etanol es la que implica el uso de levaduras.

En la fermentación por levadura, la glucosa en la disolución penetra en las células de la levadura y es convertida a través de una serie de reacciones enzimáticas en etanol, CO₂ y energía. Parte de la glucosa y energía liberada son utilizadas por las células de la levadura para mantener su crecimiento durante el proceso de fermentación.

El CO₂ rápidamente se disuelve en el agua, pero acaba saturándose fácilmente, burbujeándose finalmente CO₂.

La reacción global bioquímica que ocurre para convertir la glucosa a etanol y CO₂ durante la fermentación de la levadura se ilustra a continuación (1).



Donde ADP y ATP representan la adenosina difosfato y adenosina trifosfato, respectivamente.

Hay dos tipos de fermentadores principalmente, los fermentadores continuos y discontinuos. En los discontinuos, el nivel de población de las células cambia constantemente. Como resultado, dicha población experimenta diferentes fases, incluyendo una fase de aceleración, otra exponencial y finalmente una estacionaria. Durante el crecimiento exponencial, las células de la levadura están en su etapa más activa para la producción de etanol. Sin embargo, en la fase estacionaria, aparte de la producción de etanol, también se generan subproductos. Las principales ventajas de este tipo de reactores son su mecanismo sencillo y la facilidad a la hora de controlarlos. Su principal inconveniente es la baja eficiencia que se obtiene.

En los fermentadores continuos cuando se alcanza el estado estacionario los sustratos y nutrientes entran continuamente en el fermentador, mientras que el licor fermentado sale también de manera continua. Las células de la levadura pueden ser suspendidas o inmovilizadas en el fermentador. Las ventajas más relevantes de este fermentador son que mantiene la población de células en niveles estables, y que también permite obtener altos rendimientos. La principal desventaja es la dificultad de controlarlos debido a la continua entrada y salida de corrientes.

2.4 Purificación

Al final del proceso de fermentación, la concentración de etanol que suele obtenerse es de 10-15% (w/w). Como biocombustible, especialmente para los automóviles, el etanol debe ser separado del agua para su posible uso. Como ya se comentó en el apartado 1.2.1, la mezcla etanol/agua posee un azeótropo, el cual limita la concentración de etanol mediante destilación, siendo necesario una deshidratación posterior para poder así cumplir con las especificaciones de pureza del etanol, la cual como mínimo debe de ser del 99% (w/w).

Dicha destilación puede llevarse a cabo en una columna de rectificación de platos o de relleno. La mezcla etanol-agua que se encuentra hirviendo genera un vapor ascendente rico en etanol, así como un líquido descendente refluado a la columna con menor contenido en etanol.

2.5 Deshidratación

Después del proceso de rectificación, es necesario extraer la porción de agua que acompaña al etanol en el producto de cabeza de la columna de destilación, esto se logra mediante lo que se denomina deshidratación como ya se comentó anteriormente. Existen varios tipos de tecnologías para llevar a cabo la deshidratación. Se van a analizar únicamente las tecnologías más empleadas y prometedoras.

- Tamices moleculares: El principal fundamento de este proceso consiste en la separación basada en la diferencia de tamaños de las partículas de los compuestos que deben ser separados.

Una molécula de agua tiene un diámetro de aproximadamente 0,28 nm, mientras que una de etanol posee 0,4 nm de diámetro. Los tamices moleculares son materiales sintéticos con microporos uniformes, dichos poros casi siempre suelen tener entre 0,3-0,35 nm. Cuando la mezcla etanol-agua entra en contacto con los tamices moleculares bajo presión, las moléculas más pequeñas de agua pueden entrar en los microporos y ser adsorbidas sobre su superficie interna, mientras que el etanol no penetra en los poros, siendo así separado del agua.

- Destilación azeótropica heterogénea: En esta destilación se usa un disolvente con un punto de ebullición intermedio para introducir nuevos azeótropos a la mezcla y al mismo tiempo generar dos fases líquidas que permitan separar el etanol del agua.
- Destilación extractiva: Esta tecnología está basada en la introducción de un disolvente selectivo que interactúa de manera diferente con cada uno de los componentes de la mezcla original, mostrando una fuerte afinidad con uno de ellos. El disolvente utilizado suele ser benceno, ciclohexano o heptano, los cuales forman un nuevo azeótropo ternario de punto de ebullición mínimo, el cual es extraído preferentemente, obteniendo agua libre de etanol.
- Destilación a vacío: La composición en el azeótropo de la mezcla etanol-agua cambia a mezclas ricas en etanol a presiones por debajo de la atmosférica, mientras que el azeótropo desaparece a presiones por debajo de los 9,33 kPa, haciendo posible destilar etanol puro.
- Pervaporación: La pervaporación es un proceso de separación en el cual una mezcla líquida está en contacto con uno de los lados de una membrana y uno de los componentes permea más rápidamente que el otro(s) en el lado del permeado de la membrana (Membrane Handbook, W. S. Winston Ho).

En el lado del permeado, el componente es evaporado y recogido a la salida. Generalmente, se aplica un vacío mecánico para llevar a cabo este proceso.

2.6 Subproductos formados en el proceso

Los subproductos más frecuentes generados en este tipo de proceso son el dióxido de carbono, que se genera durante el proceso de fermentación como ya se comentó en el apartado 2.3, y la lignina, la cual se retira en estado sólido y que puede ser utilizada en una caldera para proporcionar parte de la energía necesaria en el proceso de producción, abaratando así los costes del proceso.

Otras formas de subproductos son las corrientes residuales que se obtienen en las columnas de destilación, las cuales suelen estar formadas mayoritariamente por agua, de manera que pueden ser usadas como fluidos térmicos en los intercambiadores de calor antes de ser llevadas a depuración, y así aumentar la rentabilidad de la planta.

3 . ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE PROCESO

En este apartado se justifica la elección final del tipo de proceso que se va a ejecutar para la elaboración del bioetanol. Este proyecto va a ser operado de manera continua.

3.1 Pre-tratamiento

En este proyecto se van a realizar realmente dos tipos de pre-tratamiento como etapa inicial del proceso. El primer pre-tratamiento no va a ser llevado a cabo realmente en la planta industrial, sino que va a venir realizado ya desde la compañía suministradora de la cascarilla de arroz (Cambra Arrosera del Montsiá), ya que dicha cooperativa oferta dos tipos de suministro de cascarilla de arroz, uno es sin la molienda de la cascarilla, el cual tiene un precio de 60 euros/tonelada, y el otro formato que corresponde con la cascarilla molida, tiene un precio de 70 euros/tonelada. Con dicha molienda se va a reducir el tamaño de las cascarillas hasta 1 mm (Process simulation of fuel ethanol production from lignocellulosics using aspen plus, Quintero et al.).

En cuanto al segundo pre-tratamiento, se va a justificar el elegido finalmente, analizando los distintos tipos de pre-tratamiento según su naturaleza, la cual podía ser física, química y biológica.

Dentro de la categoría de pre-tratamientos físicos, se descarta la explosión con vapor, ya que dicho proceso implica la destrucción de una parte de la fracción de xilanos, a la vez que da lugar a la formación de compuestos que pueden inhibir las posteriores operaciones que se realicen (hidrólisis y fermentación). También se descarta la explosión con amoníaco, ya que en esta operación no se solubiliza significativamente la hemicelulosa, aparte de tener un coste algo elevado. Finalmente, también se prescinde del otro tipo de explosión (con dióxido de carbono), debido a los bajos rendimientos que se obtienen (Biomass to Renewable Energy Processes, Jay J.Cheng).

Se va a desechar el pre-tratamiento biológico porque con este tipo de pre-tratamiento, se obtienen muy bajos rendimientos de hidrólisis (Biomass to Renewable Energy Processes, Jay J.Cheng).

Por último, dentro de los pre-tratamientos químicos, se descarta la ozonólisis, ya que dicho proceso a pesar de ser efectivo es bastante caro. El proceso Organosolv tampoco se va a llevar a cabo en este proyecto, ya que los disolventes usados en el pre-tratamiento deben ser extraídos del reactor, evaporados y condensados para evitar la formación de sustancias inhibitorias, lo que implica un coste mayor de proceso. La hidrólisis alcalina, parece ser uno de los pre-tratamientos más prometedores, aunque no se va a tener en cuenta en este proyecto, debido a que se va a optar finalmente por una hidrólisis con ácido diluido, ya que de dicho pre-tratamiento se dispone de mayor cantidad de datos. Los pre-tratamientos con ácidos diluidos han sido los más utilizados últimamente, dando rendimientos bastante buenos y haciendo más accesible a la celulosa en su posterior hidrólisis (Biomass to Renewable Energy Processes, Jay J.Cheng).

Se ha optado por la hidrólisis con ácido diluido y no concentrado, debido a que el uso de éstos implica usar equipos con materiales de construcción más resistentes a la corrosión, y por tanto mayores gastos en el proyecto. Como ácido va a emplearse ácido sulfúrico (1% wt) en un reactor continuo tanque agitado y con una temperatura de operación de 175°C (Converse et al., 1989). La presión de operación va a estar comprendida en el intervalo de 12-15 atm (Process simulation of fuel ethanol production from lignocellulosics using aspen plus, Quintero et al.)

3.2 Filtros rotatorios a vacío

Para este proceso se van a disponer de 6 filtros rotatorios a vacío, ya que éstos permiten el funcionamiento en continuo, requieren de poco espacio, implican la ausencia de tiempos muertos y tienen gastos de explotación limitados (Grupo TEFSA).

Los dos primeros filtros se van a colocar justo después del primer reactor de pre-hidrólisis, para obtener por un lado la fracción sólida que no ha reaccionado (celulosa y lignina) y por otra el hidrolizado rico en xilosa.

El tercer filtro va a ubicarse en este caso a la salida del reactor de hidrólisis, para obtener ahora la lignina como parte sólida, y el hidrolizado rico en glucosa como fase líquida. En lo referido al cuarto, quinto y último filtro, éstos se van a disponer después de la operación de detoxificación-neutralización (de la cual se hablará más adelante) para separar el sulfato de calcio dihidratado formado, y así obtener la corriente sustrato libre de dicho sólido que irá al fermentador.

3.3 Hidrólisis de la celulosa

Lo que se pretende ahora, una vez llevada a cabo la hidrólisis de la hemicelulosa, es hidrolizar la celulosa para obtener glucosa. Como ya se explicó en el apartado 2.2, existe tanto la hidrólisis con ácidos y compuestos alcalinos, como la hidrólisis enzimática.

La hidrólisis enzimática, como operación biológica que es, posee las desventajas de éstas, que como se indicó en el apartado 3.1, una de esas desventajas son los rendimientos tan bajos que

se obtienen en hidrólisis. Otro inconveniente es el alto coste de las enzimas para llevar a cabo el proceso.

Dicho todo esto, para la realización de esta etapa del proceso se escoge finalmente la hidrólisis con ácido diluido (ácido sulfúrico) con una concentración del 1% wt. Esta operación va a ejecutarse en un reactor continuo tanque agitado con una temperatura de trabajo de 235°C y una presión de 12-35 atm (Design and evaluation of a plug flow reactor for and hydrolysis of cellulose, Thompson et al.).

3.4 Intercambiadores de calor

Como en todo proceso químico industrial, la utilización de intercambiadores de calor es indispensable para el funcionamiento correcto del proceso de fabricación.

En este proceso se van a utilizar 4 intercambiadores de calor, uno para enfriar la mezcla de hidrolizados que se dirige a la unidad de detoxificación-neutralización, debido a que la temperatura en dicha parte del proceso va a corresponder a 25°C, por lo que se deberá enfriar mezcla desde los 175-235°C hasta dicha temperatura.

Otro cambiador de calor, se dispondrá a la entrada de la primera columna de destilación que se va a emplear (se hablará de ellas más adelante) para conseguir que la alimentación en la primera columna de destilación entre en su punto de burbuja, y así reducir la cantidad de energía necesaria para evaporar la mezcla en el calderín.

Habrà que ubicar un tercer cambiador justo a la salida del destilado de la segunda columna de destilación, para así enfriar tal corriente hasta los 60 °C que se requieren a la entrada del pervaporador.

El último cambiador de calor, el cual será un condensador, se va a utilizar para licuar el permeado correspondiente al pervaporador, el cual se retornará a la columna de destilación, para aumentar la productividad en etanol de ésta.

3.5 Detoxificación-neutralización

En el proceso de producción del bioetanol, un problema clave asociado con el uso de pre-tratamientos con ácidos diluidos, es la formación de subproductos, dañinos para la etapa de fermentación. Distintos tipos de compuestos inhibidores pueden llegar a formarse, los cuales se dividen principalmente en 3 grupos, derivados de furanos (Furfural y HMF), ácidos carboxílicos y compuestos fenólicos.

Por tanto se hace imprescindible, antes de la etapa de fermentación, extraer o reducir la cantidad de compuestos tóxicos. Para lograr esto, se lleva a cabo lo que se conoce como detoxificación. Varios métodos de detoxificación han sido empleados en las últimas décadas, tales como la detoxificación con hidróxido cálcico, intercambio iónico, evaporación y tratamientos con microorganismos, pero el método más utilizado para los hidrolizados pre-tratados con ácido sulfúrico corresponde a la detoxificación con $\text{Ca}(\text{OH})_2$, el cual se va a emplear en este proyecto. Esta estrategia se lleva a cabo añadiendo $\text{Ca}(\text{OH})_2$ al hidrolizado para aumentar el pH de la disolución hasta 10-12, y mantener tal condición durante un

periodo de tiempo que va desde los 15 minutos hasta un par de días (Dynamic Modelling and Parameter Estimation for Unit Operations in Lignocellulosic Bioethanol Production, Moreno et al.). Una vez se ha llevado a cabo la detoxificación, el pH es ajustado a 5-7 mediante la adición de H_2SO_4 en un reactor de neutralización.

La detoxificación-neutralización, da lugar a la formación de sulfato de calcio dihidratado, el cual precipita, siendo necesario separarlo de la mezcla mediante un filtro rotatorio a vacío como se indicó en el apartado 3.2.

Esta operación de detoxificación-neutralización se va a llevar a cabo a 25°C y a una atmósfera de presión (Process simulation of fuel ethanol production from lignocellulosics using aspen plus, Quintero et al.).

3.6 Fermentación

El tipo de fermentación que se va a emplear en el presente proyecto consiste en una fermentación continua, siendo de esta manera posible alcanzar el estado estacionario.

Esta fermentación va a consistir realmente en lo que se conoce como co-fermentación, ya que se van a fermentar tanto la glucosa como xilosa de los hidrolizados. Para conseguir esto, se va a utilizar la bacteria recombinante *Zymomonas mobilis* ZM4 (pZB5) capaz de fermentar simultáneamente la glucosa y xilosa.

Es posible la obtención de altas concentraciones de etanol, así como de altas productividades empleando altos rendimientos con este tipo de bacteria (Leksawasdi et al., 2001).

Las condiciones de presión y temperatura van a ser de una atmósfera y 30°C, respectivamente (Leksawasdi et al., 2001). El valor de pH que deberá emplearse, deberá ser igual a 5, y en cuanto al tiempo de residencia del fermentador, éste tendrá un valor de 20 horas (Ha SJ et al., 2013).

3.7 Destilación

Para este proyecto, van a ser necesarias dos columnas de destilación, una para concentrar la mezcla etanol-agua hasta un 50% (w/w) en etanol, y la otra para alcanzar una concentración en etanol cercana a la azeotrópica (95% (w/w)). Ambas columnas trabajarán a presión atmosférica.

La razón de reflujo de la primera y segunda columna, va a ser 3 y 3-15, respectivamente. Y ambas van a emplear un condensador total (Process simulation of fuel ethanol production from lignocellulosics using aspen plus, Quintero et al.)

Como se adelantó en el apartado 3.4, se va a ubicar un intercambiador de calor a la entrada de la primera columna para precalentar la alimentación y así reducir el coste total del proceso.

3.8 Deshidratación

En el apartado 2.5 se plantearon distintas formas de llevar a cabo la operación de deshidratación de la mezcla etanol-agua resultante de la segunda columna de destilación. De las formas planteadas, se prescinde de los tamices moleculares, ya que éstos requieren de una alta inversión inicial. Otros métodos que no van a utilizarse en este proyecto son la destilación a vacío, por su alto coste para lograr el vacío, y la destilación azeotrópica, ya que ésta implica el uso de un disolvente tóxico, además de requerirse una columna de destilación adicional para poder recuperar dicho disolvente, encareciendo así el proyecto.

Por tanto sólo quedan como opciones posibles la destilación extractiva y la pervaporación. En la destilación extractiva ocurre algo parecido a la destilación azeotrópica, ya que se necesitan 3 columnas de destilación para llevar a cabo dicho proceso. En la primera columna, se lleva el etanol hasta una concentración cercana a la azeotrópica, en la segunda se realiza la destilación extractiva obteniéndose el etanol anhidro y la tercera comprende la recuperación del disolvente por destilación para ser recirculado al proceso.

La pervaporación, será la técnica que se lleve a cabo para la obtención del bioetanol anhidro, ya que está considerada una de las tecnologías más prometedoras en este tipo de procesos, debido a su bajo coste energético y buenos rendimientos. Se va a emplear lo que se conoce como sistema híbrido, donde se integra la columna de destilación última con una unidad de pervaporación. En esta unidad de pervaporación es posible obtener un retentado con un 99,5% (w/w) en etanol (Separation Process Principles, Henley, Seader). El vapor que se obtiene como permeado es condensado bajo condiciones de vacío y retornado a la columna de destilación, para así aprovechar el etanol contenido en el permeado, como se mencionó en el apartado 3.4.

3.9 Uso de los subproductos

A lo largo del proceso de producción de bioetanol, van a producirse una serie de subproductos a los cuales, como se comentó en el apartado 2.6, es conveniente darles un determinado uso para así disminuir los costes totales del proyecto.

Los subproductos generados en este proyecto van a ser: la lignina, el dióxido de carbono y el sulfato de calcio, y por otro lado las correspondientes corrientes residuales.

3.9.1 Uso para la lignina

El uso que se le va a dar a la lignina obtenida a partir del filtro rotatorio a vacío colocado a la salida del reactor de hidrólisis de la celulosa, va a ser como fuente de energía de proceso. No va a emplearse como combustible en la caldera de esta nave industrial, ya que se usará gas natural como combustible, pero si va a venderse la lignina como combustible en procesos de plantas industriales cercanas a la de este proyecto. Al no tenerse precios de referencia de la lignina, se va a fijar un precio menor que el producto principal (bioetanol), pero a la vez competitivo que permita obtener cierta cantidad de beneficios, por tanto se va a fijar su precio de venta en 300 euros/tonelada.

Un caso interesante de estudio que no se va a abordar en este proyecto, sería construir una planta de cogeneración para así aportar parte de la electricidad necesaria en el proceso mediante la combustión de la lignina. Aplicando esto se obtendrían entre 1-1,3 kW por cada litro de etanol producido (Process simulation of fuel etanol production from lignocellulosics using aspen plus, Quintero et al.)

3.9.2 Uso para el dióxido de carbono

El CO₂ puede ser utilizado en comidas, bebidas, e industrias químicas. El principal uso del CO₂ es en las bebidas carbonatadas y cervezas. Otros usos menos comunes son utilizarlo para la síntesis del metanol, ácido fórmico y urea.

Al haber industrias químicas cercanas a la de esta fábrica, resultará rentable comunicar mediante una tubería el CO₂ liberado durante la fermentación con la parte del proceso de alguna de estas industrias que requiera dicho dióxido de carbono.

En cuanto al precio de venta, ocurre lo mismo que con la lignina, al no tenerse precios de referencia, se va a fijar un precio competitivo, el cual será de 400 euros/tonelada.

3.9.3 Uso para el sulfato de calcio

El sulfato de calcio dihidratado (CaSO₄x2H₂O), tiene una alta variedad de usos. Por ejemplo su uso en construcción como pasta de agarre y de juntas, como aislante térmico, pues es un mal conductor del calor y la electricidad, y sobre todo su empleo como corrector químico de suelos o como mejorador de la estabilidad de la estructura del suelo.

Debido a la presencia de varias empresas dedicadas a la elaboración de fertilizantes cercanas a la zona donde se va a construir la planta industrial, se va a hacer posible vender el sulfato de calcio obtenido a lo largo del proceso productivo.

El precio de venta del sulfato de calcio se va a fijar en 340 euros/tonelada (www.agroterra.com).

3.9.4 Corrientes residuales

En los apartados 2.6, 3.4 y 3.7, ya se adelantó el uso que se va a dar a las corrientes residuales de este proyecto.

Como corrientes residuales, se tendrán los productos de cola de las dos columnas de destilación. El producto de cola de la primera columna de destilación va a ser usado, aprovechándose parte de su calor sensible para precalentar la alimentación de primera columna de destilación. Una vez hecho esto, ambas corrientes residuales van a llevarse a la estación depuradora del Polígono Gran Industria.

El producto de cola de la segunda columna de destilación se va a trasladar directamente a la estación depuradora, ya que no renta precalentar la alimentación de esta columna únicamente un par de grados.

3.10 Diagrama de bloques

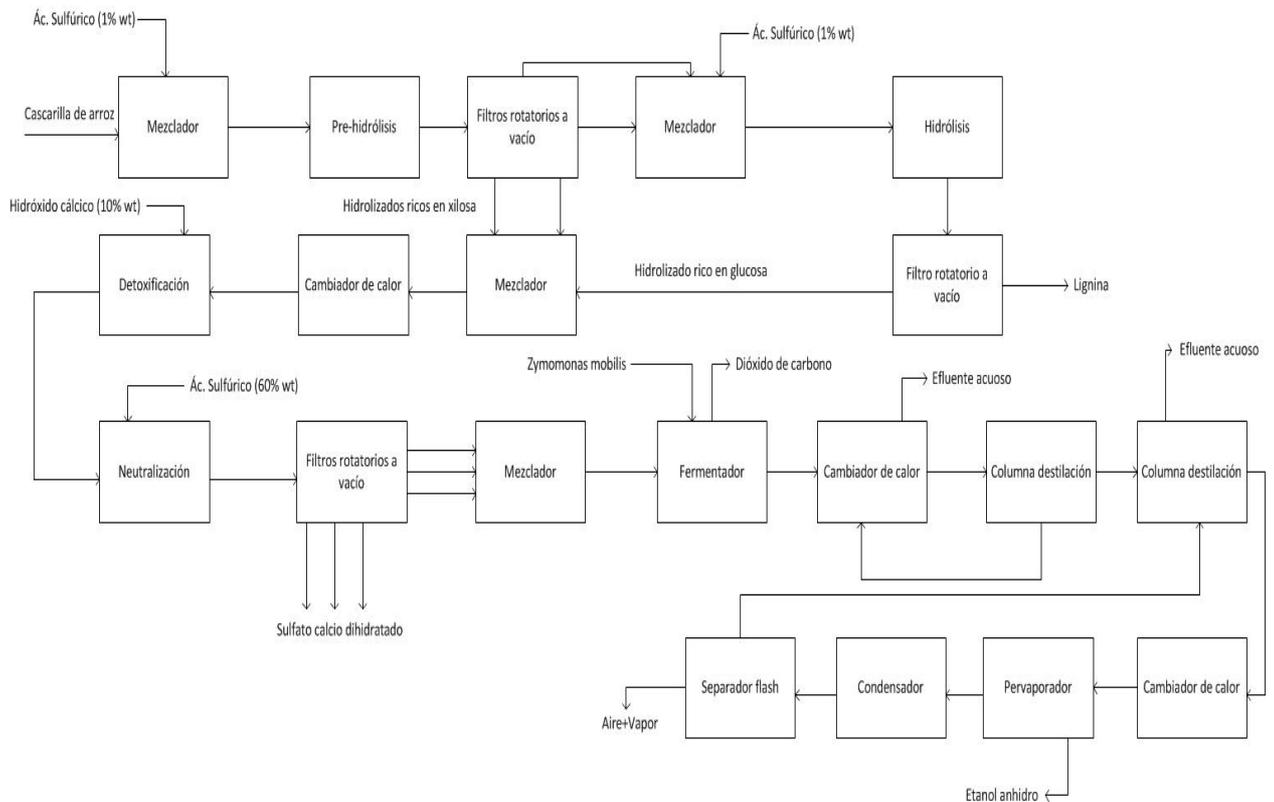


Figura 2: Diagrama de bloques del proceso de producción del bioetanol (Fuente: Elaboración propia).

4 . LISTADO DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS DEL PROCESO

A continuación, se recogen los principales equipos que van a utilizarse en este proyecto para la elaboración del bioetanol:

- 4 equipos de mezcla (M-1 a M-4)
- 4 intercambiadores de calor (I-1, I-2, I-7 y I-8)
- 6 filtros rotatorios a vacío (F-1 a F-6)
- 4 reactores tanque agitado (R-1 a R-4)
- 1 fermentador tanque agitado (B-1)
- 2 columnas de destilación (C-1 y C-2)
- 1 unidad de pervaporación (P-1)
- 1 separador flash (S-1)

A continuación, se muestra alguna de las dimensiones principales de cada uno los equipos nombrados anteriormente:

- Diámetro interior M-1: 1,37 m
- Diámetro interior M-2: 1,09 m
- Diámetro interior M-3: 0,79 m
- Diámetro interior M-4: 0,76 m
- Área intercambio de calor I-1: 267,11 m²
- Área intercambio de calor I-2: 484,53 m²
- Área intercambio de calor I-7: 15,56 m²
- Área intercambio de calor I-8: 18,89 m²
- Área de los filtros (F1 a F6): 100 m²
- Diámetro interior R-1: 1,40 m
- Diámetro interior R-2: 0,57 m
- Diámetro interior R-3: 5,78 m
- Diámetro interior R-4: 2,37 m
- Diámetro interior B-1: 13,50 m
- Diámetro interior C-1: 1,83 m
- Diámetro interior C-2: 2,44 m
- Área filtración P-1: 1000 m²
- Diámetro interior S-1: 0,457 m

ESTUDIO ECONÓMICO- FINANCIERO

ÍNDICE

1	. INVERSIÓN TOTAL DEL PROYECTO.....	2
1.1	Inversión de capital fijo.....	2
1.1.1	Costes de la planta.....	2
1.1.2	Costes externos.....	3
1.1.3	Costes de ingeniería.....	3
1.1.4	Gastos imprevistos.....	4
1.2	Inversión del capital circulante.....	4
2	. DETERMINACIÓN DE LA INVERSIÓN TOTAL.....	4
2.1	Determinación del capital fijo.....	5
2.1.1	El método factorial de la estimación del coste.....	5
2.1.2	Estimación de los costes de equipos.....	7
2.2	Determinación del capital circulante.....	13
2.3	Inversión total.....	13
3	. COSTES DE PRODUCCIÓN.....	13
3.1	Costes de fabricación.....	13
3.2	Costes de estructura.....	14
3.3	Costes totales de producción.....	14
4	. FORMA DE REALIZAR LA INVERSIÓN TOTAL.....	15
5	. COSTES FINANCIEROS.....	15
6	. INGRESOS.....	16
7	. CUENTA DE RESULTADOS.....	16
8	. PLAN DE TESORERÍA.....	18
9	. BALANCE.....	20
10	. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	23
11	. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	25
12	. VALOR ACTUAL NETO (VAN).....	27
13	. CONCLUSIONES.....	28

1 . INVERSIÓN TOTAL DEL PROYECTO

La inversión total de este proyecto, se divide en la suma de dos partidas, las cuales se conocen como capital fijo y capital circulante, respectivamente.

1.1 Inversión de capital fijo

La inversión de capital fijo es el coste total del diseño, construcción e instalación de una planta y las modificaciones asociadas necesarias para preparar el lugar de la planta. La inversión de capital fijo está formada por:

1. La inversión de los límites internos de la planta - el coste de la propia planta.
2. Las modificaciones y mejoras que deben realizarse en la infraestructura del lugar, conocidos como costes externos.
3. Costes de ingeniería y construcción.
4. Gastos imprevistos.

1.1.1 Costes de la planta

El coste de la planta, incluye el coste de adquisición e instalación de todos los equipos del proceso que constituyen la planta nueva.

Los costes de campo directos incluyen:

1. Todos los equipos principales del proceso, incluyendo la fabricación in situ y ensayos de campo si son necesarios.
2. Piezas a granel, tales como tuberías, válvulas, cables, instrumentos, estructuras, aislamientos, pintura, aceites, lubricantes, disolventes, catalizadores, etc.
3. Obras civiles tales como carreteras. Cimientos, pilotes, edificios, alcantarillas, acequias, muros de contención, etc.
4. El trabajo de instalación y supervisión.

Además de los costes de campo directos existen costes de campo indirectos que incluyen:

1. Los costes de construcción tales como el alquiler de los equipos de construcción, construcciones temporales, agua y energía temporal, construcción de talleres, etc.
2. Los gastos de campo y servicios tales como comedores de campo, costes de los especialistas, el pago de horas extras y los costes del clima adverso.
3. El seguro de la construcción.
4. Los beneficios y las cargas del trabajo.

5. Varios temas generales, tales como los honorarios del agente, costes legales, derechos de importación, costes de transportes especiales, tasas locales, honorarios o regalías, gastos corporativos, etc.

1.1.2 Costes externos

Los costes externos incluyen los costes de las adiciones que se deben hacer en la infraestructura del sitio para dar cabida a una planta nueva o aumentar la capacidad de una planta existente. Las inversiones externas pueden incluir:

- Subestaciones principales eléctricas, transformadores, interruptores y cables de electricidad.
- Plantas de generación de electricidad, motores de turbina, generadores de reserva.
- Calderas, tuberías de vapor, tuberías de condensado, plantas de tratamiento de aguas de alimentación de calderas, bombas de suministro.
- Talleres y servicios de mantenimiento.
- Servicios de contingencia, equipo contra incendios, bocas de incendios, servicios médicos, etc.

Este tipo de inversiones a menudo implican interacciones con compañías de servicios tales como proveedores de agua y electricidad.

1.1.3 Costes de ingeniería

Los costes de ingeniería, algunas veces referidos como costes de oficina en casa o gastos de contratista, incluyen los costes del diseño detallado y otros servicios de ingeniería requeridos para llevar a cabo el proyecto:

1. La ingeniería del diseño detallado del equipo del proceso, los sistemas de tuberías, los sistemas de control y externos, el diseño de la planta, el borrador, la ingeniería de costes, los modelos a escala y la ingeniería civil.
2. Adquisición de los equipos y lotes principales de la planta.
3. La supervisión de la construcción y los servicios.
4. Los gastos administrativos, incluyendo la supervisión de la ingeniería, la gestión de los proyectos, la expedición, la inspección, los viajes y los gastos de manutención y los gastos generales de la oficina.
5. Fianzas.
6. El beneficio del contratista.

Pocas empresas conservan un equipo de ingeniería suficientemente grande para llevar a cabo todas estas actividades internamente, excepto para proyectos muy pequeños. En la mayoría de los casos, se hace intervenir a una o más de las firmas contratistas de ingeniería principales.

1.1.4 Gastos imprevistos

Los gastos imprevistos son costes extras añadidos en el presupuesto del proyecto para tener en cuenta las variaciones de la estimación del coste. Todas las estimaciones del coste son inciertas y el coste de instalación final de muchos equipos no se conoce hasta que la instalación se ha completado de forma satisfactoria. A parte de los errores en la estimación del coste, los costes imprevistos también ayudan a cubrir:

- Cambios en el alcance del proyecto.
- Cambios en los precios.
- Fluctuaciones monetarias.
- Conflictos laborales.
- Problemas de subcontratistas y otros problemas inesperados.

1.2 Inversión del capital circulante

El capital circulante es el dinero adicional necesario, por encima de lo que cuesta construir la planta, para poner en marcha la planta y que funcione hasta que comience a obtener ingresos. El capital circulante incluye típicamente:

1. Valor del inventario de las materias primas – generalmente estimado como el coste de las materias primas suministradas para dos semanas.
2. Valor del inventario de producto y subproducto – estimado como el coste de producción de dos semanas.
3. Efectivo en caja – estimado como el coste de producción de una semana.
4. Cuentas a cobrar – productos suministrados pero aún no pagados – estimados como el coste de producción de un mes.
5. Créditos para cuentas pendientes – materias primas, disolventes, catalizadores, envases, etc. - estimados como el coste de suministro de un mes.
6. Inventario de piezas de repuesto – estimado como el 1% a 2% del coste de la propia planta más los costes externos.

2 . DETERMINACIÓN DE LA INVERSIÓN TOTAL

A continuación, se procede a calcular los costes de capital fijo y circulante.

2.1 Determinación del capital fijo

2.1.1 El método factorial de la estimación del coste

Para la determinación del capital fijo, se va a utilizar el método factorial de la estimación del coste. En este método, las estimaciones del coste de capital para plantas de procesos químicos frecuentemente se basan en una estimación del coste de compra de los elementos del equipo principales requeridos para el proceso, estimándose los otros costes como factores del coste del equipo. La precisión en este tipo de estimación dependerá de la etapa de diseño a la que se ha llegado al mismo tiempo que se realiza la estimación, y en la fiabilidad de los datos disponibles de los costes del equipo. Ya en las últimas etapas del diseño del proyecto, cuando están disponible las especificaciones detalladas del equipo y se han obtenido cuotas firmes de los proveedores, se puede realizar una estimación relativamente precisa del coste de capital del proyecto.

Factores de Lang:

Lang (1948) propuso que el coste de capital fijo referente al coste total de la propia planta venga dado como una función del coste del equipo total adquirido mediante la ecuación:

$$C = F(\Sigma C_e) \quad (1)$$

Donde:

C = Coste de capital total de la propia planta (incluyendo los costes de ingeniería)

ΣC_e = Coste total entregado de todos los elementos principales del equipo: reactores, tanques, columnas, intercambiadores de calor, hornos, etc.

F = Un factor de instalación, más tarde conocido como el factor de Lang

Originalmente Lang propuso los siguientes valores de F , basados en la economía de los años 1940:

$F = 3,1$ para plantas de procesamiento de sólidos

$F = 4,74$ para plantas de procesamientos de fluidos

$F = 3,63$ para plantas de procesamiento de sólidos – fluidos mezclados.

Hand (1958) sugirió que los mejores resultados se obtienen utilizando diferentes factores para diferentes tipos de equipos. En la siguiente Figura, se ofrecen ejemplos de los factores propuestos por Hand. Éste también observó que este enfoque sólo se usaría en las primeras etapas del diseño del proceso y en ausencia de información detallada del diseño.

Equipment Type	Installation Factor
Compressors	2.5
Distillation columns	4
Fired heaters	2
Heat exchangers	3.5
Instruments	4
Miscellaneous equipment	2.5
Pressure vessels	4
Pumps	4

Figura 1: Factores para diferentes equipos de proceso propuestos por Hand (Fuente: Diseño en Ingeniería Química, Ray Sinnott / Gavin Towler).

Estimaciones factoriales detalladas:

Se puede utilizar la ecuación 1 para realizar una estimación preliminar una vez que se ha dibujado el diagrama de flujo y se ha dimensionado el equipo principal de la planta. Cuanta más información detallada del diseño esté disponible entonces el factor de instalación se podrá estimar de forma más rigurosa, considerando los factores de coste que componen individualmente el factor de Lang.

Las partidas de coste directo que se incurren en la construcción de una planta, además del coste del equipo son:

1. Montaje del equipo, incluyendo los cimientos y el trabajo estructural menor.
2. Tuberías, incluyendo el aislamiento y la pintura.
3. Electricidad, energía y luz.
4. Instrumentos y sistemas de control automáticos del proceso.
5. Edificios y estructuras del proceso.
6. Edificios auxiliares, oficinas, edificios de laboratorios, talleres.
7. Almacenamiento de las materias primas y producto acabado.
8. Servicios, provisión de vapor, agua, aire y servicios de extinción de incendios, a la planta (si no se han presupuestado separadamente, como externos).
9. Preparación del lugar.

La contribución de cada uno de estos elementos en el coste de capital total se calcula multiplicando el coste total del equipo adquirido por un factor apropiado. Al igual que con el factor básico de Lang, estos factores son los mejores que se derivan de los datos de coste históricos para procesos similares. En diferentes referencias se ofrecen valores típicos de estos factores. Guthrie (1974) divide los costes en los de material y los de trabajo y ofrece factores separados para cada uno.

En la Figura 2, se ofrecen factores típicos para los componentes del coste de capital. Éstos se pueden utilizar para realizar estimaciones aproximadas del coste de capital usando datos de coste del equipo publicados en la literatura.

Los factores de instalación dados en las Figuras 1 y 2 son para plantas construidas con acero al carbono.

Item	Process Type		
	Fluids	Fluids-Solids	Solids
Major equipment, total purchase cost	C_e	C_e	C_e
f_{er} Equipment erection	0.3	0.5	0.6
f_p Piping	0.8	0.6	0.2
f_i Instrumentation and control	0.3	0.3	0.2
f_{el} Electrical	0.2	0.2	0.15
f_c Civil	0.3	0.3	0.2
f_s Structures and buildings	0.2	0.2	0.1
f_l Lagging and paint	0.1	0.1	0.05
ISBL cost, $C = \Sigma C_e \times$	3.3	3.2	2.5
Offsites (OS)	0.3	0.4	0.4
Design and Engineering (D&E)	0.3	0.25	0.2
Contingency (X)	0.1	0.1	0.1
Total fixed capital cost $C_{FC} = C (1 + OS)(1 + D\&E + X)$			
$= C \times$	1.82	1.89	1.82
$= \Sigma C_e \times$	6.00	6.05	4.55

Figura 2: Factores típicos para la estimación del coste capital fijo de un proyecto (Fuente: Diseño en Ingeniería Química, Ray Sinnott / Gavin Towler).

2.1.2 Estimación de los costes de equipos

En la estimación de los costes de los equipos, se han utilizado dos fuentes, una ha sido el programa de estimación de quipos denominado Matche, y otra la Tabla 6.6 del libro Diseño en Ingeniería Química (Tabla 7.2 en la versión inglesa).

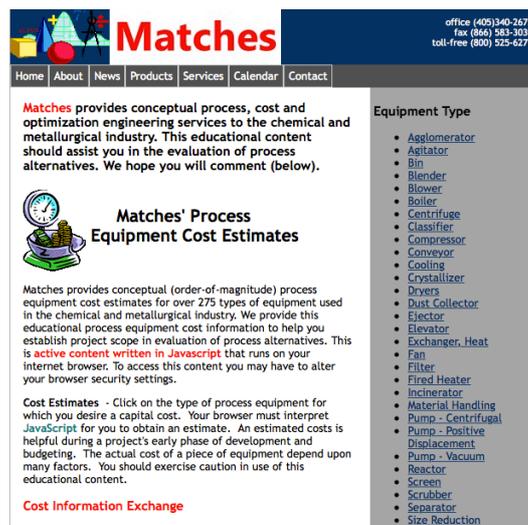


Figura 3: Programa Matche para estimación de costes de equipos (Fuente: Matche.com).

Mediante el programa Matche se han determinado los costes para los 4 mezcladores y el fermentador. El coste del resto de equipos, se ha determinado por medio de la Tabla 6.6 anteriormente citada. A continuación se detalla el procedimiento de cálculo que se ha seguido:

$$C_e = a + bS^n \quad (2)$$

Donde:

C_e = Coste del equipo adquirido en dólares

a, b = Constantes del coste en la Figura 4

S = Parámetro del tamaño, unidades en Figura 4

n = Exponente para cada tipo de equipo.

Aunque el material referido en la Figura 4, sea para equipos hechos con acero al carbono, como los quipos de este proyecto van a estar construidos con acero inoxidable 317 L y acero inoxidable 304, se va a considerar que no va a influir apenas este hecho.

Con la ecuación 2, se han cogido los parámetros de los distintos equipos por medio de la Figura 4 (Tabla 6.6 en el libro Diseño en Ingeniería Química), y mediante los parámetros de diseño principales de cada equipo, los cuales son conocidos, se ha determinado el coste de compra de cada equipo.

Una vez hecho esto, se han tenido en cuenta los factores de Lang, para así poder calcular de manera definitiva el capital total fijo.

Table 7.2 Purchased Equipment Cost for Common Plant Equipment—Cont'd							
Equipment	Units for Size, S	S_{lower}	S_{upper}	a	b	n	Note
<i>Dryers</i>							
Direct contact Rotary	m ²	11	180	15,000	10,500	0.9	1
Atmospheric tray batch	area, m ²	3.0	20	10,000	7,900	0.5	
Spray dryer	evap rate kg/h	400	4,000	410,000	2,200	0.7	
<i>Evaporators</i>							
Vertical tube	area, m ²	11	640	330	36,000	0.55	
Agitated falling film	area, m ²	0.5	12	88,000	65,500	0.75	2
<i>Exchangers</i>							
U-tube shell and tube	area, m ²	10	1,000	28,000	54	1.2	
Floating head shell and tube	area, m ²	10	1,000	32,000	70	1.2	
Double pipe	area, m ²	1.0	80	1,900	2,500	1.0	
Thermosiphon reboiler	area, m ²	10	500	30,400	122	1.1	
U-tube Kettle reboiler	area, m ²	10	500	29,000	400	0.9	
Plate and frame	area, m ²	1.0	500	1,600	210	0.95	2
<i>Filters</i>							
Plate and frame	capacity, m ³	0.4	1.4	128,000	89,000	0.5	
Vacuum drum	area, m ²	10	180	-73,000	93,000	0.3	
<i>Furnaces</i>							
Cylindrical	duty, MW	0.2	60	80,000	109,000	0.8	
Box	duty, MW	30	120	43,000	111,000	0.8	
<i>Packings</i>							
304 ss Raschig rings	m ³			0	8,000	1.0	
Ceramic intalox saddles	m ³			0	2,000	1.0	
304 ss Pall rings	m ³			0	8,500	1.0	
PVC structured packing	m ³			0	5,500	1.0	
304 ss structured packing	m ³			0	7,600	1.0	3
<i>Pressure vessels</i>							
Vertical, cs	shell mass, kg	160	250,000	11,600	34	0.85	4
Horizontal, cs	shell mass, kg	160	50,000	10,200	31	0.85	4
Table 7.2 Purchased Equipment Cost for Common Plant Equipment—Cont'd							
Equipment	Units for Size, S	S_{lower}	S_{upper}	a	b	n	Note
Vertical, 304 ss	shell mass, kg	120	250,000	17,400	79	0.85	4
Horizontal, 304 ss	shell mass, kg	120	50,000	12,800	73	0.85	4
<i>Pumps and drivers</i>							
Single stage centrifugal	flow, liters/s	0.2	126	8,000	240	0.9	
Explosion proof motor	power, kW	1.0	2,500	-1,100	2,100	0.6	
Condensing steam turbine	power, kW	100	20,000	-14,000	1,900	0.75	
<i>Reactors</i>							
Jacketed, agitated	volume, m ³	0.5	100	61,500	32,500	0.8	2
Jacketed, agitated, glass lined	volume, m ³	0.5	25	12,800	88,200	0.4	
<i>Tanks</i>							
floating roof	capacity, m ³	100	10,000	113,000	3,250	0.65	
cone roof	capacity, m ³	10	4,000	5,800	1,600	0.7	
<i>Trays</i>							
Sieve trays	diameter, m	0.5	5.0	130	440	1.8	5
Valve trays	diameter, m	0.5	5.0	210	400	1.9	
Bubble cap trays	diameter, m	0.5	5.0	340	640	1.9	
<i>Utilities</i>							
Cooling tower & pumps	flow, liters/s	100	10,000	170,000	1,500	0.9	6
Packaged mechanical refrigerator							
evaporator	duty, kW	50	1,500	24,000	3,500	0.9	
Water ion exchange plant	flow m ³ /h	1	50	14,000	6,200	0.75	
<i>Notes:</i>							
1. Direct heated.							
2. Type 304 stainless steel.							
3. With surface area 350 m ² /m ³ .							
4. Not including heads, ports, brackets, internals, etc. (see Chapter 14 for how to calculate wall thickness).							
5. Cost per tray, based on a stack of 30 trays.							
6. Field assembly.							
7. All costs are U.S. Gulf Coast basis, Jan. 2010 (CEPCI index = 532.9, NF refinery inflation index = 2281.6).							

Figura 4: Costes del quipo adquirido para el equipo de una planta común (Fuente: Diseño en Ingeniería Química, Ray Sinnott / Gavin Towler).

- Coste columna de destilación C-1:

Primero se tiene que determinar la masa de la carcasa, calculando el volumen que ocupa dicha columna, y después con la densidad del material del que está hecha dicha columna, se calcula dicha masa de la carcasa. Una vez llevado a cabo esto, se calcula el coste por plato y se determina así finalmente el coste total de la columna.

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H = \frac{\pi}{4} 1,83^2 6 = 15,77 \text{ m}^3$$

El material de construcción de esta columna es acero inoxidable 304, el cual tiene una densidad de 8000 kg/m^3 . Con esto se determina una masa de la carcasa de 126.186 kg.

Aplicando la ecuación 2 con los datos para recipientes a presión (aunque la columna trabaje a presión atmosférica, se van a emplear los parámetros correspondientes a dichos recipientes) que se adjuntan en la Figura 4, se obtiene:

$$C_e = 15000 + 68(126186)^{0,85} = 1.488.562 \text{ \$}$$

El coste por plato:

$$\text{Coste por plato} = 180 + 340(1,83)^{0,85} = 1251,85 \text{ \$}$$

El coste para 10 platos será de 12518,5 \$. Por tanto el coste total para la columna de destilación C-1 es de 1.501.080 \$.

- Coste columna de destilación C-2:

Se sigue el mismo procedimiento que el desarrollado con la columna de destilación C-1. Las dimensiones de esta columna son ahora 2,44 metros de diámetro y 9,6 metros de altura.

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H = \frac{\pi}{4} 2,44^2 9,6 = 44,88 \text{ m}^3$$

El material de construcción de esta columna es acero inoxidable 304, el cual tiene una densidad de 8000 kg/m^3 . Con esto se determina una masa de la carcasa de 358.930 kg.

Aunque la masa calculada exceda el límite superior indicado en la Figura 4, se sigue aplicando la ecuación 2 con los parámetros de dicha Figura. Por tanto:

$$C_e = 15000 + 68(358930)^{0,85} = 3.598.168 \text{ \$}$$

El coste por plato:

$$\text{Coste por plato} = 180 + 340(2,44)^{0,85} = 2031,50 \text{ \$}$$

El coste para 16 platos será de 32503 \$. Por tanto el coste total para la columna de destilación C-2 es de 3.630.671 \$.

- Intercambiadores de calor (I-1, I-2, I-7 y I-8):

Los parámetros que se van a tomar en el uso de la ecuación 2, para así calcular el coste de los intercambiadores de calor, corresponden a los del intercambiador de calor de carcasa y tubos, tubos en U.

Como el área de intercambio de calor de cada cambiador de calor es conocido, se aplica directamente la ecuación 2, como se ilustra a continuación, obteniendo los siguientes costes:

$$C_e = 24000 + 46(267,11)^{1,2} = 61.565 \$$$

- I-1: 61.565 \$

- I-2: 100.761 \$

- I-7: 25.239 \$

- I-8: 25.564 \$

- Filtros (F-1 a F-6):

Al tener todos los filtros el mismo área, el cual equivale a 100 m², determinando el coste de uno se obtiene el resto multiplicando el coste obtenido por 6.

Los parámetros van a cogerse del filtro tambor a vacío:

$$C_e = -63000 + 80000(100)^{0,3} = 255.485 \$$$

El coste de los 6 filtros será de 1.419.364,81 \$.

- Reactores (R-1 a R-4):

En cuanto a los reactores, se van a considerar los reactores agitados y encamisados de la Figura 4, y al igual que ocurría con la columna C-2, aunque se supera el límite superior con uno de los reactores, se va a seguir determinando igualmente el coste mediante este método.

Coste del reactor R-1:

$$C_e = 53000 + 28000(2,60)^{0,8} = 113.136 \$$$

Siguiendo la misma metodología para el resto de reactores se estiman los siguientes costes:

- R-2: 59.270 \$

- R-3: 1.146.100 \$

- R-4: 263.790 \$

- Separador flash S-1:

Se determina la masa de la carcasa:

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H = \frac{\pi}{4} 0,45^2 1,97 = 0,32 \text{ m}^3$$

El material de construcción de este equipo corresponde al acero inoxidable 304, el cual tiene una densidad de 8000 kg/m^3 , por tanto la masa de la carcasa es de 2586 kg.

$$C_e = 15000 + 68(2586)^{0,85} = 69105,72 \$$$

- Tanques de almacenamiento (TK1 a TK5):

Ahora se considera que los tanques van a ser de techo cónico en la Figura 4, por tanto siguiendo el mismo procedimiento se determina lo siguiente:

- TK1 (4 tanques): 814.883 \$
- TK2 (2 tanques): 385.139 \$
- TK3 (1 tanque): 45.881,16 \$
- TK4 (1 tanque): 44.720,15 \$
- TK5 (4 tanques): 162.629 \$

El coste del pervaporador se ha estimado en 1.500.000 \$.

En la Tabla 1, se recoge el coste de los distintos equipos tanto en dólares americanos como en euros.

Tabla 1: Resumen de los costes de los distintos equipos de la planta de producción de bioetanol.

Coste Total M1	\$388.600,00	€ 359.814,81
Coste Total M2	\$270.600,00	€ 250.555,56
Coste Total M3	\$529.900,00	€ 490.648,15
Coste Total M4	\$172.900,00	€ 160.092,59
Coste R1	\$113.136,00	€ 104.755,56
Coste R2	\$59.720,00	€ 55.296,30
Coste R3	\$1.146.100,00	€ 1.061.203,70
Coste R4	\$263.790,00	€ 244.250,00
Coste Filtros	\$1.532.914,00	€ 1.419.364,81
Fermentador	\$3.294.200,00	€ 3.050.185,19
Coste I1	\$61.565,00	€ 57.004,63
Coste I2	\$100.761,00	€ 93.297,22
Coste I7	\$25.239,00	€ 23.369,44
Coste I8	\$25.564,00	€ 23.670,37
Coste C2	\$3.630.671,00	3.361.732,41 €
Coste C1	\$1.501.080,00	€ 1.389.888,89
Coste pervaporador	\$1.500.000,00	€ 1.388.888,89
Coste separador flash	\$69.105,72	€ 63.986,78
Coste TK1 total	\$814.883,00	€ 754.521,30

Coste TK2 total	\$385.139,00	€ 356.610,19
Coste TK3 total	\$45.881,16	€ 42.482,56
Coste TK4 total	\$44.720,15	€ 41.407,55
Coste TK5 total	\$162.629,00	€ 150.582,41
Total		€ 14.943.609,29

Para determinar ahora el coste total del capital fijo, se multiplica la suma total de los costes de los equipos por un factor de 3,63 (el cual equivale al factor de Lang para plantas con procesamiento de fluidos y sólidos), ya que en este proyecto se manejan tanto sólidos como fluidos. Haciendo esto se obtiene un resultado de 54.554.064,50 euros.

Así, el coste total del capital fijo es de **54.245.301,71 euros**.

2.2 Determinación del capital circulante

Esta cantidad puede estimarse como un 10% del capital total fijo (Diseño en Ingeniería Química, Ray Sinnott/ Gavin Towler). De esta manera, el capital circulante correspondiente a este proyecto será de **5.424.530,17 euros**.

2.3 Inversión total

La inversión total será la suma del capital circulante y fijo, la cual da un valor total de inversión de **59.669.831,88 euros**.

3 . COSTES DE PRODUCCIÓN

Los costes de producción, se dividen en costes de fabricación y costes de estructura. Los cuales se detallan a continuación.

3.1 Costes de fabricación

Como costes de fabricación, se van a incluir los siguientes: mano de obra y personal, servicios auxiliares, eliminación de residuos y materias primas.

- Costes de la mano de obra y personal:

Se estima que van a trabajar en la planta industrial 20 personas, donde cada una se va a suponer que va a cobrar 55.555,56 euros (Fuente: Diseño en Ingeniería Química, Ray Sinnott / Gavin Towler).

El coste de mano de obra ascenderá por tanto a 1.111.111,11 euros/año.

- Coste eliminación de residuos:

Los residuos considerados en este proceso serán los efluentes acuosos procedentes de las colas de las columnas de destilación del proceso. El precio de eliminación de residuos asciende a 1,5 dólares/tonelada. La cantidad total a eliminar es de 797.960 t/año, por tanto el coste de eliminación de residuos es de 1.151.445 dólares que son 1.066.152,78 euros/año.

- Coste de las materias primas:

En la Tabla 2 se muestran las distintas materias primas, así como sus precios.

Tabla 2: Precios de las materias primas (Fuente: Cambra Arrosera del Montsia y quifransa.com).

Materias primas	Precio, euros/t	Cantidad, t	Coste, euros
Cascarilla de arroz	70	178.461	12.492.270
Ac. Sulfúrico 1% wt	20	664.026	13.280.520
Ac. Sulfúrico 60% wt	200	52.769	10.553.800
Ca(OH)2 10% wt	100	40.785	4.078.500
Total			40.405.090

- Coste de los servicios auxiliares (agua, energía y combustibles):

Se estima como un 5% de los gastos de fabricación (Fuente: Diseño en Ingeniería Química, Ray Sinnot / Gavin Towler), por tanto será el 5% de 42.582.353,89 euros, lo que equivale a 2.129.117,69 euros/año.

3.2 Costes de estructura

Los gastos de estructura van a estar compuestos de: costes de laboratorio, costes de administración y costes de suministros.

- Coste del laboratorio:

Se estiman como el 2% del capital fijo, por lo que los costes serán de 155.555,56 euros/año.

- Costes de administración:

Son el 1% de los costes de fabricación, es decir, son 447.114,72 euros/año.

- Coste de los suministros:

Son el 2% del capital fijo, por tanto son 1.084.906,03 euros/año.

3.3 Costes totales de producción

Éstos serán la suma de los gastos de fabricación y estructura, los cuales son respectivamente 44.711.471,58 euros y 1.687.576,31 euros. En definitiva los costes totales de producción serán de **46.399.047,89 euros**.

4 . FORMA DE REALIZAR LA INVERSIÓN TOTAL

Ya se ha comentado anteriormente, que la estimación de la inversión total a realizar en este proyecto va a ser de **59.669.983,88 euros**. La forma de llevar a cabo el pago de tal inversión va a ser la siguiente: debido a que los biocombustibles de segunda generación (como ya se comentó en el estudio de mercado) están bastante premiados por la Unión Europea, así como por el propio gobierno de España e incluso por la Comunidad Autónoma de Cataluña, se ha considerado que todos estos organismos, financiarán un cuarto del coste de la inversión total, es decir, desembolsarán una cantidad igual a 14.917.457,97 euros.

Por otro lado, se considera una aportación propia del empresario correspondiente a la mitad de la inversión que queda por pagar restándole a ésta la subvención, por lo que la aportación propia será de 22.376.186,96 euros.

Finalmente, la cantidad restante va a pagarse mediante un préstamo de 22.376.186,96 euros, cuyos intereses y comisiones se detallan en el siguiente apartado.

5 . COSTES FINANCIEROS

Se va a pedir un préstamo de 22.376.186,96 euros con un tipo de interés al 5% anual fijo a financiar en 10 años, el cual va a tener una comisión del 1,5% por cierre y apertura, y que aparte contará con dos años de carencia, en los cuales únicamente se pagarán intereses. El plan financiero se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3: Plan financiero del préstamo solicitado.

Mercado financiero					
Año	Cuota, €	Resta por pagar, €	Comisión, €	Interés	Total a pagar, €
1	0,00	22.376.186,96	335.642,80	1.118.809,35	1.454.452,15
2	0,00	22.376.186,96	0,00	1.118.809,35	1.118.809,35
3	2.797.023,37	19.579.163,59	0,00	1.118.809,35	3.915.832,72
4	2.797.023,37	16.782.140,22	0,00	978.958,18	3.775.981,55
5	2.797.023,37	13.985.116,85	0,00	839.107,01	3.636.130,38
6	2.797.023,37	11.188.093,48	0,00	699.255,84	3.496.279,21
7	2.797.023,37	8.391.070,11	0,00	559.404,67	3.356.428,04
8	2.797.023,37	5.594.046,74	0,00	419.553,51	3.216.576,88
9	2.797.023,37	2.797.023,37	0,00	279.702,34	3.076.725,71
10	2.797.023,37	0,00	335.642,80	139.851,17	3.272.517,34

En la Tabla 4, se recogen los distintos gastos derivados de la solicitud del préstamo.

Tabla 4: Gastos derivados del préstamo.

Total pagado financiación préstamo (€)	30.319.733,33
Total interés (€)	7.272.260,76
Total gastos financieros (€)	7.943.546,37

Como puede observarse en la Tabla 4, los gastos financieros ascenderán a 7.943.546,37 euros, para el crédito solicitado correspondiente a 22.376.186,96 euros. En esos gastos financieros entran tanto los gastos derivados del interés al 5% anual fijo, como la comisión de apertura y cierre del préstamo.

6 . INGRESOS

Los ingresos que se van a obtener, van a ser debidos a la venta del producto principal (bioetanol) y subproductos (lignina, sulfato de calcio dihidratado y dióxido de carbono) (Tabla 5).

Tabla 5: Ingresos de los productos y subproductos.

Productos	Precio, euros/t	Cantidad, t	Ingresos, euros
Bioetanol	675	23.200	15.660.000
Lignina	300	26.769	8.030.700
CO2	400	22.540	9.016.000
Sulfato calcio dihidratado	340	67.223	22.855.704,4
Total			55.562.404,4

7 . CUENTA DE RESULTADOS

La cuenta de resultados, se ha realizado en un periodo de 10 años, tomando el año 1 como el primer año de producción de beneficios (Figura 5).

La cuenta de resultados permite calcular y explicar los beneficios o pérdidas de una empresa, a partir de sus ingresos menos sus gastos. Además da la posibilidad de conocer como se han generado los beneficios o pérdidas, analizando la importancia de cada partida de gasto sobre los ingresos. Resultado que puede suponer como se ha comentado, o bien un beneficio o una pérdida para la empresa, en este caso será de beneficio como se puede observar en la Figura 5.

Año	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00
Ventas	55.562.404,40 €	57.229.276,53 €	58.946.154,83 €	60.714.539,47 €	62.535.975,66 €	64.412.054,93 €	66.344.416,57 €	68.334.749,07 €	70.384.791,54 €	72.496.335,29 €
Costos de ventas										
Costes de mano de obra y personal	1.111.111,11 €	1.144.444,44 €	1.178.777,78 €	1.214.141,11 €	1.250.565,34 €	1.288.082,30 €	1.326.724,77 €	1.366.526,52 €	1.407.522,31 €	1.449.747,98 €
Costes de los servicios	2.129.117,69 €	2.192.991,22 €	2.258.780,96 €	2.326.544,39 €	2.396.340,72 €	2.468.230,94 €	2.542.277,87 €	2.618.546,20 €	2.697.102,59 €	2.778.015,67 €
Coste materias primas	40.405.090,00 €	41.617.242,70 €	42.865.759,98 €	44.151.732,78 €	45.476.284,76 €	46.840.573,31 €	48.245.790,51 €	49.693.164,22 €	51.183.959,15 €	52.719.477,92 €
Coste de eliminación de residuos	1.066.152,78 €	1.098.137,36 €	1.131.081,48 €	1.165.013,93 €	1.199.964,35 €	1.235.963,28 €	1.273.042,18 €	1.311.233,44 €	1.350.570,44 €	1.391.087,56 €
Coste laboratorio	155.555,56 €	160.222,22 €	165.028,89 €	169.979,76 €	175.079,15 €	180.331,52 €	185.741,47 €	191.313,71 €	197.053,12 €	202.964,72 €
Coste suministros	1.084.906,03 €	1.084.906,03 €	1.084.906,03 €	1.084.906,03 €	1.084.906,03 €	1.084.906,03 €	1.084.906,03 €	1.084.906,03 €	1.084.906,03 €	1.084.906,03 €
Costes de administración	468.405,89 €	468.405,89 €	468.405,89 €	468.405,89 €	468.405,89 €	468.405,89 €	468.405,89 €	468.405,89 €	468.405,89 €	468.405,89 €
Amortizaciones	1.195.488,74 €	1.195.488,74 €	1.195.488,74 €	1.195.488,74 €	1.195.488,74 €	1.195.488,74 €	1.195.488,74 €	1.195.488,74 €	1.195.488,74 €	1.195.488,74 €
RESULTADO OPERATIVO	7.946.576,60 €	8.267.437,92 €	8.597.925,08 €	8.938.326,85 €	9.288.940,68 €	9.650.072,92 €	10.022.039,13 €	10.405.164,32 €	10.799.783,27 €	11.206.240,79 €
gastos financieros	1.454.452,15 €	1.118.809,35 €	1.118.809,35 €	978.958,18 €	839.107,01 €	699.255,84 €	559.404,67 €	419.533,51 €	279.702,34 €	475.493,97 €
RESULTADO ANTES IMPUESTO	6.492.124,45 €	7.148.628,57 €	7.479.115,73 €	7.959.368,67 €	8.449.833,67 €	8.950.817,08 €	9.462.634,45 €	9.985.610,81 €	10.520.080,93 €	10.730.746,81 €
impuesto (30%)	1.947.637,34 €	2.144.588,57 €	2.243.734,72 €	2.387.810,60 €	2.534.950,10 €	2.685.245,12 €	2.838.790,34 €	2.995.683,24 €	3.156.024,28 €	3.219.224,04 €
BENEFICIO	4.544.487,12 €	5.004.040,00 €	5.235.381,01 €	5.571.558,07 €	5.914.883,57 €	6.265.571,95 €	6.623.844,12 €	6.989.927,57 €	7.364.056,65 €	7.511.522,77 €

Figura 5: Cuenta de resultados a 10 años .

En la elaboración de la cuenta de resultados, se ha supuesto que desde el primer año ya se produce el 100% de la capacidad de la planta, por lo que en las ventas del año 1, se tiene en cuenta la totalidad de las mismas. También se ha supuesto un coeficiente de actualización del 3%, el cual se ha aplicado tanto a las ventas como a casi todas las partidas de los costos de ventas, exceptuando los costes de suministros y administración, los cuales se han considerado fijos todos los años.

Dicho coeficiente de actualización se ha aplicado a partir del segundo año, ya que el primer año es cuando la fábrica empieza a producir beneficios. En lo referido a las amortizaciones, se ha supuesto el 8% sobre el coste total de la maquinaria recién comprada (14.943.609,29 euros), tales amortizaciones suponen un gasto más, ya que los equipos se desgastan con el paso del tiempo, por lo que se consideran pérdidas a las amortizaciones.

El resultado operativo, se refiere a la diferencia existente entre las ventas y los costes totales de producción (costos de ventas). Si a ese resultado le restamos los gastos financieros, referidos a las comisiones e intereses del préstamo, se obtiene lo que se conoce como resultado antes de impuestos. Finalmente, se aplica un impuesto (del 30%) a tal resultado, obteniendo así el beneficio disponible para cada año, el cual como se observa en la Figura 5 asciende cada año.

8 . PLAN DE TESORERÍA

Se realiza un Plan de Tesorería desde el año 0 (acondicionamiento de la planta) hasta el año 10. En cada año se tienen en cuenta las correspondientes entradas y salidas de dinero. Además se calcula la diferencia entre las entradas y las salidas para cada año. Por último, como resultado de dicha diferencia, se detalla la caja que se va acumulando al final de cada año (Figura 6).

$$\text{CAJA} = (\text{TOTAL ENTRADAS AÑO}) - (\text{TOTAL SALIDAS AÑO})$$

$$\text{CAJA ACUMULADA} = (\text{CAJA AÑO ACTUAL}) + (\text{SUMA CAJAS AÑOS ANTERIORES})$$

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ENTRADAS DE DINERO											
Aportación del empresario	22.376.186,96 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Créditos solicitados	22.376.186,96 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Ventas	- €	55.562.400,40 €	57.229.276,53 €	58.946.154,83 €	60.714.539,47 €	62.535.975,66 €	64.412.054,93 €	66.344.416,57 €	68.334.749,07 €	70.384.791,54 €	72.496.335,29 €
Subvenciones públicas	14.917.457,97 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Interés de la cuenta bancaria	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
TOTAL entradas	59.669.831,89 €	55.562.400,40 €	57.229.276,53 €	58.946.154,83 €	60.714.539,47 €	62.535.975,66 €	64.412.054,93 €	66.344.416,57 €	68.334.749,07 €	70.384.791,54 €	72.496.335,29 €
SALIDAS DE DINERO											
Capital fijo	54.245.301,71 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Capital circulante	5.424.530,17 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Coste de energía, agua y combustible	- €	2.129.117,69 €	2.192.291,22 €	2.258.780,96 €	2.326.544,39 €	2.396.340,72 €	2.468.230,94 €	2.542.277,87 €	2.618.546,20 €	2.697.102,59 €	2.778.015,67 €
Coste de mano de obra y personal	- €	1.111.111,11 €	1.144.444,44 €	1.178.777,78 €	1.214.141,11 €	1.250.565,34 €	1.288.082,30 €	1.326.724,77 €	1.366.526,52 €	1.407.522,31 €	1.449.747,98 €
Coste materias primas	- €	40.405.090,00 €	41.617.242,70 €	42.865.759,98 €	44.151.732,78 €	45.476.284,76 €	46.840.573,31 €	48.245.790,51 €	49.693.164,22 €	51.183.959,15 €	52.719.477,92 €
Coste eliminación de residuos	- €	1.066.152,78 €	1.098.137,36 €	1.131.081,48 €	1.165.013,93 €	1.199.964,35 €	1.235.963,28 €	1.273.042,18 €	1.311.233,44 €	1.350.570,44 €	1.391.087,56 €
Coste laboratorio	- €	155.555,56 €	160.222,22 €	165.028,89 €	169.979,76 €	175.079,15 €	180.331,52 €	185.741,47 €	191.313,71 €	197.053,12 €	202.964,72 €
Suministros	- €	1.084.906,03 €	1.084.906,03 €	1.084.906,03 €	1.084.906,03 €	1.084.906,03 €	1.084.906,03 €	1.084.906,03 €	1.084.906,03 €	1.084.906,03 €	1.084.906,03 €
Costes de administración	- €	468.405,89 €	468.405,89 €	468.405,89 €	468.405,89 €	468.405,89 €	468.405,89 €	468.405,89 €	468.405,89 €	468.405,89 €	468.405,89 €
Devolución del préstamo	- €	- €	- €	2.797.023,37 €	2.797.023,37 €	2.797.023,37 €	2.797.023,37 €	2.797.023,37 €	2.797.023,37 €	2.797.023,37 €	2.797.023,37 €
Intereses	- €	1.454.452,15 €	1.118.809,35 €	1.118.809,35 €	978.958,18 €	839.107,01 €	699.255,84 €	559.404,67 €	419.553,51 €	279.702,34 €	475.493,97 €
Impuesto sobre beneficios	- €	1.645.135,37 €	1.628.954,26 €	1.718.753,09 €	1.853.201,25 €	1.990.424,18 €	2.130.505,15 €	2.273.529,88 €	2.419.586,69 €	2.568.766,55 €	2.620.470,30 €
TOTAL Salidas	59.669.831,88 €	49.519.926,58 €	50.514.113,48 €	54.787.326,82 €	56.209.906,68 €	57.678.100,80 €	59.193.277,63 €	60.756.846,63 €	62.370.259,58 €	64.035.011,79 €	65.987.593,41 €
Entradas menos salidas año	0,01 €	6.042.477,82 €	6.715.163,05 €	4.158.828,01 €	4.504.632,79 €	4.857.874,86 €	5.218.777,30 €	5.587.569,94 €	5.964.489,49 €	6.349.779,75 €	6.508.741,88 €
Acumulado	0,01 €	6.042.477,83 €	12.757.640,89 €	16.916.468,90 €	21.421.101,69 €	26.278.976,55 €	31.497.753,84 €	37.085.323,78 €	43.049.813,28 €	49.399.593,03 €	55.908.334,91 €

Figura 6: Plan de tesorería desde el acondicionamiento de la planta hasta el año 10.

En el año cero, las únicas entradas, van a ser las correspondientes a la aportación del empresario, del préstamo y de las subvenciones públicas. Se considera que la subvención se paga en el periodo de acondicionamiento de la planta (año 0).

En cuanto a las salidas, éstas serán equivalentes al desembolso de la inversión total, cantidad que coincide con el total de las entradas para el año 0. Aunque en la Figura 6, se aprecie en la diferencia de entradas menos salidas para el año 0 una cantidad de 0,01 euros, realmente dicha cantidad tiene un valor de 0 euros. Esto se debe a que el programa Excel redondea las distintas cantidades, y de ahí que salga el valor de 0,01 euros. Por tanto realmente la caja acumulada en el año 0 es cero.

En lo correspondiente a entradas del año 1 y posteriores, éstas van a ser debidas únicamente a los beneficios de las ventas realizadas. Aquí al igual que en la cuenta de resultados, se considera un coeficiente de actualización de precios del 3% anual, el cual se aplica a partir del segundo año.

En las salidas del año 1, se tienen en cuenta los costes totales de producción (costes de fabricación y estructura), a los cuales se aplica también un coeficiente de actualización del 3%, exceptuando los costes de administración y suministros, los cuales como ya se explicó se consideran costes constantes a lo largo de los años. Como el préstamo solicitado tiene dos años de carencia, en las salidas de los años 1 y 2 no se tienen en cuenta las cantidades a devolver del préstamo. Éstas se tienen en cuenta a partir del año 3.

Por último los intereses se tienen en cuenta desde el año 1, considerando tanto en el año 1 como en el año 10, una comisión correspondiente al 1,5%, siendo el interés aplicado al resto de años un 5%. Y en lo referido a las salidas debidas a impuestos, se ha aplicado un impuesto del 30% sobre los beneficios antes de impuestos obtenidos en la cuenta de resultados. Así al cabo de 10 años, la caja acumulada por la fábrica será de **55.908.334,91 euros**.

9 . BALANCE

Lo que se pretende ver en el balance es la situación patrimonial de la empresa cada año. Se ha estructurado el balance en dos conceptos patrimoniales, activo y pasivo.

Activo: Incluye todas las cuentas que reflejan los valores de los que dispone la empresa, sin que implique que sean de su propiedad. El activo de la empresa está formado por:

- Activo fijo: Formado por el inmovilizado material, inversiones inmobiliarias y materiales. (capital fijo). Éste inmovilizado material y materiales tienen unas amortizaciones anuales, las cuales irán restando el valor de estos bienes.

- Activo circulante: Está formado por la caja de la empresa tras evaluar las entradas menos las salidas. La caja no se pierde al final de cada ejercicio, si no que se va acumulando año a año. También se tiene en cuenta en el activo circulante, la cantidad correspondiente al capital circulante.

Pasivo: En él se incorporan todas las cuentas que muestran como está financiado el activo, es decir con medios propios o con deudas.

- Pasivo fijo: Está compuesto por los fondos propios, que es el capital aportado por el promotor al comienzo de la ejecución y el préstamo el cual se ira reduciendo porque se irá pagando cada año. Hay que tener en cuenta que hay dos años de carencia en los cuales no se devuelve el préstamo. El pasivo fijo también estará formado por las subvenciones públicas recibidas.

- Pasivo circulante: Formado por el beneficio, como se observa en la Figura 7, el beneficio es 0 en el año 0 porque aún no se ha empezado la actividad industrial. En el pasivo circulante, también se incluyen los pagos a proveedores, ya que son cuentas que hay que pagar.

Para finalizar, debe coincidir al final de cada ejercicio, que el activo sea igual al pasivo. Como se puede comprobar en la Figura 7, este hecho se cumple.

Balance General											
AÑO		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Activo											
Activo fijo											
Capital fijo	54.245.301,71 €	54.245.301,71 €	54.245.301,71 €	54.245.301,71 €	54.245.301,71 €	54.245.301,71 €	54.245.301,71 €	54.245.301,71 €	54.245.301,71 €	54.245.301,71 €	54.245.301,71 €
Amortizaciones acumuladas	- €	- 1.195.488,74 €	- 2.390.977,48 €	- 3.586.466,22 €	- 4.781.954,96 €	- 5.977.443,70 €	- 7.172.932,44 €	- 8.368.421,18 €	- 9.563.909,92 €	- 10.759.398,66 €	- 11.954.887,40 €
Total activo fijo	54.245.301,71 €	53.049.812,97 €	51.854.324,23 €	50.658.835,49 €	49.463.346,75 €	48.267.858,01 €	47.072.369,27 €	45.876.880,53 €	44.681.391,79 €	43.485.903,05 €	42.290.414,31 €
Caja (acumulada)	- €	6.042.477,83 €	12.757.640,89 €	16.916.468,90 €	21.421.101,69 €	26.278.976,55 €	31.497.753,84 €	37.085.323,78 €	43.049.813,28 €	49.399.593,03 €	55.998.334,91 €
Capital circulante	5.424.530,17 €	5.424.530,17 €	5.424.530,17 €	5.424.530,17 €	5.424.530,17 €	5.424.530,17 €	5.424.530,17 €	5.424.530,17 €	5.424.530,17 €	5.424.530,17 €	5.424.530,17 €
Total activo circulante	5.424.530,17 €	11.467.008,00 €	18.182.171,06 €	22.340.999,07 €	26.845.631,86 €	31.703.506,72 €	36.922.284,01 €	42.509.853,95 €	48.474.343,45 €	54.824.123,20 €	61.332.865,08 €
Total Activo	59.669.831,88 €	64.516.820,97 €	70.036.495,29 €	72.999.834,56 €	76.308.978,61 €	79.971.364,73 €	83.994.653,28 €	88.386.734,48 €	93.155.735,24 €	98.310.026,25 €	103.623.279,39 €
Pasivo											
Pasivo fijo											
Fondos propios	22.376.186,96 €	22.376.186,96 €	22.376.186,96 €	22.376.186,96 €	22.376.186,96 €	22.376.186,96 €	22.376.186,96 €	22.376.186,96 €	22.376.186,96 €	22.376.186,96 €	22.376.186,96 €
Préstamo (acumulado)	22.376.186,96 €	22.376.186,96 €	22.376.186,96 €	19.579.163,59 €	16.782.140,22 €	13.985.116,85 €	11.188.093,48 €	8.391.070,11 €	5.594.046,74 €	2.797.023,37 €	- 0,00 €
Subvenciones	14.917.457,97 €	14.917.457,97 €	14.917.457,97 €	14.917.457,97 €	14.917.457,97 €	14.917.457,97 €	14.917.457,97 €	14.917.457,97 €	14.917.457,97 €	14.917.457,97 €	14.917.457,97 €
Pasivo circulante											
Beneficio (acumulado)	- €	4.544.487,12 €	9.548.527,12 €	14.783.908,13 €	20.355.466,20 €	26.270.349,77 €	32.535.921,72 €	39.159.765,84 €	46.149.693,41 €	53.513.750,06 €	61.025.272,83 €
Proveedores	- €	302.501,96 €	818.136,28 €	1.343.117,91 €	1.877.727,26 €	2.422.253,18 €	2.976.993,15 €	3.542.253,60 €	4.118.350,16 €	4.705.607,89 €	5.304.361,63 €
Total pasivo	59.669.831,89 €	64.516.820,97 €	70.036.495,29 €	72.999.834,56 €	76.308.978,61 €	79.971.364,73 €	83.994.653,28 €	88.386.734,48 €	93.155.735,24 €	98.310.026,25 €	103.623.279,39 €
Activo - Pasivo	0,01 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €

Figura 7: Balance a 10 años.

10 . ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En la Figura 8 se muestra el análisis de sensibilidad referente a este proyecto. Dicho análisis de sensibilidad se ha realizado a 10 años. En tal análisis, se han representado los costes totales de producción, así como los costes financieros.

Como puede observarse en la Figura 8 (siguiente página), el coste que tiene mayor influencia en los costes totales anuales (costes totales de producción más costes financieros) es el correspondiente al de las materias primas, ya que representa entre un 80-85% de los costes totales en el periodo analizado de 10 años. El segundo coste con mayor influencia es el de los servicios auxiliares (agua, energía y combustible), representando éste un 4-5% de los costes totales anuales.

Los costes financieros, como puede observarse, disminuyen con el transcurso de los años, esto es debido a que los intereses del préstamo, se pagan al principio, pagando al final más préstamo que interés. En la Figura 8 se representa la media para los 10 años estudiados, de cada coste implicado en el estudio de sensibilidad, en términos de porcentajes.

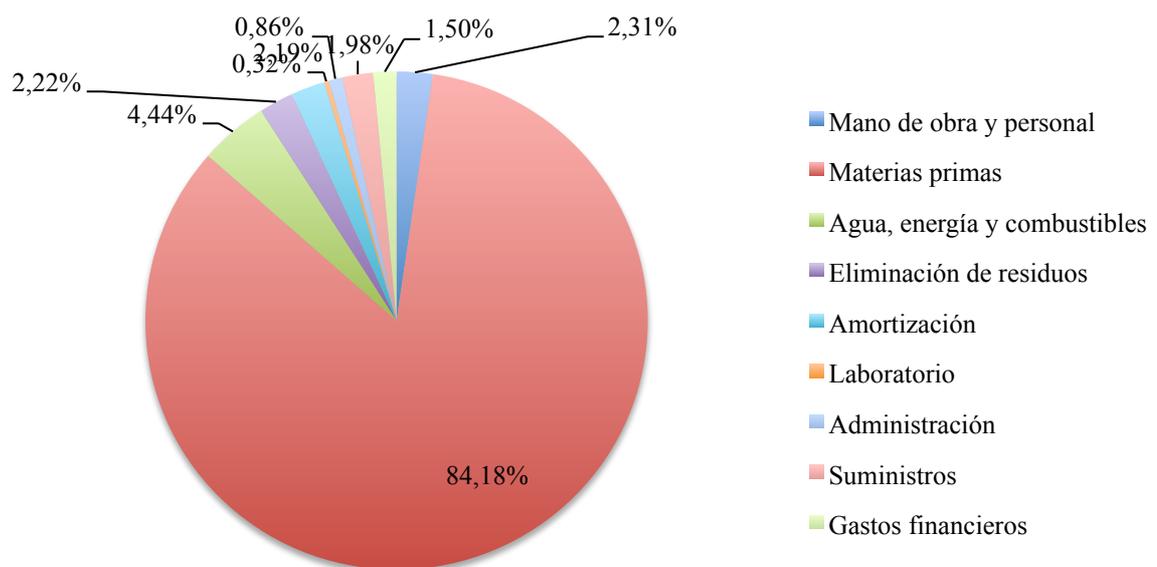


Figura 8: Análisis de sensibilidad en términos de media de los porcentajes de cada coste.

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mano de obra y personal	1.111.111,11	1.144.444,44	1.178.777,78	1.214.141,11	1.250.565,34	1.288.082,30	1.326.724,77	1.366.526,52	1.407.522,31	1.449.747,98
Materias primas	40.405.090,00	41.617.242,70	42.865.759,98	44.151.732,78	45.476.284,76	46.840.573,31	48.245.790,51	49.693.164,22	51.183.959,15	52.719.477,92
Agua, energía y combustibles	2.129.117,69	2.192.991,22	2.258.780,96	2.326.544,39	2.396.340,72	2.468.230,94	2.542.277,87	2.618.546,20	2.697.102,59	2.778.015,67
Eliminación de residuos	1.066.152,78	1.098.137,36	1.131.081,48	1.165.013,93	1.199.964,35	1.235.963,28	1.273.042,18	1.311.233,44	1.350.570,44	1.391.087,56
Amortización	1.195.488,74	1.195.488,74	1.195.488,74	1.195.488,74	1.195.488,74	1.195.488,74	1.195.488,74	1.195.488,74	1.195.488,74	1.195.488,74
Laboratorio	155.555,56	160.222,23	165.028,89	169.979,76	175.079,15	180.331,53	185.741,47	191.313,72	197.053,13	202.964,72
Administración	468.405,89	468.405,89	468.405,89	468.405,89	468.405,89	468.405,89	468.405,89	468.405,89	468.405,89	468.405,89
Suministros	1.084.906,03	1.084.906,03	1.084.906,03	1.084.906,03	1.084.906,03	1.084.906,03	1.084.906,03	1.084.906,03	1.084.906,03	1.084.906,03
Gastos financieros	1.454.452,15 €	1.118.809,35 €	1.118.809,35 €	978.958,18 €	839.107,01 €	699.255,84 €	559.444,67 €	419.553,51 €	279.702,34 €	475.493,97 €
Total	49.070.279,95	50.080.647,96	51.467.039,10	52.755.170,81	54.086.141,99	55.461.237,85	56.881.822,12	58.349.138,27	59.864.710,62	61.765.588,48
PORCENTAJES										
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mano de obra y personal	2,26%	2,29%	2,29%	2,30%	2,31%	2,32%	2,33%	2,34%	2,35%	2,35%
Materias primas	82,34%	83,10%	83,29%	83,69%	84,08%	84,46%	84,82%	85,17%	85,50%	85,35%
Agua, energía y combustibles	4,34%	4,38%	4,39%	4,41%	4,43%	4,45%	4,47%	4,49%	4,51%	4,50%
Eliminación de residuos	2,17%	2,19%	2,20%	2,21%	2,22%	2,23%	2,24%	2,25%	2,26%	2,25%
Amortización	2,44%	2,39%	2,32%	2,27%	2,21%	2,16%	2,10%	2,05%	2,00%	1,94%
Laboratorio	0,32%	0,32%	0,32%	0,32%	0,32%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%
Administración	0,95%	0,94%	0,91%	0,89%	0,87%	0,84%	0,82%	0,80%	0,78%	0,76%
Suministros	2,21%	2,17%	2,11%	2,06%	2,01%	1,96%	1,91%	1,86%	1,81%	1,76%
Gastos financieros	2,96%	2,23%	2,17%	1,86%	1,55%	1,26%	0,98%	0,72%	0,47%	0,77%
Total	100,00%									

Figura 9: Análisis de sensibilidad a 10 años.

11 . TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Para el cálculo de la TIR, se tiene en cuenta el capital fijo y circulante únicamente en el año cero, ya que es la inversión que se va a necesitar para poder llevar a cabo el proyecto y finalmente poder empezar a elaborar el producto a partir del año 1. La suma total del año 0 será negativa, ya que no hay ni beneficios, ni amortizaciones, ni intereses de préstamos, y será la correspondiente a la suma del capital fijo y circulante, es decir, igual -59.669.831,88.

En cuanto a los beneficios disponibles, los cuales corresponden a los calculados en la cuenta de resultados, éstos se cuentan a partir del año 1, ya que es cuando se va a empezar a distribuir en el mercado el producto específico producido. A la hora de realizar la suma total de cada año, los beneficios van a considerarse como cantidades positivas.

Las amortizaciones se van a considerar constantes desde el año primero hasta el año último, y se van a considerar cantidades positivas en las correspondientes sumas totales de cada año.

Los intereses de los préstamos, equivalen a los calculados en la parte de gastos financieros de la cuenta de resultados, y se consideran también cantidades con valor positivo en la sumas totales equivalentes a cada año. Finalmente, para el cálculo del valor residual, el cual es el valor de los activos que no se ha amortizado, se le ha restado el capital fijo a la suma de las amortizaciones desde el año 1 hasta el año 10 inclusive, obteniendo el valor de 42.290.414,31.

A partir de la Figura 9 y mediante el comando TIR en Excel, se determina la TIR sin financiación para este proyecto, la cual tiene un valor finalmente del **12%**.

El valor de la TIR de 12%, indica que con un valor para el tipo de interés bancario del 12%, el beneficio obtenido sería cero, mientras que con cualquier tipo de interés por debajo de dicho valor, se obtendrían beneficios a medio y largo plazo. Como el tipo de interés es del 5%, para este proyecto se obtendría un beneficio anual neto del 7%, lo cual indica que el proyecto es económicamente rentable.

Año	TIR										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Capital fijo, €	54.245.301,71 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Capital circulante, €	5.424.530,17 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Amortizaciones, €	- €	1.195.488,74 €	1.195.488,74 €	1.195.488,74 €	1.195.488,74 €	1.195.488,74 €	1.195.488,74 €	1.195.488,74 €	1.195.488,74 €	1.195.488,74 €	
Intereses préstamos, €	- €	1.454.452,15 €	1.118.809,35 €	1.118.809,35 €	978.958,18 €	839.107,01 €	699.255,84 €	559.444,67 €	419.553,51 €	279.702,34 €	475.493,97 €
Beneficio disponible, €	- €	4.544.487,12 €	5.004.040,00 €	5.235.381,01 €	5.571.558,07 €	5.914.883,57 €	6.265.571,95 €	6.623.844,12 €	6.989.927,57 €	7.364.056,65 €	7.511.522,77 €
Valor residual, €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	42.290.414,31 €
Resultado	-59.669.831,88	7.194.428,01	7.318.338,09	7.549.679,10	7.746.004,99	7.949.479,32	8.160.316,53	8.378.777,53	8.604.969,82	8.839.247,73	51.472.919,79
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K

Figura 10: Tasa Interna de Retorno del proyecto.

12 . VALOR ACTUAL NETO (VAN)

El VAN es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que va a tener un proyecto, para determinar, si después de descontar la inversión inicial, quedará alguna ganancia.

Si el VAN es positivo, el proyecto es rentable, si es cero, con el proyecto no se obtendrán ni beneficios ni pérdidas, y si es negativo, eso quiere decir que en el proyecto se generarán pérdidas.

Para la determinación del VAN de este proyecto (ecuación 3), como inversión inicial se va a considerar la cantidad total necesaria para llevar a cabo el proyecto.

$$VAN = \sum_{t=1}^N \frac{\text{Flujo de caja futuro en un momento } t}{(1 + TD)^t} - \text{Inversión} \quad (3)$$

Donde, TD se refiere a la tasa de descuento, que para este proyecto va a tomarse igual que el tipo de interés, es decir, del 5%. En la Tabla 6, se muestra el primer sumando correspondiente a cada año, así como la suma total de dichos sumandos.

Tabla 6: VAN para el presente proyecto.

Año	Sumando
1	5.754.740,783
2	6.090.850,843
3	3.592.552,003
4	3.705.972,547
5	3.806.272,064
6	3.894.331,969
7	3.970.981,638
8	4.037.001,263
9	4.093.124,643
10	3.995.802,906
Total	42.941.630,66

A la cantidad total de la Tabla 6 se le resta el desembolso inicial (59.669.831,88), obteniendo así un VAN de **-16.728.201,23**, lo cual es lógico, ya que en el plazo estudiado de 10 años, resulta muy difícil recuperar una inversión de casi 60 millones de euros. Lo que si puede preverse es que la inversión total inicial se recuperará en un plazo de 11-12 años.

13 . CONCLUSIONES

La inversión total de este proyecto va a corresponder a una cantidad igual a **59.669.831,88 euros**, de los cuales 54.245.301,71 euros van a pertenecer al capital fijo y los 5.424.530,17 euros restantes al capital circulante.

La forma de llevar a cabo la inversión, va a ser por medio de recursos propios, préstamos y subvenciones. El préstamo va a ser devuelto en un periodo de 10 años, con dos años de carencia y un 5% de interés anual fijo, con un 1,5% de comisión en la apertura del préstamo y en el cierre del mismo.

Se prevé que el periodo de recuperación de la inversión correspondiente a los recursos propios, sea de 5 años, como puede observarse en la Figura 6 (plan de tesorería).

Los ratios de rentabilidad que se han estimado, han sido la TIR y el VAN, los cuales sirven para determinar cuan de rentable es un determinado proyecto. De la TIR se ha obtenido un **12%**, estando dicho valor por encima del tipo de interés bancario (5%), por lo que el proyecto es económicamente viable.

Finalmente, el valor del VAN estimado equivale a **-16.728.201,23**. Este valor como se ha comentado en el apartado 12, resulta un valor coherente para el plazo en el que se ha elaborado este estudio económico-financiero, el cual ha sido para 10 años, ya que en dichos años es difícil poder recuperar la totalidad de una inversión como la de este proyecto. Si el VAN se hubiera hecho en un plazo de 15 años, éste saldría positivo, ya que se estima que en 11-12 años se recuperé la inversión total realizada.

