



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

**EVALUACIÓN DE PREFACTIBILIDAD DE UNA PLANTA DE
ELABORACIÓN DE DIESEL SINTÉTICO A PARTIR DE DESECHOS DE
PLÁSTICOS Y NEUMÁTICOS**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

FLORENCIA JAVIERA ESCUDERO ESCUDERO

PROFESOR GUÍA:
ERIKA GUERRA ESCOBAR

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
MARÍA TERESA CORDOVEZ MELERO
EDUARDO OLGUÍN MACAYA

SANTIAGO DE CHILE
ENERO, 2011

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL
POR: FLORENCIA JAVIERA ESCUDERO ESCUDERO
FECHA: 25 DE ENERO DE 2011
PROF. GUIA: SRA. ERIKA GUERRA E.

EVALUACIÓN DE PREFACTIBILIDAD DE UNA PLANTA DE ELABORACIÓN DE DIESEL SINTÉTICO A PARTIR DE DESECHOS DE PLÁSTICOS Y NEUMÁTICOS

Las necesidades energéticas del mundo han ido en aumento desde la primera revolución industrial, y se prevé que las reservas de petróleo no deberían alcanzar para más de 70 años. Adicionalmente, el uso de combustibles fósiles aporta al calentamiento de la Tierra y al Efecto Invernadero. Frente a las variaciones de los precios del crudo, la necesidad de disminuir la contaminación atmosférica y diversificar la matriz energética, y la dependencia del petróleo, se ha observado un desarrollo del uso de fuentes de energía renovables.

El presente trabajo tiene como objetivo principal evaluar la factibilidad de instalación en Chile de una planta elaboradora de diesel sintético, producido a partir de desechos de plástico y caucho. Esta nueva tecnología permite crear un combustible de similares características que el diesel fósil, y dos subproductos: acero y negro de humo. Este nuevo combustible permite reducir las emisiones de material particulado y de Gases de Efecto Invernadero, ya que posee bajo contenido de azufre, además de hacerse cargo de desechos inorgánicos de larga degradación.

Se efectuó un estudio de mercado del diesel y de las materias primas para conocer su disponibilidad, precio, manejo y recolección. En Chile, se generan unas 47.500 toneladas de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) al año y 263.000 de plásticos. La planta se haría cargo del 25,4% de los NFU y del 2,34% del plástico proveniente de Residuos Municipales de la Región Metropolitana, y podría satisfacer, así, al 1,43% de la demanda actual de los sectores Transporte e Industrias, Comercio y Particulares de la región, gracias a la producción de 7.900 m³ de diesel sintético al año. Los NFU no tienen costo para la empresa, y para la obtención de plásticos se trabajará en conjunto con alguna municipalidad, pagando 250 USD/ton. El diesel será vendido a 660 USD/m³, menos de un 90% del precio promedio de importación de los últimos 5 años.

Mediante una evaluación económica, con una tasa de descuento del 12%, un horizonte de 10 años y estimaciones de costos y precios dados por los estudios de mercado, se obtuvo que el VAN del proyecto es de 12.297.567 USD, con una TIR del 41,4% y un periodo de recuperación del capital de 3 años, invirtiéndose cerca de 4,3 millones de dólares. Gracias a un análisis de sensibilidad, se concluye que el proyecto es altamente rentable y poco sensible a fluctuaciones importantes tanto del precio del diesel como del costo de los desechos plásticos y neumáticos.

Se espera que la planta entre en funcionamiento el año 2013, ya que se necesitan alrededor de 2 años para la creación de normas y estudios de factibilidad química. Además, se tiene tiempo para la construcción de la planta, la creación de acuerdos con las municipalidades, y para la puesta en marcha de un plan de marketing que permita dar a conocer el producto y crear la confianza de los clientes.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer no sólo a quienes hicieron físicamente posible esta memoria, sino a quienes me apoyaron y ayudaron a sobrevivir, vivir, levantarme, soñar, conectarme, amarme, conocerme y convertirme en lo feliz que soy hoy. Quienes han estado en esta maravillosa etapa de mi vida, que coincide con el inicio de mi carrera profesional.

Gracias papá por traspasarme tu pasión por la ingeniería, por entretenerme con tus juegos matemáticos desde que tengo uso de razón, por toda la baba que botaste cuando recibiste cada uno de mis boletines de nota.

¡Este trabajo es para y gracias a ti!

Gracias a mis amigas LAF. Ustedes me hacen ser quien soy hoy. Me han acompañado, calmado, aconsejado, apoyado, abrazado, retado, apañado, querido durante toda mi vida y lo harán siempre. Hay un poco de cada una en esto. (¡Gracias Mica!)

Gracias a C.N. y R.G. por escucharme, apoyarme y afirmarme. Gracias por estar conmigo cuando más lo necesité y enseñarme a vivir la vida.

Gracias a mis *industrialillas*. Fueron un apoyo fundamental en el duro proceso de convertirnos en inJenieros. Nos acompañamos, copuchamos, trabajamos, nos estresamos durante esta etapa que, a ratos, se hizo infinita, pero que hoy me parece que se terminó en un segundo.

Gracias a quienes aportaron con datos, números, experiencia, información, gráficos, tablas, bibliografía, ideas, conocimientos... en este trabajo (¡S.U. eres el mejor! – E.O. no me he olvidado de ti); a quienes le abrieron las puertas de su oficina a una asustada estudiante con un tímido proyecto que hoy cobró vida.

Ojalá no se me olvide nadie.
LOS ADORO.

Sueña – Ama – Conéctate – Sana – Vive – Disfruta – Goza – Siente – BAILA.

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes Generales	1
1.2 Descripción y Alcances del Proyecto	2
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo General.....	5
1.4.2 Objetivos Específicos	6
2.- METODOLOGÍA Y MARCO CONCEPTUAL	6
2.1 Metodología.....	6
2.2 Teoría de la Localización Industrial	8
3.- LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO	9
3.1 El Mercado Nacional	9
3.2 Precio	11
3.3 Consumo	13
3.4 Proyecciones.....	15
4.- EL PROCESO PRODUCTIVO	17
4.1 Etapas del Proceso	18
4.2 Niveles de Producción.....	22
5.- EL DIESEL SINTÉTICO	23
5.1 Naturaleza y Características del Diesel.....	23
5.2 Especificaciones del Diesel Ciudad.....	25
5.3 Características del Diesel Sintético	26
5.4 Ventajas	28
5.5 Desventajas.....	29
6.- LA MATERIA PRIMA	29
6.1 Los Neumáticos.....	30
6.1.1 Caracterización.....	30
6.1.2 El Mercado de los NFU.....	32
6.1.3 Abastecimiento	37
6.2 Los Plásticos	38
6.2.1 Caracterización.....	38
6.2.2 El Mercado de los Desechos Plásticos	39
6.2.3 Abastecimiento	46
7.- LOS SUBPRODUCTOS	48
7.1 Negro de Humo	48
7.2 Acero.....	49
8.- MARCO LEGAL	49
8.1 Comercialización del Diesel Sintético.....	49
8.2 Evaluación de Impacto Ambiental	52

9.- LOCALIZACIÓN	53
10.- ANÁLISIS DE MERCADO	55
10.1 Consumo de Combustible	55
10.2 Mercado Potencial.....	57
10.3 Mercado Objetivo	58
11.- ANÁLISIS FINANCIERO	59
11.1 Inversión.....	59
11.1.1 Inmobiliario	59
11.1.2 Terreno	60
11.1.3 Maquinaria.....	60
11.1.4 Planta	61
11.1.5 Publicidad y Promoción	62
11.1.6 Inversión Total	63
11.2 Costos	64
11.2.1 Costos Fijos	64
11.2.2 Costos Variables.....	65
11.3 Ingresos	67
11.3.1 Precio	67
11.3.2 Cantidad	68
11.4 Indicadores y Parámetros	70
11.5 Flujo de Caja	71
11.6 Análisis de Sensibilidad.....	72
11.6.1 Impuesto Específico	72
11.6.2 Precio del Petróleo Diesel.....	72
11.6.3 Precio del Plástico	76
11.6.4 Precio de NFU	78
12.- CONCLUSIONES	80
13.- BIBLIOGRAFÍA	84
13.1 Libros y Papers	84
13.2 Páginas web.....	85
14.- ANEXOS	86
Anexo A: Métodos de Costeo de Inversión	86
Anexo B: Especificaciones del Diesel	89
Anexo C: Usos del Plástico	91
Anexo D: Costos Unitarios de Construcción	93
Anexo E: Tarifas de Agua	94
Anexo F: Costos de Certificado de Calidad	95
Anexo G: Tabla Vida Útil del SII.....	96
Anexo H: Flujo de Caja General.....	97
Anexo I: Flujo de Caja Línea de Procesamiento de Plásticos	98
Anexo J: Flujo de Caja Línea de Procesamiento de Neumáticos.....	99
Anexo K: Flujo de Caja General con Impuesto Específico.....	100
Anexo L: Distribución Precio del Diesel	101

GLOSARIO

CINC:	Cámara de la Industria del Neumático de Chile
CNE:	Comisión Nacional de Energía
CONAMA:	Comisión Nacional del Medio Ambiente
FEPP:	Fondo de Estabilización de Precios del Petróleo
GEI:	Gases de Efecto Invernadero
INE:	Instituto Nacional de Estadísticas de Chile
NFU:	Neumáticos Fuera de Uso
PPI:	Precio de Paridad de Importación
PRC:	Periodo de Recuperación de Capital
PRMS:	Plano Regulador Metropolitano de Santiago
REP:	Responsabilidad Extendida del Productor
RSM:	Residuos Sólidos Municipales
SEC:	Superintendencia de Energía y Combustible
SEIA:	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
TIR:	Tasa Interna de Retorno
USD:	Dólares Americanos
VAN:	Valor Actual Neto

1.- INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes Generales

El nivel de desarrollo industrial global alcanzado durante el siglo pasado se sustenta básicamente en el consumo del petróleo como principal fuente energética en el mundo. El 88% de la energía que se usa actualmente en el mundo proviene de los combustibles fósiles. La dependencia es tal que en los próximos 20 años se prevé que la humanidad consumirá en petróleo el equivalente a lo consumido desde su descubrimiento hasta el día de hoy¹.

Por otra parte, existe incertidumbre con respecto al nivel de abastecimiento del petróleo dado que la industria prácticamente está en su tope de producción y el aumento de la demanda, lo que permite especular falta del mismo. Las reservas de petróleo deberían alcanzar a proveer el consumo durante unos 70 años más, pero las tensiones políticas entre el mundo occidental y los países productores no garantizan un precio bajo estable ni su abastecimiento.

Además, las personas están tomando poco a poco conciencia del nivel excesivo de las emisiones ligadas en gran parte al uso del petróleo. Se sabe que el dióxido de carbono es el responsable del 50% del Efecto Invernadero, por lo que, a pesar de que no está totalmente comprobado y aún existe una gran controversia científica internacional, se puede decir que el uso de combustibles fósiles podría producir un aumento en la temperatura global debido al fenómeno natural del Efecto Invernadero. Este aumento de la temperatura se estima que podría ser entre 1,5 y 4,5°C en los próximos 20 años². Las consecuencias de este aumento de temperatura aun son inciertas, sin embargo, no cabe duda de que irá modificando de sobremanera y gradualmente el clima global.

Frente a las variaciones de los precios del crudo, la necesidad de disminuir la contaminación atmosférica, el abastecimiento de gas aleatorio, la dependencia del petróleo y la necesidad de diversificar la matriz energética, se ha observado un desarrollo del uso de fuentes de energía alternativas. El mundo necesita, entonces, encontrar y extender nuevas formas de abastecimiento energético, que permitan reemplazar a los combustibles fósiles.

Sumado a esto, el mundo y, en particular, Chile se enfrenta actualmente a un aumento significativo del número de vehículos equipados con motor diesel y de industrias que utilizan este combustible en sus calderas. El diesel es un derivado del petróleo y, al contrario de combustibles para motores de gasolina, el diesel es usado en los llamados motores de encendido automático. Es decir, el combustible no es encendido por una chispa, sino por autoignición (es decir, se enciende por el incremento de la temperatura al ser comprimido por el pistón).

Hoy en día, existen dos grandes fuentes alternativas para este tipo de combustible, más limpias, ecológicas y amigables con el medioambiente: El biodiesel,

¹ Fuente: Agencia Internacional de Energía, IEA, 2006

² Fuente: Acevedo E., 2007, *Agroenergía: Un desafío para Chile*.

producido a partir de aceites vegetales (de soya, girasol, palma, principalmente), aceite de fritura usado o grasas animales (de pollo, vaca o pescado); y el E-diesel, mezcla de diesel fósil y etanol. Estos combustibles sostenibles están tomando cada vez más relevancia debido a la amenaza del calentamiento global y la disminución de suministro de combustible fósil.

Cerca de un 1% del mercado mundial de diesel es abastecido con biodiesel. Éste es biodegradable y se disuelve fácilmente en la naturaleza, evitando la contaminación del ambiente, en caso de derrame accidental. Además, este combustible permite una reducción notable de las emisiones nocivas a la atmósfera. Tiene un balance neutro en dióxido de carbono, puesto que se consume el CO₂ emanado, por fotosíntesis en vegetales que se pueden usar para fabricar de nuevo biodiesel. También, el uso de biodiesel permite disminuir la emisión de material particulado, monóxido de carbono, dióxido sulfuroso, entre otros, ya que su contenido de azufre es significativamente menor que el del diesel fósil. Sin embargo, éste no puede ser usado directamente en motores, y debe ser mezclado en órdenes de un 2, un 5 o un 10% con el combustible fósil. Sumado a esto, el costo de fabricación supera el precio del diesel fósil y es muy sensible al precio de la materia prima utilizada, lo que lo hace económicamente inviable por el momento.

El Etanol se obtiene fácilmente del azúcar o del almidón en cosechas de maíz y caña de azúcar, entre otros. Este es considerablemente más barato que el petróleo, y además, presenta grandes beneficios al ser mezclado con combustible estándar. En Brasil, principal productor de etanol, se han logrado reducir en un 40% sus importaciones petroleras. Además, el uso E-diesel ayuda a aumentar la eficiencia del combustible, que tiene un efecto directo sobre la cantidad de dióxido de carbono que se emite a la atmósfera, además de reducir emisiones de monóxido y nitrógeno de carbono y material particulado.

Sin embargo, no es ampliamente utilizado y su venta es ilegalmente en muchas áreas. En Chile, este combustible aún no es implementado, debido a su alta inflamabilidad, lo que implica un alto peligro de combustión y explosión. Se ha demostrado que existe un mayor riesgo de lesiones relacionadas con el fuego en comparación al uso de diesel fósil. Otras desventajas relacionadas con el uso de etanol gasóleo tienen relación con el bajo el rendimiento de la bomba e inyectores de combustible en los motores. Lo que se traduce en costos adicionales para las empresas de transporte.

1.2 Descripción y Alcances del Proyecto

En el año 2002 fue creada una tecnología de obtención de combustible líquido, derivado del petróleo, a partir de desechos de plásticos³ y de neumáticos (es decir, caucho), denominada pirólisis al vacío. Esta técnica, en principio, fue desarrollada para producir aceites derivados de hidrocarburos. Sin embargo, don Adolfo Brinkmann, ingeniero químico ecuatoriano, mejoró y adaptó esta tecnología para elaborar diesel sintético (o de segunda generación) que tiene características similares al diesel

³ A excepción del Policloruro de Vinilo (PVC) y el Polietileno Tereftalato (PET).

convencional. Actualmente, esta tecnología está en etapa de producción en laboratorios, a mediana escala, y está en proceso de ser patentada. El proyecto de instalación de una planta de diesel sintético se está estudiando para llevarse a cabo en Ecuador por Fundación Natura. Esta empresa busca analizar la viabilidad de un proyecto con las mismas características, adaptado a la realidad chilena. Por lo que se usarán como datos la maquinaria a utilizar, capacidad de la planta y estudios técnicos.

Se desea, entonces, evaluar la instalación de una planta en Chile con la maquinaria necesaria para producir diesel sintético a partir de esta nueva tecnología, para la venta de dicho producto, y sus subproductos, que son el negro de humo (utilizado como pigmento o refuerzo en productos de goma y plástico, entre otros) y el acero, siguiendo con la línea de diversificación de fuentes energéticas y cuidado del medio ambiente. Al contrario de los biocombustibles, este diesel sintético puede ser inyectado directamente en los motores de encendido automático, luego de un proceso de refinamiento, y no necesita ser mezclado con diesel fósil, permitiendo crear una nueva fuente de energía.

Este trabajo tiene como objetivo principal evaluar la factibilidad de la instalación de una planta productora de dicho diesel, aportando una visión ingenieril, financiera y económica. Para tal fin, el cliente pide evaluar económicamente una empresa dedicada a lo antes expuesto, enfocándose, principalmente, en la obtención y manejo logístico de la materia prima. En un primer lugar, se estudiará el mercado del diesel en Chile, para luego describir brevemente el marco legal en el que se encierra este estudio, para asegurar que existe demanda suficiente y las regulaciones y normas por las cuales debe registrarse este combustible. Se analizará también la disponibilidad y precio de las materias primas, los volúmenes requeridos, y su manejo y recolección. Además, se hará un estudio básico de los subproductos asociados al proceso de producción de dicho diesel. Finalmente, se pretende estudiar la viabilidad económica del proyecto, estimando la inversión, niveles de venta y costos asociados. Para lograr esto, se debe antes hacer un análisis de mercado.

Escapan a la realización de esta memoria la entrega de información y el estudio de viabilidad química del diesel sintético, que será efectuada por Adolfo Brinkmann. Él trabaja en conjunto con los clientes, y está encargado de producirlo a mediana escala. Entonces, se responsabilizará de estudiar y validar el proceso y las características del combustible resultante. Entregará los valores y aspectos técnicos necesarios que sustentan este trabajo, que no se revelaran en detalle dada la confidencialidad que atañe al proceso.

El proceso utilizado para la obtención del diesel de segunda generación debe mantenerse en carácter de confidencialidad para algunas de las etapas, insumos y condiciones particulares. A pesar de que esta tecnología no es nueva y es de conocimiento público, se descubrieron nuevas condiciones que permiten la obtención de un combustible muy similar al diesel, y se usan aditivos y catalizadores que no pueden ser detallados en esta memoria.

1.3 Justificación

Este proyecto busca producir diesel sintético, equivalente al diesel fósil, a través de la reutilización de desechos de plásticos y neumáticos, ayudando al cuidado del medio ambiente y fomentando la valorización de residuos, dos temas muy en boga en el último tiempo. La creación de esta empresa permite ayudar a la disminución de problema de contaminación de suelo, aire y agua, producidos por desechos de plásticos y neumáticos que son de muy difícil degradación, y a facilitar la recolección y manejo de tales desechos.

Un neumático demora como mínimo unos 500 años en degradarse. En Chile, se producen casi 3 millones de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) al año, creando unas 47,5 mil toneladas de residuos⁴, de las cuales más del 70% no tienen un paradero conocido. La quema incontrolada a cielo abierto de los NFU produce emisiones gaseosas con altos niveles de monóxido de carbono e hidrocarburos poli-aromáticos. Estos gases son nocivos y afectan la calidad del aire, además pueden ser mortales si son inhalados por el hombre. Además, los restos orgánicos de la quema que quedan depositados en el suelo pueden afectar la flora y fauna. Los NFU son residuos voluminosos. Su forma e impermeabilidad les permite actuar como un depósito, captando y acumulando agua, creando un ambiente propicio para la reproducción de mosquitos y roedores. Los mosquitos a menudo son transmisores de enfermedades, tales como malaria, fiebre amarilla y dengue, lo que sustenta la resolución de Salud de no permitir el ingreso a Chile de NFU.

Por otro lado, en Chile, una persona consume y bota, en promedio, más de 40 kilogramos de plástico en un año, lo que equivale aproximadamente al 10% de los residuos domiciliarios generados en la Región Metropolitana⁵. Al igual que los neumáticos, los plásticos demoran siglos en degradarse, pudiendo tardar entre 400 y 1000 años. El espacio en vertederos es desaprovechado entonces por los residuos plásticos. Cerca del 90% de los plásticos es reciclable, sin embargo, en Chile no se recicla más del 5,2% de los residuos generados⁵.

Este proyecto permite eliminar el problema de recolección, manejo y disposición de residuos plásticos y neumáticos, ahorrando grandes cantidades de dinero a las municipalidades. Sumado a esto, produce una mejora de la calidad ambiental ya que elimina la contaminación visual, reduciendo notablemente la cantidad de basura en los rellenos sanitarios, y utilizándola para un buen fin, con menores impactos ambientales y a la salud. Es así que se extiende la vida útil de los rellenos sanitarios ya que aumenta el espacio en los mismos. Esto implica un ahorro de recursos, facilita la oportunidad de manejar otros tipos de basura y provoca menos conflictos con las comunidades por buscar alternativas de disposición final.

En Chile existe un aumento de los requerimientos energéticos, que siguen la tendencia mundial. Durante el periodo comprendido entre los años 2003 y 2007, el incremento promedio anual de la demanda eléctrica fue del 4,5%. La Comisión Nacional de Energía (CNE) prevé un crecimiento anual similar de aquí en adelante (obviando el

⁴ Fuente: CyV Medioambiente Ltda. 2008. [9]

⁵ Fuente: CONAMA. 2010. [8]

periodo de recesión de los años 2008 y 2009 donde el aumento llegó sólo al 3%), por lo que es estrictamente necesaria la búsqueda de nuevas fuentes energéticas que permitan abastecer la demanda futura.

Asimismo, existe una gran oportunidad asociada al proyecto de Ley General de Residuos elaborado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). Esta ley pretende regular la gestión integral sustentable de residuos sólidos, prevenir la generación de dichos residuos para aprovecharse como materia prima secundaria y como fuente de energía alternativa. Se proyecta que esta ley comience su vigencia en el 2013. Un instrumento clave es la Responsabilidad Extendida del Productor (REP), que obliga al productor (o importador) a hacer responsable del producto una vez finalizada su vida útil⁶. Así, se incorpora a los costos totales de producción, los de todo el ciclo de vida del producto hasta su fin como residuo, cumpliéndose el principio de “quien contamina paga”. El concepto es aplicable a prácticamente todos los productos, pero con una mayor importancia para aquellos de consumo masivo, tales como envases, neumáticos, refrigeradores, baterías, pilas, ampollitas y vehículos.

Lo anterior implica que toda entidad que esté involucrada en la venta de neumáticos, ya sean importadores, vendedores, distribuidores u otros, deben contar ineludiblemente con alternativas para la disposición de los mismos una vez cumplida su vida útil, que deben costear.

Finalmente, la mayor motivación para la realización de este estudio, es que este negocio no existe en Chile y está en etapa de evaluación en Ecuador, por lo que permite posicionamiento en el mercado y una gran oportunidad de innovación para el país, abriendo posibilidades de subsidios para su puesta en marcha. Además, este tipo de procedimiento para obtención de diesel sintético está siendo patentado por los clientes.

En síntesis, este proyecto tiene como objetivos aumentar el espacio en los vertederos, desarrollar buenas prácticas en manejo de residuos y fomentar la utilización de fuentes alternativas de energía. La empresa en formación necesita conocer aspectos técnicos, logísticos y económicos para su iniciación y puesta en marcha. En particular, este trabajo de título aporta a la implementación del proyecto, aportando a la decisión de negocio y encargándose de los estudios necesarios para tal fin.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

El objetivo principal de este proyecto de título es evaluar la posibilidad de instalación en Chile de una planta de diesel sintético, obtenido a partir de desechos de plásticos y caucho, enfocado en el estudio de recolección y manejo logístico de la materia prima.

⁶ Fuente: CONAMA

1.4.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos son los siguientes:

1. Analizar la disponibilidad y precio de la materia prima, los volúmenes necesarios y disponibles, su manejo y recolección.
2. Cuantificar el tamaño de mercado y analizar los sectores más atractivos para el producto.
3. Proponer escenarios de localización de la planta.
4. Realizar una evaluación económica de pre factibilidad que permita tomar la decisión de la puesta en marcha de la empresa.
5. Evaluación preliminar de negocio de los subproductos.

2.- METODOLOGÍA Y MARCO CONCEPTUAL

2.1 Metodología

Para la realización del estudio de viabilidad, en un primer momento se hará un estudio conceptual de los temas relacionados con el proyecto. Para esto es necesario conocer la industria del petróleo en Chile, el proceso productivo y el diesel sintético, las normativas, entre otros, que permitan confirmar la viabilidad del proyecto en Chile, especialmente en el marco legal. Una vez finalizado este proceso de aprendizaje, se iniciará el trabajo del proyecto en particular. Para tal fin, se utilizarán los siguientes métodos y materiales.

Cabe destacar que no existe un metodología específica para el diseño y evaluación de un negocio por lo que se usan elementos de prospección de mercado, localización de planta y evaluación de negocios.

Para tal fin, se utilizarán los siguientes métodos y materiales.

1. *Estimar el tamaño de mercado y analizar los sectores más atractivos para el producto, es decir, identificar los posibles clientes.*

La investigación de mercado constará de las siguientes etapas:

- Estudio del marco legal, es decir, forma y restricciones de ventas y legislación.
- Definir el problema a investigar. Para esto es necesario formular el problema y establecer los objetivos de la investigación.
- Recopilación de datos a través de entrevistas estructuradas y revisión de material bibliográfico. Se tratará de una investigación de mercado exploratoria.
- Recolección de datos y análisis.
- Formular hallazgos y conclusiones.

Este proyecto está enfocado en el manejo de las materias primas, por lo que el problema de localización es fundamental dado el difícil manejo y recolección de las mismas. Es por eso que, luego de conocer a los proveedores y obtener precios, costos y otros detalles con respecto a los insumos y estudiar los mercados, se procederá al análisis de posibles localizaciones de la planta.

2. Estudio de localización de la planta.

Se tomarán en cuenta diferentes elementos de un estudio de localización para determinar posibles escenarios. Los principales factores que pueden influir son:

- La localización y tamaño de las fuentes de abastecimiento
- La estructura de los mercados de materias primas
- Los medios de transporte y sus costos asociados
- Los suministros básicos
- Marco jurídico, aspectos legales
- Normativas
- Terrenos y construcción
- Costos asociados

Se utilizará para este caso conceptos de la teoría de la localización industrial de Alfred Weber, ya que aplica de mejor forma al problema planteado. Esta teoría considera la distancia como el factor básico de la localización e introduce como factor decisivo el costo de transporte tanto de las materias primas como de los productos hacia los mercados, determinan la localización en el lugar en el que se minimicen esos costos.

3. Evaluación de factibilidad económica del proyecto.

Se reunirán todos los aspectos monetarios de las secciones anteriormente explicadas, para obtener una detallada revisión de las necesidades financieras del proyecto. De esta manera, se confeccionará un completo flujo de caja.

Para el cálculo de la inversión inicial necesaria para la puesta en marcha de la planta, se utilizarán dos métodos de costeo, ambos detallados en el Anexo A:

- Método de Williams para calcular el costo de los equipos principales para la línea de producción.
- Método de Miller para el cálculo de los costos totales de instalación de la planta.

Se realizará una estimación de la demanda a recibir, que se mantenga dentro de los estimados del mercado meta a apuntar. Así, junto con la política de precios escogida, se obtendrán los ingresos recibidos para los períodos estudiados. Se descubrirán en su totalidad los costos variables y fijos relacionados con la operación del negocio, y como estos afectarán los flujos futuros de la empresa. Así, se averiguará el capital de trabajo necesario para mantener a la empresa funcionando sin percances.

Observando el proyecto ya formulado, se decidirá el horizonte de evaluación para el mismo, además de la tasa de descuento a utilizar para los cálculos requeridos en el flujo de caja. Para lograr esto, se tomarán en cuenta proyectos similares, para así ser consecuentes con la realidad de la industria.

Reuniendo los pasos anteriores, se confeccionará en el software Microsoft Excel un flujo de caja anual para todo el horizonte de evaluación, junto con el cálculo de indicadores conocidos como el VAN (Valor Actual Neto), la TIR (Tasa Interna de Retorno) y el PRC (Periodo de Recuperación del Capital) simple para validar la factibilidad de instalar esta planta en Chile. Se analizarán, además, escenarios donde se varíen los parámetros más influyentes y sensibles, para así dejar en evidencia la rentabilidad de la empresa en casos extremos.

2.2 Teoría de la Localización Industrial

La localización determina la ubicación más conveniente para instalar la planta industrial. Este tipo de decisión es crucial ya que es de largo plazo, por lo general, única, e implica parte importante de la inversión. Además, ésta afecta la capacidad competitiva de la empresa, en términos de mercado abarcado, costos asociados y oferta.

Existen diferentes y diversos factores que influyen directamente en la decisión de localización, tanto físicos como humanos. Dentro de los más importantes existen los siguientes:

Fuentes de abastecimiento: Seguridad de abastecimiento, modos de transporte de inputs y outputs. Supone el abaratamiento de los costes de transporte. Este factor es importante sobre todo en las industrias de base que consumen gran cantidad de materia prima de gran volumen, por lo que su transporte suele ser difícil y costoso.

Mercados: Acceso fácil a los clientes, localización de la competencia, costos y disponibilidad de transportes, teniendo especial consideración a los productos perecederos o frágiles.

Medios de transporte y de comunicación: Facilidad de acceso de las materias primas y de evacuación de las mercancías debido a la existencia de redes de transporte bien estructuradas y rápidas. Disponibilidad de transportes marítimos, fluviales, carreteros, aéreos, etc. Capacidad de carga, versatilidad, seguridad, tiempo, articulación, costos. Medios de comunicación disponibles, seguridad operativa, costos.

Mano de obra: Prestaciones. Nivel de sindicalización. Nivel de ausentismo y actitud. Disponibilidad de efectivos. Capacidades y habilidades. Nivel promedio de salarios y calificación adecuada a la industria correspondiente.

Suministros básicos: Disponibilidad y costos de las fuentes de energía. Disponibilidad y costos del aprovisionamiento de agua.

Condiciones climáticas: Datos del clima que afectan al proceso productivo. Incrementos de costo por incidencia de factores climáticos: calefacción, refrigeración, filtrado de aire, etc.

Marco jurídico y administrativo: Normativa local, regional, nacional, favorable o desfavorable. Legislación laboral, sindical, medioambiental. Nivel de burocratización administrativa. Permisos. etc.

Impuestos y servicios públicos: Presión fiscal nacional y local. Incentivos tributarios. Calidad, disponibilidad y costo de los servicios públicos.

Terrenos y construcción: Topografía y capacidad portante de los terrenos, ubicación y costo. Posibilidades técnicas de construcción. Edificios existentes. Normativas de seguridad.

3.- LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO

3.1 El Mercado Nacional

La Empresa Nacional del Petróleo, ENAP, es la única empresa que extrae, produce y refina petróleo crudo en Chile, y es propiedad 100% del Estado. Ésta es dueña de los únicos yacimientos petrolíferos descubiertos en Chile, que están concentrados en la Cuenca de Magallanes, en el sur del país⁷. Aun así, la producción nacional de petróleo apenas alcanza a abastecer poco más del 1% de la demanda total actual. La oferta de petróleo chileno ha caído en forma significativa a lo largo del tiempo, pasando de 2.401 Mm³ en 1981 a 148 Mm³ en el 2007. Por el contrario, el consumo de petróleo ha aumentado notablemente, lo que se traduce en que la gran mayoría del consumo interno se satisfaga con importaciones. Cerca de un 98% del consumo de petróleo en Chile proviene de importaciones, principalmente desde Brasil, Angola, Turquía y Ecuador. De todas formas, la ENAP es quien abastece el 85% del mercado mayorista de combustible líquido.

Desde 1937, la exploración, producción y refinación de hidrocarburos, por norma legal, sólo podía ser ejercida por el Estado a través de la ENAP. La importación y comercialización de los derivados del petróleo estaba sujeta a un total control estatal, inhibiéndose así toda posibilidad de competencia. Existía un sistema de "Cartel", que establecía participaciones de mercado fijas para cada compañía mayorista: 50% para Copec, 30% para Esso y 20% para Shell.

Los márgenes de comercialización se establecían por una comisión tripartita formada por las empresas mayoristas y minoristas, los trabajadores y el Gobierno, la que, finalmente, fijaba el precio al público, a los minoristas, a los mayoristas, y el salario de los trabajadores.

⁷ Todos los yacimientos petrolíferos que se encuentren en el territorio nacional son de propiedad del Estado.

Sin embargo, en 1975, fueron anuladas todas las condiciones de exclusividad del Estado para refinar petróleo, permitiendo que cualquier persona o empresa particular pudiera operar instalaciones de este tipo en Chile. Ya en 1978, se liberalizó la distribución mayorista y minorista, lo que permitió la integración al mercado de nuevas empresas. Además, se estableció la libre importación y exportación de petróleo en Chile, pero se establecieron reglas para operar en el sector. Más adelante, en 1982, se estableció la libertad de precios y márgenes de comercialización de los derivados del petróleo.

Por lo tanto, Chile debiera ser altamente competitivo en el mercado de la distribución de petróleo ya que existen amplias facilidades para que entren nuevos actores a la distribución de combustibles. Por un lado, existe libre acceso a los productos. Cualquier actor puede comprar a la ENAP, en condiciones de paridad de importación, además, quien quiera puede importar. Por otro lado, existen facilidades de transporte de combustible, dada la gran oferta del mercado de transporte terrestre, vía camiones. Igualmente, existe la opción de trasladar por oleoductos de Sonacol⁸, ya que es de acceso abierto, con precios igualitarios y tiene capacidad disponible. Finalmente, en el ámbito del almacenamiento, existe la opción de construir estanques propios, o arrendar a terceros o a EMALCO, filial de ENAP, que ofrece precios menores a los de construir y operar una planta propia.

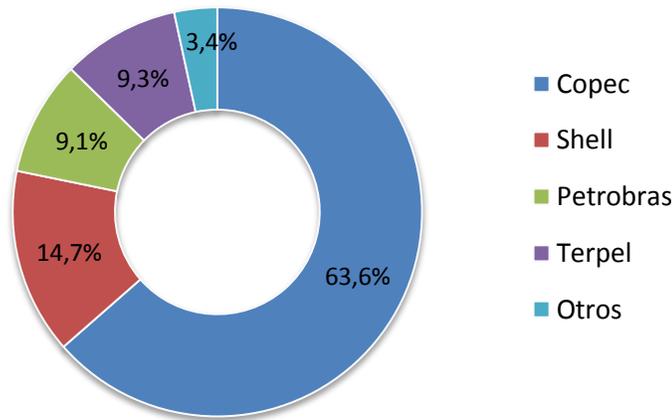
Del mismo modo, la alta sensibilidad de los precios de los derivados del petróleo representa también gran parte de la competitividad expuesta en este mercado. Los precios son manejados más bien por variables que están fuera del control de las compañías distribuidoras. Hay una fuerte competencia que motiva un mercado dinámico, que ajusta sus precios con gran rapidez. Además, como se trata de productos homogéneos, o commodities, la variable más importante que utiliza el consumidor en su decisión de compra es el precio, ya que, también, existe facilidad de comparación. Es más, precios fuera de mercado implican directamente la pérdida inmediata de volumen de venta. Sumado a esto, Chile tiene uno de los más bajos márgenes de comercialización a nivel internacional, haciendo aún más dura la competencia por la participación de mercado.

Estos hechos permiten el aumento de la competencia en la industria del petróleo y la entrada de nuevas empresas. Sin embargo, la estructura de los mercados no ha cambiado mayormente, ya que las grandes empresas distribuidoras siguen teniendo más del 96% de la participación de mercado. Éstas son Petrobras, Copec, Shell y Terpel. La figura inmediatamente expuesta muestra el desglose de las participaciones de mercado de cada una de estas empresas para el año 2009.

⁸ La Sociedad Nacional de Oleoductos S.A., SONACOL, transporta casi el 90% de los combustibles en Chile.

Figura 1: Participaciones de Mercado de Distribución de Combustible

Participación de Mercado (2009)



Fuente: Elaboración propia con datos de COPEC.

3.2 Precio

El precio del petróleo en Chile es calculado por la ENAP. Esta empresa no fija ni determina (ni menos aun decreta) los precios de venta de los combustibles, sino que considera los valores del mercado internacional y su importación, según la mejor alternativa de suministro que tienen las compañías distribuidoras. Por lo tanto, la información sobre las variaciones de los precios de ENAP a distribuidores mayoristas sólo tiene como propósito informar, a grandes rasgos, al mercado interno cómo las fluctuaciones de precios en el mercado internacional del petróleo y sus derivados, además de las variaciones del tipo de cambio, afectan los precios de nuestros combustibles.

Dado que Chile es un país fundamentalmente importador y existe libertad para importar y producir, los precios que determina la ENAP, tanto para el petróleo crudo como para sus productos derivados, se rigen por los precios de las importaciones. Los Precios de Paridad de Importación (PPI) se determinan usando como referencia el valor de los diferentes combustibles en el mercado de la costa de Estados Unidos en el Golfo de México, al cual se le suman:

- los costos de flete y seguros a puertos chilenos,
- los derechos de aduana y gastos de internación,
- los costos de logística,
- el margen del importador.

En forma similar, el precio de los productos derivados del petróleo a los cuales vende la ENAP a los distribuidores mayoristas se determina a partir del PPI al cual se le suman las tarifas correspondientes a:

- el transporte y almacenamiento,
- los efectos del Fondo de Estabilización de Precios de Combustibles (FEPC)⁹,
- el IVA,
- los impuestos específicos.

La Empresa Nacional del Petróleo informa cada semana las fluctuaciones en los precios de los diferentes derivados del petróleo. Finalmente, los distribuidores determinan libremente, a partir del precio al cual compraron a la ENAP y de su margen de comercialización, los precios finales a consumidores.

La siguiente tabla muestra el porcentaje que representa cada ítem a tomar en cuenta para el cálculo del precio según la ENAP, a distribuidores mayoristas en Santiago.

Tabla 1: Precio ENAP a Distribuidores Mayoristas

Precios ENAP a Distribuidores Mayoristas en Santiago
(Participación Porcentual sobre el Precio de Venta) al 7 de octubre de 2010

	Gasolinas	Diesel
Precio ENAP puesto en Concón	49,8%	71,4%
Oleoducto Concón/Maipú	1,0%	1,4%
FEPP	0,0%	0,0%
Impuesto Específico	39,6%	13,4%
IVA	9,6%	13,8%
Precio Venta a Mayoristas	100,0%	100,0%

Fuente: ENAP.

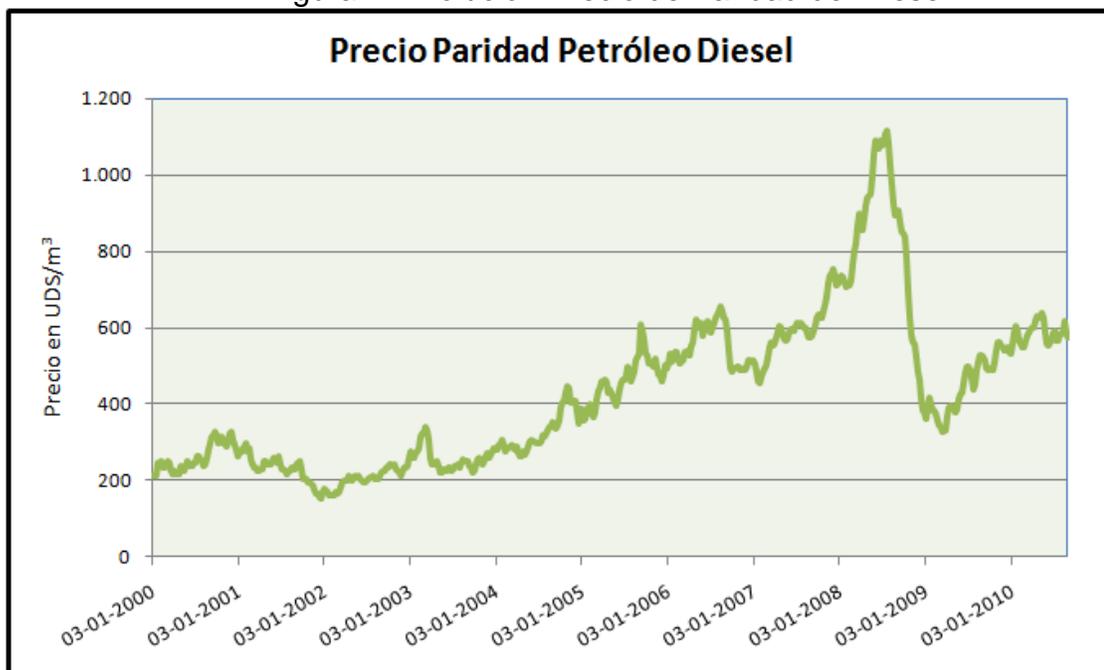
Desde que entró en vigencia la aplicación del Impuesto Específico a los combustibles, éste se ha mantenido, para el caso del diesel, en 1,5 UTM/m³, que corresponde a poco más de 117 dólares por metro cúbico¹⁰. El Impuesto sobre el Valor Agregado (IVA) se calcula sobre el valor base, sin tomar en cuenta el Impuesto Específico, y corresponde al 19%.

La siguiente figura muestra la evolución de los precios del diesel desde el año 2000 a agosto del 2010, en dólares por metro cúbico.

⁹ El fondo crea bandas de precios para el diesel, la gasolina y el kerosene, y paga a la ENAP un crédito o aplica un impuesto dependiendo de si los precios están por sobre o por debajo de la paridad de importación de referencia establecida para los combustibles. Dejó de estar en vigencia el 30 de junio del 2010.

¹⁰ 1 UTM = 37.567 CLP

Figura 2: Evolución Precio de Paridad del Diesel



Fuente: Elaboración propia, con datos de CNE.

Los precios del diesel tienen la misma tendencia que la de cualquier derivado del petróleo ya que depende en gran parte del precio de este último. Aunque existen fluctuaciones tanto positivas como negativas, la inclinación general del precio del petróleo es al aumento. En 7 años, desde el 2000 al 2007, el precio del diesel se triplicó, y sólo en el 2008 llegó casi al doble. Luego de la crisis financiera de ese mismo año, los precios disminuyeron por debajo de la tendencia, sin embargo, hoy se encuentra alrededor de los 600 dólares por metro cúbico.

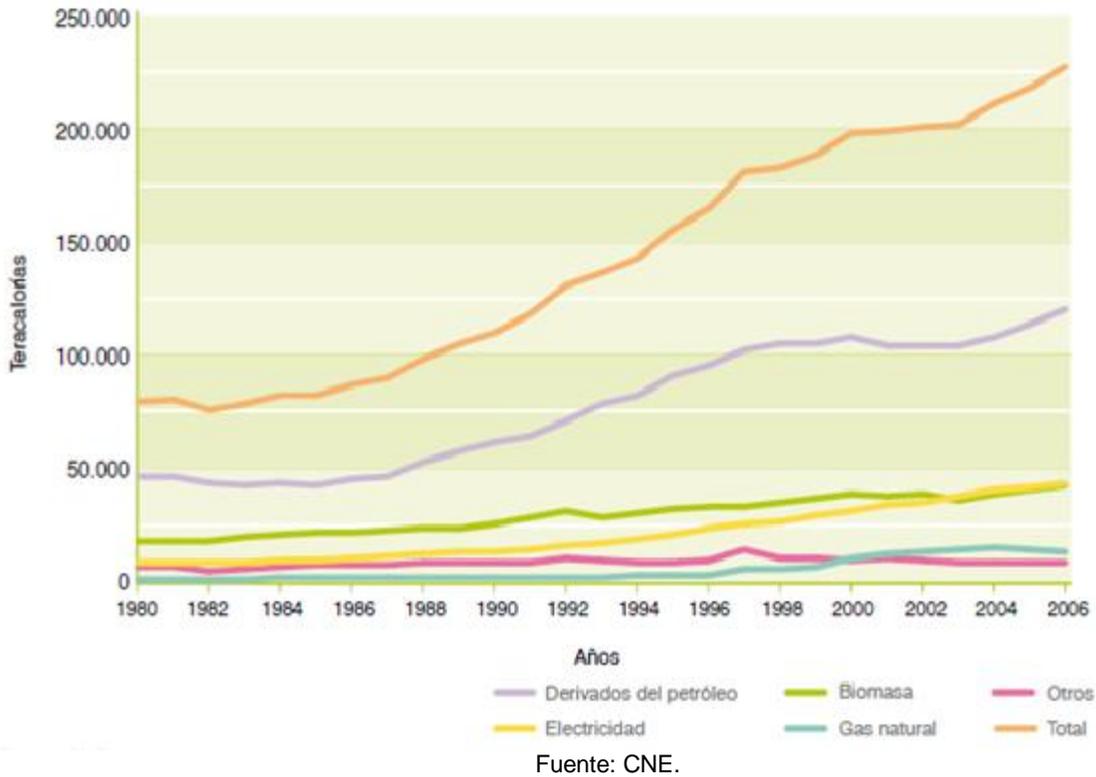
3.3 Consumo

Las necesidades energéticas en Chile han aumentado a gran nivel en las últimas décadas, creciendo casi 3 veces desde 1980 al 2009. En particular, los derivados del petróleo son la fuente más relevante de energía en el país, y son responsables de un 39% del consumo energético total, seguido de la energía eléctrica, con un 21%, reemplazando a la leña en el segundo lugar. Esto se debe a que del petróleo se pueden obtener gran variedad y tipos de combustibles, útiles en diferentes industrias (además de un sinnúmero de productos, como el plástico). Estos pueden ser combustibles gaseosos, como el propano; líquidos, como el diesel, las gasolinas o la parafina; o sólidos, como el coque de petróleo¹¹.

La figura a continuación muestra el consumo anual de energía del país desde 1980 al 2006, según el tipo de fuente energética.

¹¹ El coque de petróleo es un producto residual de elevado contenido en carbono, resultante del fraccionamiento de las partes pesadas obtenidas en el refinamiento del petróleo.

Figura 3: Consumo Final de Energía por tipo de fuente energética

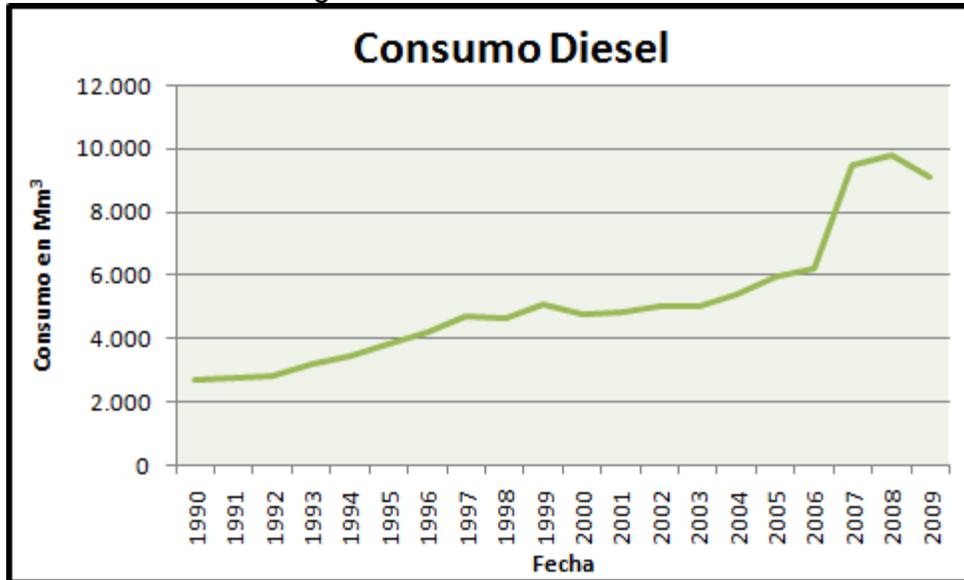


La importancia relativa de los derivados del petróleo ha disminuido desde la década de los 80, pasando de un 46 a un 39%. Esto se debe al aumento sostenido de la demanda de otras fuentes energéticas. Sin embargo, la demanda, en términos absolutos, por el petróleo ha ido en constante aumento, como se ve en la figura anterior.

Específicamente, el diesel es el derivado del petróleo de mayor consumo, tanto en Chile como el mundo. Esto se debe a que es el principal combustible utilizado en el sector de transporte, para barcos, camiones, buses, transporte público, etc., además de ser usado en las industrias, por ejemplo, en generadores eléctricos de alta potencia, entre muchos otros usos. Tan sólo en el año 2009, se consumieron 9,1 millones de metros cúbicos en Chile, contra los 3,5 de gasolina.

La siguiente figura muestra la evolución del consumo de diesel en miles de metros cúbicos anuales, desde el año 1990 al 2009.

Figura 4: Consumo de Diesel



Fuente: Elaboración propia con datos de la CNE.

El consumo de diesel ha ido en manifiesto aumento, teniendo en pick en el año 2007, y luego de la crisis financiera del 2008, ha ido disminuyendo. Se espera que retome la tendencia en los próximos años. Estos movimientos se deben a que el consumo energético, y en particular de diesel, se correlaciona directamente con el crecimiento, es decir, el PIB del país.

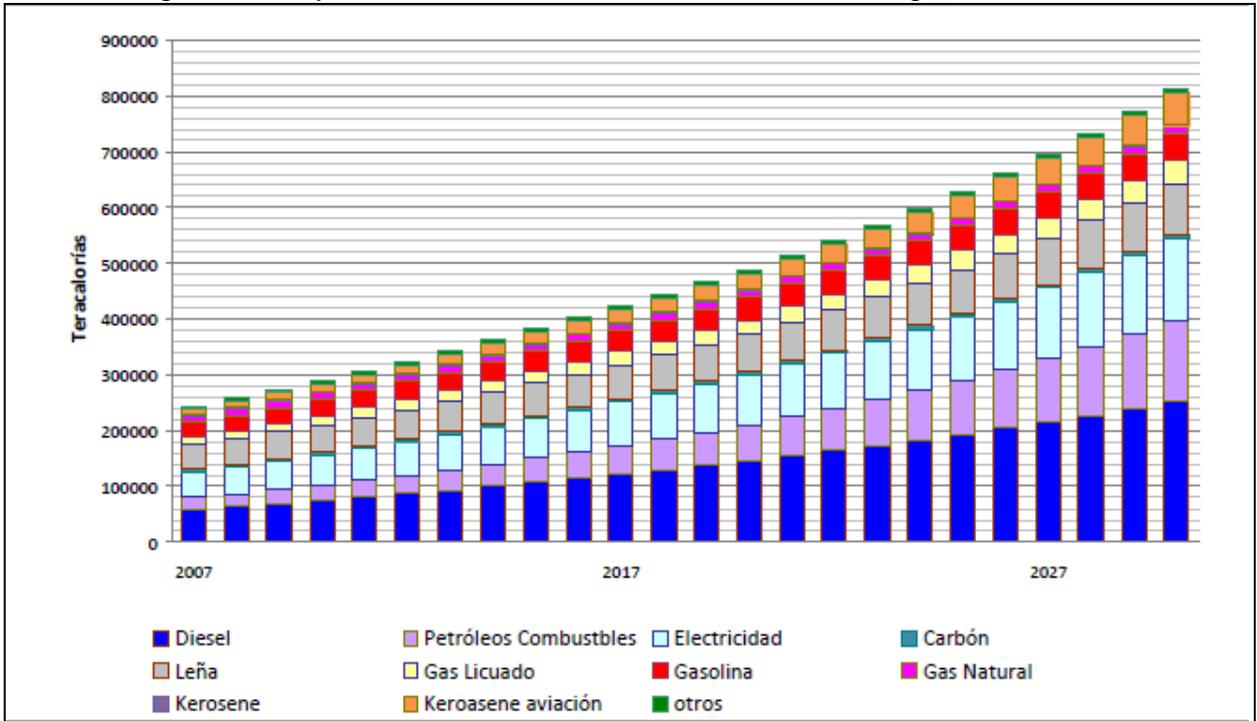
3.4 Proyecciones

Según un estudio realizado para la CNE¹², las proyecciones para el consumo nacional de energía presentan una tendencia general al alza. Se espera que la demanda por los diferentes tipos de combustible tenga una tasa de crecimiento del 5,4% anual constante para los próximos 20 años.

La siguiente figura muestra las estimaciones de consumo energético de Chile, según tipos de combustible, para el período comprendido entre los años 2007 y 2030. Se espera que para el año 2030, la demanda de energía en Chile aumente casi tres veces, obligando al país a incrementar su oferta y buscar nuevas alternativas de abastecimiento de combustible, sobre todo en el caso del diesel ya que es el energético más consumido.

¹² O’Ryan, R. 2008. [14]

Figura 5: Proyecciones del Consumo Nacional de Energía, 2007-2030



Fuente: O'Ryan, R. 2008. [14]

En el caso particular del consumo de petróleo diesel, la figura a continuación muestra las estimaciones de su consumo, según sector industrial en Chile para el período comprendido entre los años 2007 y 2030.

Figura 6: Proyecciones de Consumo de Diesel por Sector



Fuente: O'Ryan, R. 2008. [14]

El consumo relativo de diesel aumentaría de un 24% en el año 2007, a un 31% para el 2030. Su tasa de crecimiento es la más alta, luego de la del petróleo combustibles (o fuel oil), y corresponde a un 6,5% por año. Se espera que su demanda sea casi cuatro veces más importante en 20 años más. Es así que se presenta una gran oportunidad para la planta de diesel sintético, dadas las necesidades y demanda que tendría el país a futuro.

Se observa que la mayor parte del consumo de diesel en el país a lo largo del período considerado proviene del sector transporte, el cual concentra el 68,5% del consumo intersectorial en el año 2007 y se proyecta que llegue a más de un 79% de participación para el año 2030. Además, éste es el sector que más aumenta el consumo de este energético durante el período de evaluación, presentando una tasa de crecimiento promedio anual del 7,2%, para llegar a consumir casi 4,5 veces más en 20 años.

En orden de importancia relativa, el sector Industria y Minas Varias es el segundo consumidor de diesel, aunque en mucho menor medida, con un consumo relativo de 18% con respecto al consumo total en el año 2007. Esta participación disminuye a lo largo del período estudiado, de manera que en el año 2030 se estima que el consumo relativo de este combustible en este subsector sea del 14,4%. Sin embargo, se proyecta que el sector aumente su consumo real durante el período a una tasa de 5,5% anual, llegando a multiplicar su demanda más de tres veces.

4.- EL PROCESO PRODUCTIVO

El diesel sintético es obtenido a través de una técnica de tratamiento térmico de residuos de plásticos y neumáticos denominada “pirólisis al vacío”. Consiste en el fraccionamiento de sustancias orgánicas en ausencia de oxígeno, someténdolas a altas temperaturas. De este modo, no hay combustión directa ni oxidación. Las proporciones relativas de los elementos producidos y su calidad dependen mayormente de la temperatura y del tiempo que se aplique la pirólisis, además de la composición de los insumos usados. Dado el carácter de confidencialidad del proceso de obtención de diesel sintético, ya que esta tecnología está en proceso de patentarse, estas características no serán detalladas, sin embargo, se explicarán grosso modo las etapas del proceso, para tener una idea general del funcionamiento de esta tecnología.

Ésta funciona en forma de línea de producción y tiene una capacidad para procesar unas 10 toneladas de materia prima por batch. Esto se debe a la maquinaria que se desea adquirir, ya que el tamaño del reactor es el cuello de botella. El proceso de transformación total es, entonces, discontinuo y demora unas 14 horas por turno. No se pueden tratar plásticos y neumáticos en conjunto, ya que la pirólisis debe hacerse con diferentes características para cada uno.

4.1 Etapas del Proceso

El proceso de fabricación se divide, básicamente, en las siguientes etapas:

1.- Trituración

Tanto el plástico como los neumáticos deben cortarse en pequeños trozos de unos 5x5 centímetros mediante una máquina trituradora, especial para cada tipo de insumo. Esto se debe a que la materia prima que se utiliza es de gran tamaño, y es necesario reducir su volumen para facilitar su tratamiento, la licuefacción y permitir que el procedimiento de pirólisis sea uniforme.

Durante este proceso, se divide y separa el caucho, el acero y la fibra textil que contienen los neumáticos. El caucho continúa en el proceso de pirólisis y los otros dos elementos se eliminan de la línea. Esto corresponde a cerca del 20% del peso total del neumático. En el caso de los plásticos, no es necesario ningún tipo de diferenciación, ni separación previa, es decir que, exceptuando el PET y el PVC, todos los plásticos son utilizados sin distinción dentro del reactor.

2.- Licuefacción

Esta etapa del proceso sólo se aplica a los plásticos. Gran parte de ellos contienen materiales de refuerzo, rellenos inorgánicos y/o aditivos que le entregan ciertas propiedades y características al mismo. Es por eso, que deben separarse los polímeros de los otros posibles materiales que componen el residuo.

Además, dado que se trabaja bajo condiciones específicas de temperatura, presión y tiempo, el proceso siguiente de pirólisis puede calcinar el plástico y dar como resultado sólo cenizas sólidas y no los gases deseados; o puede que se produzca una masa de plástico fundido imposible de manipular.

El material se licua parcialmente luego de su granulación, mediante su calentamiento a elevadas temperaturas y alta presión junto con un solvente líquido. De esta forma, se produce una pasta bombeable que contiene plástico solubilizado y material inorgánico separado. Luego, este último se elimina de la mezcla y se bota. El plástico licuado es enviado a la cámara de pirólisis para comenzar la fabricación del diesel sintético.

3.- Pirólisis

Ésta se lleva a cabo a altas temperaturas, superiores a los 350°C. Bajo estas condiciones, los insumos se transforman en gases, líquidos y cenizas sólidas. Éstos son tratados en una doble cámara cilíndrica concéntrica: en el centro se encuentra la materia prima, en un ambiente al vacío, y alrededor, separado por la primera cámara, aire. Este segundo cilindro es calentado con una llama directa, traspasando calor a la materia prima a través del aire, evitando la incineración de la misma por el contacto directo con el fuego.

Si se tienen las condiciones adecuadas de tiempo, temperatura y cantidad de insumos, la pirólisis provoca la ruptura de los polímeros¹³, dando como resultado cadenas moleculares más pequeñas, que componen los hidrocarburos, que, a su vez, conforman los derivados del petróleo.

La clave de un proceso de pirólisis eficiente es asegurar que el material sea calentado uniforme y rápidamente. Si aparecen grandes cambios de temperatura, puede que se produzca una masa plástica fundida, y el rompimiento de los polímeros no sea el adecuado, dando resultado a elementos con cadenas demasiado grandes, por lo que no se formarían los productos deseados.

Otro aspecto importante del proceso es que se trabaja en vacío, es decir, en ausencia total de oxígeno. Esto asegura que se evite la oxidación, tanto de la maquinaria como de los productos, asegurando la calidad del mismo. Además, permite que los vapores de la pirólisis sean removidos rápidamente de la cámara procesadora, reduciendo, así, la incidencia de reacciones secundarias y la formación indeseable de subproductos.

Los pasos esenciales en la pirólisis son los siguientes:

- Insertar el caucho granulado o la mezcla de plásticos a la cámara central.
- Eliminar el oxígeno de la cámara de pirólisis.
- Calentar uniformemente la materia prima a un estrecho rango de temperatura sin variaciones excesivas y en un ambiente de presión controlada. La pirólisis comienza y el plástico o el caucho se convierten en diversos vapores y gases. Los residuos sólidos caen hacia el fondo de la cámara.
- Separar constantemente los residuos sólidos ya que pueden actuar como aislantes térmicos y reducir la transferencia de calor. En el caso de los neumáticos, se deben remover además el resto de los componentes del mismo que no sirven como insumo para producir diesel, es decir, el negro de humo, principalmente.

Parte de los gases producidos por esta parte del proceso son reutilizados por la misma línea de producción como combustible para el calentamiento de la cámara de pirólisis gracias a la combustión de los mismos. Estos gases de pirólisis contienen un menor porcentaje de carbono, y son cerca del 6% del total de los gases emanados durante esta etapa.

Éste es un circuito cerrado, donde, en teoría, se tiene un 100% de rendimiento dado que los gases que no son condensados – para ser transformados en hidrocarburos líquidos – son utilizados por el proceso para continuar en funcionamiento. Todo producto es recuperado durante el proceso productivo. Solamente es necesario utilizar combustible para el arranque de las máquinas.

¹³ Puede ser plástico o caucho.

4.- Condensación

A continuación, se deben condensar los gases obtenidos, de forma selectiva, gracias a un condensador y, así, obtener destilados de similares características que los derivados del petróleo. Este condensador es denominado convertidor catalítico y permite destilar y enfriar los gases.

En esta etapa se altera la estructura molecular del material gaseoso gracias a la inyección de un material catalizador, que modifica el tiempo de condensación de los gases, permitiendo obtener el producto deseado. Este catalizador no es consumido y no contamina el producto formado. El destilado obtenido contiene, en parte, distintos tipos de aceites más pesados, cenizas e hidrocarburos.

Este destilado resultante, denominado diesel equivalente, es transferido a unos tanques de recuperación para pasar a la siguiente etapa.

5.- Fraccionamiento o Rectificación

El diesel equivalente obtenido aún no es puro y contiene elementos que deben ser removidos. Éste debe fraccionarse o rectificarse, es decir que deben separarse las diferentes componentes sólidas y líquidas, para alcanzar un diesel puro, listo para su refinamiento.

En primer lugar, deben removerse los residuos sólidos que pueden haber quedado suspendidos en el aire en forma de polvo y se mezclaron con los gases, como, por ejemplo, cenizas, o en el caso del uso de neumáticos, negro de humo. Debido al tamaño de las partículas, la primera parte de este proceso se lleva a cabo en una cámara centrifugadora, que permite la separación de los diferentes compuestos del diesel equivalente. Los residuos son eliminados, y la componente líquida pasa por filtros para la remoción de partículas más pequeñas, como el negro de humo.

Por otro lado, los gases que salen de los sistemas de separación de sólidos consisten en un amplio rango de hidrocarburos, en función del contenido de carbonos en su fórmula molecular:

- Gas de pirólisis: 5 – 7%
- Aceite pesado: 10 – 18%
- Aceite liviano o diesel: 75 – 85%

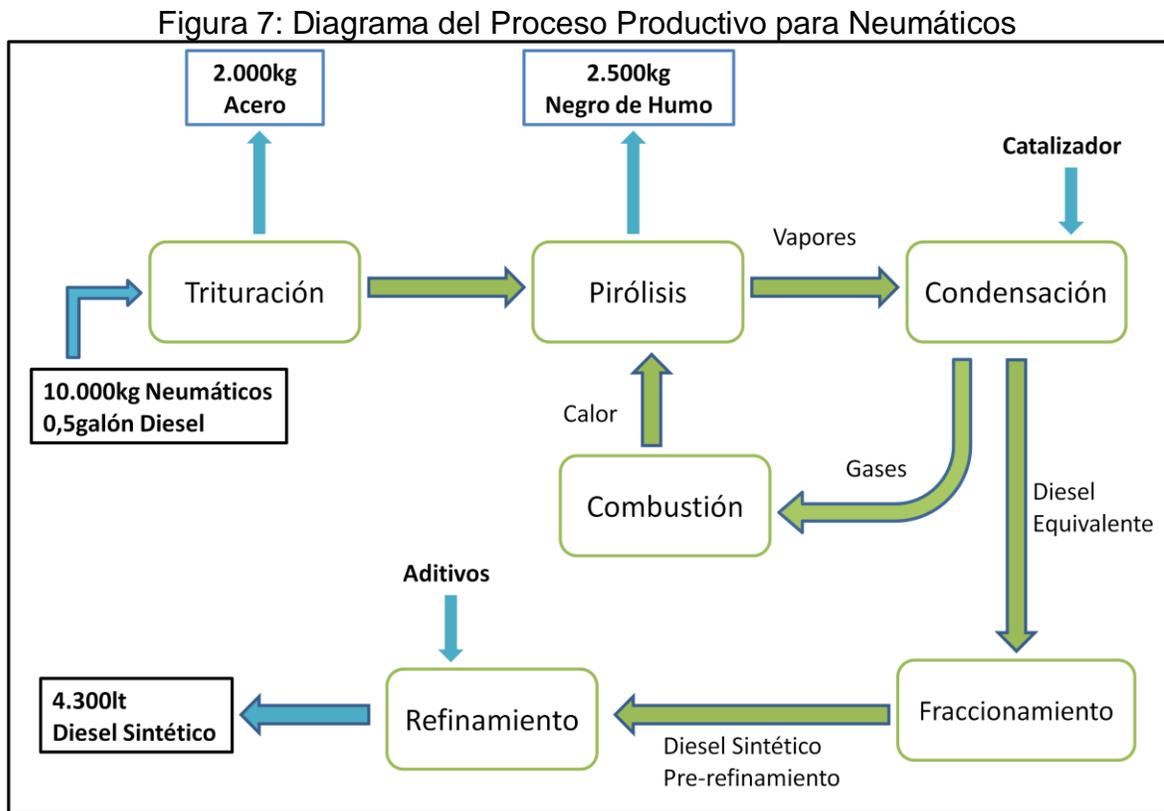
Las fracciones de aceites livianos y pesados dependen del tipo de materia prima utilizada y deben separarse en una columna de destilación. Estos se almacenan en tanques para su uso posterior. El aceite pesado se reutiliza como combustible en el mismo proceso productivo, y el resto compone el diesel equivalente que es enviado a refinamiento.

6.- Refinamiento

Ésta es la última etapa del proceso productivo para la creación del diesel sintético. El refinamiento permite crear un diesel comparable al fósil, utilizable y comercializable. Esta etapa consiste, entonces, en inyectar aditivos que permiten asimilar las características de este combustible obtenido a los requerimientos y especificaciones exigidas para que el diesel pueda ser inyectado en los motores de encendido automático directamente, y cumpla con las normas de calidad. Así, se logran modificar el índice de cetano y el punto de inflamación, entre otros.

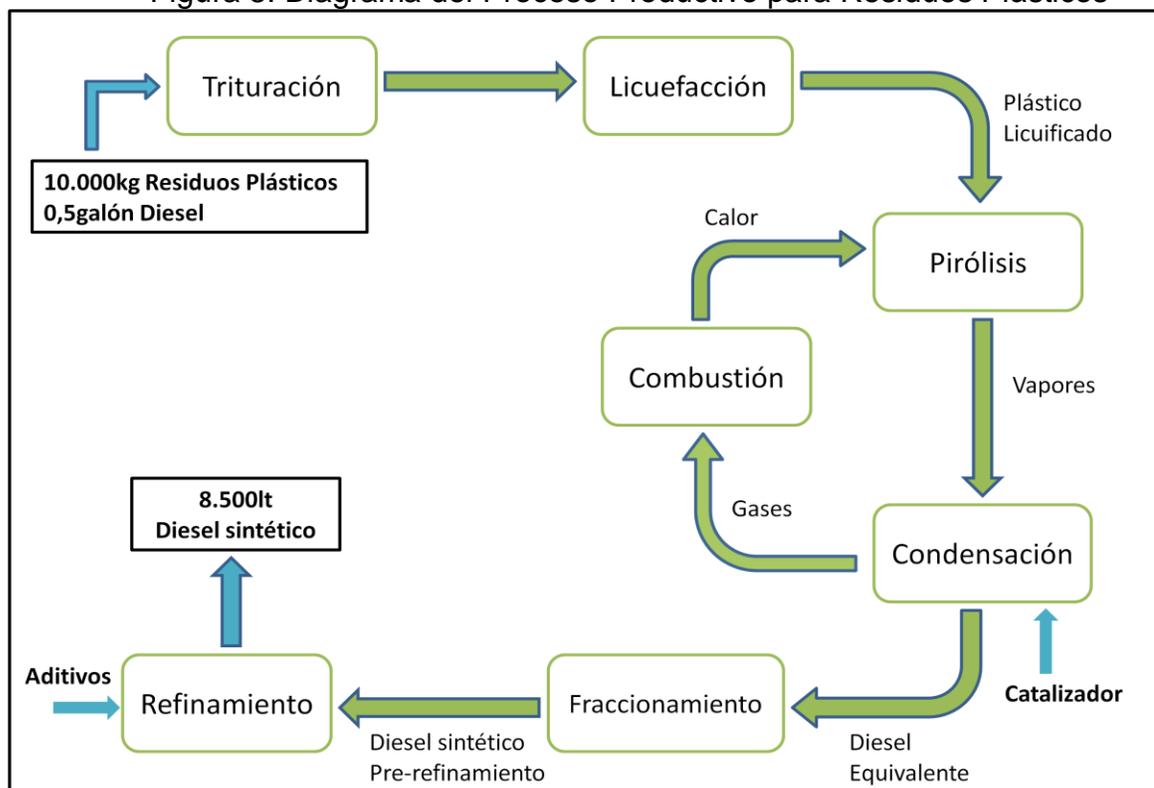
Este diesel sintético puede llegar a ser transformado, gracias a este último proceso, en Kerosene doméstico, Diesel Ciudad o Kerosene Aviación, ya que tienen características similares. Sin embargo, la empresa pretende concentrarse solamente en la venta de Diesel tipo Ciudad, para ser usado en transporte. Cabe destacar que el diesel equivalente puede ser utilizado como combustible en calderas, generadores eléctricos, turbinas de cogeneración, entre otros. El proceso de refinamiento se hace exclusivamente para obtener un diesel utilizable en motores de encendido automático que limite sus niveles de emisión de contaminantes y daños al motor.

Las Figuras 7 y 8 muestran los diagramas de las diferentes etapas del proceso de producción, junto con las cantidades y rendimientos de los insumos y productos resultantes para las líneas de producción a partir de residuos de plástico y neumáticos, respectivamente.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8: Diagrama del Proceso Productivo para Residuos Plásticos



Fuente: Elaboración propia.

4.2 Niveles de Producción

La planta se iniciará con dos líneas de producción, una a base de neumáticos y otra a partir de desechos plásticos, para entrar en el mercado, más adelante se estudiará la posibilidad de aumentar la producción de la empresa. El proyecto a estudiar contempla la utilización de maquinaria capaz de procesar 10 toneladas de materia prima por batch de producción, para cada línea.

Un lote de producción demora 14 horas en total, desde su carga hasta su limpieza, y cada línea de producción sólo funciona a partir de un tipo de desecho. Se pretende que la planta funcione las 24 horas al día, los 7 días de la semana, con 3 turnos diferentes de 8 horas cada uno. Un año tiene alrededor de 360 días laborales, si se restan feriados obligatorios como el día del trabajador, navidad, año nuevo, etc. Por lo que esto significa que en un mes se pueden producir unos 51 lotes por línea aproximadamente, y en un año, 617.

Las tablas que siguen muestran los niveles de producción y cantidades de insumos necesarios mensual y anualmente por cada línea de producción, ya sea a partir de plásticos o neumáticos.

Tabla 2: Producción Total a partir de Desechos de Plástico

	Batch	Mes	Año
Plástico	10 ton	514,3 ton	6.171 ton
Combustible	0,5 gal	25,71 gal	308,6 gal
Diesel Sintético	8,5 m³	437,14 m³	5.245,71 m³

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3: Producción Total a partir de Neumáticos

	Batch	Mes	Año
Neumáticos	10 ton	514,3 ton	6.171 ton
Combustible	0,5 gal	25,71 gal	308,6 gal
Diesel Sintético	4,3 m³	221,14 m³	2.653,71 m³
Acero	2 ton	102,86 ton	1.234,29 ton
Negro de Humo	2,5 ton	128,57 ton	1.542,86 ton

Fuente: Elaboración propia.

Se espera producir, entonces, cerca de 7.900 m³ de diesel sintético al año, en conjunto con ambas líneas de producción, utilizando 6.171 toneladas de cada materia prima. Este nivel de producción corresponde al 0,087% del consumo total nacional. Más adelante en este trabajo, se realizará un estudio de mercado de los potenciales clientes.

5.- CARACTERIZACIÓN DEL DIESEL SINTÉTICO

5.1 Naturaleza y Características del Diesel

El Diesel es un combustible derivado del petróleo y es usado en los llamados motores de encendido automático. Éste no es encendido por una chispa, como la gasolina, sino que el calor del aire comprimido por el pistón enciende el combustible espontáneamente. Un motor diesel utiliza mucha más compresión que un motor a gasolina. El diesel es más sencillo de refinar que la gasolina y suele costar menos. Por el contrario, tiene mayores cantidades de compuestos minerales y de azufre. Tiene aproximadamente un 18% más energía por unidad de volumen que la gasolina, lo que, sumado a la mayor eficiencia de los motores diesel, contribuye a que su rendimiento sea superior. Sus características se detallan a continuación.

Índice de cetano o cetanaje

Así como el octano mide la calidad de ignición, o combustión, de la gasolina, el índice de cetano mide la calidad de ignición de un diesel. El octanaje o índice de octano es una escala que mide la resistencia que presenta un combustible a detonar prematuramente cuando se comprime dentro del cilindro de un motor. Por su lado, el cetanaje es un indicativo de la eficiencia de la reacción que se lleva a cabo en los motores de combustión interna.

El número o índice de cetano guarda relación con el tiempo que transcurre entre la inyección del carburante y el comienzo de su combustión, es decir, el retardo en la misma. La escala se basa en las características de ignición de dos hidrocarburos: el n-hexadecano (o cetano), que tiene un periodo corto de retardo durante la ignición y se le asigna un cetano de 100; y el alfa-metilnafteno tiene un periodo largo de retardo y se le designa un cetano de 0. El índice se calcula, entonces, como la cantidad presente (porcentaje en volumen) de cetano en una mezcla de referencia, la cual se compara con un combustible prueba con igual punto de inflamación.

Una combustión de calidad ocurre cuando se produce una ignición rápida seguida de un quemado total y uniforme del carburante. Cuanto más elevado es el número de cetano, menor es el retraso de la ignición, asegurando una correcta combustión y menos toxicidad de los gases de emisión. Por el contrario, aquellos carburantes con un bajo número de cetano requieren mayor tiempo para que ocurra la ignición y después queman muy rápidamente, produciendo altos índices de elevación de presión. Típicamente los motores se diseñan para utilizar índices de cetano de entre 40 y 55, debajo de 38 se incrementa rápidamente el retardo de la ignición.

Punto de inflamación

El punto de inflamación es la temperatura a la cual el líquido desprende materias volátiles inflamables. Este parámetro se determina, generalmente, para satisfacer temas legales y precauciones de seguridad, ya que se espera reducir el peligro de incendios durante su manejo, transporte y almacenamiento.

Residuo Carbonoso

Da una idea de la tendencia del combustible a formar depósitos carbonosos. El residuo carbonoso es la cantidad de material, en porcentaje de peso, que queda tras someter una muestra de aceite a evaporación a altas temperaturas. Normalmente, se suele usar el 10% que queda en la destilación. También, se puede obtener información acerca de la calidad de la purificación del diesel.

Un valor de residuo carbonoso indica la presencia de diversas impurezas tales como metales, restos de catalizador, entre otros. Si éste es elevado, provoca el depósito de los mismos en los inyectores y, por lo tanto, que la vida útil del motor disminuya.

Cenizas Sulfatadas

Este parámetro se usa para medir la cantidad de compuestos formadores de cenizas en el combustible. Un valor alto de cenizas indica la presencia de sólidos abrasivos, metales y/o restos de catalizadores que contribuyen a la formación de depósitos en el motor, favorecen el desgaste de diversas partes del mismo y la obstrucción de filtros.

Azufre

El azufre está presente naturalmente en el petróleo. Si éste no es eliminado durante los procesos de refinación, contaminará al combustible. El azufre del diesel contribuye significativamente a las emisiones de partículas y dióxido de azufre, SO₂. Por otra parte, el azufre puede desgastar el motor y afectar el funcionamiento del sistema de control de emisiones.

La cantidad de azufre en el diesel se mide en Partes Por Millón (ppm) o porcentaje en volumen o peso, y se refiere a la cantidad de miligramos que hay en un litro de disolución.

Corrosión a la Lámina de Cobre

Mediante la comprobación del desgaste de una lámina de cobre se puede observar si existen compuestos corrosivos en el sistema y/o presencia de ácidos que puedan atacar al cobre o aleaciones de cobre como el bronce que forman parte del sistema de combustible.

Viscosidad

La viscosidad influye en el rendimiento del combustible en el motor. Variaciones en la viscosidad afectan la potencia del motor y, consecuentemente, la cantidad de emisiones y el consumo de combustible.

El diesel debe poseer una viscosidad mínima para evitar pérdidas de potencia debidas a las fugas en el sistema de inyección. Además, se relaciona directamente con la lubricidad del combustible. Por otra parte, también se limita la viscosidad máxima por consideraciones de diseño y tamaño de los motores, y en las características del sistema de inyección.

La viscosidad es medida en centistoke (cSt) a 40°C o 100°C. En la práctica es determinada midiendo el tiempo necesario para que pase una cantidad específica de aceite por un tubo capilar por gravedad a 40°C y/o 100°C. Así, si un aceite es menos resistente a fluir, su viscosidad será baja.

5.2 Especificaciones del Diesel Cuidad

Existen normas y límites sobre cada una de las características del diesel, que deben ser cumplidos dadas sus condiciones de uso y las normas medioambientales del país. Las Tablas 4 y 5 muestran los requisitos que debe cumplir este combustible para poder ser vendido y utilizado en Chile. Existen especificaciones tanto en la Región Metropolitana, Diesel Tipo A1, como para el resto del país, Diesel Tipo B. En el Anexo B se exponen detalladamente todos los requisitos para ambos tipos de diesel.

Tabla 4: Especificaciones Petróleo Diesel A1 – Región Metropolitana

Requisitos	Unidad	Diesel A-1	
		Máximo	Mínimo
Punto de Inflamación	°C		52
Agua y Sedimento	%V/V	0,05	
Residuo Carbonoso(i), 10% residuo			
Según Ramsbottom	%M/M	0,21	
Según Conradson	%M/M	0,20	
Cenizas	%M/M	0,01	
Viscosidad Cinemática a 40°C	cSt	4,1	1,9
Azufre	PPM	50 (ii)	
Corrosión Lámina de Cobre	N°	1	
Número de Cetano	N°		50
Color	N°	Sin colorante	

(i) En caso de arbitraje debe usarse el método Ramsbottom.

(ii) A partir de septiembre del año 2011 el parámetro exigido será de 15ppm.

Fuente: COPEC.

Tabla 5: Especificaciones Petróleo Diesel B – Resto del País

Requisitos	Unidad	Diesel Grado B	
		Máximo	Mínimo
Punto de Inflamación	°C		52
Agua y Sedimento	%V/V	0,1	
Residuo carbonoso, 10% residuo			
Según Ramsbottom	%M/M	0,35	
Según Conradson	%M/M	0,34	
Cenizas	%M/M	0,01	
Viscosidad Cinemática a 40°C	cSt	5,5	1,9
Azufre	%M/M	0,005	
Corrosión Lámina de Cobre	N°	2	
Número de Cetano	N°		50

(i) En las Regiones XI y XII, el valor mínimo de la densidad puede ser 0,815 kg/lt.

Fuente: COPEC.

Existen diferencias en las especificaciones para los diesel tipo A1 y B ya que dentro de la Región Metropolitana se debe ser más estricto con respecto a la calidad del mismo. Los niveles de contaminación existentes en Santiago obligan a exigir el uso de un combustible más refinado, que disminuya la cantidad de material particulado y Gases de Efecto Invernadero emitidos a la atmósfera. Así, el diesel A1 debe contener menos sedimentos, residuo carbonoso y azufre, características que guardan directa relación con la emisión de contaminantes al medioambiente.

5.3 Características del Diesel Sintético

El diesel sintético obtenido luego del proceso de pirólisis tiene similares características al diesel fósil. Este combustible tiene el mismo contenido energético pero con niveles de emisiones significativamente reducidas. Por otro lado, la densidad se

asemeja bastante, al igual que el resto de sus características. De la misma forma que el biodiesel, el diesel sintético puede ser mezclado en proporciones de hasta un 10% con el diesel fósil para poder ser usado directamente en los motores de encendido automático.

Sin embargo, luego del proceso de refinación, puede alcanzar las mismas características y especificaciones del diesel fósil y, así, ser inyectado directamente en los motores diesel, para funcionar de la misma forma. La Tabla 6 detalla las propiedades de del diesel equivalente.

Tabla 6: Propiedades del Diesel Equivalente

Requisitos	Unidad	Diesel directo de pirólisis
Punto de Inflamación	°C	45
Agua y Sedimento	%V/V	--
Residuo carbonoso, 10% residuo	%M/M	0,2
Cenizas	%M/M	0,007
Viscosidad Cinemática a 40°C	cSt	2,5
Azufre	ppm	2
Corrosión Lámina de Cobre	N°	1
Número de Cetano	N°	43

Fuente: Elaboración propia con datos de Adolfo Brinkmann.

Como se aprecia en la tabla anterior, el diesel obtenido directamente luego del proceso de pirólisis cumple con la gran mayoría de las exigencias:

- El nivel de azufre es notablemente menor al estipulado. Para el 2011, se exigirá un nivel de 15 ppm, siendo el del diesel de segunda generación más de 7 veces inferior a éste.
- Asimismo, la cantidad de cenizas está por debajo de lo exigido.
- Su viscosidad se encuentra dentro de los rangos exigidos en todo Chile.
- La corrosión a la lámina de cobre y el residuo carbonoso alcanzan el máximo exigido.

Sin embargo, el diesel sintético sin refinamiento, tiene características que no cumplen con las normas:

- El punto de inflamación está claramente por debajo de lo exigido.
- El índice de cetano no alcanza el mínimo requerido.

Una vez pasado el proceso de refinación, el diesel sintético debiera alcanzar los límites del número de cetano, al igual que del punto de inflamación, gracias a la incorporación de aditivos. Ambos parámetros están directamente ligados ya que tienen que ver con la capacidad de ignición del combustible, por lo que si aumenta uno, también lo hace el otro. Este estudio de sustituibilidad está siendo realizado por Adolfo Brinkmann a escala de laboratorio, con resultados positivos hasta el momento. Éste utiliza aditivos diferentes a los de mercado, que permiten aumentar el índice de cetano,

y, por consecuencia, el punto de inflamación, hasta el punto deseado, sin efectos secundarios, ya que son altamente efectivos, poco invasivos y se utilizan en menor medida. Los componentes de tal producto, al igual que la cantidad, se mantienen bajo reserva, en función de la confidencialidad del proceso productivo.

5.4 Ventajas

La gran diferencia entre el diesel sintético y el diesel fósil recae en el cetanaje y el punto de inflamación, características principales del combustible que no le permite a este diesel de segunda generación ser inyectado directamente en los motores. Este último tiene un índice de cetano menor, y tendría que mezclarse con diesel fósil para poder ser inyectado en los motores de encendido automático. Sin embargo, se pretende que, luego del proceso de refinamiento, se llegue a índices que alcancen la norma chilena de un mínimo de 50, y pueda ser vendido para su uso directo en motores de encendido automático.

La fabricación y uso de diesel sintético presenta numerosos beneficios con respecto al uso de diesel fósil, algunas similares a las del biodiesel. Sin embargo, al ser un producto nuevo y en etapa exploratoria, no se conocen detalladamente las ventajas que éste podría tener. Aun así, algunas se pueden inferir de sus características tanto de la forma de producción como de las especificaciones finales antes expuestas. Estas son las siguientes:

- El diesel sintético casi no presenta azufre en su composición (sólo 2 ppm), lo que lo transforma en una alternativa mucho más limpia y reduce significativamente las emisiones de Gases de Efecto Invernadero a la atmósfera tales como emisiones de material particulado, dióxido de azufre, SO₂ y dióxido de carbono, CO₂.
- Su fabricación necesita de poca energía, ya que reutiliza algunos de los gases subproductos del proceso de pirólisis, como combustible.
- Este nuevo combustible es fácil de implementar, ya que puede ser vendido y utilizado directamente en los motores y no necesita reajustes. Esto proporciona una ventaja competitiva con respecto al biodiesel, ya que este último debe ser mezclado para ser vendido.
- Las características del motor son similares si se usa diesel fósil o de segunda generación, es decir que el rendimiento y el consumo no cambian de forma significativa ya que este nuevo combustible tiene el mismo poder energético que el diesel fósil. Los cambios para el conductor debieran ser imperceptibles.
- No son necesarias modificaciones en la forma de almacenamiento, distribución ni venta del diesel sintético ya que tiene prácticamente las mismas características que el diesel convencional. El diesel sintético y fósil se clasifican ambos como Clase II por el Decreto N°160 (con punto de inflamación entre 37,8 y 60°C), y se atañen, entonces, a las mismas regulaciones.

- La fabricación de este tipo de diesel contempla la reutilización y reciclaje de residuos inorgánicos, de largo periodo de degradación que afectan a la naturaleza. Se reducen, así, espacios en vertederos, se evitan contaminaciones de suelos y agua, y las emisiones de gases por queda de neumáticos.
- Como se verá más adelante, este combustible tiene un costo de producción que representa menos del 58% del PPI actual, lo que lo hace totalmente competitivo en el mercado.

5.5 Desventajas

El diesel sintético, a pesar de las mejoras que conlleva su uso en motores de combustión interna, presenta algunas desventajas que no se pueden despreciar, tanto en su uso final, como en el proceso de fabricación:

- El punto de inflamación es bastante bajo, por lo que su manejo se hace un poco más delicado y peligroso durante el proceso de producción. Sin embargo, el diesel sintético se clasifica de la misma forma que el diesel convencional, por lo que las condiciones y exigencias de manipulación, almacenamiento, transporte son las mismas.
- El diesel sintético es un producto nuevo, que se encuentra en etapa de evaluación. No se conoce en detalle su potencial y si el mercado lo recibirá como un par del diesel fósil.
- El número de cetano del diesel sintético sin refinar es notablemente más bajo a lo exigido por la norma chilena. Esto significa que tiene menor resistencia a detonar, haciéndolo menos eficiente y de menor calidad. Un índice bajo produce dificultades de encendido, reducción en el rendimiento del vehículo y aumento de las emisiones. Sin embargo, gracias a la inyección de aditivos, el cetanaje se puede aumentar para llegar a lo exigido en Chile.
- No existe normativa ni legislación para este nuevo tipo de combustible, por lo que es necesario crear una en conjunto con la CNE, dado que no está definido y, aunque puede que cumpla con las normas del diesel fósil, su estructura interna es diferente y puede afectar motores, la cadena de distribución, entre otros. Esto aumenta la incertidumbre con respecto a la recepción del diesel de segunda generación en el país.

6.- LA MATERIA PRIMA

El principal desafío que presenta este trabajo de memoria, y, por tanto, la viabilidad del proyecto en el país, tiene relación con el estudio de la disponibilidad, volúmenes, manejo, recolección y precio de las materias primas. Esto se debe a que se trata de desechos, por lo que, al no existir un mercado establecido, se debe crear uno.

6.1 Los Neumáticos

6.1.1 Caracterización

La estructura del neumático está formada principalmente por láminas de caucho en la parte interior, una malla de acero y/o textil, y una capa exterior de caucho macizo moldeado, que constituye la banda de rodadura. Esta banda es la que va en contacto con la superficie del camino, tiene una alta resistencia al desgaste y, a través de su diseño, proporciona las características de tracción, frenado y adherencia, gracias a las hendiduras, su profundidad, grosor y forma. Durante el uso, se produce un desgaste de la banda que depende de la calidad del producto y de los kilómetros recorridos. Así, se vuelve insegura la conducción, por lo que el neumático debe ser cambiado, y se transforma en desecho.

Se agregan, además, otros materiales para mejorar sus propiedades, tales como suavizantes, que aumentan la maleabilidad del caucho; antioxidantes, para alargar la vida útil del neumático ya que reducen el efecto de la acción del oxígeno y el ozono; activadores como óxido de zinc y de magnesio; y negro de humo, que entrega mayor resistencia al desgaste y a la tensión.

Dependiendo de su uso, los neumáticos varían en diseño y tamaño. Sin embargo, la composición es muy similar. En la siguiente tabla se presenta un resumen de las principales características y componentes de los neumáticos usados en autos y camiones.

Tabla 7: Características de los Neumáticos

	Vehículos Livianos	Camiones y Buses
Caucho	48 %	45 %
Negro de Humo	22 %	28 %
Acero	15 %	25 %
Textil	5,5 %	--
Óxido de Zinc	1 %	2 %
Azufre	1 %	1 %
Aditivos	5 – 8 %	--
Metales pesados presentes	Cantidades pequeñas de cobre, cadmio y plomo	
Peso	6,5 – 11 kg.	50 – 80 kg.
Volumen	0,06 m ³	0,36 m ³

Fuente: Elaboración propia

Con datos de Martínez, J. 2005 [13] y CyV MEDIOAMBIENTE LTDA. 2008 [9]

Los tipos de neumáticos pueden clasificarse según uso, donde existen dos grandes categorías:

- Neumáticos de carretera: Automóviles, Camionetas, Buses y Camiones, hasta aro 24.

- Neumáticos OTR (Of The Road): Industriales, Agrícolas, Mineros, etc., de gran tamaño y peso.

Cerca del 95% del total de neumáticos comercializados en Chile corresponderían al segmento de neumáticos de carretera y sólo un 5% a neumáticos de tipo OTR, industrial y minero¹⁴.

Las propias fuentes de la industria a nivel internacional estiman que un 85% de todos los neumáticos de carretera usados proceden de vehículos livianos o camionetas y un 14% de camiones pesados, el 1% restante son neumáticos especiales para motocicletas, aviones, equipos de construcción, entre otros.

Dentro de la clasificación de residuos sólidos, los Neumáticos Fuera de Uso (NFU) son considerados como Residuos No Peligrosos, y, en general, presentan un bajo impacto directo. Sin embargo, su gestión inadecuada genera riesgos y daños al medioambiente y, en consecuencia, a la población, entre los que se encuentran:

- La quema ilegal de neumáticos, por combustión incontrolada tiende a producir cantidades importantes de hidrocarburos (negro de humo espeso) y emisiones nocivas para la atmósfera y la calidad del aire, entre ellas monóxido de carbono o dióxido de azufre. Además, se pueden generar cantidades significativas de líquidos y sólidos con contenidos químicos dañinos derivados del proceso de fusión de los neumáticos, que pueden ser potenciales contaminantes del suelo y del agua superficial y subterránea. Una vez que se comienzan a quemar los neumáticos, es difícil apagar el incendio, el cual puede durar meses.
- Los restos orgánicos de la quema que quedan depositados en el suelo pueden afectar la flora y fauna, contaminando aire y tierra.
- El gran volumen de los NFU proporciona un ambiente propicio para la reproducción de mosquitos y roedores dado su capacidad de acumular agua de lluvia y otros desechos, creando condiciones ideales (humedad, calor, ausencia de luz y protección). Los mosquitos a menudo son transmisores de enfermedades, lo que sustenta la resolución del Ministerio de Salud de no permitir el ingreso a Chile de NFU.
- Los acopios o depósitos de neumáticos, que generalmente corresponden a lugares no controlados en zonas rurales, atraen, además, la disposición de otros tipos de residuos, formándose pequeños basurales o basurales clandestinos.
- Existe riesgo de lixiviación (es decir, disolución) de metales o compuestos hidrocarbonados por exposición a suelos ácidos que podrían contaminar suelos y agua superficial y subterránea.

¹⁴ Fuente: CyV MEDIOAMBIENTE LTDA. 2008.[9]

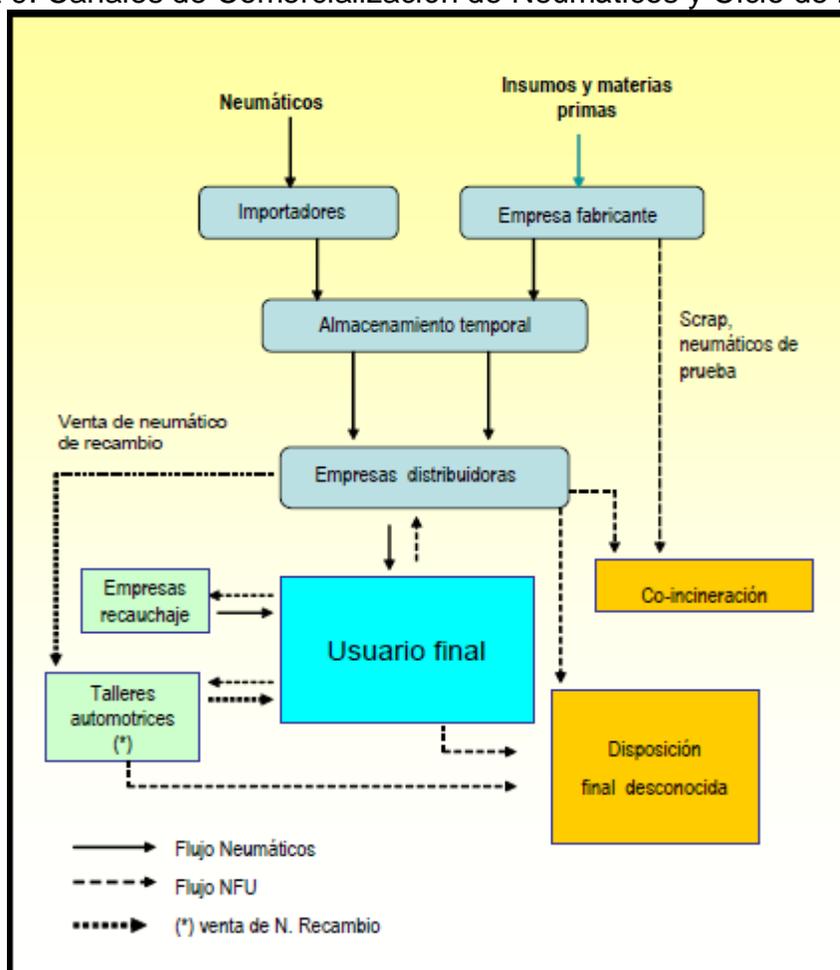
6.1.2 El Mercado de los NFU

Ciclo de Vida

Los neumáticos vendidos en el mercado nacional provienen mayoritariamente de importaciones. Sin embargo, la única empresa nacional que fabrica neumáticos es Goodyear, quien produce cerca del 20% de los neumáticos comercializados en el país y exporta más del 80% de su producción. La Cámara de la Industria del Neumático de Chile (CINC) está conformada por las principales empresas comercializadoras de neumáticos del país: Bridgestone/Firestone, Michelin, Pirelli y Goodyear. Ellas son responsables de más del 60% de las ventas de este producto en el país.

La Figura siguiente muestra el ciclo de vida de un neumático, y cómo es que se producen los NFU en el país.

Figura 9: Canales de Comercialización de Neumáticos y Ciclo de los NFU



Fuente: CyV MEDIOAMBIENTE LTDA. 2008. [9]

Los principales canales de comercialización de neumáticos son las distribuidoras, quienes reciben el producto desde las importadoras o empresa fabricante. Las

distribuidoras venden directamente, tanto a empresas de distintos rubros como a personas naturales, y estos a su vez, se convierten en los usuarios finales de los neumáticos.

Las empresas dueñas de buses y camiones recauchan sus neumáticos para aumentar su vida útil; este recauchaje se puede realizar en promedio dos veces, llegando incluso a tres, si la condición del neumático lo permite. En tanto, los usuarios de vehículos livianos realizan sus recambios en las distribuidoras o en talleres automotrices y, en su mayoría, dejan en dichos lugares los NFU. Estos son enviados a algún lugar de disposición final, que, generalmente, no es conocido o bien se comercializan a través de un mercado informal¹⁵, que adquiere neumáticos usados para recaucharlos y enviarlos nuevamente al mercado por unos 6 meses más. No obstante, algunos NFU tienen paradero conocido y son utilizados en rellenos sanitarios o para co-incineración, entre otros.

Disponibilidad

El volumen de venta de neumáticos a nivel nacional ha tenido un aumento sostenido en los últimos años, que se equipara con la tasa de recambio de los mismos, es decir, el porcentaje desechado, y estos se asocian al crecimiento del parque vehicular. Éste último ha sido en promedio de un 6,5% anual desde el 2005 a 2008. Pero, en el 2009, éste llegó solamente al 3,8%, dada la crisis financiera que afectó al mundo.

Un estudio realizado para la CONAMA¹⁶ fue capaz de calcular los índices de producción de Neumáticos Fuera de Uso en el país que hacen alusión al número de neumáticos de carretera que se desechan dado su recambio. Estos se calcularon en base a la vida útil de los neumáticos por tipo de vehículo que son, para:

- Vehículos livianos: 0,8 por año.
- Vehículos de transporte público: 4 por año.
- Vehículos de carga: 4 por año.

Dado el número de vehículos circulando en Chile y la cantidad de neumáticos por cada uno, se puede calcular el total de NFU que anualmente se generan en el país. Para este cálculo, se restó el porcentaje de neumáticos de buses y camiones que va a recauchaje. La Tabla 8 a continuación detalla la estimación de neumáticos anualmente desechados desde el año 2002 al 2008.

¹⁵ Fuente: CyV MEDIOAMBIENTE LTDA. 2008.[9]

¹⁶ CyV MEDIOAMBIENTE LTDA. 2008.[9]

Tabla 8: Estimación Total de NFU (años 2002 a 2008)

Año	Total Neumáticos en uso	Total Neumáticos Recambio	Recauchaje (unidad)	Recauchaje (ton)	% Recauchaje (ton)	% Recauchaje (unidad)	NFU final	NFU ton/año
2002	9.313.168	2.376.321	256.529	11.711	23,5%	10,80%	2.119.792	38.190
2003	9.440.204	2.394.923	252.661	11.534	23,2%	10,55%	2.142.262	38.161
2004	9.878.692	2.502.905	262.296	11.974	23,1%	10,48%	2.240.609	39.776
2005	10.494.880	2.651.099	274.848	12.547	23,0%	10,37%	2.376.251	41.984
2006	11.092.348	2.792.382	285.634	13.039	22,9%	10,23%	2.506.748	43.918
2007	11.712.712	2.947.804	302.370	13.803	22,9%	10,26%	2.645.434	46.347
2008	13.391.572	3.094.951	311.503	14.220	23,0%	10,06%	2.783.448	47.593

Fuente: CyV MEDIOAMBIENTE LTDA. 2008. [9]

Sólo el 10% de las unidades de neumáticos de recambio son recauchadas para su reutilización, lo que implica que en Chile se desechen cerca de 2,78 millones de neumáticos al año, equivalentes a más de 47.500 toneladas de residuos, con una tasa de crecimiento anual promedio del 4,5%. De acuerdo a información entregada por la CINC, la venta de neumáticos del año 2008 fue cercana a los 2,85 millones de unidades, por lo que es factible aproximar las ventas de neumáticos anuales con la producción de NFU.

La tabla que sigue desglosa la generación de NFU por región en el país y sus porcentajes respectivos.

Tabla 9: Estimación Total de NFU por Región

Región	NFU Unidad/año	NFU ton/año	Distribución regional NFU
XV de Arica y Parinacota	38.860	670	1,47%
I de Tarapacá	67.568	1.123	2,55%
II de Antofagasta	104.835	2.054	3,96%
III de Atacama	54.552	1.257	2,06%
IV de Coquimbo	96.695	1.733	3,66%
V de Valparaíso	268.292	4.520	10,14%
Metropolitana de Santiago	1.078.305	16.653	40,76%
VI de O'Higgins	151.643	3.141	5,73%
VII del Maule	167.629	3.451	6,34%
VIII del Bío-Bío	288.538	5.596	10,91%
IX de La Araucanía	113.911	2.135	4,31%
XIV de Los Ríos	44.512	863	1,68%
X de Los Lagos	113.653	2.238	4,30%
XI Aysen	16.744	332	0,63%
XII Magallanes y Antártica	39.693	637	1,50%

Fuente: CyV MEDIOAMBIENTE LTDA. 2008. [9]

Incluyendo sólo los neumáticos de carretera, la distribución geográfica de los NFU determina que la Región Metropolitana concentra casi el 41% de la generación

nacional, es decir, unas 16.600 toneladas. Si se consideran las regiones de la zona central (V a VII Región), el porcentaje de generación estaría cercano al 63%. La zona norte (hasta la IV Región), genera el 13,7% o 6800 toneladas, y la zona sur (VIII a X Regiones) un 21,2%, que equivalen a 10.800 toneladas. Las regiones del extremo sur (XI y XII) sólo generan un 2,1%.

Usos de los NFU

Hoy en día, gran parte de los NFU que se generan en Chile no tienen un paradero conocido, y existen pocos proyectos dedicados a la eliminación y/o valorización de estos. La tabla a continuación muestra las actuales alternativas de manejo de los neumáticos desechados en el país y las cantidades derivadas a cada una para el año 2008.

Tabla 10: Cantidades y destinos de los NFU en Chile año 2008

Destino de los NFU	Unidades/año	Toneladas/año	% Destino de residuos
Neumáticos Recambiados	3.094.951	61.813	--
Recauchaje	311.503	14.220	--
Total NFU	2.783.448	47.593	100%
Co-incineración	134.000	2.244	4,71%
Uso en rellenos sanitarios	150.000	3.040	6,39%
Uso en infraestructuras	120.000	2.000	4.20%
Destino Desconocido (no determinable)	2.379.448	40.309	84,70%

Fuente: ECO ING. 2010. [10]

Más de 2.200 toneladas de NFU se destinan anualmente a la co-incineración en hornos cementeros para ser utilizado como combustible alternativo, otras 5.000 toneladas a uso directo en infraestructura como la estabilización e impermeabilización de laderas de rellenos sanitarios, muro de contención para el control de erosión, control de fosos en la agricultura y otras construcciones.

Aun así, existen otras alternativas de valorización para los NFU. Éstas se basan en la re-utilización del caucho. En Chile, tan sólo existen una gran empresa dedicada al rubro del reciclaje de este producto llamada Polambiente S.A., inaugurado en el presente año 2010, y otra en etapa de construcción, Sensei Ambiental S.A. Estas empresas se dedican a la trituración y granulación de los neumáticos, obteniendo así polvo y gránulos de entre 0,5 y 4,5 milímetros de diámetro, y como subproductos, alambre de fierro con menos de un 4% de caucho adherido. Estos gránulos de caucho reciclado pueden ser usados en superficies y pistas deportivas, mezclas asfálticas, canchas sintéticas, filtros impermeables, baldosas flexibles, palmetas de seguridad para jardines y plazas de juegos infantiles, entre otros.

Polambiente es la primera y única planta de reciclaje de NFU en Chile, que utiliza neumáticos de hasta 1,4 metros de altura. Ésta se ubica en Lampa, en la Región

Metropolitana, y procesa alrededor de 7.000 toneladas al año, equivalentes a 3 millón de unidades, recolectadas en las regiones V, VI y Metropolitana, zonas en que se producen al menos 24.000 toneladas de NFU por año. Se espera que en 2 años más, esta empresa implemente una segunda línea de producción, aumentando su capacidad a 14.000 toneladas por año. Según un estudio de mercado de la propia empresa, no existe en Chile demanda suficiente como para pensar en abrir o ampliar aun más la capacidad productiva de la planta¹⁷.

La empresa Polambiente tiene un cierto nivel de precio para la recepción de los NFU, dependientes de su proveniencia y tipo, y tienen relación con los costos de almacenamiento e inventario de la empresa. Sin embargo, dado que no existe competencia, los precios se asimilan a los de monopolio. Polambiente no recolecta, por lo que son los mismos productores de los desechos quienes deben asumir también el costo de transporte hasta la planta. La empresa tiene los siguientes precios para la recepción de NFU para privados, detallados en la Tabla 12.

Tabla 12: Precios de recepción de NFU

Tipo de NFU	Precio por kilogramo
Vehículo liviano	\$90
Camiones (hasta 1,4 metros)	\$0

Fuente: Polambiente.

Además, esta empresa tiene un acuerdo con la CINC, que consiste en financiar parte del software desarrollado por la CINC para la coordinación y recolección optimizada de los NFU y que asegura el abastecimiento de los mismos. Parte del acuerdo también implica un costo por materia prima de \$20 por tonelada, que contempla recolección y transporte. Una vez finalizado el periodo de desarrollo del software, este costo será nulo para Polambiente, estimado para el 2012.

Por su parte, Sensei Ambiental se ubica en Chuquicamata, en la II Región y se inauguraría en noviembre del 2010. Esta empresa pretende hacerse cargo de los desechos de neumáticos OTR, es decir, neumáticos de gran tamaño (hasta 4 metros de diámetro y 5 toneladas de peso) usados en la maquinaria minera. Ésta trabaja en conjunto con la División Codelco Norte, procesando sus residuos, para lograr procesar cerca de 12.500 toneladas al año.

De acuerdo a las estadísticas de la Comisión Chilena del cobre, COCHILCO, podría estimarse una generación anual en los últimos años de entre 6.000 y 6.500 unidades de NFU del tipo OTR de minería. Si se asume un peso promedio de cada uno cercano a las 2 toneladas, la generación de este tipo de NFU sería del orden de las 12.000 a 13.000 toneladas anuales, sin considerar la estimación de NFU minero acumulado sólo en la II región, correspondiente a unas 25.000 unidades, es decir 50.000 toneladas más.

¹⁷ Fuente: Alejandro Navech, gerente de Marketing de Polambiente S.A.

Estos datos revelan que existen alternativas de valorización de NFU, sin embargo, si se toma en cuenta la expansión de Polambiente, aun así, más del 55% de los ellos tienen un vertido desconocido, y los del tipo OTR aún no tienen una solución concreta. De esto y la creciente demanda de neumáticos nace la importancia de reciclarlos.

Siguiendo la evolución del parque vehicular que sobrepasaría las 4,5 millones de unidades al 2020, la Tabla 11 muestra las proyecciones de las unidades de recambio neto para los próximos 7 años. La tasa de crecimiento se estima en un 4% anual y se establece en base a la tasa de crecimiento del rubro y del parque automotriz a nivel nacional.

Tabla 11: Estimación de Recambio Anual de Neumáticos

Año	Neumáticos Requeridos (unidad)
2010	3.234.490
2011	3.363.870
2012	3.498.424
2013	3.638.361
2014	3.783.896
2015	3.935.252
2016	4.092.662
2017	4.256.368

Fuente: CyV MEDIOAMBIENTE LTDA. 2008. [9]

6.1.3 Abastecimiento

Dada la capacidad instalada de la planta, al año, son necesarias 6.171 toneladas de neumáticos para el proceso de producción de la planta. Esto equivale al 13% de los neumáticos del tipo carretera desechados en un año en el país. Se descarta el hecho de utilizar los neumáticos OTR desechados en la minería, dado que el proyecto de Sensei Ambiental se preocuparía de casi el 100% de este tipo de residuos en el norte de Chile. Además, este tipo de neumáticos son difíciles de manipular, por lo que sería necesario otro tipo de maquinaria para su trituración porque la planta está diseñada para trabajar con neumáticos de carretera.

El Acuerdo de Producción Limpia¹⁸ creado en 2009 a partir del sistema de REP obliga a los productores o importadores a hacerse cargo de los residuos que se generan luego del uso de sus productos, tanto física como económicamente. No es opción la disposición en vertederos ni rellenos sanitarios, por lo que se deben reciclar, reutilizar o eliminar (por ejemplo, gracias a la incineración). La ley que aplica este concepto se espera que entre en vigencia el año 2013, sin embargo, hoy, importadores, fabricantes y distribuidores de neumáticos pagan a terceros para hacerse cargo de sus NFU. Una vez que la ley comience a aplicarse, los costos de reciclado serán asumidos por el consumidor, aumentando los precios de los productos. Se hace a los productores

¹⁸ CINC y CPL. 2009. [4]

responsables de desarrollar “un sistema de gestión integral de los NFU, desde su generación hasta su valorización, por un destinatario autorizado”¹⁷.

Este acuerdo aplica a todos aquellos NFU que se generen en la Región Metropolitana, Valparaíso y Libertador Bernardo O’Higgins. Estos representan el 57% de los NFU producidos en el país, donde la planta de obtención de diesel sintético se ocuparía del 25,4% de ellos. Polambiente recolecta hoy el 28,8% de ellos, dejando holgura de sobra para trabajar en conjunto con la CINC y tener un crecimiento a futuro en el reciclaje de neumáticos usados.

La tendencia que tiene el mercado, con la entrada de esta planta, y posiblemente nueva competencia cuando entre en vigencia la REP, es que el transporte y recolección tenga costo nulo para quienes reciben y se ocupan de los NFU, y no se cobre por tal servicio. En definitiva, la materia prima se espera tenga costo cero para la empresa a partir del 2013, y se obtendrá de fabricantes, empresas distribuidoras, talleres automotrices, empresas de recauchaje, puntos de venta e importadores que deban hacerse cargo de los NFU que generan.

6.2 Los Plásticos

6.2.1 Caracterización

Tipos de Plásticos

Los plásticos son materiales sintéticos denominados polímeros, formados por grandes moléculas, cuyo principal componente es el carbono. Son derivados de productos orgánicos, tales como la celulosa, carbón, gas natural, y, por sobre todo, petróleo.

Hoy en día, existen alrededor de 60 tipos de plásticos, y son usados en variados tipos de productos e industrias. Los plásticos más comúnmente utilizados se dividen en 6 tipos. El 90% de los productos plásticos desechables son fabricados con estos 6 materiales básicos. Estos se pueden clasificar según explica la Tabla 13.

Tabla 13: Tipos de Plástico

Tipo de plástico	Acrónimo	Código Internacional SPI
Polietileno Tereftalato	PET	1
Polietileno de Alta Densidad	PEAD / HDPE	2
Policloruro de Vinilo	PVC	3
Polietileno de Baja Densidad	PEBD / LDPE	4
Polipropileno	PP	5
Poliestireno	PS	6
Otros	OTROS	7

Fuente: Elaboración propia.

El código internacional SPI es la clasificación de la Sociedad de Industrias del Plástico (sigla en inglés), que ha sido adoptada en todo el mundo. Este número se encuentra en todos los envases de plástico y permite diferenciarlos. Dado que la calidad de un plástico se deteriora rápidamente al combinarlo con otro plástico diferente, la utilidad de este código es ayudar en la separación de los diferentes tipos de plástico y maximizar así el número de veces que pueden ser reciclados.

Para el proceso de fabricación del diesel sintético, ni el PET ni el PVC son adecuados. El proceso de pirólisis debe producirse en vacío, es decir, en ausencia de oxígeno. Sin embargo, el PET contiene moléculas de oxígeno en su composición. Esto podría provocar la oxidación de los productos resultantes, y, así, se lograrían productos de menor calidad, y la maquinaria tendría menor vida útil.

Por otro lado, el PVC contiene moléculas de cloro. Este tipo de plástico tiene el punto de fusión más bajo, por lo que se derrite primero, pudiendo formar ácido clorhídrico, HCl, un compuesto tóxico y corrosivo, que podría boicotear el resto del proceso. Previo tratamiento para eliminar el cloro del PVC, éste podría usarse, sin embargo, encarece el proceso, y como se verá más adelante, no es muy abundante. Sin embargo, el resto de los tipos de plásticos pueden ser utilizados para el proceso sin problema.

Usos del Plástico

Los plásticos son ampliamente utilizados para crear diferentes tipos de productos, según las características de cada uno. Dependiendo de sus propiedades, estos se usan para moldear diferentes productos de uso cotidiano. El plástico se distingue por propiedades:

- Mecánicas: Deformabilidad, resistencia a la tensión y compresión, densidad.
- Eléctricas: Aislantes eléctricos.
- Químicas: Resistencia a diferentes tipos de ambiente.
- Térmicas: Conductividad y deformación térmica.
- Ópticas: Refracción de la luz, grado de transparencia.

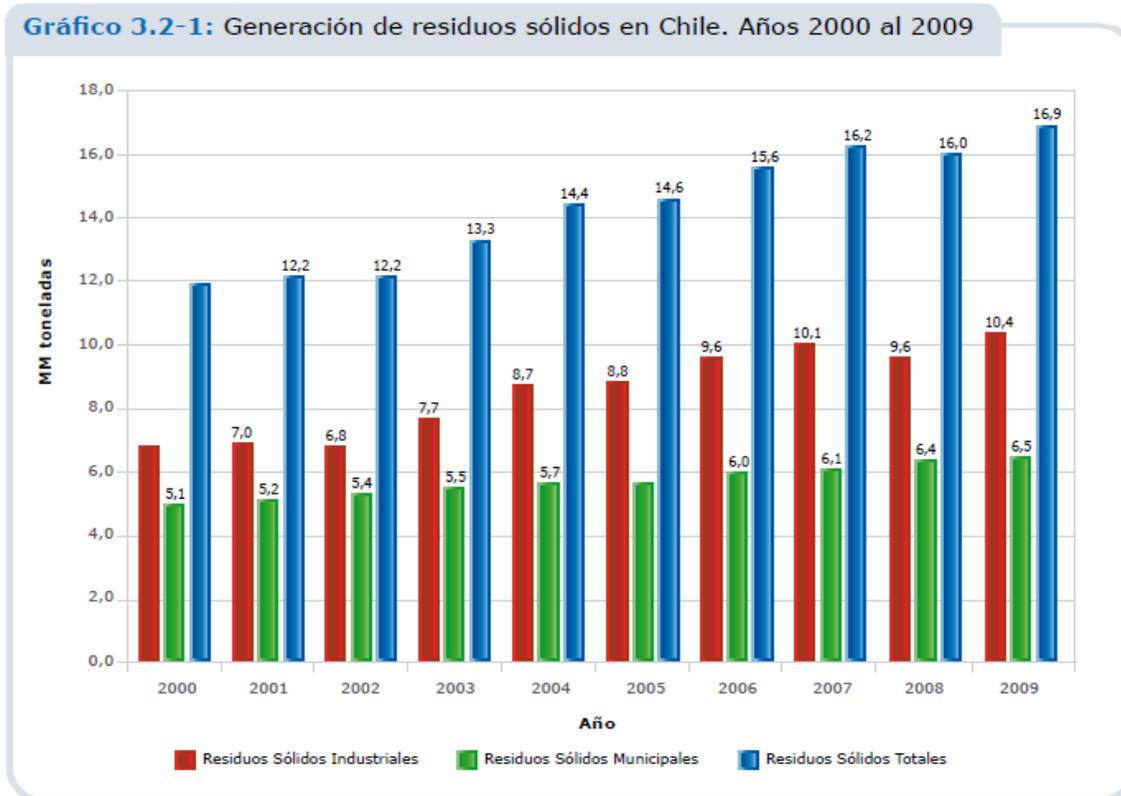
Los plásticos se usan para fabricar elementos tan diversos como juguetes, envases de todo tipo, partes para automóviles, muebles, tuberías, ropa, vajillas, bolsas, persianas, guantes, pañales, etc. En el Anexo C, se detallan los diversos productos que se fabrican a partir de polímeros.

6.2.2 El Mercado de los Desechos Plásticos

Dentro de la clasificación de residuos sólidos existentes, el plástico es considerado como un Residuo No peligroso, y su disposición final se produce, mayoritariamente, en Rellenos Sanitarios autorizados.

Dos estudios realizados para la CONAMA¹⁹ sobre los Residuos Sólidos en la Región Metropolitana detallan la composición de la basura municipal (RSM) – que contempla la domiciliaria y comercial –, e industrial (RSI). La figura a continuación expone la evolución de la cantidad de residuos sólidos generados en Chile durante los años 2000 a 2009.

Figura 10: Generación de Residuos Sólidos en Chile



Fuente: CONAMA. 2010. [8]

La cantidad de residuos sólidos generada en el período comprendido entre los años 2000 y 2009 ha experimentado un crecimiento estimado del 42%, pasando de 11,9 a 16,9 millones de toneladas. En el año 2009, se generaron 6,5 millones de toneladas de RSM correspondientes a 38,5% del total de residuos sólidos, en tanto los residuos sólidos generados por los diferentes sectores industriales, RSI, del país fueron estimados en 10,4 millones de toneladas, el 61,5% del total de residuos sólidos.

Los residuos sólidos generados en Chile presentan un crecimiento variable ligado, principalmente, al aumento de la población, crecimiento en la producción industrial y tasas de valorización de residuos aún incipientes. No obstante, a nivel industrial y municipal existen prácticas de manejo de residuos orientadas a la prevención y valorización en forma ambientalmente racional. Se destaca que a pesar de esta tendencia, la CONAMA proyecta un crecimiento sostenido de generación de estos residuos que actualmente se considera del 3% anual.

¹⁹ Grupo de Residuos Sólidos. 2006. [11] y CONAMA. 2010. [8]

Residuos Sólidos Municipales

La generación estimada de Residuos Sólidos Municipales (RSM) a nivel nacional para el año 2009 fue de 6,5 millones de toneladas, lo cual presenta un incremento del 28% respecto del año 2000, presentando un crecimiento anual cercano al 2,8% en los últimos 10 años. La generación de RSM aumenta año a año, debido al crecimiento de la población y al incremento en el nivel de vida ya que la generación de basura tiene estricta relación con el Grupo Socio Económico, y a nivel país, con el PIB. Los GSE altos (ABC1 y C2) generan el doble de basura que los más bajos (E), generando 1,33 y 0,67 kilogramos por habitante por día, respectivamente. En promedio, un santiaguino produce 1,1 kg diarios, pasando de 326 kg el año 2000 a 384 kg por habitante el año 2009, cifra menor a la que presentan en promedio los países miembros de la OCDE²⁰ que corresponde a 550 kg por habitante por año.

La Tabla 14 muestra la generación de desechos municipales divididos por región a lo largo del país. Los desechos sólidos producidos sólo dentro de las 52 comunas de la Región Metropolitana corresponden al año 2009 a 2,8 millones de toneladas que representan el 43,1% de los RSM generados en el país.

Tabla 14: Generación de Residuos Sólidos Municipales por Región

Región	Generación Residuos Ton/año	Distribución regional
XV de Arica y Parinacota	114.489	1,76%
I de Tarapacá	189.806	2,91%
II de Antofagasta	196.289	3,01%
III de Atacama	103.433	1,59%
IV de Coquimbo	220.860	3,39%
V de Valparaíso	587.600	9,02%
Metropolitana de Santiago	2.807.247	43,10%
VI de O'Higgins	239.833	3,68%
VII del Maule	359.862	5,52%
VIII del Bío-Bío	645.875	9,92%
IX de La Araucanía	425.234	6,53%
XIV de Los Ríos	147.563	2,27%
X de Los Lagos	369.925	5,68%
XI Aysén	40.918	0,63%
XII Magallanes y Antártica	64.524	0,99%
TOTAL	6.513.458	100%

Fuente: Elaboración Propia con datos de la CONAMA.

La zona centro, comprendidas por las regiones V, VI y Metropolitana, produce el 55,8% de los RSM, es decir, unos 3,6 millones de toneladas. En el norte del país, hasta la IV Región, se concentra el 12,66%, correspondientes a 825.000 toneladas, y la zona

²⁰ Desde mayo del año 2010, Chile es parte de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico).

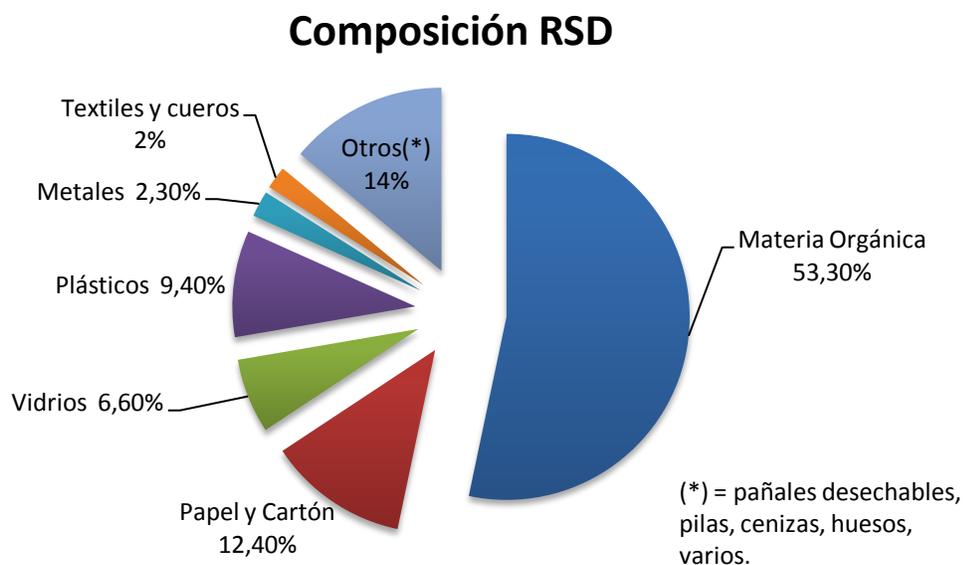
sur (VII a X Regiones) el 29,82% que equivalen a casi 1,6 millones de toneladas. Las regiones del extremo sur (XI y XII) sólo generan un 1,62%.

Desde el año 1994, la Ley 19.300 de Bases del Medio Ambiente estableció que los Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD) necesariamente deben disponerse en rellenos sanitarios. Actualmente, el Gran Santiago urbano cuenta con tres rellenos sanitarios que se encuentran fuera del área urbana: Loma Los Colorados, Santiago Poniente, y Santa Marta. Estos rellenos sanitarios reemplazan a los antiguos vertederos Lo Errázuriz, La Feria, Cerros de Renca, y Lepanto.

La tasa de recolección – que considera recolección en zonas rurales, urbanas y semiurbanas – se estima que tuvo un aumento cercano al 5% en el período 2000 – 2009, llegando al 95%, lo que indica que en 2009, aproximadamente 333.000 toneladas de los RSM generados se disponen en sitios no autorizados y/o basurales. La cantidad estimada de residuos municipales recolectados aumentó un 36% entre 2000 y 2009, pasando de 4,5 a 6,2 millones de toneladas. La Región Metropolitana presenta avances significativos a nivel nacional sobre la gestión de sus residuos sólidos, posicionándola como la primera a nivel país en el tratamiento de los desechos domiciliarios. Hoy en día, el 99% de los residuos destinados a disposición final se depositan en rellenos sanitarios, mientras que sólo un 14,4% del total de residuos recolectados recibe tratamiento para reciclaje.

Los desechos sólidos están divididos según 7 tipos de residuo, que se manejan de forma diferente: Materia Orgánica, Papel y Cartón, Vidrios, Plásticos, Textil y Cueros, Metales y Otros (correspondientes a huesos, cenizas, pilas, pañales y otros tipos de basura). La Figura a continuación describe la composición de los RSD.

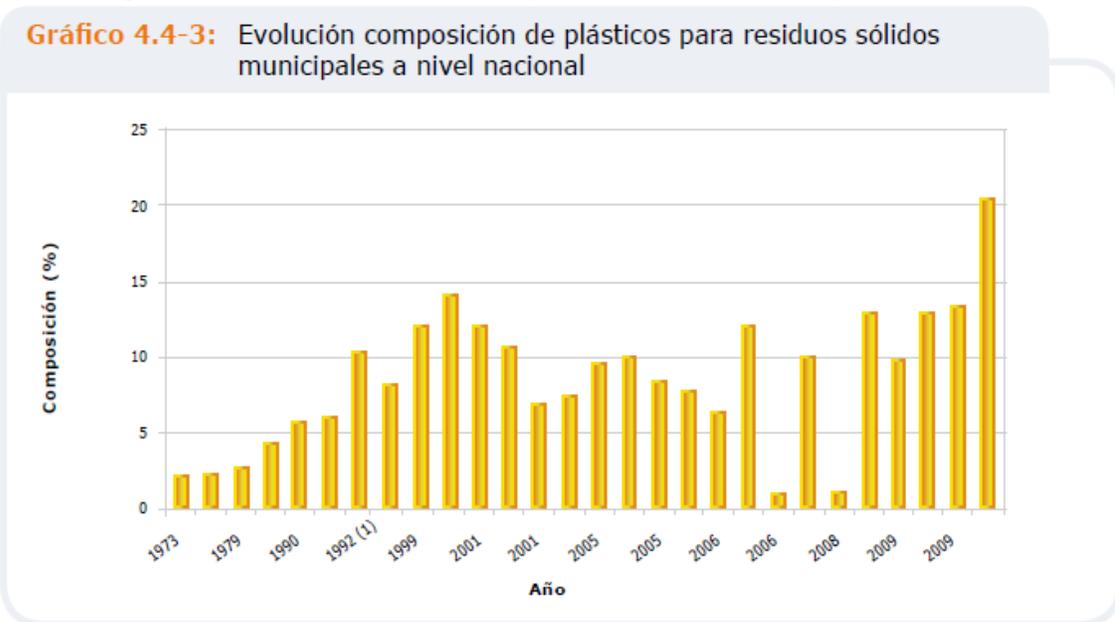
Figura 11: Caracterización de RSD en la Región Metropolitana



Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAMA.

Los desechos de plástico de RSD de la Región Metropolitana han incrementado de manera sostenida partiendo de un 5,82% para el año 1990 hasta alcanzar un 9,4% para el año 2009, equivalente a más de 263.000 toneladas al año, es decir, se ha casi duplicado en cantidad en 15 años. Esto se debe posiblemente a la forma de presentación de productos en envases de plástico desechable principalmente y un aumento en el consumo de los mismos. La Figura 12 muestra la evolución de la composición de plásticos en la basura residencial en porcentaje.

Figura 12: Evolución de la composición de plásticos para los RSM



Fuente: CONAMA. 2010. [8]

La cantidad de residuos plástico en la basura se mantiene parejo en casi todos los GSE, debido, principalmente, a que los productos envasados son adquiridos con similares características en todos los niveles, variando, sin embargo, sólo su calidad en contenido para los distintos GSE. Esto se puede explicar por la distribución igualitaria de grandes cadenas de supermercado con diferentes estándares de calidad y mercado objetivo.

En lo que concierne a la basura del área comercial, el porcentaje de plástico desechado es mayor, llegando a un 18,38% de los residuos totales generados. Se puede señalar que el alto porcentaje de la fracción de plástico para los residuos comerciales es producto del tipo de embalaje empleado.

La Tabla 15 expone la proporción de cada tipo de plástico encontrado dentro de los residuos plásticos totales.

Tabla 15: Composición de Residuos Plásticos por Tipo

Tipo de plástico	Residuos residenciales	Residuos comerciales
PET	14,37	11,32
PEAD/HDPE	9,41	3,32
PVC	2,68	1,90
PEBD/LDPE	41,33	45,87
PP	9,32	4,79
PS	14,17	28,56
OTROS	8,72	4,24

Fuente: Elaboración propia con datos de Grupo de Residuos Sólidos. 2006. [11]

Se observa que la categoría de mayor presencia es el PEBD/LDPE, correspondiente, en parte, a las bolsas de supermercado y de basura, que se usan para depositar la basura y, en el caso de residuos comerciales, corresponden también a embalaje de productos. Lo que explicaría su alta presencia en la composición de los residuos. Le sigue el PS o poliestireno, pero en menor proporción para los residuos residenciales, dado su uso para vajilla desechable, por ejemplo, o para envases desechables de alimentos.

Esto demuestra entonces que, en teoría, cerca del 83% de los residuos plásticos domiciliarios y el 87% de los comerciales pueden ser utilizados para la obtención de diesel sintético.

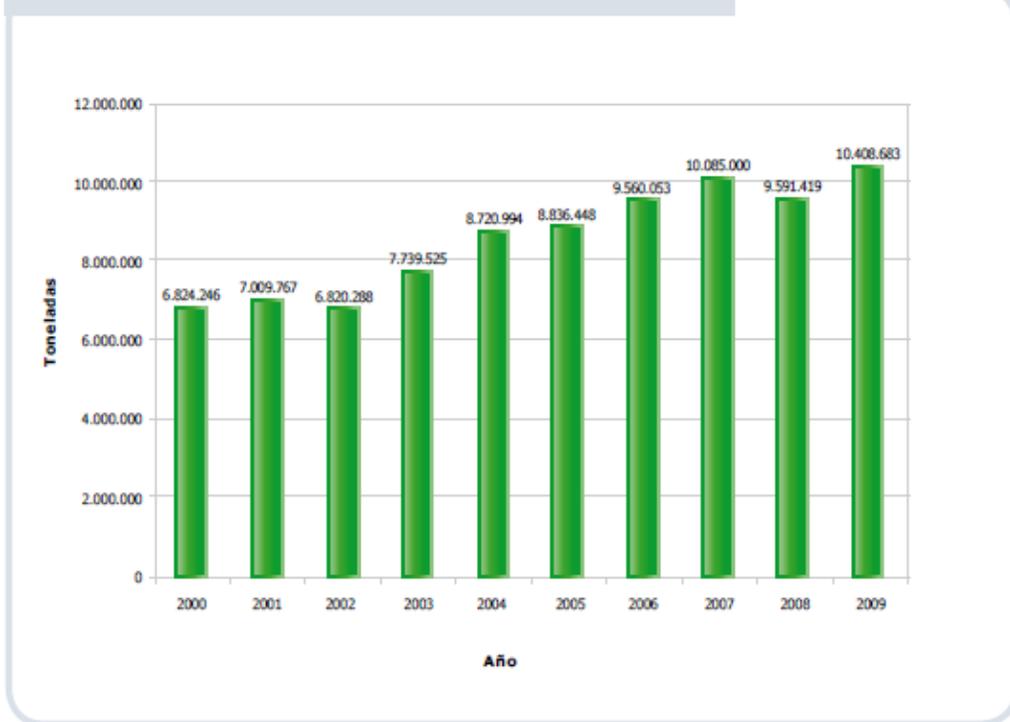
Residuos Sólidos Industriales

La generación estimada de Residuos Sólidos Industriales (RSI) para el año 2009 fue de 10,4 millones de toneladas, lo cual presenta un incremento del 53% respecto del año 2000. Esto significa un crecimiento cercano al 4,8% anual para los últimos 10 años. Existe una directa relación con la tasa de crecimiento del PIB de Chile, ya que las industrias crecen en conjunto con el país, al igual que sus desechos. Desde el 2000 al 2009, el PIB total tuvo un aumento cercano al 115%.

La generación estimada de residuos industriales en el período comprendido entre los años 2000 y 2009, se muestra en la Figura 13.

Figura 13: Generación de RSI

Gráfico 5.2-1: Generación de Residuos Industriales Sólidos



Fuente: CONAMA. 2010. [8]

Valorización

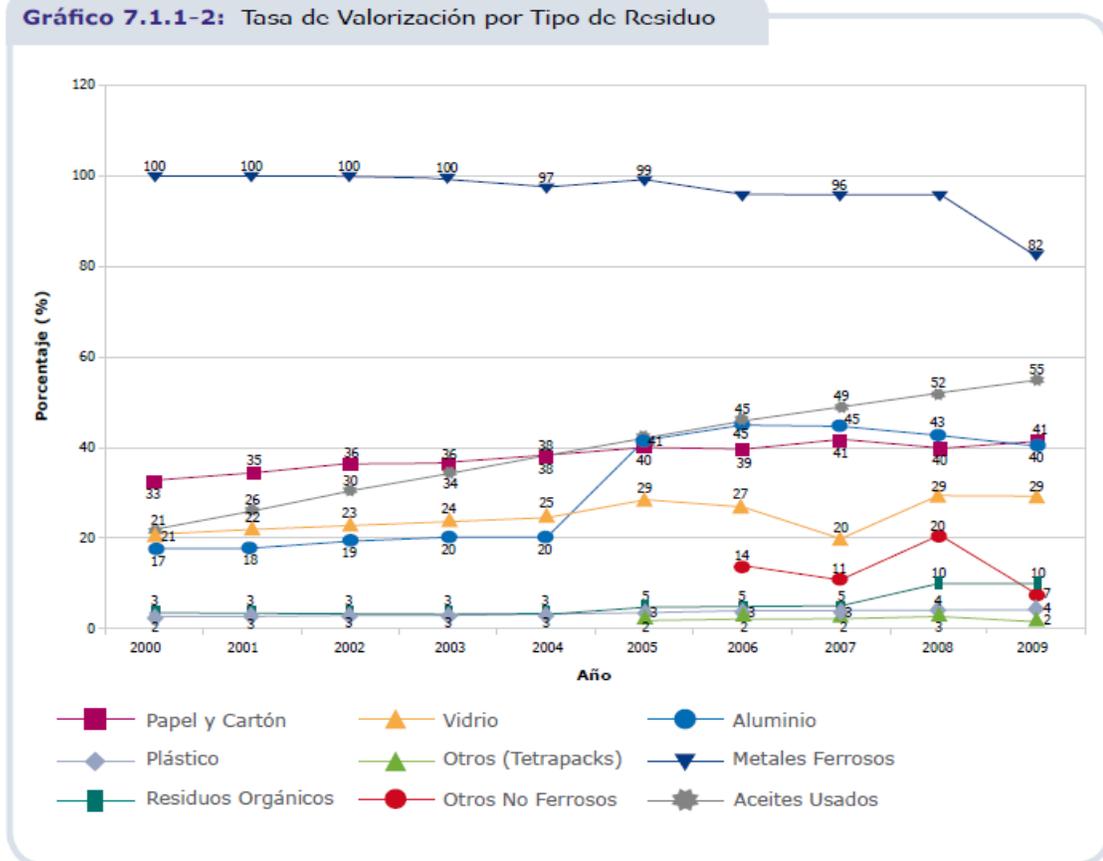
En Chile, el proceso más usado para el manejo de residuos es la disposición final y, en forma incipiente, su valorización. Ésta es una alternativa de manejo de residuos que facilita su disminución, cuyo destino es la disposición final, evita la utilización de nuevas materias primas y disminuye la energía necesaria para su transformación, reduciendo, así, las emisiones de gases contaminantes y evitando la utilización de productos químicos en los procesos industriales y de los vertidos que se generan.

Existen varios tipos de valorización, dependiendo del tipo de basura generado. Estos son, en orden de valor entregado:

- Reutilización,
- Reciclaje,
- Compostaje,
- Incineración con recuperación de energía,
- Otras.

La figura a continuación muestra el porcentaje, según tipo de residuos, que es tiene algún proceso de valorización en el país.

Figura 14: Tasa de Valorización por Tipo de Residuo



Fuente: CONAMA. 2010. [8]

La tasa de valorización del total de los residuos sólidos en Chile llega a 6,3% en el año 2009, cifra preocupante, pero que ha ido en tímido aumento. Dentro de los residuos sólidos reciclables, la gran mayoría de ellos no alcanza una tasa del 50%. Para el caso de los desechos plásticos, el porcentaje que tiene algún proceso de reuso o reciclaje apenas supera el 4%, dejando espacio de sobra para la creación de nuevas fuentes de valorización de este elemento.

6.2.3 Abastecimiento

La cantidad de desechos plásticos de RSM en todo Chile supera las 870.000 toneladas, y tan sólo en la zona centro se llegan a crear más de 500.000. Si se descuentan el porcentaje que tiene algún proceso de valorización y el porcentaje de plásticos que no son utilizables por el proceso de la planta – ni PET ni PVC –, se tienen más de 410.000 toneladas de materia prima disponible.

Se decidió trabajar con RSM ya que son una enorme fuente no explotada de materia prima y hoy existe un fuerte incentivo por parte de las municipalidades para la creación de fuentes de valorización de la basura para lograr disminuir la disposición

final y evitar impactos ambientales asociados. Según juicio de experto²¹, este mercado de reciclaje de plásticos provenientes de RSM debería comenzar a expandirse dentro de los próximos años. Este tipo de mercado se genera a través de incentivos monetarios, donde la empresa recicladora debe hacerse cargo del costo que implica recolectar, clasificar y transportar el plástico.

Existen diferentes comunas en el Gran Santiago de importante atractivo para gestionar y trabajar en conjunto con la empresa, dada la cantidad de desechos que generan. Existen ya algunos casos y estudios para las comunas de La Reina, Ñuñoa y La Florida, donde todas presentan un aumento en el VAN teniendo un sistema de reciclaje²². Para lograrlo, es necesario, en un primer momento, crear una conciencia a través de campañas informativas para lograr una recolección diferenciada desde el origen. Así, se crea un sistema paralelo que se preocupa de gestionar sólo la recolección de material reciclable. Se debe construir además una planta de clasificación, donde se dispone lo recolectado en cintas transportadoras. El personal capacitado debe preocuparse de la separación y clasificación de los residuos. Finalmente, estos son vendidos a empresas recicladoras.

El sistema implica la actuación de tres actores fundamentales: la comunidad, el municipio y las empresas recolectoras, que participan de la siguiente manera:

- Comunidad: Separa los RSD reciclables en forma conveniente, para que sean retirados por la empresa recolectora el día que corresponde.
- Municipio: Implementa un sistema de reciclaje adecuado a la realidad municipal. Formula bases de licitación para el servicio de aseo de la comuna.
- Empresas recolectoras: Se ocupan de la parte operativa del sistema establecido, realizando la recolección de RSD reciclables.

La tasa de recuperación de los residuos plásticos para el reciclaje es del orden de 20%²³. Al año, se requieren del orden de 6.200 toneladas de desechos plásticos para el proceso de producción de la planta, por lo que es necesario que en la comuna se generen del orden de 7.300 toneladas anuales de desechos plásticos para dejar holgura suficiente (tomando en cuenta además que sólo se trabaja con el 85% de los plásticos).

Las comunas de mayor atractivo se clasifican según cantidad de residuos sólidos generados. Esto significa que la comuna en total debe generar 365.000 toneladas de RSM al año. Se pretende hacer alianza con una sola comuna por el momento ya que facilita el sistema de gestión y logística de la obtención de materia prima. Éstas se muestran en la tabla siguiente.

²¹ Blas Bennett, Ingeniero Civil Industrial, Dueño de la empresa de Reciclaje de plásticos, Polysmart.

²² Sistemas de Reciclaje: Estudio de Casos en la Región Metropolitana. CONAMA. 2005.

²³ Fuente: Alfredo Rihm, Ingeniero Civil, U. de Chile, docente FCFM.

Tabla 16: Comunas de la Región Metropolitana con mayor generación de RSM

Comuna	RSM generados (ton/año)
La Florida	160.123
Las Condes	110.609
Maipú	230.719
Pudahuel	105.671
Puente Alto	284.934
San Bernardo	140.570

Fuente: CONAMA. 2010. [8]

Dado que no existe una sola comuna en la Región Metropolitana capaz de generar tal cantidad de RSM, es necesario trabajar con al menos dos de las municipalidades antes expuestas.

Los costos asociados a la obtención de materia prima tienen relación entonces con los costos asociados al municipio para la recolección, clasificación y transporte de la misma. Según juicio experto²⁴, el precio a pagar por este tipo de servicio, donde no es necesaria una clasificación demasiado específica, varía entre los 200 y 300 USD por tonelada.

7.- LOS SUBPRODUCTOS

7.1 Negro de Humo

El Negro de Humo u Hollín se obtiene de la combustión incompleta de hidrocarburos gaseosos o líquidos. Es un polvo extremadamente fino y oscuro, que, luego se mezcla con un lubricante para producir tinta. Es empleado como agente reforzador para productos de goma, ya que mejora la tensión y resistencia al desgaste de los mismos. Por otro lado, también es utilizado como pigmento para crear tintas industriales y de impresión ya que es uno de los pigmentos más estables y permanentes y tiene excelente resistencia a la luz, y alta viscosidad, lo que le entrega la capacidad de fácil dispersión. En plásticos, el negro de humo se usa para modificar la conductividad eléctrica y además de modificar el color.

Éste se obtiene como subproducto del proceso de producción a partir de NFU, y corresponde al 25% del peso total de un neumático. En la etapa de pirólisis al vacío, el negro de humo se suspende y es recuperado a través de filtros. En un lote de producción se elaboran 2,5 toneladas de Negro de humo, llegándose a fabricar más de 1.500 toneladas en un año.

²⁴ Blas Bennett, Ingeniero Civil Industrial, Dueño de la empresa de Reciclaje de plásticos, Polysmart.

El Negro de Humo tiene un precio promedio de importación en Chile de USD 1.100²⁵ neto por tonelada.

7.2 Acero

Como subproducto del proceso de trituración del caucho de neumáticos usados, se recupera el acero contenido. Éste contiene menos del 4% de caucho adherido a su superficie, el cual ayuda al proceso de fusión del mismo, debido a que el caucho tiene un alto poder calórico. El contenido de acero promedio en los neumáticos es del 20% del peso total, por lo que la planta obtendría 2 toneladas por batch de producción, es decir, más de 1.200 toneladas al año.

Este acero, al no ser 100% puro, debe ser vendido como chatarra. El proceso de limpieza para eliminar el caucho requiere de una inversión y proceso nuevos, y al no ser éste un producto principal, se venderá como desecho a Gerdau AZA a un precio de USD 300 la tonelada²⁶. Esta empresa se orienta a la producción y abastecimiento de barras y perfiles de acero laminado, y no tiene restricción de compra con respecto a la calidad, tipo ni cantidad de acero, y utiliza esta chatarra en la fabricación de clavos, fierro para construcción, entre otros.

8.- MARCO LEGAL

8.1 Comercialización del Diesel Sintético

El diesel sintético es nuevo en Chile y, por consecuencia, no está definido como un tipo de combustible. La Superintendencia de Energía y Combustible (SEC), entidad fiscalizadora, carece de una legislación o normas específica para este producto, por lo que, se debe trabajar en conjunto con la CNE y los ministerios de Medio Ambiente, de Energía y de Transporte para generar una ley con respecto a la comercialización de diesel de segunda generación. Según el Decreto N° 160²⁷ del año 2009 del Ministerio de Economía de Chile, artículo 5°:

“Estas tecnologías deberán estar técnicamente respaldadas en normas, códigos o especificaciones nacionales o extranjeras, así como prácticas recomendadas de ingeniería, internacionalmente reconocidas. Para ello el interesado deberá presentar el proyecto y una versión vigente de la norma, código o especificación extranjera.”

Esto se debe a que, al igual que el biodiesel, este combustible puede cumplir con las especificaciones del diesel fósil, sin embargo, su composición físico química no es la misma. En consecuencia, se requieren estudios en Bancos de ensayo de motores, emisiones y comportamiento en vehículos y la cadena de distribución (por si provoca

²⁵ Dato entregado por Alejandro Miralles, Gerente General de Química Miralles S.A.

²⁶ Dato entregado por Hermann von Mühlenbrock, Gerente General de Gerdau AZA.

²⁷ CHILE. 2009. [5]

alteraciones). Dado que no existen casos de producción masiva de dicho producto en el mundo, es necesario crear normas desde cero, por lo que este proceso demoraría entre 1 y 2 años. Hoy, sólo se produce diesel sintético a mediana escala, en los laboratorios de Fundación Natura, con resultados positivos.

Por el momento, se espera que el diesel sintético cumpla las especificaciones del diesel fósil, ya que ambos provienen del petróleo (el plástico y el caucho son productos hechos a partir del petróleo). El Decreto 132²⁸ del año 1979 del Ministerio de Minería establece las normas que aseguran la calidad de los combustibles.

Por otro lado, el mercado chileno se abastece prácticamente de diesel cuidado. Existe un tipo de diesel A2 que es permitido para uso industrial en calderas y para generación eléctrica que tiene normas menos estrictas. Sin embargo, éste casi no se vende ya que es más costoso para quienes refinan diesel hacer dos tipos diferentes de diesel, y las industrias, por cuestiones medioambientales, prefieren usar un diesel más limpio, como lo son el B y el A1. Es por esto que se pretende asimilar este diesel de segunda generación al diesel fósil y, así, penetrar más fácilmente en el mercado.

Para poder comenzar a comercializar cualquier tipo de combustible es necesario inscribir las instalaciones en la SEC. El Decreto 160 del Ministerio de Minería, declara en el artículo 10° lo siguiente:

“Las personas naturales o jurídicas que importen, refinen, produzcan, distribuyan, transporten, expendan o abastezcan toda clase de Combustible Líquido [...] deberán inscribirse en los registros de la Superintendencia previo al inicio de sus actividades.”

Finalmente, el mismo decreto, en el artículo 7°, manifiesta que son necesarios certificados de calidad para la comercialización de combustibles líquidos. La SEC es el organismo fiscalizador, quien es encargado de exigir el tipo de certificado y autoriza la subcontratación de laboratorios certificadores, bajo los dominios del Decreto Supremo N° 298, de 2005.

Las normas que debe cumplir el transporte, el almacenamiento y las operaciones del diesel sintético están detalladas en el Decreto N°160. Éste clasifica a los combustibles líquidos según su punto de inflamación, es decir, dado el peligro de incendio que presenten. El diesel de segunda generación corresponde a combustible de Clase II, es decir, con un punto de inflamación entre 37,8 y 60°C, al igual que el diesel fósil y el kerosene.

Las normas que tienen relación con la manipulación de combustibles líquidos, que afectan al proyecto se desglosan en la Tabla 17.

²⁸ Establece normas técnicas, de calidad y de procedimiento de control aplicables al petróleo crudo, a los combustibles derivados de este y a cualquier otra clase de combustibles.

Tabla 17: Normativas Asociadas a la Manipulación de Combustibles

Normativa	Contenido
D.S. N°160 de 2009 Ministerio de Economía	Aprueba el reglamento de seguridad para las instalaciones y operaciones de producción y refinación, transporte, almacenamiento, distribución y abastecimiento de combustibles líquidos.
D.S. N°132 de 1979 Ministerio de Minería	Establece normas técnicas, de calidad y de procedimiento de control aplicables al petróleo crudo, a los combustibles derivados de este y a cualquier otra clase de combustibles.
D.S. N°298 de 2005 Ministerio de Economía	Aprueba reglamento para la certificación de productos eléctricos y combustibles.
D.S. N°594 de 2000 Ministerio de Salud	Aprueba Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo. Expone normas sobre la fabricación o manipulación de productos tóxicos, corrosivos, peligrosos, infecciosos, radioactivos, venenosos, explosivos o inflamables, sobre emisiones atmosféricas, residuos industriales líquidos, calidad de agua y manejo de residuos sólidos industriales.

Fuente: Elaboración propia, con datos de BCN.

Para la venta directa de este producto no existen normas vigentes que conciernan límites de precio ni volúmenes de venta. Solamente es necesario adecuarse a las normas que hacen alusión al transporte, almacenamiento, operaciones y especificaciones descritas en el punto anterior.

Sin embargo, existe un impuesto específico para combustibles²⁹ y el FEPP³⁰ que podrían afectar el precio del diesel sintético. Según juicio experto³¹, ninguno de estos dos puntos debiera afectar a este tipo de combustible, dado que no es derivado directo del petróleo. Por otro lado, las ventajas que presenta con respecto al fósil en el área medioambiental permiten sostener que no se cobrará este impuesto, al igual que para el caso del biodiesel. Sin embargo, a modo de estudio, se analizarán los casos en donde el diesel de segunda generación se ve afectado o no por el impuesto específico.

Otras normas que podrían afectar el desarrollo del proyecto se detallan en la tabla a continuación. Estas tienen relación con las exigencias sanitarias a nivel poblacional y de la planta, con normas industriales y de localización. El cumplimiento de éstas será fiscalizado gracias a la Declaración de Impacto Ambiental, detallada en el punto que sigue.

²⁹ Ley 18.502 de 1986. Ministerio de Hacienda.

³⁰ Ley 19.030 de 1991. Ministerio de Minería.

³¹ Yamal Soto, Asesor área hidrocarburos, CNE.

Tabla 18: Otras Normas Asociadas al Proyecto

Normativa	Contenido
D.F.L. N°725 de 1967 Ministerio de Salud	Código Sanitario. Rige todo lo relacionado con el fomento, protección y recuperación de la salud de los habitantes.
D.S. N°144 de 1961 Ministerio de Salud	Establece normas para evitar emanaciones o contaminantes atmosféricos de cualquier naturaleza.
D.S. 146 de 2002 Ministerio Secretaria General de la Presidencia de la República D.F.L. N°458 de 1976. Ministerio de la Vivienda y Urbanismo	Reformula y Actualiza Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana. Aprueba nueva Ley General de Urbanismo y Construcciones. Establece las disposiciones relativas a planificación urbana, urbanización y construcción.
D.S. N°4 de 1992 Ministerio de Salud	Establece norma de emisión de material particulado a fuentes estacionarias puntuales y grupales.
D.F.L N° 1122 de 1981 Ministerio de Justicia	Fija Texto del Código de Aguas.
D.S. N°146 de 1998 Ministerio Secretaria General de la Presidencia de la República	Establece norma de emisión de ruidos molestos generados por fuentes fijas, elaborada a partir de la revisión de la norma de emisión contenida en el Decreto N° 286, de 1984, del Ministerio de Salud.

Fuente: Elaboración propia con datos de BCN.

8.2 Evaluación de Impacto Ambiental

El Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) es uno de los principales instrumentos de gestión para prevenir el deterioro ambiental que podrían causar nuevos proyectos de inversión pública y privada en Chile. Este instrumento busca prevenir los impactos que pueda generar estas iniciativas, o hacer que, cuando se generan impactos adversos significativos, exista una atenuación.

La ley 19.300 de 1994 del Ministerio Secretaría General de la República [7] establece las Bases Generales Sobre el Medio Ambiente. Ésta indica que todo proyecto susceptible de causar algún tipo de impacto ambiental debe someterse al SEIA. De ser así, se deben presentar una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) antes de poder llevarse a cabo o modificarse. Estos instrumentos permiten acreditar que el proyecto se rige por de las normas que lo enmarcan; determina y se hace cargo de los efectos medioambientales que podría producir, es decir, analiza qué impactos tendrá y sus formas de compensación y/o mitigación.

Una DIA sólo requiere los antecedentes generales del proyecto, que acrediten también el cumplimiento de las normas medioambientales y los permisos que aplican. Sin embargo, según el artículo 11° de la ley 19.300, existen 6 tipos de proyectos que deben realizar un EIA, más complejo y completo. Éste exige, además de lo pedido en la DIA, que se describan detalladamente los efectos que tienen a nivel medioambiental y de salud de la población, siguiendo la normativa en cuestión. Esto documentos son

luego revisados por la CONAMA quien es encargado de fiscalizar. Este proceso demora de 4 a 6 meses en el caso de un EIA, y 2 a 3 para una DIA.

La instalación de una planta de diesel sintético es un proyecto de “producción, almacenamiento, transporte, disposición o reutilización habituales de sustancias tóxicas, explosivas, radioactivas, inflamables, corrosivas o reactivas, deben entrar al sistema” por lo que debe someterse al SEIA – según el artículo 10°, inciso ñ) –. Además, el proyecto conllevaría la realización de un EIA dado que presenta un “riesgo para la salud de la población, debido a la cantidad y calidad de efluentes, emisiones o residuos”³². Sin embargo, el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental³³, que detalla las regulaciones y normativas de la ley, señala en el artículo 3°, inciso ñ.4), que los proyectos que manipulen sustancias inflamables en cantidad igual o superior a 80 toneladas al día deben someterse a un EIA. Este proyecto tiene como tope de producción 16 toneladas diarias, por lo que no es necesario.

9.- LOCALIZACIÓN

Las variables a tomar en cuenta para decidir la localización de la planta tienen relación con los costos asociados a la producción, las fuentes de abastecimiento, los mercados, los medios de transporte y las normativas asociadas. La cantidad y disponibilidad de la materia prima, sus costos de transporte y adquisición, junto con la cercanía a los clientes son los principales factores para la decisión final.

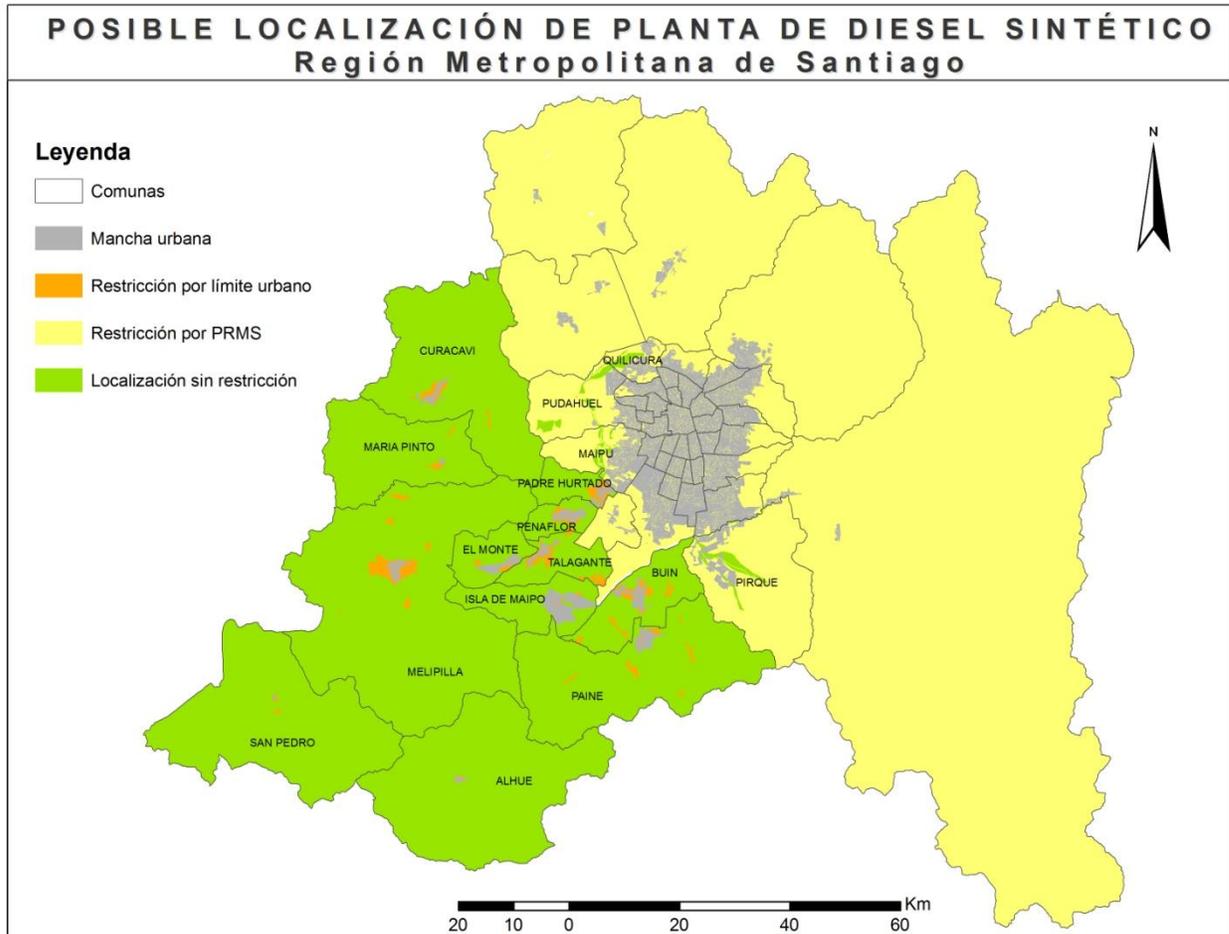
Alfred Weber propone minimizar los costos de transporte de dos materias primas principales y del producto final a la planta. Estableció una solución geométrica, un triángulo de localización, en el cual dos de los vértices de este triángulo representan la ubicación de los insumos, mientras que el tercero a las ventas. La localización óptima de la fábrica se ubicaba al interior de este triángulo. Para determinar el punto preciso de la localización de la fábrica se requería la construcción de un índice material definido como el cociente del peso de las materias primas entre el peso del producto final. Asimismo, Weber sentenciaba que si este índice era superior a la unidad, la fábrica se orientará hacia las fuentes de los insumos; por otro lado, si era menor a la unidad, se aproximará al mercado.

Tomando en cuenta dicha teoría, tanto la materia prima como el mercado objetivo (ver capítulo siguiente) se encuentran en la Región Metropolitana, por lo que se inclinó por dicha localización. Sin embargo, existen otras variables a considerar asociadas a las normativas del Plano Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS) y otras restricciones relacionadas con el tipo de industria – Topografía, normativas de seguridad, permisos, etc. – que limitan las posibles localidades de establecimiento. En la figura a continuación se muestran un mapa de las comunas en las cuales es posible ubicar la planta.

³² Ley 19.300, artículo 11, inciso a).

³³ Aprobado por el D.S. 95 de 2001 del Ministerio Secretaría General de la República.

Figura 15: Posibilidades de Localización de la Planta



Fuente: Elaboración propia.

EL PRMS define los Límites de Extensión Urbana, Zonificación Metropolitana, Uso del Suelo, Equipamientos de carácter Metropolitano e Intercomunal, Zonas Exclusivas de Usos Molestos, Áreas de Restricción, Áreas de Resguardo de la Infraestructura Metropolitana, Intensidad de Ocupación del Suelo, como asimismo actividades que provocan impacto en el sistema metropolitano y exigencias de urbanización y edificación cuando sea pertinente. Un aspecto fundamental del PRMS es limitar la expansión geográfica de la ciudad como también busca incrementar la oferta de áreas verdes y servicios urbanos en las distintas comunas y definir normas de localización industrial.

En este caso, la localización de la planta debe hacerse en zonas fuera de los límites urbanos y donde no haya restricciones del PRMS, es decir en la zona sur poniente de la Región Metropolitana, en las comunas de Melipilla, Peñaflores, Curacaví, Talagante, entre otras.

Para definir la localización de la planta de diesel sintético de manera precisa se aplicará el Método de Evaluación Multicriterio. Este método consiste en el establecimiento de diversas variables territoriales para la localización de la actividad en cuestión, las cuales definen restricciones que corresponden a las prohibiciones

territoriales establecidas por la normativa, y factores que corresponden a las condiciones de localización que exige la actividad para maximizar su rentabilidad. Dicho método se lleva a cabo a través del uso de software de Sistemas de Información Geográfica.

10.- ANÁLISIS DE MERCADO

10.1 Consumo de Combustible

El diesel es la primera fuente de energía tanto en Chile como en el mundo. Su consumo total en Chile alcanzó los 9,1 millones de metros cúbicos en el año 2009, y según proyecciones, se espera que este número crezca un 6,5% cada año hasta el 2030, triplicando el uso de este combustible.

La CNE realiza anualmente un informe estadístico del consumo de combustibles en el país, dividiendo por tipo de energético, tipo de industria y por región. El último informe data del año 2008, base con la cual se trabajará.

Consumo por Sector

El diesel es utilizado como combustible en diversas aplicaciones energéticas. Éste puede ser empleado tanto en motores de encendido automático, es decir, para movilización y transporte, como en industrias para el manejo de calderas y generación eléctrica. Las ventas de combustible se dividen según 5 sectores industriales: Transporte; Industrial y Minero; Comercial, Público y Residencial; y, Centros de Transformación. Para el caso del petróleo diesel, la tabla siguiente demuestra el nivel de consumo del 2004 al 2008 y los porcentajes asociados para cada sector.

Tabla 19: Consumo de Diesel por Sector en miles de m³ (años 2004 a 2008)

AÑO	SECTOR				TOTAL
	Transporte	Industrial y Minero	Comercial, Público y Residencial	Centros de Transformación	
2004	3.462	1.687	151	105	5.405
	64,04%	31,21%	2,80%	1,94%	
2005	3911	1635	119	272	5937
	65,87%	27,54%	2,01%	4,58%	
2006	3.861	2.033	115	146	6.155
	62,73%	33,03%	1,86%	2,37%	
2007	4.107	2.375	126	2.786	9.394
	43,72%	25,28%	1,34%	29,66%	
2008	4.272	2.442	198	2.894	9.806
	43,56%	24,91%	2,02%	29,51%	

Fuente: Elaboración propia con datos de la CNE.

En el año 2007, fue inaugurada la central termoeléctrica San Isidro II, en la V Región, propiedad de Endesa. Ésta contribuyó considerablemente al aumento en el consumo de petróleo diesel en el país. En teoría, esta central debería cambiar su fuente energética por gas natural licuado, sin embargo, hasta el momento, ésta sigue operando a partir de diesel.

Hasta antes de la entrada en funcionamiento de la central termoeléctrica, el sector transporte consumía más del 63% del diesel en Chile, actualmente, su participación relativa cayó a un 44%. Sin embargo, el consumo real, sigue en constante aumento para todos los sectores involucrados. El cambio se hizo presente en el sector de centros de transformación. En el año 2009, hubo una leve caída en las ventas de diesel dada la crisis económica, pasando de 9,8 a 9,1 millones de m³. Este año ha ido en ligero aumento y se espera que retome el curso normal al alza, sin tomar en cuenta las posibles variaciones dado su uso en la central termoeléctrica.

Usando otros niveles de desagregación, los subsectores que más consumen este combustible alternativo son las empresas transportistas por tierra, que representan casi el 15% de la demanda total, es decir, 1,4 millones de m³, y donde se proyecta que el 57% del consumo energético promedio equivale a diesel; y las ventas a industrias, comercio y particulares que ocupan más del 60% de las ventas de éste en el país, equivalentes a cerca de 6 millones de m³. El consumo residencial, marítimo y aéreo es despreciable, y las ventas minoristas – estaciones de servicio y público general – representan alrededor del 19%.

Consumo por Región

Otra forma de desagregación del consumo de combustible se realiza a nivel geográfico. La región de Antofagasta es la que tiene un mayor consumo de diesel, debido a la actividad minera presente. El sector del cobre ocupa más del 43% del petróleo diesel de todo el sector minero e industrial. Le sigue la Región Metropolitana con casi un 20%, dado que es donde se concentran la mayor parte de la actividad del país, y donde está el mayor número de vehículo, además de albergar un gran número de industrias. La V Región tiene un nivel de consumo no despreciable, sin embargo, el resto de las regiones tiene consumos bajos a nivel país.

La Tabla a continuación detalla la distribución porcentual regional del consumo de diesel fósil en el país.

Tabla 20: Distribución Regional del Consumo de Diesel

Región	Consumo relativo
XV de Arica y Parinacota	1,12%
I de Tarapacá	4,23%
II de Antofagasta	24,76%
III de Atacama	3,83%
IV de Coquimbo	3,35%
V de Valparaíso	16,82%
VI de O'Higgins	4,84%
VII del Maule	3,08%
VIII del Bío-Bío	8,29%
IX de La Araucanía	2,56%
XIV de Los Ríos	1,16%
X de Los Lagos	4,41%
XI Aysén	0,84%
XII Magallanes y Antártica	1,01%
Metropolitana de Santiago	19,69%
TOTAL	100%

Fuente: Elaboración propia con datos de la CNE.

10.2 Mercado Potencial

Este diesel de segunda generación es equivalente al diesel fósil en cuanto a su uso y función por lo que es posible entrar en todos los sectores industriales que utilizan este combustible. Sin embargo, existen sectores más atractivos y accesibles en cuanto a distancia geográfica, tipos de clientes y niveles de consumo.

Dado que la empresa se localiza en la Región Metropolitana, se buscará trabajar dentro de la misma dado que se ven aumentados los costos de logística y transporte al alejarse de la planta. Este último alcanza los 2,85 USD por kilómetro³⁴, por lo que abarcar un radio demasiado importante incrementaría los costos notablemente. Es por esto que, dentro de los mercados potenciales, se descarta el sector de la minería. Eventualmente, se podría pensar en trabajar con clientes de la V Región.

Se descartan también las ventas a canal minorista ya que implica la inversión en estaciones de servicio, de muy alto costo para la empresa. Además, se pretende externalizar este servicio y no perder especialización de mercado. Los centros de transformación no forman parte de los posibles clientes a atacar ya que tienen un nivel de consumo poco relevante lo que no asegura los niveles de venta a alcanzar, aun cuando si son potenciales clientes.

Dentro de los mercados potenciales más importantes para la empresa se encuentran el transporte terrestre e industrias y comercio, que abarcan el 75% del

³⁴ Fuente: COPEC.

consumo de diesel en el país. Estos clientes se alinean con las características del producto y su tiene alto potencial en cuanto a sus niveles de crecimiento de consumo. Ambos sectores tienen las mayores tasas de crecimiento – de 7,2% y 5,5% anual –, llegando a multiplicar su consumo en 20 años más. Sumado a esto, se espera que la cantidad de vehículos comerciales operados con motores diesel supere ampliamente a los de gasolina, y haya la misma cantidad de automóviles a gasolina y diesel³⁵.

10.3 Mercado Objetivo

Este negocio apunta a contribuir a la mejora del medioambiente, no sólo gracias a la eliminación de parte de los desechos sólidos generados en el país, sino que gracias a la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) producidos por el uso de petróleo diesel. Esto se debe a que este nuevo combustible es más limpio, y emite menos contaminantes a la atmósfera si se usa en un 100%. Es por esto que se pretende vender directamente a usuarios finales, dado que la venta a empresas distribuidoras entorpecería el objetivo de la empresa. Este producto sería utilizado para refinar diesel fósil de menor calidad, mezclándose con este último, y así disminuir los índices de azufre o de cetano, por ejemplo. De este modo, el diesel final destinado a la venta sería de la misma calidad que el fósil, yendo en contra de uno de los objetivos del proyecto que es entregar un combustible amigable con el medio ambiente.

Dentro de las industrias potenciales para la venta de diesel sintético, se decidió trabajar en sectores donde se encuentre el mayor consumo y que cumplan con los objetivos antes descritos. El mercado objetivo es, entonces, empresas transportistas vía terrestre e industrias, comercio y particulares.

La venta de diesel sintético se realizará dentro de la Región Metropolitana dada la localización de la empresa. El mercado en esta región es el más importante luego de la región de Antofagasta, reconocida por su actividad minera. Así, es más fácil acceder a los clientes y se abaratan costos puesto que el esfuerzo de logística y el costo del transporte se incrementan a medida que se aleja de la planta. Además, contar con un mercado más grande permite penetrar más fácilmente con un producto nuevo.

La oferta de diesel sintético se ve limitada por la capacidad de la maquinaria y las instalaciones, y es de 7.900 m³ al año. La planta abarcaría el 1,43% del consumo del mercado objetivo en la Región Metropolitana.

Se calcularon los niveles de consumo de combustible diesel de los diferentes tipos de vehículos gracias al gasto y nivel de actividad promedios³⁶. Gracias a estos datos y los niveles de producción de la empresa fue posible obtener la cantidad de cada vehículos a abastecer en al año. La empresa abastecería 208 buses del Transantiago, o 636 camiones de la Región. La Tabla 21 muestra los detalles de dichos cálculos.

³⁵ O’Ryan. 2008. [14]

³⁶ O’Ryan. 2008. [14]

Tabla 21: Número de Vehículos a Abastecer

Tipo de vehículo	Consumo m ³ /año	Cantidad a abarcar
Livianos	1,143	6.909
Comerciales	2,457	3.214
Buses Interurbanos	15,935	496
Camiones	12,421	636
Buses Transantiago	37,912	208
Otros	1,594	4.954

Fuente: Elaboración propia.

Dada la localización, se abarcaría menos del 1% de la demanda del sector de industrias y comercio, y poco más del 1,5% del sector transporte. La flota total del Transantiago es de 6.400 buses, por lo que sería necesario llegar a abarcar el 3,25% de estos, o el 1,66% de los más de 38.000 camiones de la Región Metropolitana. Estos números parecen totalmente accesibles dentro de un horizonte cortoplacista.

11.- ANÁLISIS FINANCIERO

Para la realización del análisis financiero, se asume que el producto ya cumple con todos los requisitos para ser vendido en Chile, es decir que ya se realizaron los estudios necesarios para la creación de normativas y, por lo tanto, que se cumple con tales especificaciones.

11.1 Inversión

11.1.1 Inmobiliario

Las instalaciones de la empresa deben contar con un inmueble para oficinas y un galpón para el almacenamiento de materia prima. Ambos fueron costeados gracias a la Resolución Exenta N° 9254³⁷ del 2009, de la Ley General de Urbanismo y Construcciones del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, que “fija valores unitarios de construcción para aplicar en cálculos de derechos de permisos municipales”, gracias a las Tablas de costos unitarios por metro cuadrado de construcción del 4º trimestre 2010 (Ver Anexo D).

Se construirán 200 m² para oficinas que serán de tipo de edificación A o C, categoría 3, que tiene un costo por metro cuadrado de \$138.962. La categoría se estima gracias a una guía técnica, y la edificación corresponde al tipo de construcción. En este caso se decidió en función de la calidad y del precio. Edificaciones del tipo D hacia abajo son de menor calidad, y la B es significativamente más costosa.

³⁷ CHILE. 2009. [6]

Los galpones deben almacenar al menos un mes de inventario, es decir, 500 toneladas de plásticos y 500 toneladas de neumáticos. Dado el volumen y peso promedio de un neumático – 0,21 m³ y 40 kg., respectivamente – se necesitan unos 2.625 m³. Para dar espacio de holgura, se asume que las 500 toneladas de plástico ocupan el mismo volumen, por lo se construirán dos galpones de 1000 m² y 3,5 metros de altura cada uno. Estos se harán con estructuras de hormigón en paredes y de acero en techumbre – Tipo de estructura BA, Categoría b –, con un costo de \$56.534 por metro cuadrado.

11.1.2 Terreno

Las instalaciones de la empresa deben contar con la planta de producción, un galpón para bodega y un inmueble para oficinas. Ambas líneas de producción deberían ocupar 1.500 m², sumándole a eso el galpón y las oficinas, se necesitan unos 3.700 m² aproximadamente. Además, es necesario contar con espacio extra suficiente, por si se desea instalar otra línea de producción a futuro. Así, es necesario un terreno de al menos 7.200 m².

Dentro de las localizaciones posibles para el proyecto, fueron cotizados terrenos en las comunas de Melipilla, Lampa y Talagante. Con un promedio aproximado de 35.000.000 millones de pesos para terrenos de esta envergadura, que se traducen en unos 73.000 USD.

11.1.3 Maquinaria

La maquinaria fue cotizada en la empresa Wuxi Kingship Enterprises para el procesamiento de 20 toneladas de desechos plásticos y 20 toneladas de neumáticos, es decir, cuatro líneas de producción. Ésta contempla:

- Trituradora de plásticos
- Trituradora de neumáticos
- Reactores de pirólisis
- Cámaras de remoción de polvo
- Sistemas de purificación
- Sistemas de quema de gas de residuo
- Sistema de procesamiento de negro de humo
- Tanques de Almacenamiento de Combustible (50 y 100 m³)

El costo total de las máquinas necesarias para el procesamiento de 40 toneladas de materia prima asciende a 1.110.800 USD, precio a marzo 2010.

Para hacer el escalamiento a una maquinaria que procesa 20 toneladas de insumos por lote se utiliza el método de Williams (Ver Anexo A).

$$C_a = C_b \cdot \left(\frac{P_a}{P_b}\right)^n$$

Donde:

C_a = Costos de los equipos a instalar en Chile.

C_b = Costos de los equipos costeados anteriormente.

P_a = Capacidad de la maquinaria en Chile.

P_b = Capacidad de la maquinaria costeadada anteriormente.

n = Exponente de Williams, generalmente igual a 0,6.

$$C_a = 1.110.800 \left(\frac{20}{40}\right)^{0,6}$$

$$\rightarrow C_a = 732.855 \text{ USD}$$

11.1.4 Planta

Para el cálculo de los costos de la instalación de la planta, se utilizó el método de Miller, detallado en el Anexo A. Los diferentes gastos a incurrir para la instalación de la planta serán los siguientes:

Estimación de Costos Directos

1. Costos de los Equipos Principales = 732.855 USD.
2. Costos de los ítem misceláneos = 109.928 USD.
3. Costo Maquinaria Total = 842.783 USD.
4. Costos de Edificación = 800.644 USD, que se desglosan en:
 - a. Levantamiento = 92.706 USD.
 - b. Fundaciones y Soportes = 25.283 USD.
 - c. Piping = 168.557 USD.
 - d. Tendido Eléctrico = 42.139 USD.
 - e. Instrumentación = 58.995 USD.
 - f. Misceláneos = 33.711 USD.
 - g. Edificaciones = 249.974 USD.
 - h. Servicios en Edificaciones = 84.278 USD.
5. Total de Costos de Equipos y Edificación = 1.643.427 USD
6. Costos de Almacenamiento y *Utilities* = 1.068.227 USD.
 - a. Almacenamiento = 657.371,66 USD.
 - b. *Utilities* = 410.857 USD.

7. Costos de Equipos, Edificación y Almacenamiento = 2.711.654 USD.

8. Costos de Servicios = 352.515 USD.

→ **Total Costos Directos = 3.064.169 USD**

Estimación de Costos Indirectos

Como costos indirectos se consideran los costos asociados a la Ingeniería del Proceso y a la Construcción. Estos corresponden a 20% y 10%, respectivamente, del Total de los Costos Directos. Sin embargo, el diseño de la planta ya fue realizado por el Ingeniero Químico Adolfo Brinkmann para el proyecto en Ecuador, por lo que no aplica como parte de la inversión necesaria para la planta en Chile. Los costos indirectos en este caso sólo corresponden a los de construcción, estos ascienden a:

→ **Total Costos Indirectos = 306.417 USD**

Contingencia

Para mejorar la precisión de la estimación, es importante considerar un margen de contingencia equivalente a un 10% del Total de los Costos.

Total Costos = 3.370.586 USD

→ **Total Margen Contingencia = 337.059 USD**

11.1.5 Publicidad y Promoción

Antes de la puesta en marcha de la planta, existen una serie de requisitos, como, por ejemplo, establecer normativas para el diesel de segunda generación, que demoran el proceso. Durante ese tiempo, que se prevé de 2 años, se pretende establecer un plan de marketing previo al comienzo de las ventas. Éste durará un año y consta de las siguientes fases:

- Apariciones en revistas o páginas web especializadas en el rubro como Revista Transporte Terrestre, Revista del Transporte, Revista Kaufmann Transporte, entre otras, o directoriotransporte.cl, para entrar en el mercado objetivo. Esto tiene un costo aproximado de 800.000 a 1,2 millones de pesos por publicación³⁸. Asumiendo una publicación por mes en 2 revistas, el costo total es de 24 millones de pesos, es decir, cerca de 50.000 USD.

³⁸ Fuente: Agencia de Medios Mindshare.

- Mailing a empresas del mercado objetivo, donde se pretende publicitar el producto, dando a conocer sus ventajas y proponiendo charlas y vistas informativas a las mismas. El mailing tiene un costo de 5 UF para 4.000 mails enviados³⁹.
- Visitas a empresas, donde se contratará a un ingeniero en mecánica automotriz para realizar las charlas informativas, con un sueldo mensual de 800 USD. Se pretende que se realicen al menos unas 5 charlas mensuales.
- Prueba en un camión propio, donde se importe el diesel sintético de la planta que entrará en funcionamiento en Ecuador, para asegurar a los clientes la calidad del producto, haciendo revisiones periódicas del motor. Para tal fin, se destinarán 40.000 USD a la compra de un camión usado. Dados los niveles de actividad de un camión promedio, es decir, 12.500 litros al año, se destinarán 4.000 USD. El costo de fabricación de un metro cubico en Ecuador es de 170 USD, más costos de flete e importación, se calcula en no más de 320 USD/m³.

El total de la inversión en marketing supera los 210.000 dólares. En la Tabla 22 se desglosan los costos totales asociados a la promoción y publicidad del producto.

Tabla 22: Costos de Marketing

Ítem	Monto en USD
Revistas	49.996,88
Mailing	107.105,30
Visitas	9.600,00
Prueba Camión	44.000,00
TOTAL	210.702,18

Fuente: Elaboración propia.

Gracias a esto, se puede lograr dar a conocer el producto antes de su lanzamiento al mercado y, así, dar seguridad a los clientes con respecto al uso del diesel sintético y aumentar la penetración de mercado.

11.1.6 Inversión Total

La inversión total llega casi a los 4,3 millones de dólares, y se desglosa en la compra del terreno y los equipos principales de operación, además de la instalación de la planta y la construcción de oficinas y galpones. Estos montos se detallan en la Tabla que se muestra a continuación.

³⁹ Fuente: Publimail.

Tabla 23: Desglose de la Inversión

Ítem	Monto en USD
Terreno	73.000
Galpón + Oficina	293.440,83
Maquinaria	842.782,89
Edificación	800.643,75
Almacenamiento	1.068.227,32
Servicios	352.515,01
Costos Indirectos	306.416,90
Contingencia	337.058,59
Promoción y Publicidad	210.702,18
TOTAL	4.284.787,46

Fuente: Elaboración propia.

11.2 Costos

11.2.1 Costos Fijos

Los costos fijos de la empresa hacen alusión a los sueldos que debe pagar la empresa. Estos se dividen entre mano de obra directa e indirecta. Por otro lado, también se consideran como costo fijo otros gastos de administración y venta, como pagos de cuentas de teléfono, internet, seguros, artículos de oficina, publicidad y promoción, y otros misceláneos. El total de este ítem se calcula como el 12% de los costos fijos totales⁴⁰. Además, es necesario hacer una mantención preventiva a la maquinaria al año, que tiene un costo de 40.000 USD.

En la planta son necesarios tres operarios por cada turno de trabajo de 8 horas cada uno, donde se pretende que la planta funcione 24 horas al día, los 7 días de la semana. Es por eso que son necesarios 4 turnos diferentes, donde se roten los días libres, llegando a un total de 12 operarios. Además, es necesario tener un jefe de planta por turno que conozca bien el proceso de producción, la maquinaria y supervise a los operarios.

En el área administrativa, se destinaron cuatro cargos diferentes: Gerente General, Gerente Comercial, Contador y una persona de servicio. Los sueldos de cada uno y los detalles de todos los costos fijos se detallan en la Tabla 24.

⁴⁰ Juicio experto, profesora Erika Guerra.

Tabla 24: Costos Fijos Mensuales

Ítem	Cantidad	Monto Unitario USD	TOTAL Mensual USD
Operarios Máquinas (3 por turno)	12	600	7.200
Jefe Planta	4	1.200	4.800
Gerente General	1	3.000	3.000
Gerente Comercial	1	2.400	2.400
Contador	1	1.600	1.600
Personal de Servicio	1	400	400
GAV	1	2.728	2.728
Mantenimiento Preventivo Maquinaria	1	40.000	3.333
TOTAL			25.461

Fuente: Elaboración propia.

11.2.2 Costos Variables

Los costos variables hacen alusión al proceso productivo, y se dividen entre las dos líneas de producción diferentes, a partir de neumáticos y de desechos plásticos. Estos se desglosan en 5 puntos diferentes:

- **Materia prima:**
 - **Neumáticos:** Se asume como nulo, dado lo expuesto anteriormente, en el punto 5.1.3.
 - **Plásticos:** Como se expuso en el punto 5.2.3, éste tiene un costo que se encuentra entre los 200 y los 300 USD por tonelada. Se asumirá un precio promedio de 250, y, luego, se analizará la sensibilidad del proyecto con respecto de este costo.
- **Energía eléctrica:** Una vez arrancado el proceso, la planta necesita tan sólo de energía eléctrica para funcionar, ya que se autoalimenta gracias a los mismos subproductos. La planta ocupa 75 kW de potencia en un lote de producción, es decir, 975 kWh. El costo es de 0,12 USD/kWh⁴¹.
- **Aditivos y catalizadores:** Este monto alcanza unos 400 USD por batch, sin embargo, por confidencialidad del proceso, no se pueden entregar más especificaciones.
- **Agua:** El proceso necesita agua principalmente para la etapa de condensación, y se ocupan unos 30 m³ por cada lote de producción. Se utilizaron tarifas para el posible sector de localización de Aguas Andinas SA. Los detalles de los costos del agua se encuentran en el Anexo E.
- **Diesel:** Es necesario medio galón de diesel para arrancar la maquinaria. Se utilizará el mismo diesel que se produce, por lo que se restará a la cantidad final destinada a la venta.

⁴¹ Tarifa a agosto 2010: 55,39 \$/kWh. Fuente: CNE.

Las dos tablas a continuación detallan los costos fijos mensuales para ambas líneas de producción.

Tabla 25: Costos Variables Mensuales para Línea de Plásticos

Ítem	Cantidad	Monto unitario USD	TOTAL USD
Plásticos (ton)	514,3	250	128.575
Energía Eléctrica (kwh)	50144,25	0,12	5.786,08
Diesel (galón)	25,715	Abastecimiento propio	
Agua	1542,9	1,31	2.014,91
Aditivos y Catalizadores	--	400	20.572
TOTAL			156.947,99
Costo por m³			359,10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26: Costos Variables Mensuales para Línea de Neumáticos

Ítem	Cantidad	Monto unitario USD	TOTAL USD
Neumáticos (ton)	514,3	0,00	0,00
Energía Eléctrica (kwh)	50144,25	0,12	5.786,08
Diesel (galón)	25,715	Abastecimiento propio	
Agua	1542,9	1,31	2.014,91
Aditivos y Catalizadores	--	400	20.572
TOTAL			28.372,99
Costo por m³			128,35

Fuente: Elaboración propia.

Además, existen otros costos variables. Uno de ellos se asocia a los certificados de calidad requeridos, donde se asegura que el combustible cumple con las normas exigidas. Dado que no existe normativa aun para el diesel sintético, se tomará el costo para un certificado para diesel fósil ya que se asume que se pedirán los mismos ítems. El desglose de los costos se encuentra en el Anexo F. Estos certificados se piden para el diesel comercializable, es decir, el estanque final, que debe estar sellado. Se necesitan un total de 8 certificados al mes, 4 para cada línea de producción, dado que se pretenden hacer despachos semanales. Esto se debe a la forma en que se dispone de la materia prima.

Otro costo a considerar tiene relación con el transporte de diesel al cliente. Se pretende hacer outsourcing de este servicio dados los niveles de especificación necesarios, los costos de inversión, el trabajo logístico, entre otros. Éste se obtuvo gracias a datos entregados por COPEC, y se hace a través de camiones tanque de 33 m³ de capacidad, por lo que se necesitan 20 viajes en un mes. Se cobra un precio fijo desde la planta en Maipú hacia otra comuna involucrada por metro cúbico transportado. Se obtuvieron diferentes costos para distintas comunas de la Región Metropolitana, y

se optó por usar el de mayor distancia abarcada ya que aun no se conoce la ubicación exacta de los potenciales clientes, y se espera vender dentro de toda la Región Metropolitana. Se utilizará, entonces, el caso conservador, donde el costo del flete es de 2.862 pesos por metro cúbico, es decir, 5,96 USD/m³ entre Maipú y San José de Maipo. Por temas de confidencialidad, no se detallarán los otros datos a los cuales se tuvo acceso.

Tomando en cuenta el total de los costos fijos y variables, el costo promedio por unidad de producción de diesel sintético alcanza los 330,95 dólares por metro cúbico, costo que permite hacer este combustible absolutamente competitivo con el derivado del petróleo. La tabla a continuación detalla lo anterior.

Tabla 27: Costos Mensuales Totales y Unitarios

Ítem	Cantidad	Monto unitario USD	TOTAL USD
Costos Línea de Neumáticos	1	28.372,99	28.372,99
Costos Línea de Plásticos	1	156.947,99	156.947,99
Certificación Calidad	8	386,64	3.093,14
Transporte Diesel	658,109	5,96	3.923,73
Costos Variables Totales			192.337,85
Costos Totales (CF+CV)			217.799,18
Costo unitario promedio por m³			330,95

Fuente: Elaboración propia.

11.3 Ingresos

11.3.1 Precio

Diesel Sintético

Aunque en Chile no existen normas ni leyes que limiten los precios, se utiliza el PPI, que considera los valores del mercado internacional según la mejor alternativa de suministro, usando como referencia el valor de los diferentes combustibles en el mercado de la costa de Estados Unidos en el Golfo de México. La Empresa Nacional del Petróleo informa cada semana las fluctuaciones en los precios de los diferentes derivados del petróleo. Finalmente, los distribuidores determinan libremente, a partir del precio al cual compraron a la ENAP y de su margen de comercialización, los precios finales a consumidores.

Hoy en día, en este caso, dados los costos que se tienen, se puede alcanzar un precio competitivo a nivel de mercado. A modo de comparación, como precio del diesel en el horizonte de evaluación, se tomará un promedio histórico de los últimos años ya que éste presenta una reversión a la media de mediano plazo, aun cuando sus fluctuaciones son constantes. Tomando los valores semanales del PPI para los últimos

5 años⁴², y sumando el costo de transporte hasta los distribuidores y el impuesto específico⁴³, se obtuvieron los siguientes resultados, detallados en la Tabla 28.

Tabla 28: Precio a Distribuidor Mayorista (en USD/m³)

PPI en USD	5 años
Promedio	734,14
Precio Mínimo	458,56
Precio Máximo	1.245,97

Fuente: Elaboración propia con datos de la CNE.

Cabe destacar que este precio aún no es el precio final de competencia, ya que no toma en cuenta el margen de la ENAP ni de los mismos distribuidores que es variable y desconocido, y el precio de transporte del producto final. Por lo tanto, para el estudio del flujo de caja, se utilizará un precio de venta que representa casi del 90% del precio promedio a distribuidor mayorista para todo el horizonte de evaluación, dado la característica del PPI de reversión a la media. Éste alcanza los 660 USD/m³. Se decidió usar un precio inferior para poder penetrar en el mercado compitiendo en precio, tomando en cuenta que se trata de un producto nuevo en el mundo.

Las posibles variaciones en del precio de venta y sus repercusiones para el negocio se evaluarán en el punto final de este capítulo: Análisis de Sensibilidad. Tomando como referencia los datos expuestos en la tabla anterior.

Acero

El acero obtenido del proceso de trituración de los neumáticos será vendido a Gerdau AZA como chatarra. Esta compañía mostró disposición a comprar este producto a un precio de 300 USD por tonelada.

Negro de Humo

Se utilizará como precio alternativo del Negro de Humo el costo de importación del mismo. Éste alcanza los 1.100 USD por tonelada. Para efectos del estudio, se tomará un precio menor, dado que no es el producto principal de la empresa y, además, éste no es muy refinado. Además, para penetrar en el mercado, se espera partir de un precio más bajo. Éste será fijado en 825 USD la tonelada, lo que significa una reducción del 25%.

11.3.2 Cantidad

La producción de diesel sintético se ve ligeramente disminuida al descontarse el diesel utilizado por la misma maquinaria para su arranque. Esta etapa del proceso utiliza unos 195 litros mensuales. La oferta final alcanza, entonces, los 658,110 m³

⁴² Fuente: CNE.

⁴³ Correspondientes a 11,90 y 117,40 USD/m³ (1,5 UTM/m³), respectivamente (al 2 de diciembre de 2010).

mensuales, llegando casi a los 7.900 m³ anuales. Como se mencionó anteriormente, este nivel de producción es bajo en comparación a la demanda del combustible del mercado objetivo y no satisface más del 1,44% del total de la demanda de éste en la Región Metropolitana.

La introducción al mercado será progresiva durante el primer año, puesto que se necesita un periodo de adaptación y aprendizaje con respecto a la maquinaria. Además, se debe asumir una etapa de inserción al mercado que no puede ser inmediata. Se utilizaron los siguientes porcentajes de utilización de la planta:

Tabla 29: Penetración de Mercado

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Penetración	20%	20%	30%	30%	40%	40%	50%	50%	60%	70%	80%	90%
Oferta (m³)	1.579	1.579	2.369	2.369	3.159	3.159	3.949	3.949	4.738	5.528	6.318	7.108

Fuente: Elaboración propia.

Se pueden asegurar las ventas dados los bajos niveles de oferta de la empresa y el porcentaje de mercado a abarcar. Esto significa, por ejemplo, que una sola empresa del Transantiago (de 200 buses) debería cambiar el combustible de toda su flota en un año, lo que parece alcanzable. Sin embargo, de todas formas, se pretende vender no sólo a empresas del Transantiago, sino que a industrias, y otras empresas transportistas. Es por esto que parece accesible especular que, empezando el segundo año, se alcance el 100% de penetración.

Además, se puede asumir que la legislación será favorable para este diesel sintético, por lo que ciertas empresas se verán motivadas a su uso, llamadas por las externalidades positivas que aportaría en cuanto al medioambiente y el bajo precio de este combustible.

Finalmente, se tomó en cuenta también la inserción de mercado de la empresa Polambiente, dedicada al reciclaje de neumáticos. Esta empresa es la única en Chile, por lo que se asemeja en cuanto a aprendizaje de maquinaria y penetración en un mercado nuevo. Polambiente llegó al 100% de funcionamiento en menos de un año, aumentando mensualmente su capacidad de producción en un 10%.

Se eligió pensar en una penetración más bien lenta en un principio, que al final del primer año fuera más acelerada dada la capacidad de copia y adaptación del mercado y el mayor conocimiento y confianza de las ventajas del diesel de segunda generación. Sumado a todo lo anterior, se espera que el esfuerzo de marketing planteado en el capítulo 11.1.5 logre dar a conocer el producto y dar confianza a los posibles clientes antes del funcionamiento de la misma, por lo que la entrada al mercado se facilitaría.

El total de ingresos en un año promedio supera los 6,85 millones de dólares, donde cada línea de producción tiene prácticamente la misma participación. Para el primer año, dados los porcentajes de funcionamiento mensual de la empresa antes

expuestos, por procesamiento de desechos plásticos se tienen ingresos por 1.673.057 dólares, y por el diesel sintético proveniente del procesamiento de neumáticos 846.186 USD. El detalle de los ingresos promedios según línea de producción y producto se aprecia en la Tabla 30.

Tabla 30: Ingresos Promedio Mensuales y Anuales

Producto	Producción mensual	Precio por Tonelada USD	Ingreso mensual	Ingreso anual
Por Procesamiento de Neumáticos				
Diesel	221,052	660	145.894	1.750.729
Negro Humo	128,57	825	106.070	1.272.843
Acero	102,86	300	30.858	370.296
Sub Total			282.822	3.393.868
Por Procesamiento de Plásticos				
Diesel	437,058	660	288.458	3.461.497
Sub Total			288.458	3.461.497
Ingresos Totales				6.855.365

Fuente: Elaboración propia.

11.4 Indicadores y Parámetros

Se asumió el precio del dólar al 12 de noviembre del 2010 como 480,03 pesos, y de la UF en 21421,06 pesos. La UTM al mismo mes fue de 37.567 pesos. Todos los datos fueron obtenidos del SII.

Se utilizó depreciación normal, gracias a valores obtenidos de la Tabla de Vida Útil fijada por el Servicio de Impuestos Internos para bienes físicos del activo inmovilizado, donde el inmobiliario se deprecia linealmente en 40 años y la planta en 10. Ver detalles en el Anexo G.

Se trabajó con una tasa de descuento convencional del 12% ya que para proyectos de la industria química se encontraron tasas un poco superiores al 11%, y para dar holgura y utilizar valores promedios de evaluación se optó por dicha tasa. Se utilizó un horizonte de evaluación de 10 años, dado el periodo de vida útil de los equipos principales.

Para el capital de trabajo se utilizó el método de déficit acumulado máximo. En este caso, el costo corresponde al total de los costos fijos y variables de un año, asumiendo el peor caso, donde no se obtengan ingresos durante el primer año, es decir, el desfase entre egresos e ingresos sea de un año. Éste corresponde, entonces, a 2.613.590 USD.

El Valor residual corresponde al valor contable de los activos de la empresa al final del periodo de evaluación, es decir, el precio de adquisición menos la depreciación acumulada hasta el final del horizonte. Este valor es nulo en el caso de las maquinarias

y corresponde entonces sólo al precio del terreno y valor residual del inmobiliario, lo que asciende a 293.081 USD.

11.5 Flujo de Caja

Finalmente, se realizaron 3 flujos de caja diferentes utilizando la información antes descrita. En estos casos, no se tomó en cuenta el impuesto específico ya que es la situación más probable, sin embargo, sus repercusiones y efectos en el flujo de caja son analizadas en el capítulo siguiente. Se analizaron los casos donde la planta funciona solamente con una línea de producción a partir de una sola materia prima y para ambas líneas en conjunto.

La asignación de inversión cuando se trabaja sólo con una línea de producción se asumió de un 55% para la maquinaria en el caso de procesamiento de plásticos contra el 45% para cuando se tiene sólo neumáticos. Además, se tomó en cuenta la construcción de un solo galpón en cada caso. Las inversiones en terreno, marketing e inmobiliario, al igual que los costos fijos se mantienen iguales en ambos casos. Los niveles de ingreso son diferentes en cada caso, como se muestra en el subcapítulo 11.3. Finalmente, la depreciación fue calculada en función de estos datos.

En la Tabla 31 se pueden observar los resultados obtenidos para todos los casos en cuestión. Los flujos anuales detallados para todos los casos se encuentran en el Anexo H, I y J, para los casos del proyecto total, sólo procesamiento de plásticos y solamente de neumáticos, respectivamente.

Tabla 31: Resultados Flujos de Caja

Indicadores	Proyecto Total	Línea de Plásticos	Línea de Neumáticos
VAN (USD)	12.297.567	545.989	9.596.699
TIR	41,40%	13,96%	69,01%
PRC	3 años	7 años	2 años

Fuente: Elaboración propia.

El proyecto presenta resultados positivos para todos los flujos analizados, pero con variaciones importantes entre uno y otro. Como era de esperar, el caso menos rentable se presenta para línea de procesamiento de plásticos, dado los altos costos variables involucrados, provocando que el margen de ganancia sea mínimo. La línea de procesamiento de neumáticos tiene una tasa de renta notablemente superior lo que permite equilibrar baja rentabilidad de la línea de plásticos, dándole al proyecto general una TIR de 41,40% y un VAN que asciende a 12,3 millones de dólares.

11.6 Análisis de Sensibilidad

Para hacer el análisis de sensibilidad del proyecto, se tomaron en cuenta cuatro variables que se consideraron importantes y que podrían alterar significativamente el resultado del flujo de caja. Por un lado, se estableció un escenario en el caso en que sí se cobre el impuesto específico al diesel sintético. Se decidió también sensibilizar con respecto al precio del petróleo y de la materia prima, tanto del plástico como de los neumáticos. Estas variaciones se estudiaron para los casos en que se toman en cuentas ambas líneas de producción, a base de plásticos y neumáticos, y para cada una por separado.

Todas las variaciones para cada una de estos parámetros se harán ceteris paribus y se analizarán sus repercusiones para los 3 flujos de caja antes mencionados. Para algunos de estos análisis, se utilizó el software Crystal Ball de Oracle, en el cual se simularon 1.000 escenarios (con un nivel de confianza del 95%). Además, se buscó el punto de inflexión de cada flujo para las variables estudiadas. Este punto refleja hasta qué valor el aumento de una variable hace que el proyecto tenga VAN nulo, y deje de ser rentable. Los resultados se exhiben a continuación.

11.6.1 Impuesto Específico

Aun cuando se supone que el diesel sintético estaría libre de impuesto específico, al igual que el biodiesel, se analizó el caso en que no se estaría exento de él. Si se llegase a cobrar dicho impuesto, disminuiría el margen de ganancias, haciendo que el proyecto baje su rentabilidad. Los resultados se detallan en la tabla siguiente.

Tabla 32: Resultados Flujo de Caja con Impuesto Específico

Indicadores	Resultados
VAN (USD)	7.059.461
TIR	29,18%
PRC	4 años

Fuente: Elaboración propia.

Existe una clara e importante baja en todos los indicadores, no obstante, el proyecto sigue siendo altamente rentable, con un VAN superior a los 7 millones de dólares y una TIR del 29,18%. Para más detalles, ver el flujo de caja en el Anexo K.

11.6.2 Precio del Petróleo Diesel

Las variaciones en los precios de cualquier activo poseen una componente estocástica, aun cuando tengan alguna tendencia marcada. En el caso del precio del petróleo, existe una reversión a la media de mediano plazo, aun cuando este factor random afecte las fluctuaciones a corto plazo. Dadas las características de esta variable, se decidió asumir un precio constante para el horizonte de evaluación del

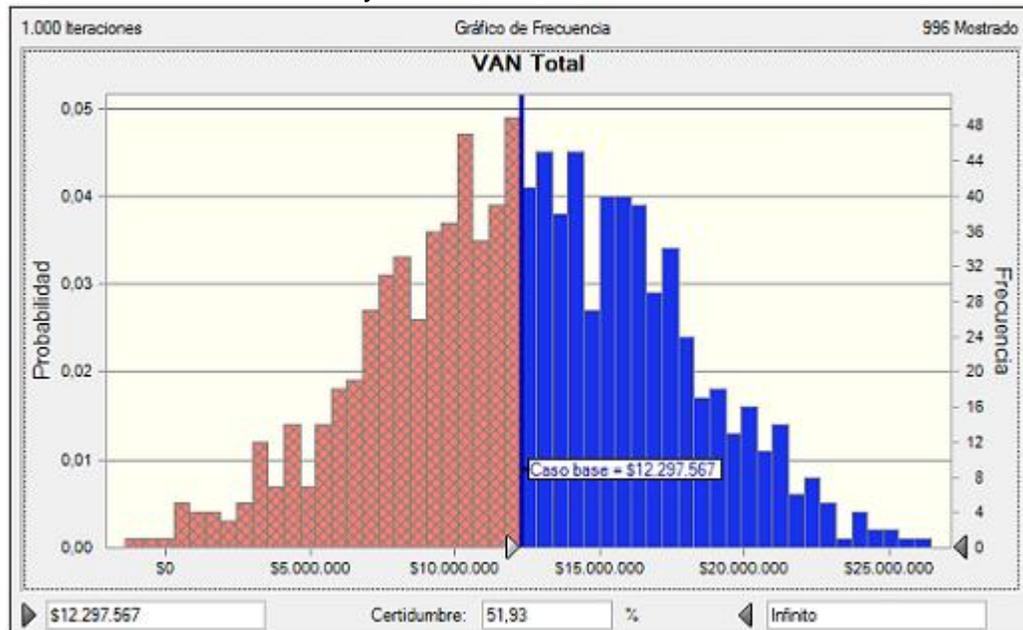
proyecto que corresponde al promedio de mediano plazo. Para efectos del estudio de sensibilidad, es necesario ajustar el comportamiento del precio promedio a alguna distribución de probabilidad.

El Teorema Central del Límite (TCL) indica que la distribución de la media muestral de una variable aleatoria tiende a una Normal, cuando la muestra es suficientemente grande (superior a 30). Como se trabaja con el promedio histórico del precio del diesel – con datos semanales de 5 años atrás – se cumple con las condiciones del TCL y, así, se asume que este parámetro variará según una distribución normal, con media igual a 660 USD/m³ y una desviación estándar de 149, usando obviamente sólo los valores positivos. Se utilizó una varianza mayor dado que se quiere analizar la sensibilidad frente a cambios importantes (Ver Anexo L).

El análisis de las repercusiones en el VAN se realizó con el programa Crystal Ball, simulando variaciones en el precio del petróleo diesel, usando la distribución antes descrita. Los resultados de dicho análisis se detallan a continuación, donde se muestran tablas con las medias, mínimo y máximo del VAN y su punto de inflexión con respecto al precio del diesel, y gráficos de frecuencias para el valor de la planta.

Caso Proyecto General

Figura 16: Variaciones VAN Proyecto General frente a cambios en el Precio del Diesel



Fuente: Elaboración propia.

En el 99,04% de los casos simulados, el VAN del proyecto es positivo. Dado el bajo punto de inflexión que posee es prácticamente improbable que se presente este escenario. Convenientemente, la probabilidad de obtener un VAN superior al caso base, planteado en el capítulo 11.5, es del 51,93%.

Tabla 33: Resultados Simulación para el Proyecto General

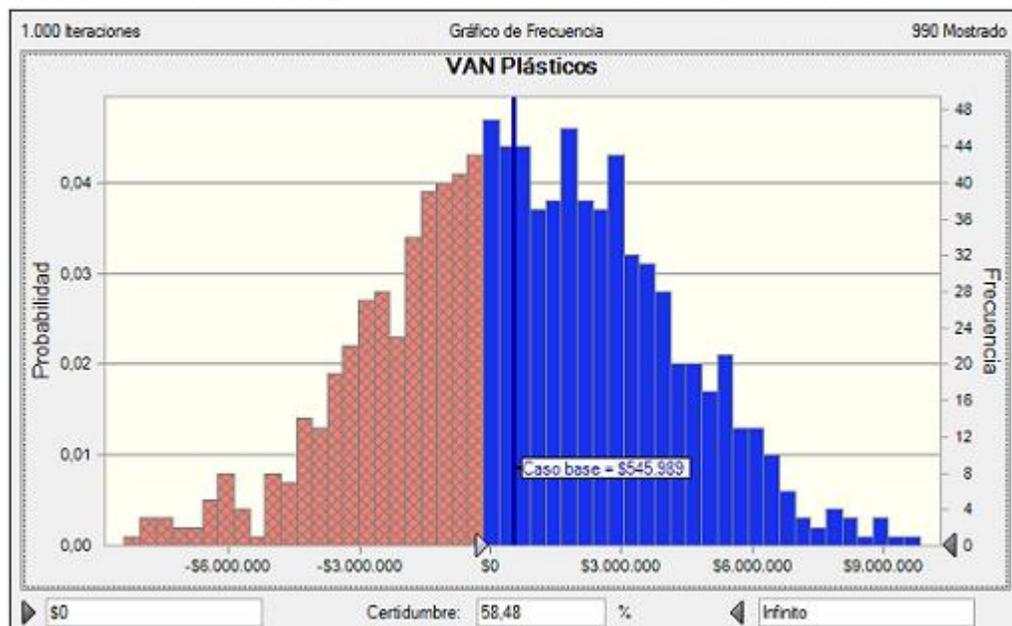
Indicadores	Resultados
Media	12.705.689 USD
Mínimo	- 3.733.149 USD
Máximo	27.811.662 USD
Punto Inflexión	298,54 USD/m ³

Fuente: Elaboración propia.

La media encontrada es similar al caso base del proyecto. El VAN se mueve en un amplio rango, dada la alta varianza ocupada. Sin embargo, el precio para el cual el VAN se hace negativo es notablemente inferior al mínimo registrado en los últimos 5 años, por lo que es muy poco probable que el proyecto no sea rentable, además que lo más probable es que no se den este nivel de precios ya que la varianza del promedio es más pequeña. Se concluye, entonces, que, bajo las condiciones actuales para el precio del diesel, el proyecto general es rentable y, aunque es sensible frente a variaciones en el precio del diesel, prácticamente todos los valores estimados son positivos.

Caso Línea Única de Procesamiento de Plásticos

Figura 17: Variaciones VAN Línea Plásticos frente a cambios en el Precio del Diesel



Fuente: Elaboración propia.

En el caso en que sólo se trabaje con una línea de producción basada en el procesamiento de desechos plásticos, existe una alta probabilidad de que el VAN sea negativo, del 41,52%, por lo que, aun cuando se espera que éste sea positivo, es bastante riesgoso. Con una certidumbre del 51,67%, se espera que el VAN sea superior al caso base.

Tabla 34: Resultados Simulación para Línea de Plásticos

Indicadores	Resultados
Media	726.125 USD
Mínimo	-9.846.637 USD
Máximo	10.865.743 USD
Punto Inflexión	635,88 USD/m ³

Fuente: Elaboración propia.

Aunque la varianza en este caso es ligeramente inferior al caso anterior, se puede llegar a un valor negativo considerable. El valor del precio del diesel para el cual el VAN se hace negativo es bastante alto comparado con el precio promedio usado (660 USD/m³), lo que hace que este caso sea muy sensible a tal variable, dando menor holgura y margen al proyecto. Sin embargo, el promedio del VAN es superior al caso base. Este proyecto es, entonces, más riesgoso, pero no así no rentable.

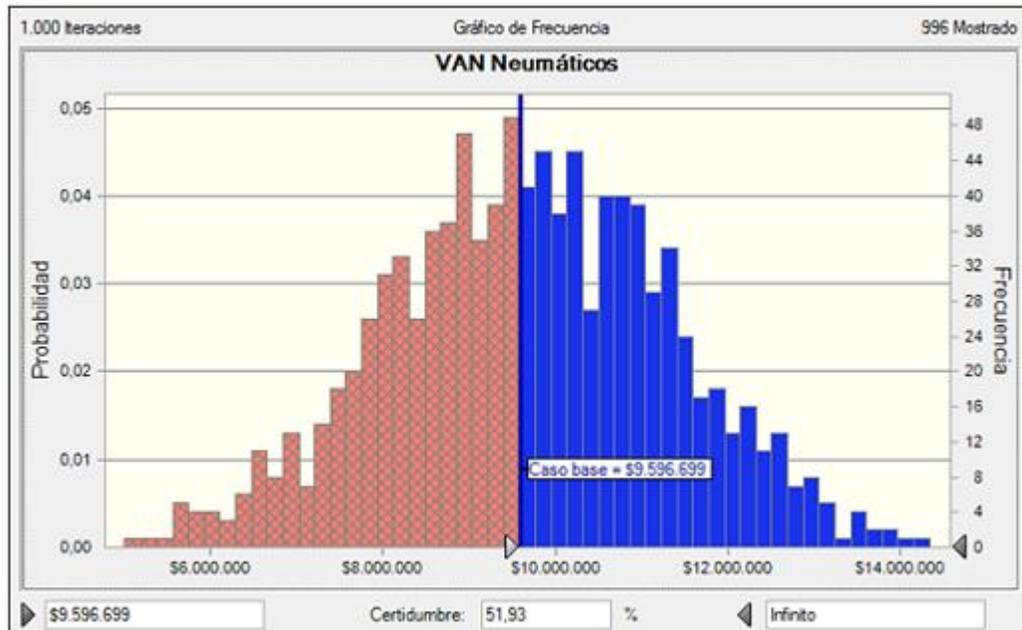
Caso Línea Única de Procesamiento de Neumáticos

Tabla 35: Resultados Simulación para Línea de Neumáticos

Indicadores	Resultados
Media	9.671.508 USD
Mínimo	3.012.123 USD
Máximo	14.476.694 USD
Punto Inflexión	-- USD/m ³

Fuente: Elaboración propia.

Figura 18: Variaciones VAN Línea Neumáticos frente a cambios en el Precio del Diesel



Fuente: Elaboración propia.

En el 100% de los casos simulados, el VAN del proyecto es positivo y superior a 3 millones de dólares, y, en el mejor de los casos, el VAN supera los 14 millones. Con una certidumbre del 51,93%, se espera que éste sea superior al caso base, con un promedio de 9,7 millones de USD. Se puede asegurar que, dados los supuestos ceteris paribus, el proyecto es rentable y poco sensible a los movimientos del precio del diesel. Esto debido a que casi la mitad de los ingresos provienen de la venta de los subproductos, lo que permite amortiguar las posibles pérdidas producidas en una caída importante en la variable estudiada.

11.6.3 Precio del Plástico

El precio de los desechos plásticos se relaciona directamente con el precio de venta del plástico virgen. Del mismo modo, al ser un producto derivado directamente del petróleo, sus precios se correlacionan altamente con los de este último, ya que es su principal materia prima. Así, como no se cuenta con muestras históricas del precio de los desechos plásticos, se asume que se distribuye como una Normal, al igual que el caso anteriormente estudiado. Se obtuvieron precios máximos y mínimos de los últimos años de Polysmart, empresa dedicada al reciclaje de plásticos. Estos han variado desde los 80 a los 500 dólares por tonelada (dada la crisis, estos son bastante extremos). Se usó, entonces, una media de 250 USD/ton (caso base) y una desviación estándar de 85 que permite obtener un intervalo de confianza al 95% de entre 83,4 y 416,6 USD/ton.

Este análisis se hizo gracias al programa Crystal Ball, simulando con los datos antes expuestos. Los resultados se exponen a continuación en forma de gráficos de frecuencia para el VAN y tablas donde se muestran los valores mínimos, máximos y el promedio del valor del proyecto, junto con el punto de inflexión para el cual éste se vuelve negativo.

Caso Proyecto General

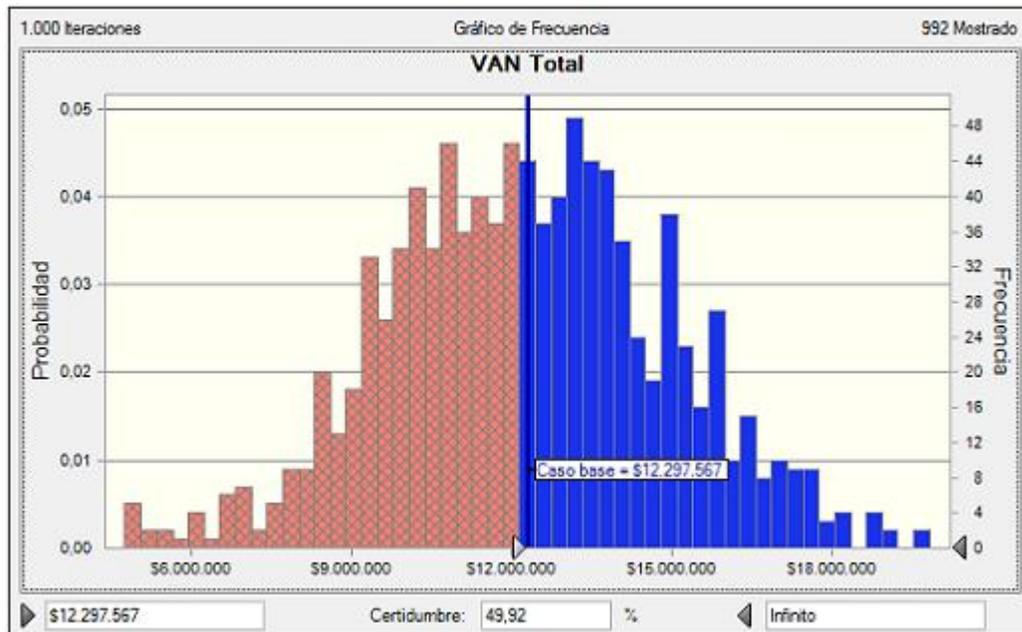
Tabla 36: Resultados Simulación para Proyecto General

Indicadores	Resultados
Media	12.293.388 USD
Mínimo	3.482.084 USD
Máximo	20.425.466 USD
Punto Inflexión	620,67 USD/m ³

Fuente: Elaboración propia.

Existe una varianza considerable para el valor del proyecto, que fluctúa entre los 3,5 y los 20,4 millones de dólares. Sin embargo, aun cuando el proyecto es sensible frente a variaciones del precio del plástico, se espera que el VAN sea siempre positivo, por lo que no se ve afectada la rentabilidad. Esto se debe a que el precio para el cual el proyecto se vuelve negativo es excesivamente alto y es prácticamente improbable de que se dé.

Figura 19: Variaciones VAN del Proyecto General frente a cambios en el Precio del Plástico



Fuente: Elaboración propia.

Consistentemente con lo anterior, se observa que el VAN del proyecto es siempre positivo, a pesar de los posibles aumentos en el precio de los desechos plásticos, y que, indistintamente, se pueden obtener valores superiores o inferiores al caso base. El proyecto es indiscutiblemente rentable, y no se ve afectada su factibilidad económica frente a fluctuaciones de esta variable. Esto puede deberse a que se amortigua cualquier caída en el margen del diesel proveniente de línea de plásticos con la de procesamiento de neumáticos que es altamente rentable, y con la venta de sus subproductos.

Caso Línea Única de Procesamiento de Plásticos

Tabla 37: Resultados Simulación para Línea de Plásticos

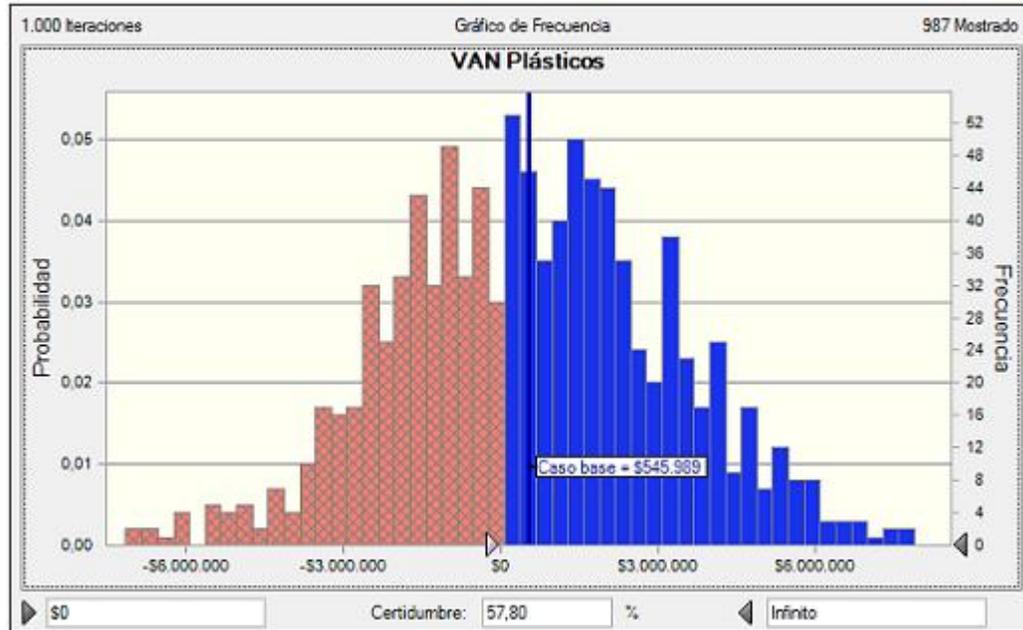
Indicadores	Resultados
Media	521.652 USD
Mínimo	-9.139.972 USD
Máximo	8.686.777 USD
Punto Inflexión	266,43 USD/m ³

Fuente: Elaboración propia.

El varianza del VAN es alta. Sus valores fluctúan dentro de un rango bastante amplio, lo que demuestra que este caso es muy sensible frente a variaciones del precio del plástico, como es de esperar. No obstante, cabe destacar que las variaciones en precios promedio a lo largo del periodo de evaluación no deberían ser demasiado grandes. Sin embargo, el precio para el cual el VAN se hace negativo es muy cercano

al precio promedio utilizado en el caso base, por lo que se tiene un bajo margen superior con respecto a esta variable, lo que hace que este caso sea sumamente riesgoso.

Figura 20: Variaciones VAN Línea Plásticos frente a cambios en el Precio del Plástico



Fuente: Elaboración propia.

La probabilidad de que el VAN para la línea única de procesamiento de plásticos sea superior a cero es del 57,80%, y, en la mitad de las simulaciones, el proyecto tiene un valor superior al caso base. Aun cuando el proyecto usando sólo una línea de producción a partir de desechos plásticos es bastante sensible y riesgoso en función a esta variable, éste sigue siendo mayoritariamente rentable, pero con valores para el VAN y la TIR no muy elevados.

11.6.4 Precio de NFU

Aun cuando el mercado de los NFU apunta a que el precio de estos sea nulo, se estudió el caso alternativo en que se deba pagar por el transporte a la planta de esta materia prima. Este precio fue obtenido de dos fuentes diferentes: el precio cobrado por la CINC a Polambiente, y el precio de transporte obtenido de CyV Medioambiente Ltda.2008. [9]. Ambos coinciden en \$20.000 pesos por tonelada, es decir, unos 41,66 USD/ton. Se utilizó, finalmente, 50 USD/ton para darle holgura al estudio. Se analizaron las repercusiones con respecto a esta variable para el caso del proyecto general y la línea única de procesamiento de neumáticos.

Los resultados se presentan en función del Valor del proyecto, el punto de inflexión para el cual se hace negativo, la Tasa de Retorno, el Periodo de Recuperación del Capital una vez que se utiliza el precio alternativo para los NFU. Estos se muestran en forma de tablas, y son los siguientes.

Caso Proyecto General

Tabla 38: Resultados para Proyecto General

Indicadores	Resultados
VAN	10.641.199 USD
TIR	36,56%
PRC	3 años
Punto Inflexión	370,68 USD/m ³

Fuente: Elaboración propia.

El VAN y la TIR son inferiores al caso base, sin embargo, su variación no es considerable, y el proyecto, con un valor por 10,6 millones de dólares y una tasa de retorno del 36,56%, sigue siendo altamente rentable. El periodo de recuperación del capital no se mueve de los 3 años. El precio para el cual el valor del proyecto se hace negativo es en exceso elevado, superando incluso al valor de los desechos plásticos, por lo que es prácticamente improbable que el proyecto tenga VAN negativo por un alto costo de los NFU. El proyecto es, entonces, poco sensible a esta variable.

Caso Línea Única de Procesamiento de Neumáticos

Tabla 39: Resultados para Línea de Neumáticos

Indicadores	Resultados
VAN	7.940.331 USD
TIR	55,06%
PRC	2 años
Punto Inflexión	289,61USD/m ³

Fuente: Elaboración propia.

Si se estudia el caso en que sólo se tenga una línea de producción a partir de neumáticos, se deduce que el cobro de un precio alternativo para esta materia prima no afecta considerablemente. Se disminuye, como es de esperar, el valor del proyecto y la tasa de retorno pero en pequeñas proporciones. El proyecto sigue siendo tremendamente rentable, con un VAN que llega a los 7,9 millones de dólares y una TIR del 55%.

Sin embargo, el punto de inflexión es claramente menor al caso anterior ya que no se cuenta con otra línea de procesamiento de plásticos que permite amortiguar el menor margen obtenido de la venta a partir de la línea de neumáticos. Aun así, este caso es indiscutiblemente rentable puesto que el punto de inflexión parece difícil alcanzar.

12.- CONCLUSIONES

A través del presente trabajo de título se logró analizar la posibilidad de instalar una planta de obtención de diesel sintético a partir de desechos plásticos y neumáticos fuera de uso. La tecnología utilizada, llamada pirólisis al vacío, permite elaborar un diesel de segunda generación de similares características que el petróleo diesel que puede ser usado directamente en motores de encendido automático.

Esta tecnología se utiliza hoy en día para crear aceites hidrocarburos, dada la división de polímeros. Sin embargo, bajo ciertas condiciones de tiempo y temperatura, y gracias a la utilización de ciertos aditivos y catalizadores, es posible obtener diesel sintético, un combustible semejante al diesel fósil. Este tipo de energético no existe aún en el mercado y no se ha creado a nivel industrial. No obstante, se está trabajando en etapa de producción en laboratorios a mediana escala. Los estudios técnicos y de viabilidad química están a cargo del ingeniero químico ecuatoriano Adolfo Brinkmann, quien se responsabiliza de estudiar y validar el proceso de producción, y las características del combustible resultante. Las especificaciones y pormenores de la tecnología, en conjunto con las condiciones físicas y algunos insumos son de carácter confidencial, por lo que no se ahondó en este ámbito.

La planta cuenta con 2 líneas diferentes para el procesamiento de desechos plásticos – a excepción del PET y el PVC – y de neumáticos. Ambas líneas tienen una capacidad de procesar 10 toneladas cada una. La pirólisis consta de 6 etapas:

- Trituración de los desechos: Se corta la materia prima en trozos de 5x5 cm, y se separa el acero y el textil del caucho. Aquí se obtienen 2 toneladas de acero.
- Licuefacción (sólo para el caso de plásticos): esta etapa permite limpiar estos desechos y separar material orgánico e inorgánico.
- Pirólisis: Dentro de la cámara de pirólisis, en condiciones específicas de tiempo, altas temperaturas y ausencia total de oxígeno, los insumos son transformados en gases y vapores. Gracias al procesamiento de neumáticos, se recuperan 2,5 toneladas de negro de humo.
- Condensación: Parte de los gases son reutilizados para seguir por el mismo proceso para calentar la cámara, y el resto son condensados y llevados a la próxima etapa.
- Rectificación: En esta fase, se separan los aceites obtenidos. El pesado es reutilizado como combustible, y el liviano, llamado diesel equivalente, corresponde al 85%. Este último cumple con la gran mayoría de las especificaciones y normas chilenas, sin embargo, su índice de cetano y punto de inflamación son inferiores a lo estipulado.
- Refinamiento: Esta última etapa permite transformar este hidrocarburo, gracias a un aditivo, en un diesel de segunda generación de similares características del diesel fósil, que cumple con las normas y puede ser utilizado en motores. Por procesamiento de plásticos, se obtienen 8,5 m³ de diesel, y por neumáticos, 4,3.

La producción anual de diesel de segunda generación alcanza los 7.900 m³ anuales contando ambas líneas de producción, 1,2 y 1,5 toneladas de acero y negro de humo, respectivamente.

Este diesel sintético es más amigable con el medio ambiente ya que presenta niveles de azufre notablemente inferiores que el diesel fósil, lo que reduce las emisiones de GEI y material particulado, además, su fabricación ocupa poca energía y su reutilizan desechos inorgánicos de larga degradación. El costo de producción promedio es de 330,95 USD, lo que representa menos del 58% del PPI actual, haciéndolo totalmente competitivo en el mercado.

Para analizar la factibilidad del proyecto, se estudió, en un primer momento, el mercado de las materias primas. Al año, se producen más de 47.500 toneladas de NFU en Chile, de los cuales el 55% no tiene un vertedero conocido. Cerca del 56,7% se generan en la zona centro del país (V a VI Región), con una tasa anual de crecimiento del 4,5%, por lo que se tiene 13.000 toneladas anualmente disponibles. La tendencia que tiene el mercado es que el transporte y recolección tenga costo nulo para quienes reciben y se reutilizan de los NFU, y no se cobre por tal servicio. Estos se obtendrán de todo tipo de empresas que deban hacerse cargo de los NFU que generan.

Para la obtención de desechos plásticos, se decidió trabajar con RSM ya que son una enorme fuente no explotada de materia prima y existe un fuerte incentivo por parte de las municipalidades para la creación de fuentes de valorización de la basura para lograr disminuir la disposición final y evitar impactos ambientales asociados. Sólo en la Región Metropolitana se generan cerca de 263.000 toneladas de desechos plásticos al año, de los cuales 85% pueden ser utilizados para la obtención de diesel sintético. Se trabajará en conjunto con un par de municipalidades que debe encargarse de recolectar, separar y abastecer la materia prima. Las comunas de La Florida, Las Condes, Maipú, Pudahuel, Puente Alto y San Bernardo son las que generan más desechos dentro de la región, superando las 100.000 toneladas cada una. El precio de mercado es de entre 200 y 300 USD/ton.

En un segundo plano, se estudió el mercado del diesel en Chile para buscar las industrias más atractivas para la venta del diesel sintético. Este combustible es el más utilizado, generando el 31% de la energía del país. Su consumo llegó a los 9,1 millones de metros cúbicos en 2009. Entre de los sectores potenciales, se decidió trabajar con Industrias, Comercio y Particulares, y Transporte Terrestre, debido a que presentan un alto consumo – 75% del diesel del país –, y se alinean con las metas medioambientales de la empresa, donde se busca fomentar su uso en usuarios finales, para disminuir la generación de GEI y material particulado. Se decidió trabajar también con clientes de la Región Metropolitana dada su cercanía con la materia prima, así, se ahorra un costo importante de transporte que puede superar los 2,85 USD/km. El consumo de estos sectores en la zona llega a los 1,3 millones de m³ al año, con una tasa de crecimiento del 6,5% anual. La planta de diesel sintético abarcaría el 1,43% de este mercado, lo que se traduce en 208 buses del Transantiago (3,25%) o 636 camiones (1,66%).

Se decidió localizar, entonces, la planta en la Región Metropolitana ya que la gran mayoría de los desechos, tanto de plásticos como neumáticos, se generan en esta zona. Además, gran parte del mercado potencial se sitúa en esta región, por lo que se disminuyen los costos de transporte. Sin embargo, existen regulaciones del PRMS que impiden situar la planta en cualquier comuna, dejando al sector sur poniente como potenciales localidades.

Al finalizar los estudios de los diferentes mercados y normas involucrados, se procedió al análisis de factibilidad económica del proyecto. Se tiene costos totales anuales por 218.000 dólares, lo que lleva a un costo unitario promedio de 330,95 USD/m³. El precio del diesel se calculó constante para todo el periodo de evaluación con un promedio de 660 USD/m³, correspondiente al 90% del promedio del PPI más costos de oleoducto e impuesto específico, de los últimos 5 años, ya que esta variable presenta reversión a la media. Para el caso de los subproductos, el acero es vendido como chatarra a Gerdau Aza a un valor de 300 USD/ton y el negro de humo a un 25% del valor de importación, 825 USD/ton.

Con una inversión que asciende casi a los 4,3 millones de dólares, una tasa de descuento del 12% y un horizonte de evaluación de 10 años, se obtiene un VAN igual a 12,3 millones USD, una TIR de 41,4% y un periodo de recuperación del capital de 3 años. Lo que demuestra la factibilidad y la alta rentabilidad de la planta de obtención de diesel sintético.

Asimismo, se estudiaron los casos en los que sólo se trabaje con una línea de producción, a partir de plásticos o de neumáticos. Ambos proyectos tienen valores positivos, sin embargo, los indicadores de rentabilidad son extremadamente superiores en el último caso. La línea de plásticos tiene un VAN de 546.000 dólares y una TIR del 14%, y la de neumáticos tiene un valor de 9,6 millones y un retorno del 69%.

Finalmente, se estudió la sensibilidad del valor del proyecto con respecto a 4 variables relevantes: Precio de venta del diesel, Precio de ambas materias primas y el cobro del impuesto específico. Este último, aunque reduce el valor del proyecto, no afecta de forma significativa su rentabilidad.

Al utilizarse un precio promedio para la venta del diesel sintético a lo largo de la evaluación, se espera que éste tenga una varianza muy pequeña. Aun así, al estudiarse fluctuaciones más importantes, el proyecto es rentable prácticamente en el 100% de los casos ya que el valor para el cual el VAN se hace negativo es demasiado bajo (300 USD/m³) y no se alcanza desde mediados del 2004. Esto le da holgura para disminuir el precio de venta y así aumentar la inserción de mercado.

El precio del plástico no afecta considerablemente el valor del proyecto. Éste se vuelve improductivo por sobre los 620 USD/ton, valor sumamente elevado que no parece probable. Por el otro lado, el precio de los NFU afecta en menor medida ya que el costo alternativo es de 50 USD/ton. Sin embargo, el punto de inflexión es más bajo, cercano a los 371 USD, ya que estos se suman a los de los desechos plásticos, al contrario del caso anterior. Aún así, ambos casos tienen una sensibilidad menor que el precio del diesel dado que afectan sólo a una línea de producción.

Recomendaciones

Dado que este tipo de combustible no existe en el mercado, la CNE debe crear normas y leyes que permitan la comercialización de este nuevo producto. Para esto, son necesarios estudios en Bancos de ensayo en motores, de emisiones y de comportamiento en vehículos y en la cadena de distribución para distinguir posibles

alteraciones. Existen, de todas formas, normativas que se deben seguir para instalar la planta, relacionadas tanto con la instalación de una industria, como con la manipulación de combustibles, donde este diesel se cataloga, al igual que el diesel convencional, como Clase II. Por otro lado, se espera que esté libre de impuesto específico y que no esté afecto al FEPP, dado que no es un derivado directo del petróleo. Finalmente, según la ley 19.300 sobre las Bases Generales sobre el Medio Ambiente, este proyecto debe presentar tan sólo una Declaración de Impacto Ambiental, sin costo relevante para la empresa, que demora de 2 a 3 meses.

Estos estudios de sensibilidad se realizaron también para los casos en que se cuenta solamente con una línea a partir de una de las materias primas. Ellos revelaron que, aun cuando ambas líneas son rentables, el contar con los subproductos que se obtienen a partir del procesamiento de neumáticos, que aportan un tercio de los ingresos, permite amortiguar cualquier aumento en los costos o disminución del precio de venta del diesel. Esto explica la baja probabilidad de obtener un VAN del proyecto general negativo para fluctuaciones en cualquiera de las variables estudiadas. Cuando el precio de la materia prima supera el punto de inflexión de su línea, es conveniente trabajar únicamente con la otra.

La línea de plásticos es altamente sensible ya que no cuenta con subproductos y sólo depende de la venta del diesel sintético. Si se logran buenos acuerdos con las municipalidades es posible disminuir el riesgo de ésta. Aun cuando parece más rentable trabajar sólo con neumáticos, no existe posibilidad de expansión en la región por el momento, ya que las proyecciones de generación de NFU indicarían que se necesita ocupar casi el 100% de los de la región, tasa de recuperación poco realista. De conseguirse buenas alianzas, las posibilidades de expansión con respecto a la línea de plásticos son más realistas. Como trabajo futuro, se aconseja estudiar la factibilidad de instalar otra planta en otras regiones del país. Se recomiendan estudios en la VIII Región del Bío-Bío y la V de Valparaíso ya que son las dos regiones que cuentan con la mayor cantidad de materia prima, y presentan también altos niveles de consumo de diesel. Asimismo, existe la posibilidad de expansión al extranjero. El diesel de segunda generación no es comercializado en ninguna parte del mundo por el momento, lo que abre altas probabilidades, de ser exitoso el proyecto en Chile.

Se espera que la planta entre en funcionamiento el año 2013, ya que se necesitan unos 2 años para la creación de normas y estudios de factibilidad química. Por otro lado, se tiene tiempo para la creación de proyectos de recolección en conjunto con las municipalidades, para la entrada en vigencia del Acuerdo de Producción Limpia, la construcción de la planta y para la puesta en marcha del plan de marketing que permite dar a conocer el producto y crear la confianza de los clientes frente a un combustible nuevo y alternativo.

13.- BIBLIOGRAFÍA

13.1 Libros y Papers

1. AGOSTINI, C. y SAAVEDRA, E. 2009. *La Industria del Petróleo*. Universidad Alberto Hurtado, Santiago, Chile. Edición electrónica gratuita. <<http://economia.uahurtado.cl/pdf/publicaciones/inv219.pdf>> [5 de septiembre 2010]
2. ARNOLETTO, E.J. 2007. *Administración de la producción como ventaja competitiva*, Edición electrónica gratuita. <<http://www.eumed.net/libros/2007b/299/>> [15 de agosto 2010]
3. BAASEL, W. 1974. Chapter 8. Cost Estimation. En: *Preliminary Chemical Engineering Plant Design*, Ohio, EE.UU. Elsevier. pp. 237 – 274.
4. CAMARA DE LA INDUSTRIA DE NEUMÁTICOS y CONSEJO NACIONAL DE PRODUCCIÓN LIMPIA. 2009. *Acuerdo de Producción Limpia. Prevención y Valorización de Neumáticos Fuera de Uso*. Santiago, 3 de septiembre 2009
5. CHILE. Ministerio de Economía. 2009. Decreto N°160: *Reglamento de Seguridad para las Instalaciones y Operaciones de Producción y Refinación, Transporte, Almacenamiento, Distribución y Abastecimiento de Combustible Líquido*. Santiago, 26 de mayo de 2009.
6. CHILE. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. 2009. Resolución Exenta N°9254: *Fija Valores Unitarios de Construcción para Aplicar en Cálculo de Derechos de Permisos Municipales*. Santiago, 29 de diciembre de 2009.
7. CHILE. Ministerio Secretaria General de la Presidencia. 1994. Ley 19.300: *Aprueba Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente*. Santiago, 13 de noviembre de 2010.
8. COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. 2010. *Primer Reporte Sobre Manejo de Residuos Sólidos en Chile*. Edición electrónica gratuita. <http://www.sinia.cl/1292/articles-49564_informe_final.pdf> [15 de noviembre 2010]
9. CyV MEDIOAMBIENTE LTDA. 2008. *Diagnóstico Fabricación, Importación y Distribución de Neumáticos y Manejo de Neumáticos Fuera de Uso*. Chile. Comisión Nacional del Medioambiente.
10. ECO ING. 2010. *Evaluación de Impactos Económicos, Ambientales y Sociales de la Implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor en Chile” Informe Final*. Chile. Comisión Nacional del Medioambiente.
11. GRUPO DE RESIDUOS SOLIDOS. 2006. *Estudio Caracterización de Residuos Sólidos Domiciliarios en la Región Metropolitana*. Comisión Nacional del Medioambiente.
12. HERVÉ, J. 2007. *Diseño conceptual de una planta de biodiesel*. Memoria de Ingeniero Civil Mecánico. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
13. MARTÍNEZ, J. 2005. *Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos, Fichas Técnicas Tomo II*, Montevideo, Uruguay. Centro Coordinador del Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe.
14. O’RYAN, R. 2008. *Diseño de un Modelo de Proyección de Demanda Energética Global Nacional de Largo Plazo*. Universidad de Chile.
15. PINTO, M. 2010. *Residuos Domiciliarios: Una aproximación Sistemática*. Universidad de Chile.

16. PONIACHIK, K. 2006. *Biocombustibles: Un Aporte para la Seguridad Energética* [diapositiva], Ministerio de Minería y Energía.
17. SIMS, R. y TAYLOR, M. 2008. *From 1st to 2nd Generation biofuel technologies*, OECD/IEA.

13.2 Páginas web

1. Biblioteca del Congreso Nacional: www.bcn.cl [21 noviembre 2010]
2. Comisión Nacional de Energía: www.cne.cl [16 noviembre 2010]
3. Comisión Nacional del Medioambiente: www.conama.cl [16 septiembre 2010]
4. Empresa Nacional del Petróleo: www.enap.cl [18 noviembre 2010]
5. Servicio de Impuestos Internos: www.sii.cl [1 de diciembre 2010]
6. Sistema de Evaluación de Impacto ambiental: www.e-seia.cl [17 noviembre 2010]
7. Superintendencia de Servicios Sanitarios: www.siss.cl [27 noviembre 2010]

14.- ANEXOS

Anexo A: Métodos de Costeo de Inversión

1.- Método de Williams

Para determinar los costos de los equipos empleados en la producción de diesel sintético, se utilizará el procedimiento de Williams para escalar el costo por capacidad, con un parámetro de escalamiento de $n: 0,6$, según la siguiente fórmula:

$$\frac{C_a}{C_b} = \left(\frac{P_a}{P_b}\right)^n$$

Donde:

C_a = Costos de la planta o equipos a costear.

C_b = Costos de la planta o equipo costeado anteriormente.

P_a = Capacidad o parámetros característicos de la planta o equipos a costear.

P_b = Capacidad o parámetros característicos de la planta o equipos costeados anteriormente.

n = Exponente de Williams, generalmente igual a 0,6.

2.- Método de Miller

Miller divide la planta en cuatro áreas:

1. Límites de Batería (BL)
2. Almacenamiento y Manejo (S&H)
3. *Utilities*
4. Servicios

Los últimos tres puntos son función del tamaño de la planta y no dependen del tipo de producto que se está fabricando.

Los Límites de Batería es el área en el cual el material crudo es convertido en productos. Todo lo que esté en esta área es considerado Costos BL.

El área de Almacenamiento consiste en todos los productos y material crudo almacenado como también las instalaciones de carga y descarga. También incluye las tuberías desde y hacia el área BL, pero no incluye el almacenamiento de productos intermedios.

El área de *Utilities* corresponde a la producción, almacenamiento y transferencia de toda la energía fuera del área BL. Incluye plantas de tratamiento de residuos, generadores de vapor, plantas de aire comprimido, torres de enfriamiento, instalaciones

de almacenaje de petróleo y otros materiales a ser utilizados por las instalaciones de la planta.

El área de Servicios consiste en oficinas, laboratorios, baños, sistemas de comunicación, sistemas contra incendios y caminos, entre otros.

Estimación de Costos Directos

Los costos de los límites de batería se determinan a partir de los equipos a ser utilizados en el proceso y sus correspondientes tamaños.

Los costos de S&H, *Utilities* y Servicios, se determinan como un porcentaje de los Costos BL, según el siguiente método:

1. Determinar los costos de los ítems (equipos) principales.
2. Determinar los costos de los ítems misceláneos (no listados), como un 15% del costo determinado en el punto 1.
3. Obtener un total de Costos de Equipos (equipos principales + misceláneos).
4. Determinar costos de Edificación considerando (porcentajes referidos a Costos de Equipos):
 - a. Levantamiento (11%)
 - b. Levantamiento (11%)
 - c. Fundaciones y Soportes (3%)
 - d. Piping (20%)
 - e. Tendido Eléctrico (5%)
 - f. Instrumentación (7%)
 - g. Misceláneos (4%)
 - h. Edificaciones (35%)
 - i. Servicios en Edificaciones (10%)
5. Determinar un Total de Costos de Equipos y Edificación (Costo Equipos + Edificación).
6. Determinar Costos de Almacenamiento y *Utilities* según (porcentajes referidos a Costos de Equipos y Edificación):
 - a. Almacenamiento (40%)
 - b. *Utilities* (25%)
7. Determinar un total de Costos de Equipos, Edificación y Almacenamiento.
8. Determinar los Costos de Servicios como un 13% del Costo determinado en el punto 7.

Estimación de Costos Indirectos

Como costos indirectos se consideran los costos asociados a la Ingeniería del Proceso (diseño de la planta) y a la Construcción. Estos corresponden a 20% y 10%, respectivamente, del Total de los Costos Directos.

Contingencia

Para mejorar la precisión de la estimación, es importante considerar un margen de contingencia equivalente a un 10% del Total de los Costos (Costos Directos + Costos Indirectos).

Anexo B: Especificaciones del Diesel

En las siguientes tablas, se muestran detalladamente las especificaciones sobre el Diesel en Chile, separados por lugar geográfico.

Tabla 40: Especificaciones Petróleo Diesel A1 – Región Metropolitana

Requisitos	Unidad	Diesel A-1 Máximo/Mínimo		Método de Ensayo
Punto de Inflamación	°C(°F)	52(126)		ASTM D93, D3828
Punto de Escurrimiento	°C(°F)	-1(30)		ASTM D97, D5950, D5949
Punto de Obstrucción de Filtro en Frío	°C(°F)	Informar		ASTM D6371
Agua y Sedimento	%V/V	0,05		ASTM D2709
Residuo Carbonoso(i), 10% residuo				
Según Ramsbottom	%M/M	0,21		ASTM D524
Según Conradson	%M/M	0,20		ASTM D4530
Cenizas	%M/M	0,01		ASTM D482
Destilación 90%	°C(°F)	350(662)	282(540)	ASTM D86
Viscosidad Cinemática a 40°C	cSt	4,1	1,9	ASTM D445
Azufre	PPM	50 (ii)		ASTM D5453, D2622, D7039
Corrosión Lámina de Cobre	N°	1		ASTM D130
Número de Cetano	N°	50 (iii)		ASTM D976, D613
Densidad a 15°C	Kg/lit	0,85	0,82	ASTM D4052, D1298
Aromáticos	%V/V	35		ASTM D5186
Aromáticos policíclicos	%M/M	11 (iv)		ASTM D5186
Color	N°	Sin colorante		ASTM D1500
Lubricidad (60°C)	µm	460		ASTM D-6079

(i) En caso de arbitraje debe usarse el método Ramsbottom.

(ii) A partir de septiembre del año 2011, el parámetro exigido será de 15ppm.

(iii) Como método práctico puede usarse el Índice de Cetano Calculado (ASTM D976), pero en caso de desacuerdo o arbitraje, el método de referencia es el Número de Cetano (ASTM D613).

(iv) Este parámetro será de 8% a partir de septiembre de 2011.

Fuente: COPEC

Tabla 41: Especificaciones Petróleo Diesel B – Resto del País

Requisitos	Unidad	Diesel Grado B Máximo/Mínimo		Método de Ensayo
Punto de Inflamación	°C(°F)	52(126)		ASTM D93, D3828
Punto de Escurrimiento	°C(°F)	-1(30) (i)		ASTM D97, D5950, D5949
Punto de Obstrucción de Filtro en Frío	°C(°F)	Informar		ASTM D6371
Agua y Sedimento	%V/V	0,1		ASTM D2709
Residuo carbonoso, 10% residuo	%M/M	0,35		ASTM D524
Según Ramsbotton	%M/M	0,34		ASTM D189
Según Conradson	%M/M	0,34		ASTM D4530
Micrométodo				
Cenizas	%M/M	0,01		ASTM D482
Destilación 90%	°C(°F)	338(640)	282(540)	ASTM D86
Viscosidad Cinemática a 40°C	cSt	5,5	1,9	ASTM D445
Azufre	%M/M	0,005		ASTM D5453, D2622, D7039
Corrosión Lámina de Cobre	N°	2		ASTM D130
Número de Cetano	N°	50 (ii)		ASTM D976, D613
Densidad a 15°C	kg/lit	0,85	0,83 (iii)	ASTM D4052, D1298
Aromáticos	%M/M	35		ASTM D5186
Aromáticos Policíclicos	%M/M	11		ASTM D5186
Nitrógeno	ppm	300		ASTM D4629
Lubricidad (60°C)	µm	460		ASTM D-6079

(i) En Regiones XI y XII el valor máximo debe ser -9°C, entre 15 de abril el 15 de septiembre de cada año.

(ii) Como método práctico puede usarse el Índice de Cetano Calculado (NCh1988), pero en caso de desacuerdo o arbitraje, el método de referencia es el del Número de Cetano (NCh1987).

(iii) En las Regiones XI y XII, el valor mínimo de la densidad puede ser 0,815 kg/lit.

Fuente: COPEC

Anexo C: Usos del Plástico

Esta tabla muestra los diferentes usos y aplicaciones de los tipos de plástico más comúnmente utilizados.

Tabla 42: Usos del Plástico

Tipo de Plástico	Uso
PET Polietileno Tereftalato	Envases para gaseosas, dentífricos, lociones, polvos y talcos, aguas y jugos, champús, vinos, aceites comestibles, industria alimenticia, cosmética y farmacéutica.
	Láminas y películas para cajas, envasado de alimentos, medicamentos y cosméticos
	Envases resistentes a congelamientos
	Monofilamentos
	Carcasas de motores
PEAD Polietileno de Alta Densidad	Bidones, Baldes.
	Bolsas de supermercado
	Tuberías para gas, telefonía, agua potable, minería, láminas de drenaje y uso sanitario.
	Cajones para pescados, gaseosas, cervezas
	Envasado: para detergente, aceites, champú, lácteos, pinturas, helados...
PVC Policloruro de Vinilo	Construcción: Ventanas, Puertas, Persianas, Pisos, Paredes, Láminas para impermeabilización, Enchufes ...
	Envasado: Botellas, Frascos y potes (alimentos, fármacos, cosmética, limpieza, etc.), Láminas o Películas...
	Aislamiento, recubrimiento de cables.
	Carcasas, partes de computador
	Tarjetas de crédito
	Mangueras, artículos de riego.
	Artículos automotrices: tapicería, paneles de tablero, protección anticorrosiva, etc.
	Tuberías y cables.
	Aplicaciones médicas: Tubos y Bolsas para sangre y diálisis, Catéteres, Válvulas, Delantales, Botas, Guantes, etc.
	Cuero artificial
PEBD Polietileno de Baja Densidad	Aislantes de cables eléctricos
	Tuberías para riego
	Todo tipo de Bolsas
	Contenedores herméticos domésticos Base para pañales desechables

PP Polipropileno	Maletas
	Asientos y piezas automotrices
	Cassettes y Estuches para CD y cassettes
	Películas para envases flexibles de alimentos
	Alfombras y Tapices
	Tapas, frascos, recipientes y botellas.
	Cuerpos y aparatos electrodomésticos
	Muebles plásticos
Contenedores de alimentos	
PS Poliestireno	Juguetes
	Carcasas de radio y televisión
	Utensilios de cocina
	Botellas
	Espumas (ejemplo: bandejas de carne)
	Reflectores de luz, Aislantes Térmicos.
	Potes de yogurt, queso, dulces, Envases de alimentos congelados.
	Vajilla desechable (platos, bandejas, vasos, cubiertos...)
Lápices	
OTROS	Poliacrilonitrilo (PAN): Fibra de lana, Lentes, Ventanas de avión...
	Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (ABS): Herramientas, Teléfonos...
	Metacrilato de Polimetileno (PMMA): Pantallas de seguridad, Gafas protectoras...
	Poliamidas (Nylon): Fibras de Nylon, Cerdas de cepillo de dientes, Cuerdas de Guitarra, Paracaídas...
	Policarbonatos (PC): Cascos, CD, Pantallas de seguridad, Películas fotográficas...

Fuente: Elaboración propia.

Anexo D: Costos Unitarios de Construcción

Tabla 43: Costos Unitarios por Metro Cuadrado de Construcción 4° Trimestre 2010

TABLAS DE COSTOS UNITARIOS POR METRO CUADRADO DE CONSTRUCCION 4° TRIMESTRE 2010

(En pesos Moneda Nacional, Base Enero 2010)

I.- OBRAS DE EDIFICACION

CATEGORIA	TIPO DE EDIFICACION								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	254.096	289.833	254.096	254.096	180.629	-	-	-	-
2	188.605	214.388	188.605	188.605	134.970	95.297	134.970	123.081	148.893
3	138.962	158.809	138.962	138.962	99.244	69.477	99.244	89.316	109.227
4	99.244	113.122	99.244	99.244	71.404	49.592	71.404	63.542	77.391
5	-	-	53.594	53.594	53.594	37.687	57.549	51.607	61.501

II.- OTRAS CONSTRUCCIONES

CATEGORIA	TIPO DE ESTRUCTURA												
	AA	AB	AE	BA	BB	BE	CA	CE	EE	FE	MM	MA	ME
a	74.565	64.397	59.515	94.251	99.086	79.430	94.251	79.430	59.515	31.693	59.515	59.515	59.515
b	44.760	38.643	36.094	56.534	59.508	47.666	56.534	47.666	35.723	31.693	35.723	35.723	35.723
c	14.922	12.863	18.843	18.843	19.843	15.865	18.843	15.865	11.960	31.693	11.960	11.960	11.960

Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo - Resolución Exenta N° 9254, de 29 de Diciembre del 2009.

Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo. www.minvu.cl

Anexo E: Tarifas de Agua

Tabla 44: Tarifas Aguas Andinas S.A. Sector sur poniente Región Metropolitana

Aguas Andinas S.A.					
Diario de publicación:		La Nación			
Fecha de publicación:		14-Jun-10			
Fecha de vigencia:		15-Jun-10			
Grupo tarifario:		2			
San Gabriel, San José de Maipo-Guayacán-El Campito, Melipilla					
Buiñ- Maipo-Paine- Linderos-Alto Jahuel, Curacaví					
Talagante-Padre Hurtado- Peñaflo-Malloco-Calera de Tango-El Monte-El Paico					
Pomaire, Valdivia de Paine, Til Til, El Canelo-Las Vertientes-La Obra, Isla de Maipo					
Cargos		Valores	Cargos		Valores
Cargo fijo cliente (\$/mes)		545	Corte (\$/evento)		
Variables no punta (\$/m3)			visita de corte		3.138
Agua Potable con fluor		205,90	primera instancia		3.138
San Gabriel, San José de Maipo-Guayacán-El Campito, Melipilla			segunda instancia		4.324
Buiñ- Maipo-Paine- Linderos-Alto Jahuel, Curacaví			Reposición (\$/evento)		
Talagante-Padre Hurtado- Peñaflo-Malloco-Calera de Tango-El Monte -El Paico			primera instancia		3.138
Pomaire, Valdivia de Paine, Til Til,			segunda instancia		4.324
El Canelo-Las Vertientes-La Obra, Isla de Maipo			Aportes financiamiento reembolsable (\$/m3)		
Alcantarillado		420,63	prod. A.P.		2.587,51
recolección		159,76	prod. A.P. Con fluor		3.248,63
tratamiento		260,87	prod. A.P. con Flúor y turbiedad extrema		0,00
Variables punta (\$/m3)			distr. A.P.		2.643,43
Agua Potable con fluor		205,37	recolec. A.S.		329,17
San Gabriel, San José de Maipo-Guayacán-El Campito, Melipilla			dispos. A.S. sin trat.		606,47
Buiñ- Maipo-Paine- Linderos-Alto Jahuel, Curacaví			dispos. A.S. con trat.		1.271,71
Talagante-Padre Hurtado- Peñaflo-Malloco-Calera de Tango-El Monte -El Paico			Revisión de Proyectos		
Pomaire, Valdivia de Paine, Til Til,			< o = a M\$ 10.000		161.156
El Canelo-Las Vertientes-La Obra, Isla de Maipo			Para M\$10.000< l <M\$ 200.000		1,35%
Sobreconsumo agua potable con fluor		612,71	> o = a M\$ 200.000		3.223.112
San Gabriel, San José de Maipo-Guayacán-El Campito, Melipilla			Verificación de medidores (\$)		
Buiñ- Maipo-Paine- Linderos-Alto Jahuel, Curacaví			13 mm		24.233
Talagante-Padre Hurtado- Peñaflo-Malloco-Calera de Tango-El Monte -El Paico			19 mm		24.629
Pomaire, Valdivia de Paine, Til Til,			25 mm		25.355
Riles (\$ por control o por análisis)			38 mm		26.280
Batch	23.048	grupo 1	50 mm		102.210
8 horas	67.838	grupo 2	80mm		117.231
12 horas	71.680	grupo 3	100 mm		125.220
24horas	90.886	grupo 4	150 mm		159.416
		grupo 5	Otros cobros (\$/mes)		
		grupo 6	Grifos públicos		1.321
		grupo 7			
		costo administ.			
		58.494			
sin alcantarillado Isla de Maipo- Canelo-Las Vertientes-La Obra y San Gabriel					

Fuente: Superintendencia de Servicios Sanitarios.

Anexo F: Costos de Certificado de Calidad

Esta tabla entrega el desglose de los costos en pesos chilenos de los diferentes análisis exigidos para certificar la calidad del diesel fósil.

Tabla 44: Costos Certificado de Calidad

Detalles	Monto Neto en Pesos \$
API	3.636
Curva destilación	11.545
Punto de Inflamación	7.392
Azufre	19.567
Índice de Cetano	6.848
Viscosidad	8.022
Punto de Esgurrimiento	10.566
Agua	8.923
Color ASTM	6.848
CFPP	15.446
Cenizas	7.435
Carbón	11.545
Corrosión a la Lámina de Cobre	7.827
Total Norma	125.600
Determinación estabilidad térmica y estabilidad a la oxidación (opcional)	60.000
Total	185.600

Fuente: COPEC.

Anexo G: Tabla Vida Útil del SII

Tabla 45: Extracto Tabla Vida Útil de los Bienes Físicos del Activos Inmovilizado

NOMINA DE BIENES SEGUN ACTIVIDADES	NUEVA VIDA UTIL NORMAL	DEPRECIACION ACELERADA
A.- <u>ACTIVOS GENERICOS</u>		
1) Construcciones con estructuras de acero, cubierta y entresijos de perfiles acero o losas hormigón armado.	80	26
2) Edificios, casas y otras construcciones, con muros de ladrillos o de hormigón, con cadenas, pilares y vigas hormigón armado, con o sin losas.	50	16
3) Edificios fábricas de material sólido albañilería de ladrillo, de concreto armado y estructura metálica.	40	13
4) Construcciones de adobe o madera en general.	30	10
5) Galpones de madera o estructura metálica.	20	6
6) Otras construcciones definitivas (ejemplos: caminos, puentes, túneles, vías férreas, etc.).	20	6
7) Construcciones provisionales.	10	3
8) Instalaciones en general (ejemplos: eléctricas, de oficina, etc.).	10	3

<u>E.2) EMPRESAS SECTOR PETROLEO Y GAS NATURAL</u>		
1) Buques tanques (petroleros, gaseros), naves y barcos cisternas para transporte de combustible líquido.	15	5
2) Oleoductos y gasoductos terrestres, cañerías y líneas troncales.	18	6
3) Planta de tratamiento de hidrocarburos.	10	3
4) Oleoductos y gaseoductos marinos.	10	3
5) Equipos e instrumental de explotación.	10	3
6) Plataforma de producción en el mar fija.	10	3
7) Equipos de perforación marinos.	10	3
8) Baterías de recepción en tierra (estanques, bombas, sistema de cañerías con sus válvulas, calentadores, instrumentos de control, elementos de seguridad contra incendio y prevención de riesgos, etc.).	10	3
9) Instalaciones de almacenamiento tales como "tank farms".	15	5
10) Plataformas de perforación y de producción de costa afuera.	22	7

Fuente: SII.cl

Anexo H: Flujo de Caja General

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		4.162.382	6.855.365	6.855.365	6.855.365	6.855.365	6.855.365	6.855.365	6.855.365	6.855.365	6.855.365
Costos Fijos		-305.536	-305.536	-305.536	-305.536	-305.536	-305.536	-305.536	-305.536	-305.536	-305.536
Costos Variables		-2.308.054	-2.308.054	-2.308.054	-2.308.054	-2.308.054	-2.308.054	-2.308.054	-2.308.054	-2.308.054	-2.308.054
G/P Capital											
Depreciación		-378.100	-378.100	-378.100	-378.100	-378.100	-378.100	-378.100	-378.100	-378.100	-378.100
Gastos Financieros		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PEA		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UAI	0	1.170.691	3.863.674	3.863.674	3.863.674	3.863.674	3.863.674	3.863.674	3.863.674	3.863.674	3.863.674
Impuestos (17%)	0	-199.017	-656.825	-656.825	-656.825	-656.825	-656.825	-656.825	-656.825	-656.825	-656.825
UDI	0	971.673	3.206.850	3.206.850	3.206.850	3.206.850	3.206.850	3.206.850	3.206.850	3.206.850	3.206.850
G/P Capital		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Depreciación		378.100	378.100	378.100	378.100	378.100	378.100	378.100	378.100	378.100	378.100
PEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FC Operacional	0	1.349.774	3.584.950	3.584.950	3.584.950	3.584.950	3.584.950	3.584.950	3.584.950	3.584.950	3.584.950
Inversion (-)	-4.284.787										
Capital de Trabajo (-)	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590
Recuperación del Capital de Trabajo (+)		2.613.590	2.613.590	2.613.590	2.613.590	2.613.590	2.613.590	2.613.590	2.613.590	2.613.590	2.613.590
Préstamos (+)	0										
Amortizaciones (-)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Valor residual (+)											293.081
FC Capitales	-6.898.378	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.906.671
FC Privado	-6.898.378	1.349.774	3.584.950	3.584.950	3.584.950	3.584.950	3.584.950	3.584.950	3.584.950	3.584.950	6.491.621
Flujo Acumulado		-5.548.604	-1.963.654	1.621.297	5.206.247	8.791.197	12.376.147	15.961.097	19.546.047	23.130.998	29.622.618
Caja Disponible	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	0
VAN											\$12.297.567
TIR											41,40%
PRC											3

Anexo I: Flujo de Caja Línea de Procesamiento de Plásticos

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		1.673.057	3.461.497	3.461.497	3.461.497	3.461.497	3.461.497	3.461.497	3.461.497	3.461.497	3.461.497
Costos Fijos		-305.536	-305.536	-305.536	-305.536	-305.536	-305.536	-305.536	-305.536	-305.536	-305.536
Costos Variables		-1.951.763	-1.951.763	-1.951.763	-1.951.763	-1.951.763	-1.951.763	-1.951.763	-1.951.763	-1.951.763	-1.951.763
G/P Capital											
Depreciación		-208.312	-208.312	-208.312	-208.312	-208.312	-208.312	-208.312	-208.312	-208.312	-208.312
Gastos Financieros											
PEA		0	-792.554	0	0	0	0	0	0	0	0
UAI	0	-792.554	203.331	995.886							
Impuestos (17%)	0	0	-34.566	-169.301	-169.301	-169.301	-169.301	-169.301	-169.301	-169.301	-169.301
UDI	0	-792.554	168.765	826.585							
G/P Capital		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Depreciación		208.312	208.312	208.312	208.312	208.312	208.312	208.312	208.312	208.312	208.312
PEA	0	0	792.554	0	0	0	0	0	0	0	0
FC Operacional	0	-584.242	1.169.631	1.034.897							
Inversion (-)	-2.498.576										
Capital de Trabajo (-)	-2.257.299	-2.257.299	-2.257.299	-2.257.299	-2.257.299	-2.257.299	-2.257.299	-2.257.299	-2.257.299	-2.257.299	-2.257.299
Recuperación del Capital de Trabajo (+)		2.257.299	2.257.299	2.257.299	2.257.299	2.257.299	2.257.299	2.257.299	2.257.299	2.257.299	2.257.299
Préstamos (+)											
Amortizaciones (-)											
Valor residual (+)											204.752
FC Capitales	-4.755.875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.462.051
FC Privado	-4.755.875	-584.242	1.169.631	1.034.897	1.034.897	1.034.897	1.034.897	1.034.897	1.034.897	1.034.897	3.496.948
Flujo Acumulado		-5.340.117	-4.170.486	-3.135.588	-2.100.691	-1.065.794	-30.897	1.004.000	2.038.897	3.073.794	6.570.742
Caja Disponible	-2.257.299	-2.257.299	-2.257.299	-2.257.299	-2.257.299	-2.257.299	-2.257.299	-2.257.299	-2.257.299	-2.257.299	0
VAN	\$545.989										
TIR	13,96%										
PRC	7										

Anexo J: Flujo de Caja Línea de Procesamiento de Neumáticos

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		2.489.325	3.393.868	3.393.868	3.393.868	3.393.868	3.393.868	3.393.868	3.393.868	3.393.868	3.393.868
Costos Fijos		-305.536	-305.536	-305.536	-305.536	-305.536	-305.536	-305.536	-305.536	-305.536	-305.536
Costos Variables		-393.409	-393.409	-393.409	-393.409	-393.409	-393.409	-393.409	-393.409	-393.409	-393.409
G/P Capital											
Depreciación		-171.236	-171.236	-171.236	-171.236	-171.236	-171.236	-171.236	-171.236	-171.236	-171.236
Gastos Financieros											
PEA		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UAI	0	1.619.144	2.523.688	2.523.688	2.523.688	2.523.688	2.523.688	2.523.688	2.523.688	2.523.688	2.523.688
Impuestos (17%)	0	-275.255	-429.027	-429.027	-429.027	-429.027	-429.027	-429.027	-429.027	-429.027	-429.027
UDI	0	1.343.890	2.094.661	2.094.661	2.094.661	2.094.661	2.094.661	2.094.661	2.094.661	2.094.661	2.094.661
G/P Capital		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Depreciación		171.236	171.236	171.236	171.236	171.236	171.236	171.236	171.236	171.236	171.236
PEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FC Operacional	0	1.515.125	2.265.897	2.265.897	2.265.897	2.265.897	2.265.897	2.265.897	2.265.897	2.265.897	2.265.897
Inversion (-)	-2.127.811										
Capital de Trabajo (-)	-698.945	-698.945	-698.945	-698.945	-698.945	-698.945	-698.945	-698.945	-698.945	-698.945	-698.945
Recuperación del Capital de Trabajo (+)		698.945	698.945	698.945	698.945	698.945	698.945	698.945	698.945	698.945	698.945
Préstamos (+)	0										
Amortizaciones (-)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Valor residual (+)											204.752
FC Capitales	-2.826.756	0	0	0	0	0	0	0	0	0	903.697
FC Privado	-2.826.756	1.515.125	2.265.897	2.265.897	2.265.897	2.265.897	2.265.897	2.265.897	2.265.897	2.265.897	3.169.593
Flujo Acumulado		-1.311.631	954.266	3.220.163	5.486.059	7.751.956	10.017.852	12.283.749	14.549.645	16.815.542	19.985.135
Caja Disponible	-698.945	-698.945	-698.945	-698.945	-698.945	-698.945	-698.945	-698.945	-698.945	-698.945	0
VAN		\$9.596.699									
TIR		69,01%									
PRC		2									

Anexo K: Flujo de Caja General con Impuesto Especifico

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		4.162.382	6.855.365	6.855.365	6.855.365	6.855.365	6.855.365	6.855.365	6.855.365	6.855.365	6.855.365
Costos Fijos		-305.536	-305.536	-305.536	-305.536	-305.536	-305.536	-305.536	-305.536	-305.536	-305.536
Costos Variables		-2.308.054	-2.308.054	-2.308.054	-2.308.054	-2.308.054	-2.308.054	-2.308.054	-2.308.054	-2.308.054	-2.308.054
G/P Capital											
Depreciación		-378.100	-378.100	-378.100	-378.100	-378.100	-378.100	-378.100	-378.100	-378.100	-378.100
Gastos Financieros		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PEA		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UAI	0	1.170.691	3.863.674	3.863.674	3.863.674	3.863.674	3.863.674	3.863.674	3.863.674	3.863.674	3.863.674
Impuestos (17%)	0	-199.017	-656.825	-656.825	-656.825	-656.825	-656.825	-656.825	-656.825	-656.825	-656.825
Impuesto Especifico		-927.062	-927.062	-927.062	-927.062	-927.062	-927.062	-927.062	-927.062	-927.062	-927.062
UDI	0	44.612	2.279.788	2.279.788	2.279.788	2.279.788	2.279.788	2.279.788	2.279.788	2.279.788	2.279.788
G/P Capital		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Depreciación		378.100	378.100	378.100	378.100	378.100	378.100	378.100	378.100	378.100	378.100
PEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FC Operacional	0	422.712	2.657.888	2.657.888	2.657.888	2.657.888	2.657.888	2.657.888	2.657.888	2.657.888	2.657.888
Inversion (-)	-4.284.787										
Capital de Trabajo (-)	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590
Recuperacion del Capital de Trabajo (+)		2.613.590	2.613.590	2.613.590	2.613.590	2.613.590	2.613.590	2.613.590	2.613.590	2.613.590	2.613.590
Préstamos (+)	0										
Amortizaciones (-)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Valor residual (+)											293.081
FC Capitales	-6.898.378	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.906.671
FC Privado	-6.898.378	422.712	2.657.888	2.657.888	2.657.888	2.657.888	2.657.888	2.657.888	2.657.888	2.657.888	5.564.559
Flujo Acumulado		-6.475.666	-3.817.777	-1.159.889	1.497.999	6.813.776	9.471.665	12.129.553	14.787.441	20.352.000	
Caja Disponible		-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	-2.613.590	0
VAN	\$7.059.461										
TIR	29,18%										
PRC	4										

Anexo L: Distribución Precio del Diesel

El Teorema Central del Límite afirma lo siguiente:

Sea $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ una muestra aleatoria de una distribución con media μ y varianza σ^2 . Entonces, si n es suficientemente grande ($n > 30$), la variable aleatoria

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

tiene aproximadamente una distribución normal con $\mu_{\bar{X}} = \mu$ y $\sigma_{\bar{X}}^2 = \frac{\sigma^2}{n}$.

Si se utiliza como variable el promedio histórico del precio del diesel, se cumple con las condiciones del TCL y, así, se asume que este variable se ajusta a una distribución normal. Tomando una muestra de 244 precios anteriores del petróleo diesel desde el 2 de enero de 2006 al 30 de agosto de 2010 – obtenidos de la CNE –, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 46: Resultados Parámetros de la Distribución del Precio Diesel

Parámetro	Precio Diesel	Precio Promedio
Varianza σ^2	22.136,37	90,723
Desviación Estándar σ	148,78	9,525
Media μ	660,72	660,72

Fuente: Elaboración propia.

Dado que se trata de un promedio a mediano plazo, la desviación estándar es baja. Pueden existir variaciones importantes en los precios semanales, sin embargo, ya que se trata de un proceso con reversión a la media, su promedio de mediano plazo no debería variar de forma importante. Es por esto que se decidió utilizar la desviación estándar de la muestra de los precios semanales ya que le entrega al proyecto un rango más amplio para analizar su sensibilidad con respecto a fluctuaciones importantes de esta variable. Así, con una confianza del 95%, el precio varía entre 368,69 y 952,75 USD.