



TESIS DE GRADO
EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

COMBUSTIBLES DERIVADOS DE LOS RESIDUOS:
ÁNÁLISIS DE FACTIBILIDAD EN ARGENTINA

AUTOR
Matías Gabriel Fraire
43119

DIRECTOR DE TESIS
Ing. Santiago Villamil

2010

DEDICATORIA

A mi familia y amigos, quienes son refugio y compañía en mi vida.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo comprende un análisis e investigación sobre la factibilidad de implementación de una tecnología capaz de producir combustible alternativo a partir de los residuos sólidos urbanos (RSU).

El trabajo se focalizó en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, la cual genera por día unas 5.000 toneladas de RSU que se disponen en el complejo ambiental Norte III a través de un sistema de tratamiento y disposición final. Hasta el momento, ésta es la mejor opción para la disposición final de residuos en términos económicos y operativos. Sin embargo trae aparejado, principalmente, el problema, de inutilización de los suelos y la falta de tierras aptas para esta metodología cercana a las áreas urbanas. Existe también un cierto riesgo operativo (emisiones contaminantes a la atmósfera y olores en caso que la actividad no sea realizada adecuadamente).

Además del problema asociado a los residuos, se tiene el de la necesidad de fuentes de energía, debido a la disminución de las reservas de los recursos no renovables. Este hecho se ve potenciado en nuestro país por el crecimiento económico del mismo y la necesidad de inversión en infraestructura por parte del sector energético, lo que arrastra al país a períodos de crisis que afectan tanto a la población como a la producción y desarrollo.

Frente a la problemática de las limitaciones de disposición final de los residuos y la necesidad de encontrar fuentes de energía, se investigó la alternativa de aprovechar el potencial energético de los residuos por diferentes métodos y de forma eficiente.

El método más eficiente resultó ser la implementación de una planta de tratamiento mecánico (MT) de residuos, capaz de obtener fracciones procesadas de residuos sólidos urbanos denominadas combustibles derivados de residuos o SRF (*solid recovered fuels*). Esta planta es el resultado exitoso de una de 50 combinaciones posibles de plantas del tipo MBT (*Mechanical Biological Treatment*) las cuales consisten en instalaciones que combinan procesos de separación y tratamiento de los residuos.

El poder calorífico del combustible alternativo SRF permite que el mismo sea utilizado como sustituto de combustibles tales como el carbón, y por lo tanto consumido en plantas productoras de electricidad o como combustible alternativo en procesos industriales.

A lo largo del desarrollo del trabajo se buscó, en primer lugar, introducir el concepto de valorización energética de los RSU, y en segundo lugar, analizar la factibilidad económica, política y social para la instalación de una planta tipo que opere esta tecnología capaz de producir SRF. Esto derivó en una serie de recomendaciones hacia los órganos de decisión de manera que generen los incentivos para la investigación y ejecución de este tipo de proyectos.

El cuerpo principal del trabajo se encuentra estructurado en 3 secciones fundamentales:

- Estado de la cuestión actual
- Definición del problema
- Solución propuesta. Dentro de esta sección se realizan un análisis de ingeniería con los requisitos técnicos necesarios, y un análisis sobre los potenciales mercados donde el combustible alternativo SRF podría ser consumido.

A partir de esta información se realizó un estudio económico-financiero, desarrollando un flujo de fondos y un balance proyectado, lo que permitió determinar la estructura de capital más conveniente. Así, con un financiamiento del 40% con capital propio, el proyecto tiene un VAN positivo de u\$s 10.338.887 y una TIR 31,06%.

Finalmente, de manera de poder evaluar el riesgo asociado con el fin de establecer cuales son los principales factores de riesgo que impactan en el proyecto, se realizó un estudio utilizando simulaciones de Monte Carlo. Se observa que el proyecto resulta en un VAN positivo con una probabilidad del 92,1%. Esto permitió detectar las variables más sensibles al proyecto y diseñar estrategias para mitigar sus riesgos asociados.

Del trabajo se concluye que la implementación de este tipo de tecnologías y la ejecución de proyectos de esta índole es viable, rentable y atractiva. Sin embargo para que esto suceda, se deben generar los incentivos adecuados que generen un contexto favorable para ello. Por esta razón se obtuvo como conclusión a una serie de recomendaciones hacia los organismos de decisión públicos y privados que deberían tener en cuenta para favorecer el desarrollo de este tipo de tecnologías y proyectos.

ABSTRACT

The present work comprehends both a research and analysis about the viability of implementing a technology capable of producing alternative fuels from municipal solid waste (MSW).

The analysis is focused on the city of Buenos Aires. This city generates about 5000 tons per day of MSW, which are land filled at Norte III. Until now, this the best-known solution in economic and operational terms. However, brings with it, mainly the problem of deactivation of the soil and lack of land suitable for this methodology close to urban areas; as well it exists a certain operational risk (pollutants in the atmosphere and odors in case the activity is not done properly

Besides the problem associated to MSW, there is the need for energy sources due to the decrease of non-renewable resources reserves. This fact is enhanced by the economic growth of the country and the need for infrastructure investment by the energy sector.

Faced with the problem and limitations of disposal of waste and the need for energy sources, it is investigated the alternative to exploit the energy potential of waste by different methods and efficiently.

The most efficient method proved to be a mechanical treatment (MT) plant, able to obtain small fractions of an alternative fuel from the separation and processing of municipal solid waste (MSW). These small fractions of fuel are named solid recovery fuels (SRF). The plant is a successful result of one of 50 different possible configurations of mechanical and biological treatment plants, and they are both denominated waste-to-energy technologies.

The calorific power of the SRF allows them to be used as a substitute of certain fossil fuels such as coal, and therefore consumed for electricity production or as an alternative fuel for industrial processes.

The development of the study aimed, firstly, to introduce the concept of energy recover from MSW, and secondly, to analyze the economic, politic and social viability of the installation of this kind of technology in order to obtain SRF. This led to a series of recommendations to decision makers so as to provide incentive for research and development of this type of projects.

The main body of the work is structured in three fundamental sections:

- An assessment of the current situation
- Definition of the problem to solve

- A proposition of which is the best solution to deal with it. Within this third section are performed an engineering analysis with the technical requirements, followed by an analysis were SRF could be consumed.

From this information, a financial-economic study is done using a projected cash flow and balance to determine the optimal capital structure. So, with funding of 40% equity, the project has a positive NPV of u\$s 10.338.887 and a 31.06% IRR.

Finally, in order to evaluate the associated risks within the project and to understand which the main impacts are, a study was conducted using Monte Carlo Simulations. This analysis resulted in a 92,1% probability of having a positive NPV. Through this analysis it was possible to evaluate the most sensitive variables of the project as well as the possible strategies for covering the risks associated.

As a conclusion, the implementation and development of waste-to-energy technologies is viable, profitable and attractive. However in order to this happen, it is necessary to have the proper incentives that generate a favorable context. Therefore the whole analysis arrives to a series of recommendations to both public and private agents of decision, which they should take into account for such projects, can be executed.

AGRADECIMIENTOS

A mi tutor, Santiago Villamil, por su buena predisposición y su voluntad de dedicarle tiempo y esfuerzo a la corrección y mejora del trabajo.

Al Ing. Martín Perez Solay y la cátedra de Proyectos de Inversión, por haber acompañado el trabajo.

A mi padre Rodolfo, por ayudarme con la elección del tema, y alentarme durante el desarrollo y finalización del trabajo.

Al Ing. Victor Flaker, cuyo aporte de conocimientos e información, fue fundamental para la realización del trabajo.

Al Ing. Alex Polijronopulos, cuya mirada crítica, datos precisos y ayuda brindada, hicieron a la mejora de la calidad del trabajo.

Al Ing. Juan Pablo Weihs, por el tiempo y ayuda dedicada, así como la información brindada.

A un amigo, el Ing. Agustín Onagoity, por su ayuda brindada.

A mis padres, por haberme dado siempre las mejores oportunidades y acompañado en ellas.

A mis hermanos, por haberme apoyado durante toda la carrera.

A mis amigos, por estar siempre.

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	11
1.1	Breve descripción del problema	11
1.2	Motivación y objetivos	12
1.3	Metodología de trabajo	13
2	ESTADO DE LA CUESTIÓN	14
2.1	Generación de RSU	14
2.2	Recolección y Disposición Final de los RSU	15
2.3	Recolección	15
2.4	Estación de Transferencia	16
2.5	Disposición final	18
2.6	Caracterización y Composición de los RSU	20
2.7	Ley 1854 (“Basura Cero”)	22
3	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	24
3.1	Efecto Invernadero	24
3.2	Cuestionamientos frente al modelo actual de Disposición Final de RSU	25
3.3	Cumplimiento con la Ley de “Basura Cero”	27
3.4	Descripción del problema	29
4	SOLUCIÓN PROPUESTA	31
4.1	Introducción	31
4.2	Combustibles derivados de los residuos: SRF	31
4.3	Antecedentes	33
4.4	Aplicaciones y usos	35
4.5	Presentación de la tecnología a implementar	38
4.5.1	Tratamiento Biológico – Mecánico (MBT)	38
4.5.2	Tratamiento Mecánico (MT)	43
4.6	Selección de la tecnología a implementar	48
4.7	Análisis de Ingeniería	53
4.7.1	Layout	53
4.7.2	Equipos	60
4.7.3	Balance de Producción	67
4.7.4	Puesta en marcha	71
4.7.5	Requerimientos de Mantenimiento	73
4.7.6	Estructura de Personal	73
4.7.7	Macro Localización	75
4.7.8	Micro Localización	75
4.7.9	Tratamiento de Desperdicios	79
4.8	Análisis de los potenciales mercados para los SRF	80
4.8.1	Utilización del SRF	80
4.8.2	Industria Cementera	81
4.8.3	Generación de Electricidad	87
4.8.4	Estimación de la demanda	90
4.8.5	El proveedor de la Tecnología	91
4.8.6	Determinación del precio y Estrategia Comercial	91
4.8.7	Análisis del precio a futuro	94
4.9	Análisis Económico / Financiero	104
4.9.1	Premisas Macroeconómicas	104
4.9.2	Cuadro de Resultados	106
4.9.3	Inversiones	110
4.9.4	Balance	113
4.9.5	Flujo de Fondos (FCF)	116
4.9.6	Tasa de Descuento	118

4.9.7	Valor Terminal.....	124
4.9.8	Criterios de Evaluación	125
4.9.9	Estructura de Capital.....	127
4.9.10	Flujos de Fondos Finales	129
4.9.11	Fuentes y Usos	132
4.10	Análisis de Riesgos.....	134
4.10.1	Identificación de las variables de riesgo	134
4.10.2	Definición de las variables de riesgo	136
4.10.3	Resultados obtenidos de la simulación	142
4.10.4	Mitigación de los riesgos	146
4.11	Alternativas a la solución propuesta.....	148
4.11.1	Pirólisis	148
4.11.2	Gasificación	149
4.11.3	Incineración.....	150
4.11.4	Análisis de las tecnologías propuestas.....	151
4.11.5	Informaciones y Ventajas de la Incineración en Parrilla.....	152
5	CONCLUSIONES	154
5.1	Incorporación del concepto de valorización energética a partir de los RSU 154	
5.2	Análisis de factibilidad Técnica y Económica de la tecnología estudiada...154	
5.2.1	La Tecnología MT	154
5.2.2	Comparativa con otras alternativas	157
5.3	Consideraciones Finales.....	159
5.4	Recomendaciones finales	163
5.5	Creación de valor para las partes interesadas (<i>Stakeholders</i>)	166
5.5.1	Ganancia estimada para las partes interesadas (<i>Stakeholders</i>).....	166
5.5.2	Resumen de las contribuciones generadas por el proyecto	171
6	BIBLIOGRAFIA	172
7	ANEXOS	174
7.1	Análisis económico financiero	174
7.1.1	Costos operativos	174
7.1.2	Inversiones	175
7.1.3	Impuesto al valor agregado (IVA).....	178

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Breve descripción del problema

La eliminación y disposición de los residuos urbanos e industriales ha sido, y es actualmente, un gran problema de la sociedad moderna e implica importantes costos asociados. Actualmente se generan aproximadamente unas 5.000 toneladas de residuos por día en la Capital Federal, de las cuales en su mayoría se disponen en el vertedero del complejo ambiental Norte III. Hasta el momento, ésta es la mejor opción para la disposición final de residuos en términos económicos y operativos.

Sin embargo trae aparejado, principalmente, el problema de inutilización de los suelos y la falta de tierras aptas para esta metodología, cercanas a las áreas urbanas. Existe también un cierto riesgo operativo (emisiones contaminantes a la atmósfera y olores en caso que la actividad no sea realizada adecuadamente).

El crecimiento de la población lleva a que, por un lado, se disponga de menos espacio físico para la disposición final, y por otro lado, una mayor generación de residuos sólidos urbanos (RSU).

Además del problema asociado a los residuos, se tiene el de la necesidad de fuentes de energía, debido a la disminución de las reservas de los recursos no renovables. Este hecho se ve potenciado en nuestro país por el crecimiento económico del mismo y la necesidad de inversión en infraestructura por parte del sector energético, lo que nos arrastra a períodos de crisis que afectan tanto a la población como a la producción y desarrollo del país.

Frente a la problemática de las limitaciones de la disposición final de los residuos y la necesidad de encontrar fuentes de energía, existe la alternativa de aprovechar el potencial energético de los residuos por diferentes métodos y de forma eficiente.

Uno de estos métodos es la obtención de los denominados SRF (*solid recovered fuels*: combustibles derivados/recuperados de los residuos) a partir de un proceso de separación de los residuos seguido de un tratamiento biológico mecánico que se realiza en una planta MBT: *Mechanical Biological Treatment*. En general estas plantas incorporan diferentes tecnologías, estimándose 50 combinaciones diferentes. Una de estas combinaciones, cuyo resultado ha sido probado con éxito, consiste en un proceso de separación y tratamiento mecánico llevado a cabo en una planta MT: *Mechanical Treatment*

El poder calorífico de fracciones procesadas de residuos sólidos urbanos (RSU) permite que los SRF sean utilizados como combustible para plantas productoras de electricidad o como combustible alternativo en procesos industriales.

Bajo este contexto, el propósito de este trabajo es estudiar cuan factible y viable es la implementación de una planta MBT, cuya tecnología permitiría una mejor gestión de los RSU, atenuando el impacto producido por el enterramiento, y a la vez la generación de energía, todo esto, bajo una fuerte contribución al medio ambiente y a la sociedad.

Si bien el trabajo está orientado a la implementación de una planta MBT en el país y el estudio de los SRF en general, se utilizarán datos de la ciudad y provincia de Buenos Aires, analizando la construcción de dicha planta en esta provincia y la factibilidad de aplicación de la misma para los RSU generados por la ciudad, aprovechando el marco propuesto por la Ley de Basura Cero promulgada por la ciudad de Buenos Aires. Sin embargo esto no quita la aplicación de la tecnología a otro municipio del país, sino que tiene que servir como punto de partida para su análisis y aplicación.

1.2 Motivación y objetivos

La principal motivación para el presente trabajo es la de investigar la aplicación de tecnologías que contribuyan a la posible solución o atenuación del impacto producido por problemas que afectan a nuestra sociedad y calidad de vida, tales como la gestión de los residuos sólidos urbanos y las fuentes de energía. Es decir, que detrás de todas las implicancias económicas que pueda tener, el móvil del trabajo pasa por el aporte social que pueda representar el mismo.

Es un factor motivante también el hecho de orientar a nuestro país a la vanguardia en lo que respecta a prácticas para un mejor aprovechamiento de los recursos y cuidado del medio ambiente, ya que la tecnología a implementar es de amplia aceptación en países del primer mundo (sobre todo de la Unión Europea) y muestra una tendencia creciente en países en desarrollo.

En cuanto a los objetivos del trabajo, se pueden resumir en tres puntos:

- Incorporar el concepto de valorización energética a partir de los residuos sólidos urbanos, del cual hay poca experiencia en nuestro país

- Analizar la factibilidad económica y técnica de implementación de una planta MBT a los efectos que pueda ser considerada como una solución alternativa para la minimización de residuos sólidos urbanos por parte de los gobiernos municipales.
- Proponer a los centros de decisión (públicos y privados) una alternativa con sustentabilidad ambiental – minimización de RSU y generación de energía con recursos renovables – y sustentabilidad económica.

1.3 Metodología de trabajo

En primer lugar se realizará un diagnóstico de la situación actual. Éste, tiene como objetivo describir como es la gestión de los RSU en la Ciudad de Buenos Aires y Área Metropolitana, tratando de explicar la problemática actual y futura, teniendo en cuenta el impacto ambiental y social.

Luego se hará una presentación de la tecnología a utilizar, es decir, la tecnología que se propone para resolver o atenuar el problema en cuestión. Esta presentación comprende un análisis de ingeniería de una de las soluciones disponibles para la producción de SRF.

Seguido de esto se analizará el potencial mercado para los SRF y un análisis económico – financiero de la aplicación de la tecnológica.

Como complemento se hará una mención sobre otras alternativas existentes de manera de poder establecer una comparación y factibilidad.

2 ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1 Generación de RSU

Residuo Sólido Urbano (RSU) es cualquier producto, materia o sustancia, resultante de la actividad humana o de la naturaleza, que ya no tiene función para la actividad que lo generó.

Pueden clasificarse de acuerdo a:

- **Origen** (domiciliario, industrial, comercial, institucional, público)
- **Composición** (materia orgánica, vidrio, metal, papel, plásticos, cenizas, polvos, inerte).
- **Peligrosidad** (tóxicos, reactivos, corrosivos, radioactivos, inflamables, infecciosos)

La generación de residuos es una consecuencia directa de cualquier tipo de actividad desarrollada por el hombre; hace años un gran porcentaje de los residuos eran reutilizados en muy diversos usos, pero hoy en día nos encontramos en una sociedad de consumo que genera gran cantidad y variedad de residuos procedentes de un amplio abanico de actividades. En los hogares, oficinas, mercados, industrias, hospitales, etc. se producen residuos que es preciso recoger, tratar y confimar adecuadamente.

A continuación podemos ver un esquema de la generación de los RSU en la ciudad de Buenos Aires:

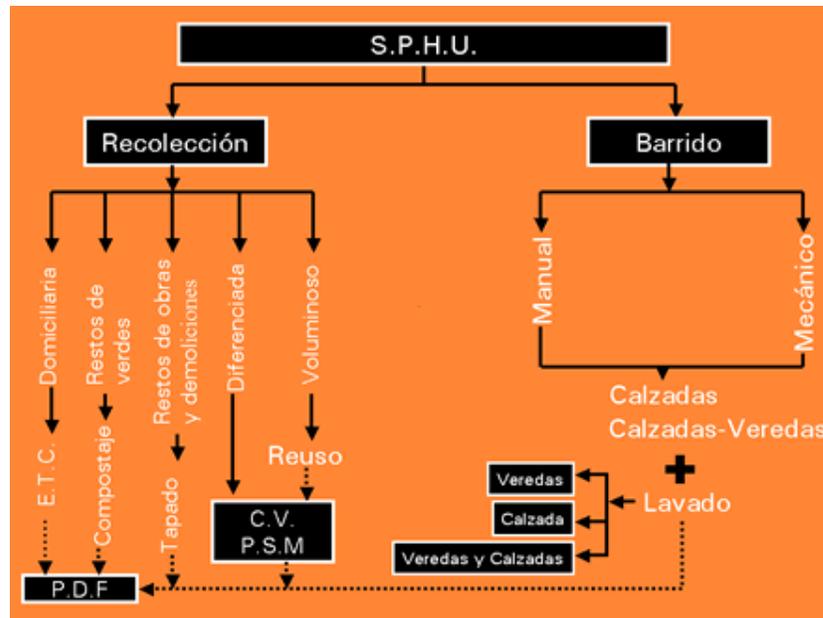


Figura 2.1. Esquema de Generación RSU ciudad de Bs. As.
Fuente: <http://www.buenosaires.gov.ar/>.

Referencias:

- S.P.H.U.: Servicio Público de Higiene Urbana
- E.T.C.: Estación de Transferencia Capital
- C.V.: Centro Verde
- P.S.M.: Planta de Separación Manual

2.2 Recolección y Disposición Final de los RSU

El diseño actual de la logística de los residuos, implementada en la ciudad de Buenos Aires y el área metropolitana (y en la mayoría del resto de los municipios del país) consta de las etapas que se describen en los puntos a continuación.

2.3 Recolección

La gestión de residuos sólidos urbanos en la ciudad y el área metropolitana se basa principalmente en el sistema de recolección no diferenciada, el cual se encuentra vigente hace más de 40 años. El mismo consta en circuitos diferenciados de recolección a cargo de los prestatarios del servicio, los cuales operan de acuerdo a la zona de la ciudad que ganaron en la respectiva licitación para operar. Se realiza utilizando camiones recolectores que recorren cada zona en distintas franjas horarias y frecuencias. Estos servicios son privados o municipales.

Una vez recolectados los residuos son transportados, para el caso de la ciudad y algunos municipios del conurbano a las estaciones de transferencia donde son compactados y transportados luego en vehículos de mayor porte a los rellenos sanitarios. En el caso de la recolección de la mayoría de los municipios del área metropolitana, los residuos son transportados hasta el centro de disposición final correspondiente a cada zona, donde se procede a dar disposición final a los citados residuos.

2.4 Estación de Transferencia

En los últimos años, en las grandes ciudades o áreas metropolitanas en general, se utilizaron para las tareas de recolección de residuos domiciliarios, vehículos de los denominados compactadores. Estos camiones, luego de realizar su tarea específica, se dirigían directamente a los Rellenos Sanitarios o Centros de Disposición Final.

Pero la distancia cada vez mayor entre los núcleos urbanos de recolección y los rellenos sanitarios, dio origen a un inconveniente por la necesidad de transporte, dado que el camión recolector, en general, no está preparado para este tipo de función, ni para recorrer grandes distancias.

Como parte de la solución a esta problemática surgieron las denominadas **Estaciones de Transferencia**, instalaciones donde los residuos de los vehículos recolectores son transferidos a equipos de transporte de gran capacidad de carga los cuales finalmente son los encargados de llevar los residuos al Centro de Disposición Final.

Las Estaciones de Transferencia son edificios generalmente cerrados, total o parcialmente, diseñados con una estética que no afecte el paisaje urbano a fin de reducir el impacto que pudieran causar en la población, dado que por una necesidad de tipo operativa en general se emplazan lo más cerca posible al origen de los residuos, esto es áreas más o menos pobladas o en sus cercanías.-

Existen distintos tipos de Estaciones de Transferencia, cada uno responde a una necesidad operativa diferente, pero con un principio fundamental común: la disminución de los costos del sistema con igual o mejor eficiencia en el servicio de recolección. El sistema de funcionamiento es el siguiente:

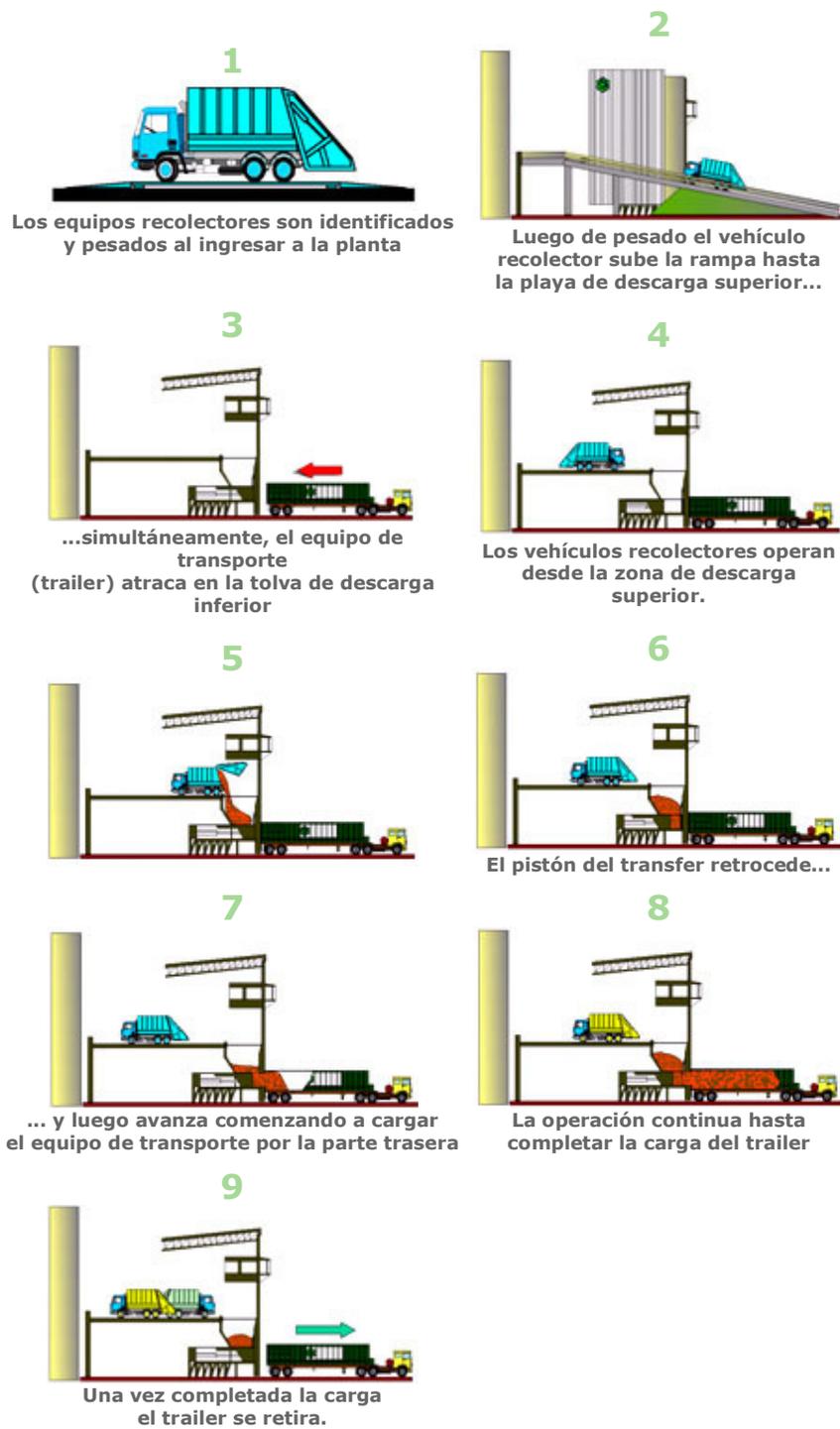


Figura 2.2. Esquema de funcionamiento de una Estación de transferencia
Fuente: <http://ceamse.gov.ar/>

2.5 Disposición final

Durante siglos los desechos de las poblaciones se arrojaban en forma indiscriminada, creando basurales en las cercanías de las ciudades. Como la mayoría de los residuos eran orgánicos, terminaban incorporándose naturalmente al suelo y prácticamente no existía lo que hoy conocemos como contaminación.

La revolución industrial incorporó nuevos tipos de desechos, sin embargo no hubo variaciones sustanciales en la forma de disponerlos. Comenzaron a aparecer vertederos en los que la basura se tapaba con tierra, pero sin controles que eviten la contaminación del suelo y las napas de agua.

Hacia 1950 comenzó la aplicación de técnicas de ingeniería sanitaria que propician el aislamiento de los residuos para no afectar el medio ambiente. De allí surge el método del relleno sanitario, como una forma de darle destino final y seguro a los desechos. A finales el siglo XX, con el incremento en la generación de residuos y la variación en su calidad, producto de la industrialización, comenzó un debate sobre cuál es el método más adecuado para darle un destino final y seguro a los desechos.

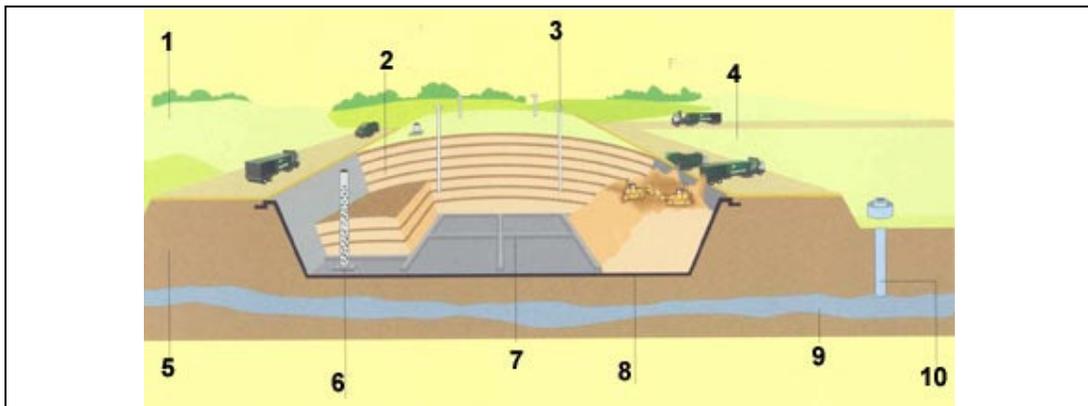
Las soluciones que se aplican en distintos países varían de acuerdo con las características socioeconómicas de cada comunidad. Así, surgieron propuestas complementarias para el manejo ambientalmente adecuado de la basura: la incineración, el reciclaje, el *compostaje*. No obstante, el objetivo a alcanzar es disminuir la generación de residuos.

Sin embargo, hasta el momento ningún sistema de gestión de residuos puede prescindir de la existencia de rellenos sanitarios. El volumen de residuos que se destinan a los rellenos sanitarios dependerá de circunstancias tales como: el grado de desarrollo tecnológico, de progreso económico, y otras consideraciones. Pero, en definitiva, el último de los residuos, aquel que no puede ser tratado de alguna manera, el que no puede ser reciclado, las cenizas de cualquier proceso de incineración, tienen que ir indefectiblemente a un relleno sanitario. La cuestión radica entonces, en la aplicación de tecnologías que permitan que la disposición final sea lo menor posible reduciendo así el tamaño de los rellenos y la contaminación que generan.

En la Argentina, existen diversas experiencias en el manejo de los residuos. Desde 1977, Coordinación Ecológica Area Metropolitana Sociedad del Estado- **CEAMSE** -en el área metropolitana de Buenos Aires- la más importante del país en extensión y población- se encarga del destino final de los residuos a

través del método de relleno sanitario, disponiéndose cerca de 14 mil toneladas diarias de residuos.

La ASCE (American Society of Civil Engineers) define al Relleno Sanitario como una técnica para la disposición final de los residuos sólidos en terrenos, sin causar perjuicio para el ambiente y sin ocasionar molestias o peligros para la salud, ni el bienestar y seguridad pública. Los residuos recibidos de las estaciones de transferencia son vertidos en los mencionados rellenos sanitarios, los cuales presentan generalmente la siguiente estructura:



- 1.- **Módulo cerrado y parqueización**
- 2.- **Tubos de monitoreo de gases**
- 3.- **Frente de descarga**
- 4.- **Terraplén perimetral**
- 5.- **Extracción de líquidos lixiviados para su posterior tratamiento**
- 6.- **Bernas: delimitan los sectores y celdas para el llenado**
- 7.- **Impermeabilización con polietileno de alta densidad (2000 micrones) que evita la filtración de líquidos que contaminen las napas**
- 8.- **Aguas subterráneas**
- 9.- **Pozos de monitoreo de aguas subterráneas**

Figura 2.3. Estructura del relleno Sanitario
Fuente: <http://ceamse.gov.ar/>

2.6 Caracterización y Composición de los RSU

A continuación se presenta un estudio realizado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, realizado en el año 2005-2006, sobre la composición promedio de los residuos sólidos urbanos, provenientes de la ciudad de Buenos Aires y el área Metropolitana, los cuales son dispuestos en el complejo ambiental Norte III.

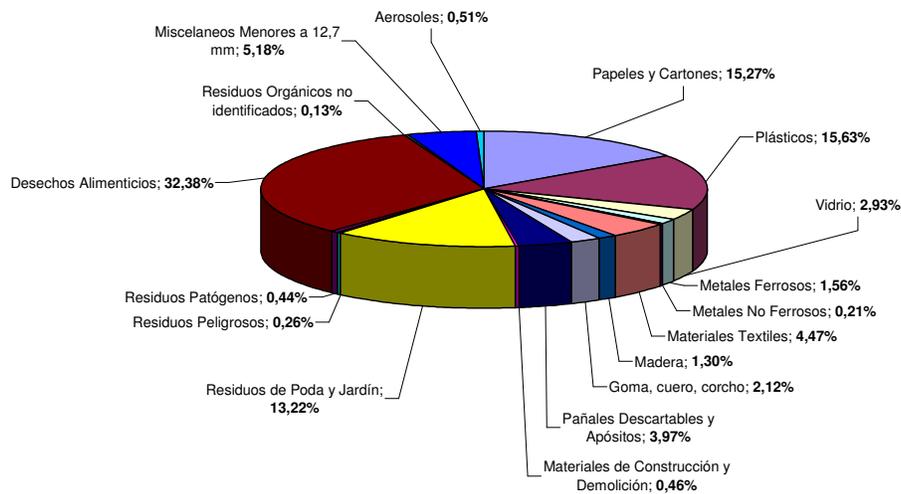


Figura 2.3. Composición promedio de los residuos que se disponen en Norte III

En la tabla a continuación, podemos apreciar el detalle de algunas categorías:

Componentes	Participación
Papeles y Cartones	15,27%
Diarios y Revistas	2,47%
Papel de Oficina (Alta Calidad)	1,52%
Papel Mezclado	5,12%
Cartón	4,99%
Envases Tetrabrick	1,16%
Plásticos	15,63%
PET (1)	2,69%
PEAD (2)	1,29%
PVC (3)	1,16%
PEBD (4)	6,43%
PP (5)	1,38%
PS (6)	2,45%

Otros (7)	0,23%
Vidrio	2,93%
Verde	1,31%
Ámbar	0,31%
Blanco	1,31%
Plano	0,00%
Metales Ferrosos	1,56%
Metales No Ferrosos	0,21%
Latas Aluminio	0,16%
Otros	0,05%
Materiales Textiles	4,47%
Madera	1,30%
Goma, cuero, corcho	2,12%
Pañales Descartables y Apósitos	3,97%
Materiales de Construcción y Demolición	0,46%
Residuos de Poda y Jardín	13,22%
Residuos Peligrosos	0,26%
Residuos Patógenos	0,44%
Desechos Alimenticios	32,38%
Residuos Orgánicos no identificados	0,13%
Misceláneos Menores a 12,7 mm	5,18%
Aerosoles	0,51%

Tabla 2.1. Composición de los RSU generados en los partidos que disponen en Norte III

Los desechos alimenticios son el primer componente en el flujo de residuos sólidos, con más del **32%** en peso de participación en flujo de residuos. Cabe destacar que los valores porcentuales de los desechos son comparativamente menores al resto de los residuos. Esto se debe a la alta presencia de “recuperadores urbanos” en la ciudad de Buenos Aires que extraen los materiales recuperables del flujo de residuos, aumentando así los porcentuales encontrados de los otros.

Los plásticos y papeles son el segundo y tercer componente respectivamente, presentando porcentajes disímiles en las distintas áreas urbanas debido a los distintos NSE (nivel socio económico) y la ubicación de comercios e industrias, dado que la generación de RSU tanto en cantidad como calidad, está relacionado con la actividad económica y características socioeconómicas de la población predominante .

En el mismo estudio de composición de los RSU, se calculó la *Producción Per Cápita* para los partidos que disponen en Norte III, tomando como base los datos históricos del CEAMSE durante el período 1981 a 2006.

La *Producción Per Cápita* promedio para los municipios que disponen sus RSU en el Complejo Ambiental Norte III, es la siguiente:

	Kg / Hab. x día
Ciudad de Buenos Aires (CABA)	1,48
Partidos del AMBA ¹ que disponen en Norte III	0,828
Total Norte III (CABA + AMBA)	1,05

Tabla 2.2. Producción per cápita promedio: Municipios que disponen en Norte III.

2.7 Ley 1854 (“Basura Cero”)

Ley de “Basura Cero” es el nombre de los planes que se han adoptado en diversas ciudades del mundo que tienen por objetivo disminuir gradualmente la basura llevada a disposición final, estableciendo para ello programas de metas.

Esta iniciativa ya ha sido adoptada en distintas ciudades del mundo. San Francisco (EE.UU.), Canberra (Australia), Kamikatsu (Japón), Halifax (Canadá) y Nueva Zelanda son algunos ejemplos.

En la ciudad de Buenos Aires es conocida como la ley N° 1854: Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos, sancionada en noviembre de 2005. En su artículo 6 establece un cronograma de reducción progresiva con las siguientes metas, respecto a los registrados en el CEAMSE durante el año 2004:

- 30% para el año 2010
- 50% para el año 2012
- 75% para el año 2017
- 0% de enterramiento de materiales reciclables o aprovechables para el año 2020

La ley define a la gestión integral de residuos sólidos urbanos como el conjunto de actividades interdependientes y complementarias que comprenden la generación, disposición inicial selectiva, recolección diferenciada, transporte, tratamiento y transferencia, manejo y aprovechamiento, a través del reciclado y la minimización de la generación.

Para simplificar lo expuesto, de manera de alcanzar las metas impuestas por la ley es necesario trabajar en distintas estrategias de reducción de generación de residuos, reutilización y reciclaje.

¹ Área Metropolitana de la Ciudad de Buenos Aires

Así como lo hizo la ciudad de Buenos Aires, otras ciudades del país estarían analizando la implementación de esta ley. Entre ellas se destacan: Córdoba, Rosario y Bahía Blanca.

3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

3.1 Efecto Invernadero

El efecto invernadero constituye el fenómeno por el cual determinados gases componentes de la atmósfera retienen parte de la energía que el suelo emite como consecuencia de haber sido calentado por la radiación solar. Este fenómeno evita que la energía solar recibida constantemente por la Tierra vuelva inmediatamente al espacio, produciendo a una escala planetaria un efecto similar al observado en un invernadero.

Los gases responsables del efecto descrito son:

- Vapor de Agua (H₂O)
- Dióxido de Carbono (CO₂)
- Metano (CH₄)
- Óxidos de nitrógeno (NO_x)
- Ozono (O₃)
- Clorofluorocarbonados (artificiales)

Si bien todos ellos (salvo los CFCs) son naturales, en tanto que ya existían en la atmósfera antes de la aparición del hombre, desde la Revolución Industrial y debido principalmente al uso intensivo de los combustibles fósiles en las actividades industriales y el transporte, se han producido sensibles incrementos en las cantidades de óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono emitidas a la atmósfera, con el agravante de que otras actividades humanas, como la deforestación, han limitado la capacidad regenerativa de la atmósfera para eliminar el dióxido de carbono, principal responsable del efecto invernadero.

Estos cambios causan un paulatino incremento de la temperatura terrestre, el llamado cambio climático o calentamiento global que, a su vez, es origen de otros problemas ambientales:

Variación de la temperatura global y de la concentración de dióxido de carbono presente en el aire en los últimos 1000 años.

- Desertización y sequías, que causan hambrunas
- Deforestación, que aumenta aún más el cambio
- Inundaciones
- Fusión de los casquetes polares y otros glaciares, que causa un ascenso del nivel del mar, sumergiendo zonas costeras. Sólo influye en dicha variación el hielo apoyado en suelo firme, ya que el hielo que flota

en el mar no aumenta el nivel del agua. Además, el aumento de la temperatura promedio del agua en estado líquido en todo el mundo provoca la elevación del nivel del mar.

- Destrucción de ecosistemas

Una de las principales fuentes del metano es la descomposición de los residuos orgánicos, llevada a cabo en los rellenos sanitarios. Otra fuente importante es la extracción de combustibles fósiles, la cual constituyendo un 20% de las emisiones, mientras que la primera constituye otro 20% aproximadamente. El 60% de las emisiones en todo el mundo es de origen antropogénico, viniendo principalmente de la actividad humana. La concentración de este gas, se ha incrementado en el mundo de 0,8 a 1,7 ppm.

3.2 Cuestionamientos frente al modelo actual de Disposición Final de RSU

En la actualidad, el modelo de gestión integral creado durante la década del setenta ha entrado en una etapa de cuestionamientos, tanto en el plano político como en el jurídico, técnico, social y económico. Si bien la emergencia social de los últimos años ha desviado la atención colectiva hacia el *cirujeo* (*cartoneros*) y la recolección informal, el cuestionamiento hacia el actual modelo de disposición final de los RSU subsiste.

Consideraciones Sociales

El crecimiento del conurbano ha terminado urbanizando los predios contiguos a los rellenos sanitarios. La mayor conciencia ambiental de la ciudadanía ha movilizado un importante fenómeno de rechazo hacia cualquier emprendimiento percibido como potencialmente perjudicial a la salud – aunque el relleno sanitario operado adecuadamente no lo sea –, o como posible causa de la pérdida de valor inmobiliario. La creación de nuevos centros de disposición final en el conurbano se enfrenta irremediablemente con esta dificultad, complicando cualquier posible solución técnica.

Consideraciones técnicas y económicas

La necesidad de habilitar nuevos centros de disposición final además de confrontar con la resistencia ciudadana, obliga a todos los sectores y actores (municipios del conurbano, Provincia de Buenos Aires y Ciudad autónoma, así como también estos sectores en el resto de las provincias del país) a pensar en alternativas para la gestión futura de los residuos.

Se han realizado diversos estudios de factibilidad para la creación de nuevos rellenos sanitarios. Uno de ellos, aprovechando la existencia de una infraestructura ferroviaria aún en existencia, contempla el transporte de por tren hasta sitios de disposición final adecuados y alejados de centros altamente urbanizados.

Los cuestionamientos a los rellenos sanitarios han provocado la búsqueda de todo tipo de propuestas alternativas complementarias, inspirados en los modelos de los países desarrollados (incineración, segregación, compostaje, etc.) Muchas de las alternativas han contado con fuerte apoyo de importantes sectores políticos, pero casi todos han fracasado al demostrar sus ventajas frente al método de relleno sanitario.

Los costos relativos del sistema tratamiento dependen de factores tan variables como la tecnología, los parámetros de emisiones gaseosas, y el valor del combustible en el caso de la incineración, o los estándares de lixiviado y valor de inmobiliario de los terrenos para el caso del relleno sanitario.

Un reciente artículo publicado por el diario extranjero *The Economist* señala que de acuerdo a CyclOpe, un centro de investigación francés, los países desarrollados gastan al año (en conjunto) aproximadamente 120 mil millones de dólares en la disposición final de sus RSU. Para la ciudad autónoma de Buenos Aires, el costo operativo se estima en 400 \$/tonelada. Este costo operativo incluye recolección, transferencia y disposición final. Teniendo en cuenta que la ciudad genera aproximadamente 1,6 millones toneladas de RSU por año, el costo operativo total para disponer estos residuos es de 640 millones de pesos al año, es decir que la ciudad gasta unos 165 millones de dólares al año. Si consideramos solamente el costo operativo de la disposición, es decir los costos operativos del relleno sanitario, estos se pueden estimar en unos 150 \$/tonelada. Para la mencionada cantidad de RSU generadas que deben ser dispuestas, se estarían gastando unos 240 millones de pesos argentinos al año, lo cual representan 61,5 millones de dólares al año. Por ello resulta más que necesario encontrar una alternativa que permita reducir estos costos y a la vez que contribuya a la problemática ambiental.

Consideraciones ambientales

Si bien los rellenos sanitarios se operan de forma controlada para neutralizar el impacto ambiental que pueden causar, pueden producir acciones nocivas tanto en el medio ambiente como en la economía que deben ser tenidas en cuenta. Estas comprenden la contaminación de los recursos hídricos, la atmósfera y los

suelos, **pero solamente en el caso que el relleno sanitario no esté bien constituido y controlado.** En la actualidad no se registran antecedentes de que esto haya ocurrido, por lo cual se está hablando de problemas potenciales.

Al tema que sí se debe prestar atención es la utilización del suelo, pero no por un tema de contaminación, sino porque su uso queda limitado para su reutilización en el futuro y la disponibilidad de espacios para disponer la basura generada no es infinita. En las zonas donde se sitúan se devalúa su precio y además se pueden generar a su alrededor asentamientos de villas ocupadas por cirujas que subsisten de los materiales que seleccionan de los desechos.

También se tiene un Impacto sobre la flora y fauna, asociado a la remoción de espécimen de la flora y a la perturbación de la fauna nativa durante la fase de construcción. La existencia de vectores (animales que se alimentan con los residuos descartados) provocan la modificación del ecosistema de la zona aledaña.

3.3 Cumplimiento con la Ley de “Basura Cero”

El cumplimiento de la ley es analizable en tres dimensiones distintas:

- Grado de implementación de leyes, incentivos y políticas tendientes a cumplir los objetivos planteados en la ley
- Grado de inclusión de los recuperadores urbanos en la recolección y reciclado de los residuos
- Grado de cumplimiento de las metas de enterramientos

La tercera dimensión de análisis planteada, es de especial interés para el alcance del proyecto por lo que se hará un breve comentario sobre la misma, dejando de lado las otras dos.

La reglamentación de la ley especifica la cantidad de toneladas máximas a disponer por año:

Año	Toneladas máximas a ser dispuestas en relleno sanitario
2010	1.048.359
2012	748.828
2017	374.414

Tabla 3.1. Toneladas máximas a ser dispuestas reglamentadas.

Desde el año fijado como base (2004) el detalle de las toneladas dispuestas por la Ciudad en el CEAMSE junto con los porcentajes de incremento anual es el siguiente:

Año	RSU (TN)	Variación Anual
2004	1.492.867	-
2005	1.477.147	-1,05%
2006	1.536.453	4,01%
2007	1.645.368	7,09%
2008	1.884.460	14,53%
2009	1.847.748	-1,95%
Incremento total acumulado desde 2004 a 2009		23,77%

Tabla 3.2. Toneladas dispuestas por la Ciudad.
Fuente: CEAMSE

Tomando en cuenta estos valores se realizó una proyección de la generación de RSU para los años futuros y se comparó con las metas establecidas por la ley, que se pueden apreciar en el siguiente gráfico:

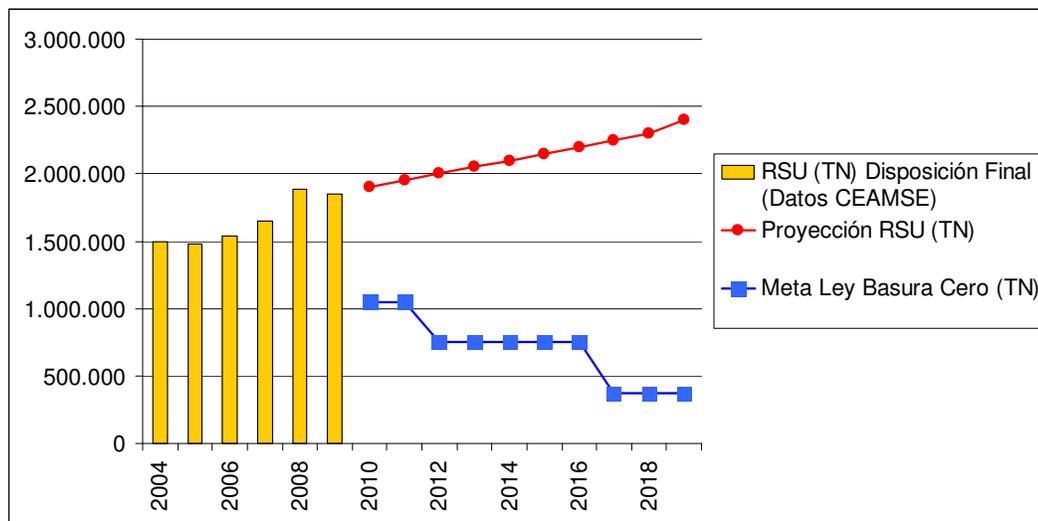


Figura 3.1. Metas Ley de “Basura Cero”

El crecimiento esperado que demuestra la proyección se explica por dos razones: en primer lugar el crecimiento de la actividad económica de la ciudad y, en segundo lugar, la ineffectividad de los programas implementados hasta el momento. El decrecimiento experimentado del 2008 al 2009 se justifica por otras dos razones: la implementación de cooperativas de recuperadores

urbanos, y el desvío de la totalidad de los residuos de obras y demoliciones hacia sitios dentro de la ciudad, cuando antes eran enviados al relleno sanitario.

Del análisis del gráfico se destaca el gran desfase entre la situación de disposición actual y las metas propuestas por la ley. El incremento sustancial de las toneladas dispuestas desde el año 2004 produce que aún si hoy mismo se comenzara a separar los residuos con las mismas tasas de separación que experimentó la ciudad de San Francisco (creadora de la primer ley de Basura Cero), recién se reduciría la disposición en un 40% luego de 10 años.

Esta situación propone entonces, un contexto favorable para la investigación, análisis y desarrollo de estrategias y tecnologías que contribuyan al cumplimiento de la Ley de Basura Cero. La selección de la alternativa más adecuada no solo debe tener en cuenta las implicancias medioambientales, sino también las sociales, económicas y políticas.

3.4 Descripción del problema

De acuerdo a los puntos desarrollados hasta aquí se encuentran distintos aspectos que deben ser considerados. Por un lado, se plantea el interrogante del qué hacer con la basura. Por otro lado, que posibilidades existen de aprovechar lo que desechamos, para generar una de las cosas más preciadas en nuestra sociedad y en el mundo: la energía.

Es así como se llega a pensar que la eliminación y disposición de los residuos urbanos e industriales ha sido, y es actualmente, un problema de las zonas urbanas: por las molestias que puede generar, su impacto ambiental (sobre todo su participación creciente en el aumento del efecto invernadero o calentamiento global), los costos que involucran su gestión, y no menos importante, el hecho de la imposibilidad de alcanzar las metas propuestas por la ley 1854, que si bien es propia de la ciudad de Buenos Aires, no hay que descartar que el resto de las ciudades del país comiencen a implementarla, haciendo de ello una problemática general.

Además del problema asociado a los residuos, se tiene el de la necesidad de fuentes de energía, debido a la disminución de los recursos no renovables, acentuado durante las épocas de mayor consumo. Frente a esta problemática, existe la posibilidad de aprovechar el potencial energético de los residuos a partir de la generación de los mencionados SRF, de los cuales se analizará la factibilidad de implementación de una planta capaz de producirlo, como así

también su uso y aplicación en la Argentina. Es importante dejar en claro nuevamente que se tomará como ejemplo la Ciudad de Buenos Aires y su Área Metropolitana (quienes disponen sus residuos en el Complejo Ambiental Norte III).

Ante la problemática de la disposición final de los RSU, en la que se destaca el hecho de la futura limitación de espacios para disponer frente al crecimiento de la generación de basura, el incumplimiento con leyes que establezcan metas de disposición final como la ley 1854 en la ciudad de Buenos Aires, y algún otro cuestionamiento que pueda surgir sobre el modelo de disposición final actual, se nos presenta la oportunidad de aprovecharlos como recurso energético.

Es por ello que el presente trabajo buscar plantear y resolver el siguiente interrogante: en lugar de enviar la basura al relleno sanitario, con sus implicancias económicas, políticas y sociales, ¿por qué no convertirla en una fuente adicional de energía impulsando el desarrollo sustentable de los municipios, ciudades o provincias?

4 SOLUCIÓN PROPUESTA

4.1 Introducción

La descripción del problema hasta aquí vista plantea una situación, que quizá actualmente no sea crítica en el país en el sentido del qué hacer con la basura, pero sí lo es desde el punto de vista energético. Esta misma situación sí alcanzó un alto grado de importancia en Europa por diferentes motivos. Por un lado, el espacio físico para la disposición final de los RSU es escaso. Por otro lado, la legislación sobre las normas de contaminación son muy estrictas y la emanación de metano al medio ambiente como gas productor del efecto invernadero está altamente regulada y controlada, lo que deja a los rellenos sanitarios y las industrias en una posición muy comprometida. Además, se tiene la problemática de escasez de los recursos energéticos y su contribución a la contaminación del medio ambiente (aquí también debido a la estricta legislación sobre la emanación de gases contaminantes).

Todo esto impulsó la investigación sobre tecnologías que permitieran por un lado la cantidad de residuos sólidos urbanos a disponer, y por otro, aprovechar el potencial energético de los mismos. Es así como surgen las plantas de tratamiento biológico-mecánico (MBT), las cuales permiten obtener como producto final, el SRF.

Si bien la situación no ha llegado a un punto crítico en nuestro país, podría hacerlo en los próximos años. Por ello, se analizará la implementación de una planta MBT y la aplicación que puede tener el SRF en nuestro país.

La aplicación de tecnologías como ésta impulsan el desarrollo sustentable del país, así como también contribuye al cuidado del medio ambiente y mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos.

Por ello de aquí en adelante, nos dedicaremos a analizar los SRF y su posible aplicación. También la implementación de las plantas de tratamiento biológico-mecánico que permiten su obtención.

4.2 Combustibles derivados de los residuos: SRF

No existe una definición legal para el término SRF, por lo que es interpretado de manera diferente en cada país. También pueden ser reconocidos como RDF: *Refused Derived Fuel*. En nuestro idioma son conocidos como *combustibles derivados de los residuos*, la cual proviene de la traducción del

término en italiano *Combustibili derivado di rifiuti*, pero para una mayor simplicidad en el presente trabajo nos referiremos a ellos como SRF. Sin embargo, es importante destacar que las diferentes terminologías para los mismos en los distintos países pueden variar según si son incinerados de forma independiente o en conjunto con otros materiales, o si son tratados de alguna manera específica de acuerdo a la legislación existente. Esta es otra razón por la cual nos referiremos simplemente como SRF, ya que en Argentina no hay legislación.

SRF se refiere usualmente a la fracción de alto poder calorífico segregada de los residuos sólidos urbanos. Los diferentes procesos a través de los cuales se pueden obtener consisten básicamente en:

- Separación en origen
- Separación mecánica
- Reducción del tamaño (trituration, chipping y milling)
- Separación y caracterización
- Mezclado
- Secado y peletizado
- Packaging
- Almacenamiento

Típicamente, el material es caracterizado para remover la fracción reciclable (por ejemplo metales), la fracción inerte (como el vidrio) y separar la fracción putrefactible (comida y desechos de jardín) la cual es fina y contiene alta humedad, todo esto antes de ser pulverizada.

Los materiales orgánicos húmedos pueden ser tratados, ya sea por procesos de compostaje o ser sometidos a una digestión anaeróbica, y así ser utilizados como fertilizantes directamente enterrados en los rellenos sanitarios. En otros casos, la fracción putrefactible se guarda y se trata biológicamente, es decir se somete a un proceso de secado conocido como estabilización biológica o bio-estabilización.

Los fragmentos más gruesos de residuos son rechazados o reingresados al proceso para ser pulverizados nuevamente.

La fracción media que consiste en papel, cartón, madera, plástico y textiles puede ser o utilizada para ser quemada directamente como combustible grueso (*coarse SRF*) o sometida a un proceso de secado (bio-estabilización) y peletizado para constituir el SRF propiamente dicho. La decisión de peletizar o

no se basa usualmente en la distancia relativa entre la planta de manufactura del SRF y la planta o el lugar donde se utilizará el mismo como combustible.

Existen dos tecnologías que fueron desarrolladas para producir SRF a partir de los RSU:

- Plantas de Tratamiento Biológico-Mecánico (MBT)
- Procesos de Estabilización en seco

A grandes rasgos, en las plantas MBT los metales y la fracción inerte son separadas y la fracción orgánica es caracterizada para la aplicación de procesos de bio-estabilización. Esto produce una fracción residual de alto poder calorífico dado que está compuesta principalmente de residuos secos, como papel, plástico y textiles.

En general estas plantas incorporan diferentes tecnologías, estimándose 50 combinaciones diferentes. Una de estas combinaciones, cuyo resultado ha sido probado con éxito, consiste en un proceso de separación y tratamiento mecánico llevado a cabo en una planta MT: *Mechanical Treatment*. La principal diferencia con una planta de MBT típica, radica en que su secuencia de procesos no involucra una bio-estabilización de los residuos, sino que se realiza una serie de operaciones mecánicas de separación, clasificación y triturado, que permiten obtener como principal producto final la fracción combustible SRF.

El SRF puede también ser producido a través de un proceso de estabilización seca (*dry stabilisation process*) en el residuo (excluyendo los materiales inertes y metales). Los residuos son secados efectivamente a través de procesos de compostaje, obteniendo así una masa residual de alto poder calorífico adecuado para la combustión. El producto de este proceso es producido en Alemania y recibe el nombre de *Trockenstabilat*. Al tratarse de un tratamiento específico, y un producto final con algunas diferencias, esta metodología no es objeto de estudio del presente trabajo.

4.3 Antecedentes

Los países de la Unión Europea (UE) que más co-incineran residuos son Francia y Alemania, seguidos de Austria y Bélgica. En el caso de los SRF fabricado a partir de los RSU, en el año 1997 se incineraron como combustible alternativo 120.000 toneladas, lo que supone aproximadamente, un 6% del total de los combustibles alternativos empleados en la UE.

La cantidad de SRF producido por tonelada de RSU es variable y depende principalmente de la composición de los residuos, la tecnología empleada y la calidad requerida. La tasa de producción de SRF a partir de los RSU puede variar entre un 23% y un 50% de reducción de peso de los residuos procesados dependiendo del proceso empleado y del país.

País	Tipo de Tratamiento	Tasa (%)
Austria	MBT	23
Bélgica	MBT	40-50
Finlandia	MT	Variable
Holanda	MT	35
Reino Unido	MT	22-50

Tabla 4.1. Tasa de conversión producción SRF de acuerdo al proceso y país.

Esta tasa de conversión se refiere a la medida en que se reduce en peso el residuo. Es decir, que a partir de 1 kg de RSU, para una tasa del 40-50 %, aproximadamente se obtienen entre 400 y 500 gramos de SRF. El resto corresponden a metales, reciclables y una fracción que se destina a disposición final en relleno sanitario.

La cantidad total de SRF producido en la Unión Europea en el 2001 se puede estimar en unas 3 millones de toneladas. Alemania, Finlandia, Austria, Italia, Holanda y Suecia son claros exponentes de la UE donde la producción de SRF se encuentra bien establecida. Luego aparecen Bélgica y el Reino Unido, como los principales países en vías de desarrollo de estas tecnologías. Cabe destacar los casos de Francia y Dinamarca, donde se producía SRF a partir de los RSU, pero luego la producción se discontinuó por razones económicas.

En Finlandia, el SRF es producido a partir de la separación de la basura en origen (hogares), desechos de la industria y el comercio y de la construcción y demolición. En Suecia, existen reportes de fracciones de alto poder calorífico obtenidas de la separación en origen, pero no se tiene información de la tecnología utilizada para procesarlas. En Holanda, el SRF es principalmente producido a partir del papel y plástico generado en los hogares y oficinas. En Austria, Alemania e Italia, el SRF es producido en grandes cantidades en plantas que emplean la tecnología MBT a partir de RSU de distinto origen (domiciliarios, comerciales, industriales, etc.). En Reino Unido, el SRF es producido a partir del procesamiento mecánico del RSU o a través de procesos de secado de fracciones de alto poder calorífico separadas en origen que no pueden ser reprocesados por las industrias.

En Sudamérica, el antecedente más importante es el de Brasil. Los combustibles alternativos son utilizados en la industria cementera de este país hace ya más de tres décadas. Este consumo se vio acentuado por la crisis del petróleo de los años '70 y luego a través de los años alcanzó una adaptación sistemática a las nuevas fuentes que surgían. Sin embargo, las primeras aplicaciones de combustibles derivados de los residuos se remontan a principio de la década de 1990. En 1999 la agencia federal de medio ambiente (CONAMA) publicó el acta regulatoria N° 264/99, bajo la cual se establecía un mínimo de emisiones estándar por parte de los hornos de las cementeras. Este hecho impulsó notablemente a las industrias de este tipo a la utilización de combustibles derivados de los residuos, de manera de reducir las emisiones de combustibles fósiles. De esta manera, aproximadamente el 85% del clínker producido en Brasil, es a partir de la combustión de SRF.

4.4 Aplicaciones y usos

Las siguientes opciones para la utilización y conversión de los SRF a partir de los RSU en energía han sido aplicadas o podrían hacerlo en el futuro:

- Combustión en calderas que queman carbón
- Incineración en hornos de cemento
- Co-gasificación con carbón o biomasa
- Combustión en instalaciones con calderas con quemador tipo parrilla (GRATE) o calderas de lecho fluido circulante, emplear un gasificador o el método de pirolisis

A continuación se presenta una tabla de la aplicación del SRF en Europa, basado en un informe elaborado en el año 2003 sobre la situación en cuestión.

País	Cantidad	Capacidad (x 10³ tpa)	Cantidad (x 10³ tpa)
Planta Dedicada			
Italia	2		C
Suecia	S.I.		1.400
Reino Unido	1		30
Planta de Energía			
Alemania	S.I.		
Italia	3	1.200	P
Reino Unido	1		50
Plantas de celulosa			
Finlandia	S.I.		200

Plantas Calefaccionadoras			
Bélgica	S.I.		S.I.
Dinamarca	S.I.		S.I.
Finlandia	50		50
Suecia	S.I.		S.I.
Hornos de Cemento			
Austria	S.I.	S.I.	S.I.
Bélgica	1		15
Italia	5		300
Dinamarca	1		2,6
Holanda	1		7
Total			aprox. 2.000

Tabla 4.2. Utilización del SRF a partir de RSU en Europa.

Fuente: "RDF, Current Practices and Perspectives. Final Report." European Commission – Directorate General Environment, Julio 2003

Referencias:

C: En construcción al momento de confección del informe

P: Capacidad en prueba al momento de confección del informe

S.I.: Sin información exacta

tpa: toneladas por año

Las cantidades de SRF quemadas para generar energía se estima que crezcan en el futuro, tanto en la Unión Europea (principalmente Bélgica, Italia y Reino Unido) como en otros países que se encuentran en estudio y desarrollo de las tecnologías para hacerlo (Brasil es el mayor exponente de nuestra región).

A continuación se detallan las distintas opciones de aplicación.

Planta Calefaccionadora

Este es un punto que existe únicamente en los países escandinavos, pero que no se quisiera omitir en caso que en un futuro se pueda dar también en nuestro país. Es característico de estos países, la construcción de usinas productoras de calor para calefaccionar distintas áreas de una ciudad. Es decir, proveen calefacción común a un determinado sector.

Estas plantas son más pequeñas que las dedicadas a la producción de electricidad y su dispositivo de control de emisiones nocivas no es tan exigente como los incineradores de residuos. Este tipo de planta, tiene un importante crecimiento en Finlandia, donde co-incineran desechos de combustible en conjunto con biomasa. La cantidad de desechos combustibles incinerada es usualmente de un 10 a un 30% de la masa de combustible que ingresa en la

caldera. La implementación de la Nueva Directiva de Incineración de Residuos produjo una baja en la co-incineración de desechos debido a los gases que liberan y el costo de monitorearlos. Ante esta situación, se reemplazó la combustión de desechos por la de SRF, convirtiéndose así en la principal fuente para alimentar este tipo de plantas. Esta situación también se dio en Bélgica y Suecia.

Plantas de Energía

En Reino Unido, una planta de energía de ciclo combinado (calor y electricidad) es alimentada por pellets de SRF elaborados del procesamiento de RSU. En Italia, tres plantas de energía son alimentadas por SRF y otras están en etapa de prueba como combustible alternativo. En Alemania, las centrales termoeléctricas, originalmente alimentadas por carbón están mutando al SRF.

Hornos de Cemento

La mayoría de las plantas productoras de cemento no combustionan directamente RSU debido a la heterogeneidad de la naturaleza del residuo y sus componentes, los cuales pueden tener problemas de calidad y medio ambiente (incineración no controlada de residuos). En su lugar, procesan los RSU para obtener la fracción de alto poder calorífico denominado SRF. Esto se da principalmente en Alemania, donde aproximadamente el 40% de las plantas de cemento, alimentan sus hornos con SRF en lugar de emplear otro tipo de combustible fósil. También se da en Austria, Italia, Bélgica y Alemania.

Los pellets son introducidos en la etapa de calcinación o medio horneado. En el año 1997 aproximadamente 115.000 tpa de SRF fueron incinerados en hornos de plantas de productoras de cementos. Actualmente, se estima que la cantidad incinerada superaría las 300.000 tpa.

En Bélgica y Dinamarca, el SRF incinerado en los hornos de cemento proviene de un tratamiento mecánico, mientras en Alemania, Italia y Austria proviene en su totalidad de la producción en plantas MBT.

Otros

Existen antecedentes de uso del SRF en procesos de pirolisis o sistemas de gasificación, en Finlandia, Alemania, Italia, Holanda y Suecia.

La **Pirólisis** es la descomposición química de materia orgánica causada por el calentamiento en ausencia de oxígeno u otros reactivos, excepto posiblemente

el vapor de agua. Un ejemplo de pirólisis es la destrucción de neumáticos usados. En este contexto, la pirólisis es la degradación del caucho de la rueda mediante el calor en ausencia de oxígeno. Un antiguo uso industrial de la pirólisis es la producción de carbón vegetal mediante la pirólisis de la madera. Más recientemente la pirólisis se ha usado a gran escala para convertir el carbón en carbón de coque para la metalurgia, especialmente en la fabricación de acero. En muchas aplicaciones industriales este proceso es llevado a cabo bajo presión y a temperaturas por encima de los 430 °C. Para alcanzar esta temperatura, es necesaria la combustión de algún combustible fósil, por lo que en los mencionados países Europeos en los que se desarrolla frecuentemente este proceso, son utilizados los SRF.

4.5 Presentación de la tecnología a implementar

Tal como se describió con anterioridad, la forma de obtención de los SRF podía ser a través de:

- Un tratamiento **biológico-mecánico** sobre los RSU (**MBT**)
- Procesos de Estabilización en Seco de los RSU

El caso de los procesos de estabilización en seco no es objeto de estudio del presente trabajo, por lo que nos focalizaremos en las tecnologías que ofrecen las plantas de MBT típicas, prestando una especial atención a una configuración cuyos resultados han sido probado con éxito: las plantas MT. Por lo tanto, a continuación se realizará una breve descripción de una planta MBT y de una planta de MT. Un posterior análisis de cada configuración ayudará a decidir cual de las dos resulta ser más apta o más factible de adoptar a nuestro país y como solución a nuestro problema.

4.5.1 Tratamiento Biológico – Mecánico (MBT)

Este tratamiento permite la separación de los residuos de manera de obtener esta fracción combustible denominada SRF, y se lleva a cabo en una planta de tratamiento biológico y mecánico (MBT).

El proceso realizado en una planta MBT modelo consta de las siguientes fases:

- Recepción
- Pre-tratamiento
- Tratamiento Biológico
- Refinación

A continuación describiremos cada una de ellas.

a) Recepción

Los residuos ya clasificados (ya sea porque se realizó una separación en origen al ser recolectados o provenientes de plantas de clasificación) transportados por los camiones, son depositados en la planta directamente en celdas aireadas. Los residuos se descargan sobre puertas que se abren rápidamente y caen a las mencionadas celdas, las cuales se denominan *pits de recepción*. El aire ingresa continuamente en el edificio de manera de evitar que se generen y esparzan los malos olores.



Figura 4.1. Pit de recepción en etapa de construcción

b) Pre-Tratamiento

Los residuos son trasladados desde el *pit de recepción* hacia un tambor de *alta de velocidad de rotación* a través de un puente grúa, el cual está equipado con un gancho agarrador.

La acción del tambor hace que las bolsas contenedoras de los residuos se rompan y da inicio a la separación de las fracciones más grandes de residuos, a diferencia del *shredding*². Además, el reciclado no es posible durante esta etapa. Los requerimientos de energía y mantenimiento son menores que en un proceso tradicional de triturado (*shredding*). Las fracciones grandes de residuos, las cuales son removidas, es básicamente inerte (plástico, papel y cartón), y no tendrá ningún rol durante el tratamiento biológico. Esta fracción se estima que es de un 10 a un 15% de los residuos que ingresan, y la razón por

² Shredding: proceso de triturado de los RSU contenidos en las bolsas.

la cual son removidos se debe a que se aumenta la eficiencia y la capacidad de la siguiente fase de bio-oxidación.

El material orgánico putrescente restante y las fracciones de menor tamaño, producto de esta primera separación, son llevadas hacia un *pit de stock* por el puente grúa ubicado en otra área. Esta área posee un piso ventilado a través del cual circula aire para asegurar que se lleve a cabo la degradación aeróbica del residuo orgánico.

c) Tratamiento Biológico

El residuo preparado almacenado en el pit de stock es transportado al área de bio-oxidación por medio del puente grúa. El material se encuentra agrupado en pilas, de 3 a 4 metros de altura dependiendo de las características químicas y la densidad del material tratado. El material, además, descansa sobre un piso de concreto pre-fabricado, que posee espacio a través de los cuales el aire tratado es ingresado al área para la bio-oxidación. Entre el piso y la parte inferior del edificio, existe una zona libre la cual permite que una presión continua de aire sea aplicada. Esto provee una distribución uniforme de la corriente de aire en el material. Esta área de bio-estabilización, se encuentra virtualmente dividida en zonas y cada una se controla en forma independiente de las otras.

Durante un lapso de tiempo, dependiendo de la composición del residuo y de los requerimientos del proceso, el residuo es sometido a una aeración forzada; esto provee al residuo de un suplemento de oxígeno, el cual desencadena una reacción aeróbica. Como consecuencia, la temperatura se eleva produciendo una masa de calor que provoca la pérdida de agua y saneamiento del material.

El proceso se controla utilizando una combinación de aire fresco, saturado con oxígeno, y aire caliente y húmedo proveniente de las zonas del proceso de bio-estabilización donde la actividad biológica y la temperatura se encuentran al máximo. Una característica única de esta tecnología es que la masa del residuo es aireada alternativamente por aire fresco o caliente, lo que trae los siguientes beneficios: la nueva masa de RSU que ingresa al proceso puede ser precalentada de manera de iniciar la acción biológica más rápido y los gradientes de temperatura que existen en los otros procesos direccionan la salida del aire fresco en una única dirección produciendo un mayor nivel de homogeneidad en el material final.

Los ventiladores que trabajan en cada zona son alimentados por un motor con control variable, que regula el flujo de aire a través del residuo de acuerdo a la temperatura. Cada zona del edificio, está equipada con sensores de

temperatura proveen continuamente un feedback al sistema de control electrónico. El sistema de control recibe esta información y regula el flujo de aire, la fuente del aire (fresco o caliente) y su dirección, a modo de alcanzar una rápida estabilización del residuo.



Figura 4.2. Fase de oxidación biológica

d) Refinación

El material proveniente de la fase biológica se encuentra estabilizado, debido a la degradación orgánica del fragmento putrefacible. Como el contenido de agua fue reducido en gran medida debido a la evaporación como consecuencia de la elevada temperatura, el material se encuentra efectivamente seco, lo cual facilita el refinamiento mecánico.

El material estabilizado, es entonces transportado a la sección de refinamiento. Este es un recinto separado, unido al sector de bio-estabilización. Se utiliza una combinación de tecnologías, que incluyen pantallas rotatorias, separadores de aire y dispositivos magnéticos para realizar la separación, que permite obtener 3 productos principales:

- Material ferroso y no ferroso para reciclaje
- Compost gris (que contiene fracciones orgánicas e inertes) como fertilizante
- SRF (*Solid Recovery Fuel*) como combustible

A continuación se presenta un balance de masa que ayuda a comprender mejor la tecnología en cuestión

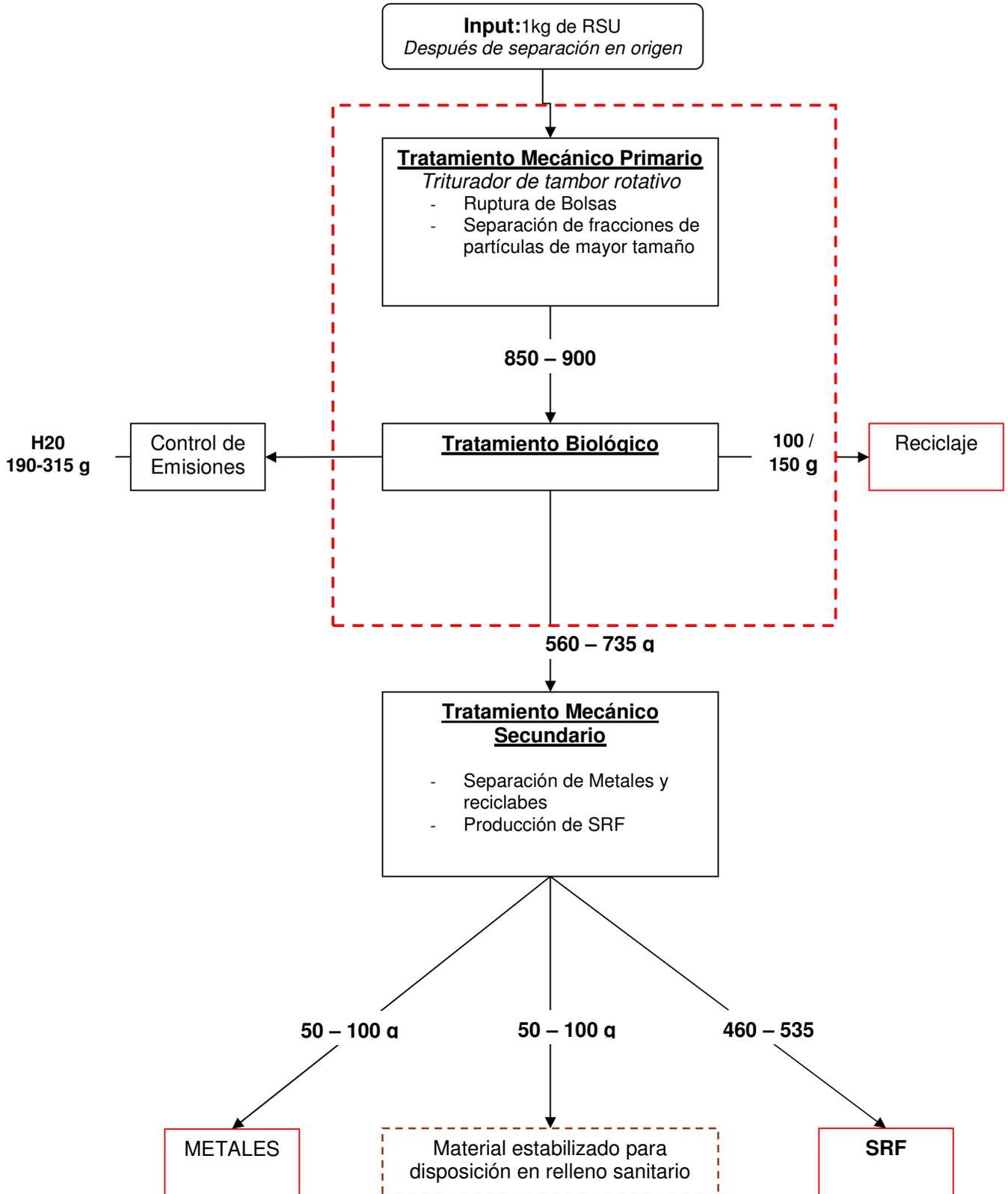
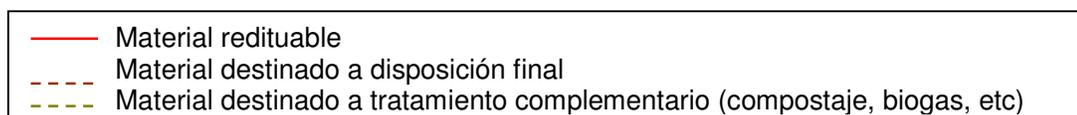


Figura 4.3. Balance de Masa y Diagrama de Proceso de la planta MBT



4.5.2 Tratamiento Mecánico (MT)

Esta tecnología propone la siguiente secuencia de operaciones para el tratamiento del residuo y obtención del SRF.

a) Recepción del residuo

Los camiones que ingresan descargan los residuos en el piso de un área destinada a la recepción. Con un cargador frontal, el material es alimentado al piso móvil. Un sensor sobre el triturador mide la cantidad de material en el y así controla la alimentación automática desde el piso móvil al triturador.

b) Primera Trituración

El triturador primario reduce el material a un tamaño pequeño de 80 – 100 mm, permitiendo la apropiada separación del material mediante el imán, el separador por corriente de eddy y especialmente por el clasificador de aire. La máquina eyecta automáticamente el material triturado y separa además todo material no triturable.

c) Separación ferrosa

Un potente electroimán separa los metales ferrosos del flujo de residuos triturados. Desde que el material es reducido a un tamaño relativamente pequeño, es posible un alto grado de separación lográndose una fracción relativamente pura.

d) Tamizado de finos

Luego de separar los metales ferrosos del flujo de residuos triturados, las partículas más pequeñas de aproximadamente 15 – 20 mm son tamizadas por medio de un tamiz estrella.

e) La separación de no ferrosos

Un separador por corriente de eddy de 2 metros de ancho separa el remanente de materiales no ferrosos.

f) **El clasificador por aire**

El clasificador por aire separa el flujo de materiales en una fracción pesada y otra liviana. La fracción pesada se destina a procesos de compostaje.

g) **Triturador Secundario**

La fracción liviana del clasificador por aire es alimentada al triturador secundario que produce un tamaño de partícula de 30 – 40 mm, el cual constituye un adecuado combustible para los típicos hornos de cemento y otros quemadores con zona de combustión suspendida.

A continuación se presentan 2 diagramas de proceso que ayudan a comprender mejor el flujo global de los residuos y la secuencia de operaciones que se lleva a cabo dentro de este tipo de planta para la producción de combustible alternativo SRF.

Proceso de producción de combustible alternativo SRF

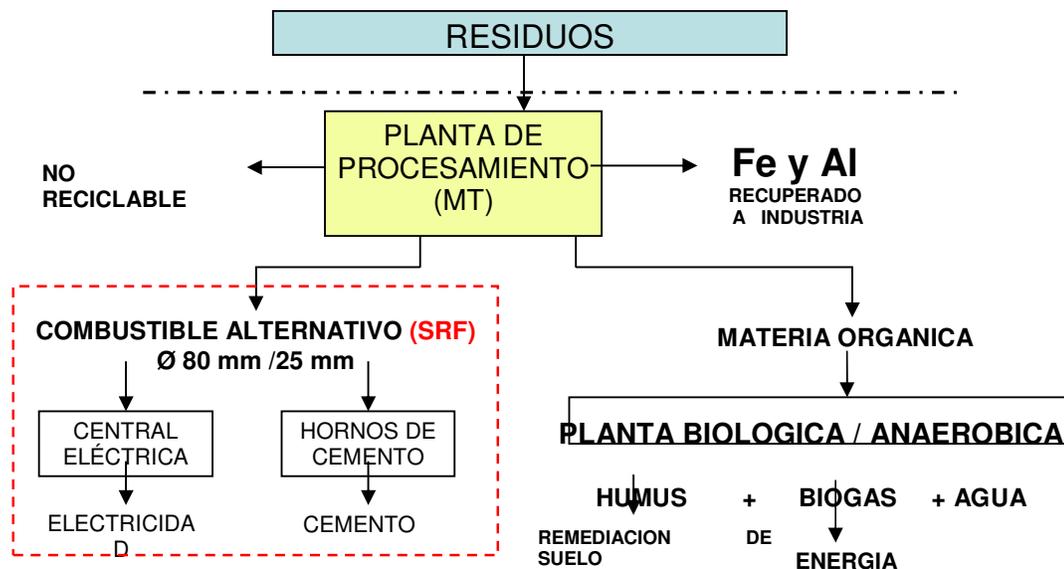
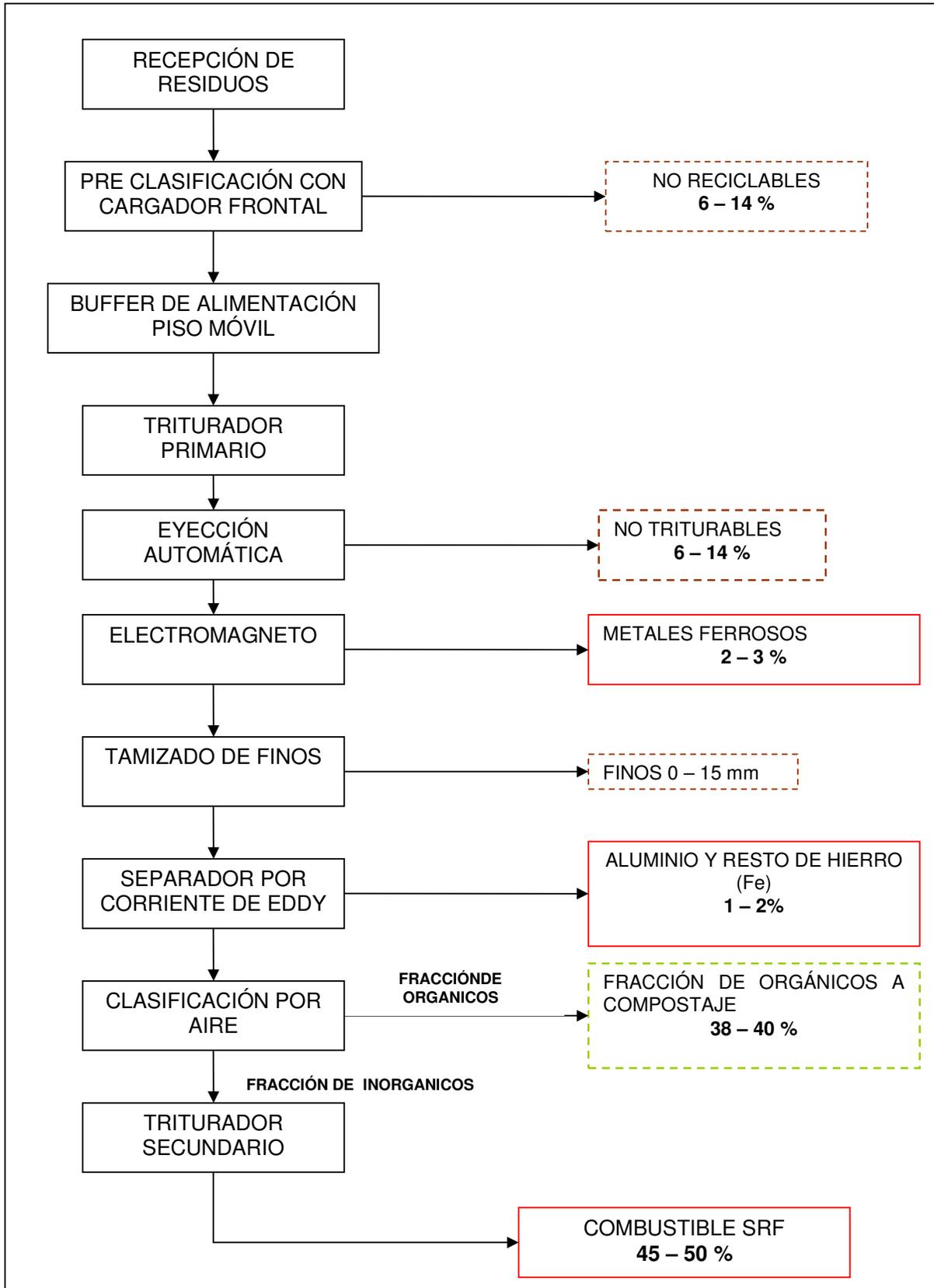


Figura 4.4.Proceso de producción combustible alternativo SRF

El tratamiento que se da a la materia orgánica está fuera del alcance de esta investigación, por ello no entraremos en detalle en este proceso. Sin embargo se sabe que la misma puede ser tratada en plantas biológicas para obtener compost el cual se aplica en la remediación de suelos, o en plantas anaeróbicas para obtener biogás y a partir del mismo energía.

Diagrama de Proceso

Figura 4.5 Diagrama de Proceso para la planta MT



- Material redituable {45 – 50% SRF} {3 – 4% Metales}
- - - Material destinado a disposición final {38 – 40 % del input}
- - - Material destinado a tratamiento complementario (compostaje, biogas, etc) {6 – 14% del input}

Cabe destacar una aclaración respecto del diagrama de proceso. Los porcentajes mencionados hacen referencia a la cantidad total de cada material que es obtenida del proceso. Por ejemplo, se obtiene en conjunto al final del proceso un **3 – 4%** de metales (comprendiendo ferrosos, aluminios y restos de hierro), un **38 – 40%** de residuos pesados (correspondientes a residuos orgánicos) que pueden ser destinados a la obtención de compostaje o biogas, un **45 - 50%** de lo que ingresa es convertido en SRF, y un **6 – 14%** del material procesado no es aprovechable y tiene que ser destinado a disposición final (comprende los materiales no triturables y no reciclables).

A modo de comprender más en detalle el proceso, se presenta a continuación una esquemática de un ciclo completo de producción para el caso que se destine el producto final como combustible para incineración en hornos de cemento. En este ciclo se pueden distinguir las etapas (d) y (e) más arriba.

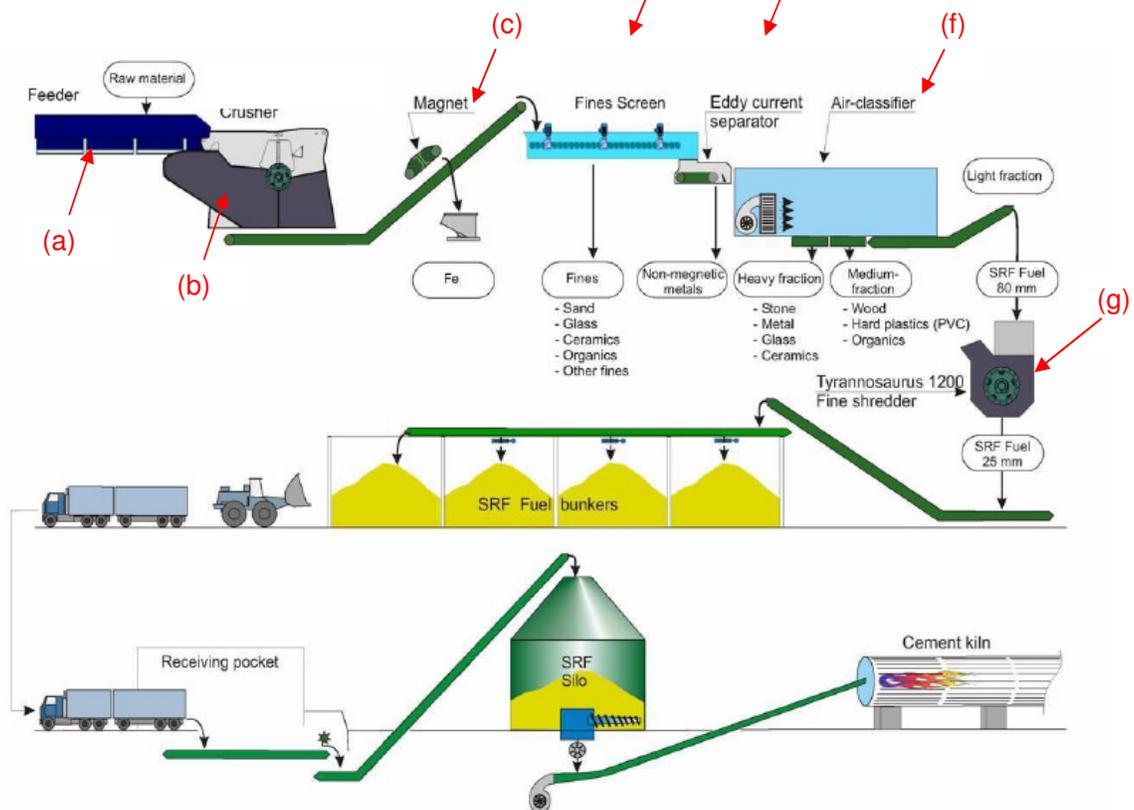


Figura 4.6 Diagrama de Proceso y utilización del SRF en un horno de cemento

Es importante aclarar que este caso considera el almacenaje de combustible SRF en silos, pero más adelante se analizará que el mismo también puede ser almacenado en forma de fardos embalados en folio plástico.

Una vista detallada de la primera etapa:

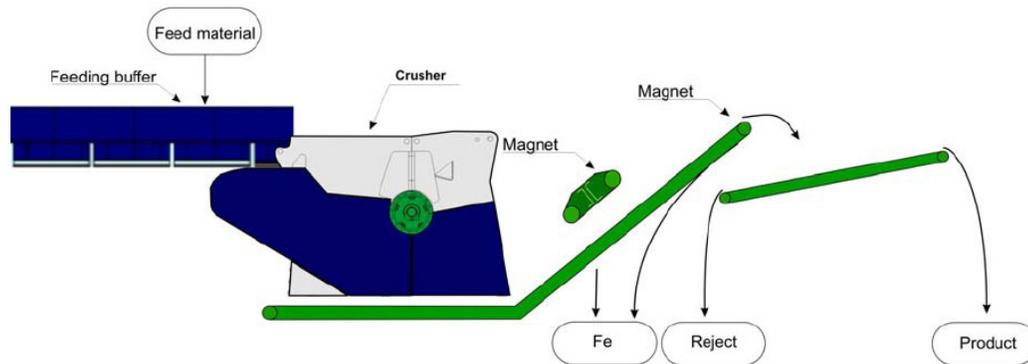


Figura 4.7 Detalle de la primer etapa del proceso

El triturador principal es alimentado mediante un transportador de cadenas. De esta primera trituración se obtiene una fracción del material combustible con un diámetro de 80-100 mm. Luego el material se dirige hacia el electroimán que completa la separación ferrosa, y a partir de allí hacia los siguientes separadores de manera de apartar todo material rechazable (orgánico) y obtener como producto final el combustible SRF. Todos los rechazos resultantes del proceso deben ser tratados y destinados a disposición final de RSU.

4.6 Selección de la tecnología a implementar

Para seleccionar la metodología a implementar se realizará una comparación de cuatro aspectos considerados críticos entre ambas tecnologías. A continuación se detalla cada uno de ellos. El primero es considerado el aspecto de mayor importancia, considerado casi determinante para la decisión. Sin embargo los restantes no pueden dejar de ser analizados, ya que en conjunto ayudarán a tomar una decisión.

- **Adaptabilidad al sistema de gestión de RSU actual:** se refiere principalmente al hecho si la tecnología requiere o no que se realice una separación en origen. En caso de necesitar separación en origen, es decir que el *input* que ingresa a la planta no pueda ser procesado tal como se recibe de las estaciones de transferencia, se deben contemplar las siguientes posibilidades:
 - Una etapa previa de clasificación y separación de los RSU dentro de la planta
 - Una planta externa donde también se clasifique y separen los RSU provenientes de las estaciones de transferencia.

Ambas alternativas suponen una inversión adicional, o más difícil aún, un cambio radical en la cultura de nuestra sociedad en cuanto a la clasificación y separación de la basura en el hogar, lo cual no se lleva a cabo y ya ha tratado de implementarse sin éxito en el pasado colocando cestos de basura diferenciales (papel, vidrio, etc.). El proceso MT no requiere separación en origen, mientras que el MBT sí.

- **Volumen estimado de producción de SRF:** se refiere a la capacidad de producción que tiene cada tipo de planta medido en toneladas por año. Este aspecto es importante porque da una idea de los ingresos que se tendrán por la producción de combustible alternativo SRF.
- **Monto estimado de inversión:** se refiere a un monto aproximado para la implementación de cada una de las tecnologías. Como cada una se trata de proyectos “llave en mano” conocemos de antemano los montos aproximados que requerirá una u otra. Luego, se verá en detalle los componentes de cada una junto con los valores que hacen a la inversión total. Es decir, este monto estimado de inversión no considera conceptos de obra civil o equipamientos auxiliares que puedan ser requeridos para el emplazamiento de todo el proyecto.
- **Ingreso anual estimado por combustible SRF:** se calcula como el producto entre la producción anual de combustible alternativo SRF y el valor medio que se paga por tonelada del mismo. Como valor medio pagado por una tonelada de SRF adoptaremos **60 u\$s / Ton**, el cual veremos en detalle más adelante cuando se realice un análisis del potencial mercado y una estimación del precio; por lo que este precio es adoptado como referencia y su valor para posteriores cálculos puede ser diferente basado en las justificaciones apropiadas.
- **Costos operativos:** los costos operativos comprenden básicamente aquellos asociados al consumo de energía eléctrica, costos de uso y costos de mano de obra.
- **Requerimientos especiales del Input:** este punto se refiere a si los RSU que serán procesados como input del proceso deben cumplir con alguna característica particular: porcentaje de materia orgánica, pH, densidad máxima, porcentaje de material seco, etc.
- **Complejidad de la tecnología:** se analiza las particularidades que tiene cada proceso productivo.

- **Flexibilidad de pago de la inversión:** se refiere al cronograma de pagos que debe seguirse al realizar la inversión; es decir, que porcentaje del total de la inversión debe cubrirse en cada cuota de pago.

Se ordenó cada uno de ellos en una matriz de decisión, asignando un puntaje a cada ítem y evaluando en que medida cada ítem cumple satisfactoriamente con el mismo. El resultado es el siguiente:

	MT			MBT			
Adaptabilidad al sistema de gestión de RSU actual	10	No requiere separación en origen	10	100	Requiere separación en origen	3	30
Volumen Estimado de Producción Anual	9	55.000 - 100.000 Tn	8	72	50.000 - 90.000 Tn	7	63
Monto Estimado de Inversión	9	USD 5.686.002	5	45	USD 5.472.777	7	63
Ingreso Anual estimado por combustible RDF/SRF	9	USD 6.600.000	8	72	USD 5.940.000	7	63
Costos operativos	8	600-750 Kw 9 - 12 personas 7,5 - 15 \$/ton	6	48	450-510 Kw 7 - 9 personas 6 - 12 \$/ton	8	64
Requerimientos especiales del Input	7	No requiere condiciones especiales.Únicamente debe procurarse que no haya materiales inflamables	6	42	Requiere características especiales de: porcentaje de materia orgánica, pH, densidad máxima, porcentaje de material seco	4	28
Complejidad de la tecnología	7	Material orgánico es separado del proceso, y debe ser enviado a disposición final.No requiere tratamiento especial de olores	6	42	Procesa el material orgánico, por lo que requiere un tratamiento de olores (Biofiltering)	5	35
Flexibilidad de pago de la inversión	6	Pago 1: 50% Pago 2: 30% Pago 3: 15% Pago 4: 5%	4	24	Pago 1: 20% Pago 2: 50% Pago 3: 15% Pago 4: 15%	6	36

382

445

Tabla 4.3 Matriz de decisión

Del resultado de la matriz de decisión, se puede apreciar que la tecnología MT resulta beneficiosa por sobre la tecnología MBT para su aplicación. El factor fundamental se debe al hecho de no requerir separación en origen para el input. Esto incluso impacta en el monto estimado de la inversión, ya que de requerir separación en origen, sería necesaria la inclusión de un sistema adicional para realizarlo, lo que derivaría también en una inversión adicional elevando así el monto estimado de la inversión a un valor incluso superior que el de la tecnología MT.

Es importante destacar el punto sobre la complejidad de la tecnología. El proceso de una planta MT da como rechazo el material orgánico; es decir obtiene el combustible SRF a partir de la fracción inorgánica. Esto hace que los desechos orgánicos tengan que tratarse, lo que implicaría una inversión adicional. Sin embargo, como la planta se emplazará en el predio del Complejo Ambiental Norte III (según se analizará más adelante), este problema estará resuelto, ya que solamente habrá que derivar estos rechazos hacia el área de tratamiento de RSU.

Por su parte, el proceso MBT obtiene el combustible SRF a partir de la combinación de la fracción orgánica (a través de los procesos de bio-estabilización) e inorgánica. Por ello se requiere un tratamiento especial de los olores que surgen de este proceso de bio-estabilización, dado que el aire no puede ser liberado antes de haber sido purificado. Esto se realiza a partir de un proceso llamado de Bio-filtering, que es un proceso de filtración biológica mediante el cual los olores contenidos en el aire de la fase de bio-estabilización en seco, son tratados por microorganismos contenidos en filtro que se coloca a las salidas. Todo esto aumenta la complejidad del proceso en comparación con el proceso propuesto de un tratamiento MT.

En cuanto a los otros criterios, el hecho de que la planta MT posea una mayor capacidad productiva impacta directamente en el ingreso anual estimado, dado que a priori un mayor volumen de producción implica mayores ingresos por la venta de combustibles. Aunque por otro lado, una planta MBT tiene menores costos operativos y la inversión es ligeramente menor.

En base al resultado del matriz de decisión, y al análisis de los criterios utilizados para tomar dicha decisión, se determina que la mejor tecnología a aplicar es una planta MT, la cual según ya se describió, resulta ser una configuración especial de las plantas MBT.

4.7 Análisis de Ingeniería

El análisis de ingeniería está relacionado con los aspectos técnicos de la tecnología seleccionada.

A continuación se analizarán los distintos aspectos técnicos de una configuración típica para una planta MT que produce el combustible alternativo SRF.

Debido a que la elección de la tecnología ya se trató y justificó, este aparato del trabajo está dedicado a ver los demás puntos que comprenden un análisis de ingeniería.

4.7.1 Layout

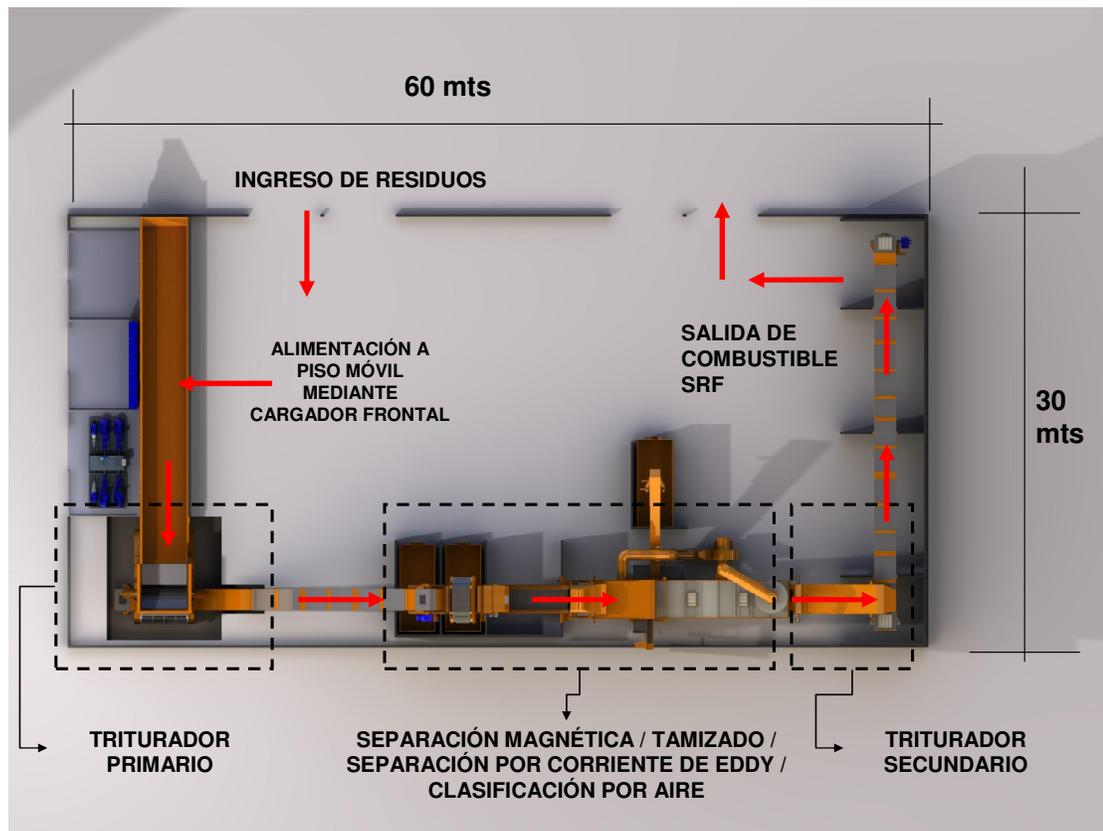


Figura 4.8 Layout típico configuración MT

El presente constituye el layout típico para la planta. La configuración planteada permite un mejor aprovechamiento del espacio. Se destacan los ingresos amplios para permitir la entrada de camiones contenedores de RSU, los cuales son descargados en el piso. Luego son depositados sobre el alimentador de

piso móvil mediante un cargador frontal, y siguen su curso hasta ingresar en el primer triturador (triturador primario). Allí se reduce su diámetro a un tamaño de 60 – 100 mm. El material no triturado será eyectado automáticamente y luego deberá ser recolectado para su disposición final. El material reducido continúa por las cintas transportadoras y pasa por los procesos de separación magnética (donde se obtienen los metales), tamizado, separación por corriente de eddy y clasificación por aire, resultando una fracción liviana y otra pesada. La fracción de pesados se separa para ser destinada a la obtención de compost o para su disposición final. Por otro lado, la fracción de livianos ingresa en un segundo triturador (triturador secundario), obteniéndose el combustible alternativo SRF con un diámetro de 20 – 40 mm, utilizable en hornos de cemento y en calderas de centrales eléctricas. También se destacan portones de salida amplios dado que el producto final sale a granel.

Como se verá más adelante, podría existir una separación física entre el área de ingreso de los residuos y primeras instancias del proceso, y el área de salida del combustible SRF.

A continuación se presenta un segundo layout que permite tener una idea de la dimensión de las máquinas y de la línea de producción. Cabe destacar que si bien las máquinas figuran respetando la secuencia del proceso productivo, la disposición no coincide con el layout anterior.

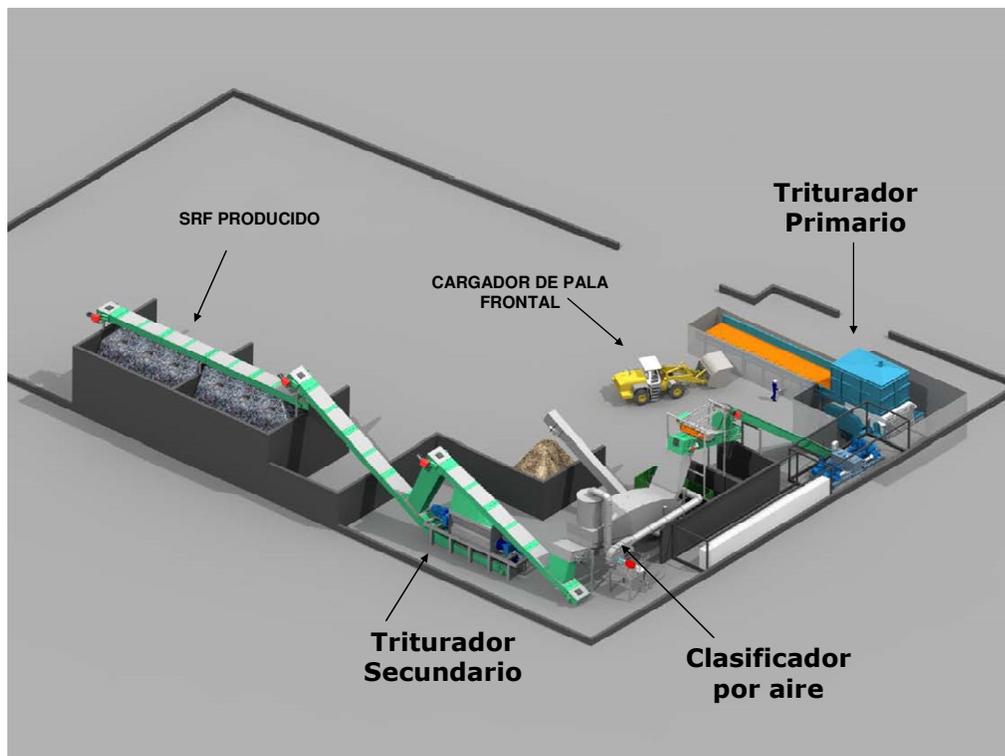


Figura 4.9 Layout típico configuración MT

Un aspecto clave a tener en cuenta para la determinación del layout de la planta es la forma de comercialización del producto final. Esto comprende las siguientes posibilidades:

- **Comercialización a granel:** bajo este esquema se debería prever un espacio dentro de la nave para el almacenamiento del SRF a granel sobre el piso hasta el momento en que se cargan los camiones para su traslado al punto de consumo
- **Comercialización en cubos de energía:** el combustible puede ser entregado al punto de consumo en densos cubos de energía (fardos) embalados en un folio plástico. Bajo este esquema el espacio adicional a prever sería para colocar una línea de empaquetado del combustible en este tipo de cubos, y el correspondiente espacio para almacenamiento de los mismos. Normalmente los cubos pesan entre 1-2 toneladas y tienen una densidad media de 800 kg/m³.

Bajo la primera posibilidad se podría pensar en esquema como el siguiente, donde exista un espacio destinado para el almacenamiento a granel:

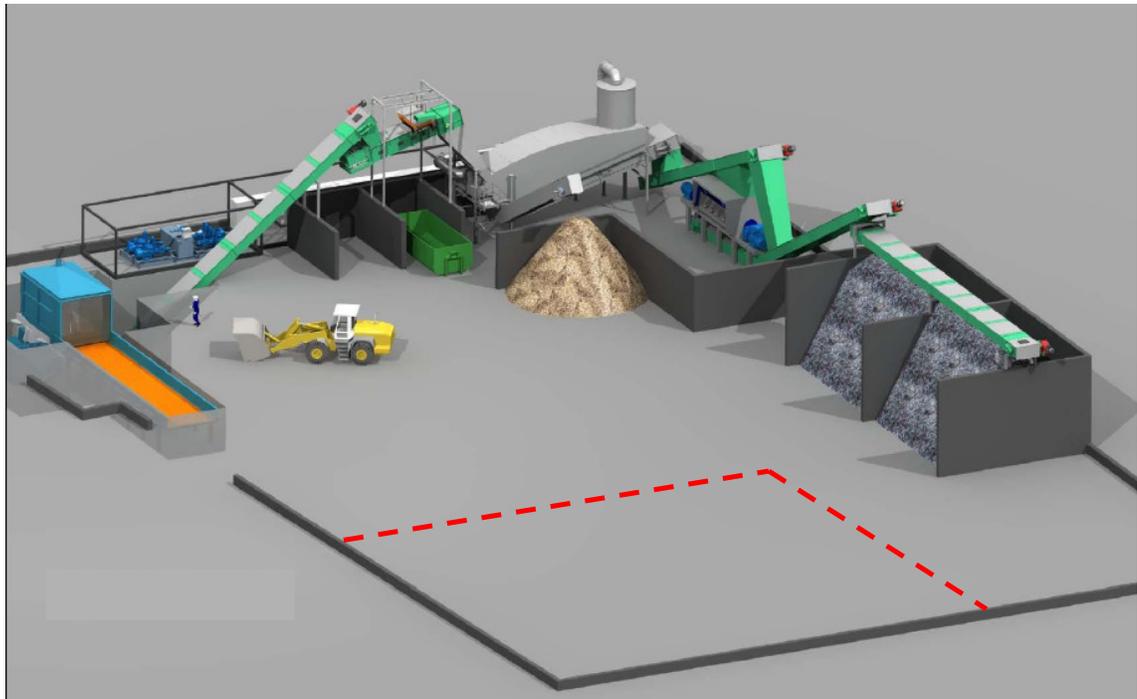


Figura 4.10 Layout típico configuración MT: el área marcada en rojo representa el posible espacio a destinar para el almacenamiento a granel.

Sin embargo la mejor opción es la segunda posibilidad, comercializar el producto bajo la forma de cubos de energía. Esto se ve justificado por el hecho que al encontrarse embalados, hace que sean limpios ya que se toma contacto

con el folio plástico y no directamente con el combustible; y además es más fácil su manipuleo: carga, descarga, almacenamiento y transporte.

Para esta opción, el posible layout sería el siguiente:

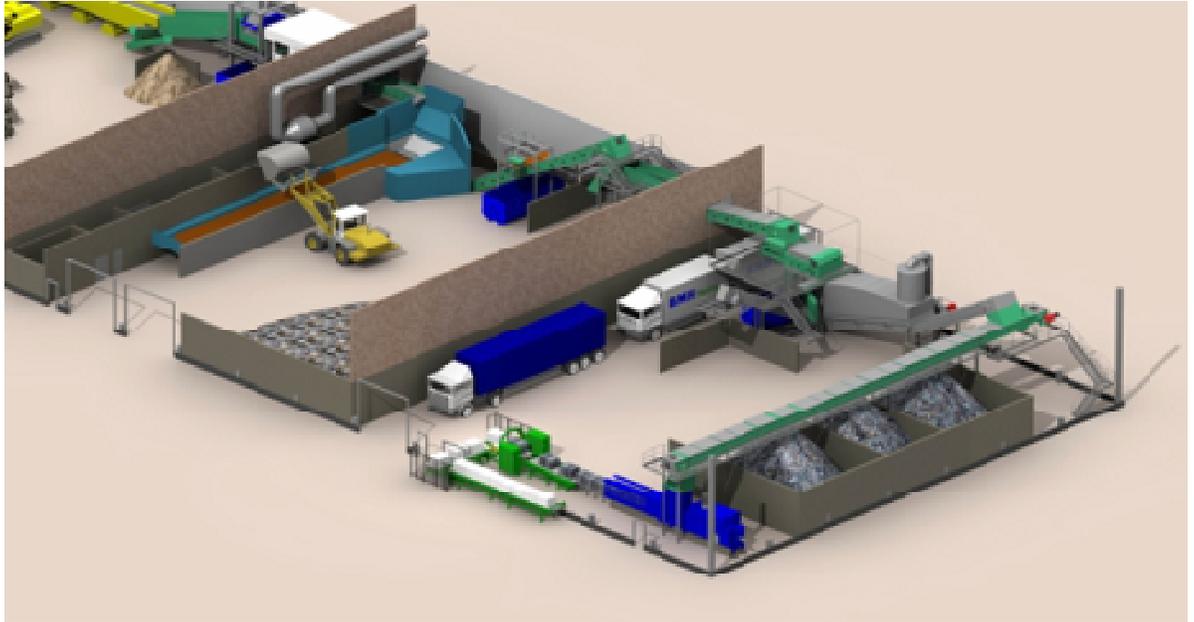


Figura 4.11 Configuración de la planta teniendo en cuenta una línea para el embalado del combustible SRF en cubos de energía.

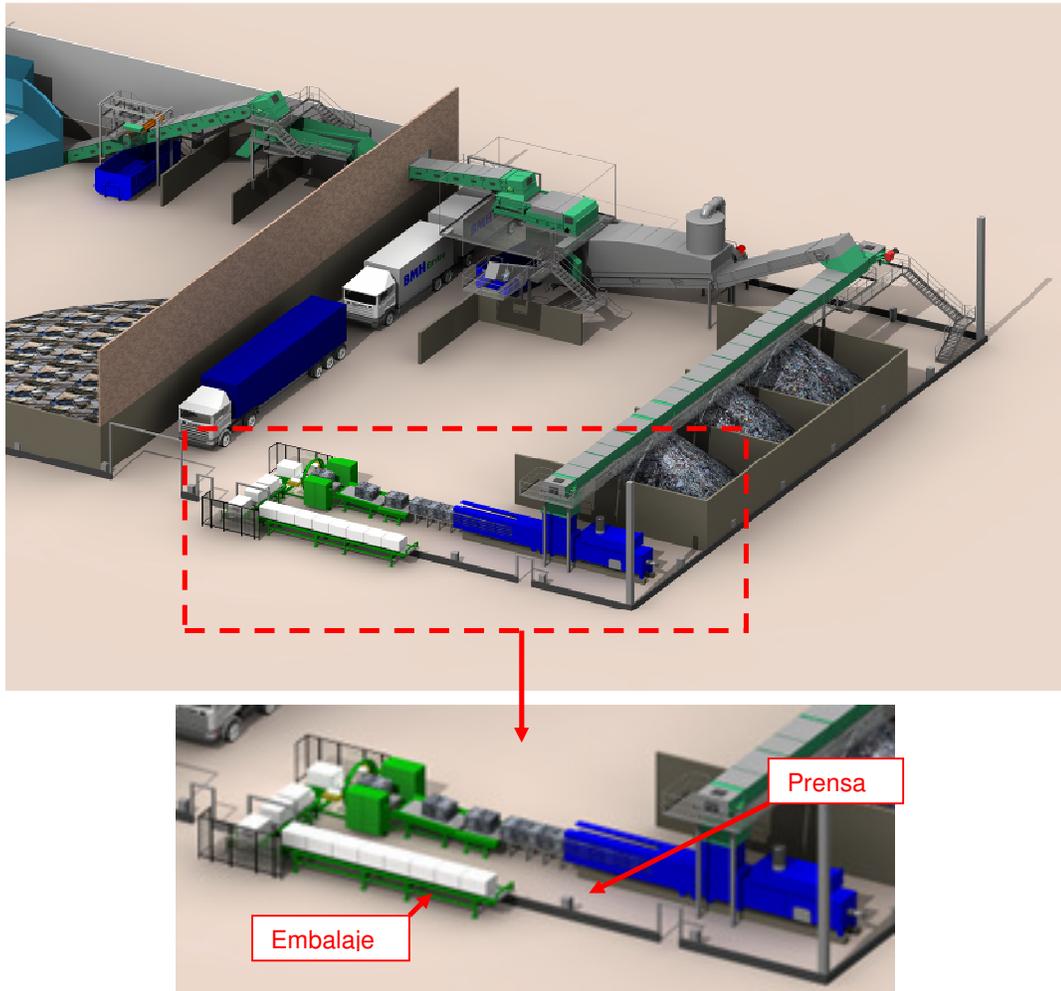


Figura 4.12 Zoom sobre la línea de empaquetado de combustible SRF

Adoptando esta configuración una nave industrial de 60 x 90 metros será suficiente para la disposición de las máquinas del proceso, áreas de recepción/expedición de materiales, laboratorio, circulación de personas/materiales, vehículos de carga, etc. Adicionalmente se prevé que el material empaquetado será almacenado al aire libre en un espacio dispuesto en la playa de maniobras frente a la nave industrial; de todos modos no se descarta disponer un espacio dentro de la nave industrial para ello.



Figura 4.13 Ejemplo de cómo almacenar el producto terminado

Para el dimensionamiento de la playa de maniobras se tienen en cuenta el radio giro de los posibles camiones que circularían y el tamaño de los mismos.

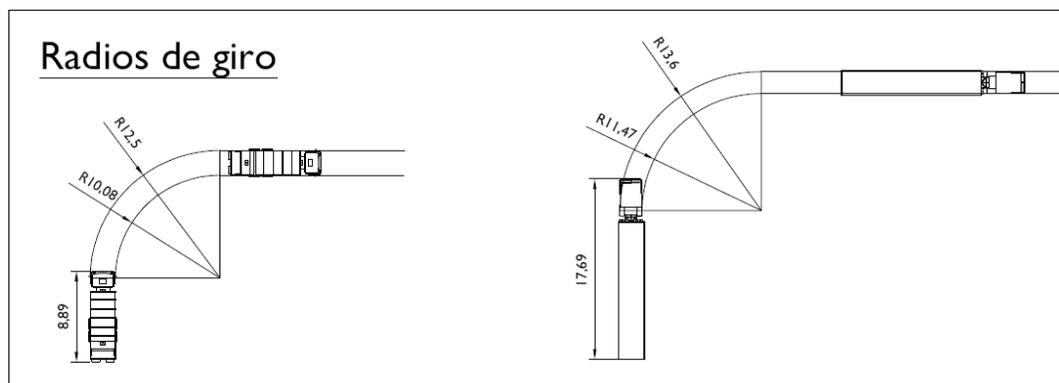


Figura 4.14 Radios de giro para un camión recolector (1) y un camión transportador (2)

Para los radios de giro presentados y teniendo en cuenta requisitos de espacios y maniobrabilidad, una playa típica de maniobras para camiones recolectores sería como la siguiente:

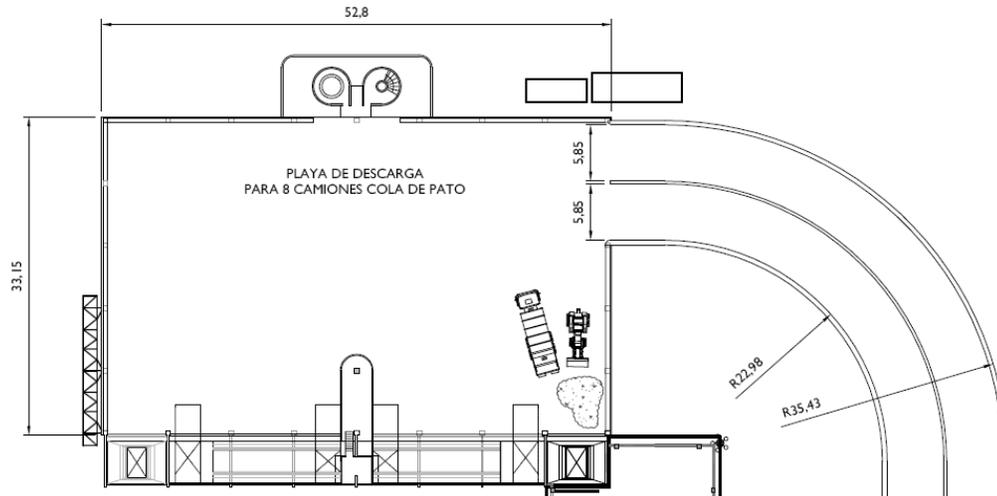


Figura 4.15 Configuración típica de una playa de maniobras para camiones recolectores

Sin embargo, se debe contemplar la posibilidad de que ingresen a la playa camiones transportadores, los cuales según se puede apreciar en la imagen 12 tienen una longitud mucho mayor. Este tipo de camión entonces, es el que va a determinar la longitud necesaria de la playa. Teniendo en cuenta que no se tendrá (aproximadamente) más de 4 o 5 trailers descargando simultáneamente, se considera que con una playa de 2000 m² será suficiente. Por lo tanto la dimensión de la playa de maniobras mostrada en la imagen 13 sería de: **52,8m x 38m**.

Una vez decidida la disposición de la nave industrial y dimensionada la playa de maniobras de camiones, se determinan las áreas auxiliares. Estas comprenden:

- Sala de Máquinas auxiliares (electricidad/gas/agua, en caso que no pueda utilizarse infraestructura de este tipo que exista en el predio donde se emplazaría la planta)
- Taller
- Vestuarios / Sanitarios
- Servicio Médico
- Oficinas administrativas

Luego de la determinación de todos los espacios que comprenden del predio, se presenta de manera esquemática el layout completo del predio a construir (el mismo no está realizado a escala, sino que comprende una representación de manera de ver como están distribuidos los distintos espacios).



Figura 4.16 Layout completo del predio.

4.7.2 Equipos

Si bien la maquinaria a utilizar se mencionó en la descripción de la tecnología, en esta sección se hará una descripción en detalle de cada una de las máquinas necesarias para el proceso.

- **Transportador de Piso Móvil:**

El piso móvil trabaja como un amortiguador de la alimentación. El residuo es alimentado al piso móvil por medio de un cargador frontal. El piso móvil es todo de acero, muy durable, resistente al impacto y prácticamente libre de mantenimiento. El piso móvil alimenta al triturador automáticamente con suficiente cantidad de residuos.

Datos Técnicos	
Ancho	3.2 m
Largo	24 m
Capacidad de Recepción	150 m ³
Motor Hidráulico	45 Kw

Tabla 4.4 Especificaciones técnicas Transportador de Piso Móvil.

La ventaja del alimentador de piso móvil es que el mismo tiene que ser cargado por el cargador frontal en tandas solo cada 1 – 2 horas. El resto del tiempo el

cargador frontal tendrá tiempo para manipular las fracciones ya procesadas o realizar otras tareas en el lugar.

La segunda ventaja es que el piso móvil asegura la continua y óptima alimentación de la línea durante las diferentes pausas de los trabajadores. De este modo se puede incrementar un 10 – 30 % la capacidad anual de producción.

▪ Triturador Primario

El triturador primario es una máquina de gran peso diseñada para usos industriales. La máquina posee las siguientes características:

- Una estructura para trabajo pesado principalmente de acero de 60 mm.
- Un rotor hecho de acero forjado.
- Rodamientos para trabajo pesado, fabricante SKF o FAG.
- Un sistema completo de impulsión hidráulico para trabajo pesado en ambos extremos del rotor. El sistema de impulsión libre de bloqueos asegura máximo torque a todas las velocidades. La velocidad del rotor es ajustable, normalmente 50 – 100 rpm.
- Entre el rotor y los motores hidráulicos hay embragues mecánicos para proteger los motores de los choques radiales y axiales.
- Un equipamiento industrial independiente de energía hidráulica, incluyendo recipiente para pérdidas de aceite, protección contra la cavitación en las bombas principales, detectores de nivel, detectores de temperatura, sistemas de filtrado, válvulas de cierre, enfriamiento por aire para trabajo pesado, precalentamiento de aceite.
- Regulación de la luz de corte asistida hidráulicamente para cada sección de 800 mm de las contra-cuchillas, asegura gran capacidad aun con cuchillas gastadas.
- Sistema central de lubricación.
- Detrás de las cuchillas del rotor y debajo de las contra cuchillas hay intercalados absorbedores de impacto de acero que son intercambiables.
- Las contra cuchillas son del mismo tipo que las cuchillas del rotor y pueden ser individualmente intercambiadas y rotadas.
- Los sostenes de las cuchillas del rotor están protegidos por un revestimiento de plasma muy resistente al uso.
- Los extremos del rotor tienen un sistema intercambiable desellado por un laberinto de acero, para prevenir que el material entre en los rodamientos.

- Un gran ariete controlado de carga rápida, la altura es 800mm y ancho como el largo del rotor.
- La potencia del motor del ariete es 45 kW.
- Arietes cilíndricos sincronizados previenen el ariete de discontinuidades en el caso que la carga este en un solo lado.
- El ariete esta sellado por un segmento de perfil. El sellado de desechos del ariete son de Hardox, intercambiables y también pueden ser rotados.
- El material que escapa por debajo del ariete es colectado por un transportador sin fin que descarga el material en un punto fuera de la maquina. Un contenedor para estos restos de material puede colocarse en el punto de descarga.
- Intercambiables placas de desgaste –Hardox en el fondo de la tolva y en los laterales, hasta la altura del ariete, protegen del desgaste a la estructura de la maquina.
- El sistema de protección de impacto masivo MIPS (Massive Impact Protection System) en el conjunto de contra cuchillas y rejillas protegen las cuchillas y rejillas de daños severos cuando un metal no triturable ingresa en la máquina. Cuando un metal suficientemente sólido está golpeando uno de los conjuntos de contra cuchillas de 800mm de ancho, entonces esta sección de contra cuchillas y la sección opuesta de rejillas se abrirán. Simultáneamente el rotor es detenido utilizando los motores hidráulicos en modo *bake*. Después de esto el ariete empujara el metal no triturable fuera de la maquina.
- El metal no triturable y algún otro material no triturable que escapa al mismo tiempo será separado del proceso mediante una aleta mecánica ubicada al final del transportador de descarga.
- Los sistemas mecánico e hidráulico que forman el sistema MIPS están integrado en un cassette de 800 mm de ancho ubicado debajo del fondo de la maquina. Estos cassettes pueden ser individualmente sacados fuera de la maquina.
- Automatización de la maquina por medio de un sistema de control lógico Siemens con un gran monitor.
- Paneles de control de mantenimiento.
- El equipamiento tiene una unidad de control remoto que puede localizarse, por ejemplo, en la cabina del cargador frontal.

Datos Técnicos	
Potencia del motor para sistema hidráulico	685 Kw
Impulsión	hidráulica en cada extremo del rotor
Tamaño de la Tolva	4 m x 3.2 m al tope
Diámetro del rotor	1 m
Longitud del rotor	4000 mm

Cuchillas del rotor	144 piezas
Cassettes de contra cuchillas	5 piezas
Contra cuchillas	30 piezas
Rejillas	5 piezas
Ariete	recorrido de 1,5 m operado hidráulicamente con cilindros sincronizados
Tanque Hidráulico	3000 lts; Hierro
Enfriador Hidráulico	enfriamiento por aire
Longitud total de la máquina	6 550 mm
Ancho total de la máquina	7 600 mm
Altura total de la máquina	3 610 mm
Peso total del conjunto	90 Ton

Tabla 4.5 Especificaciones técnicas Triturador Primario.

▪ **Transportador de descarga BLT B1400 L26**

El transportador comienza horizontalmente debajo de la máquina y luego continúa en pendiente ascendente. El transportador está cubierto.

Datos Técnicos	
Longitud Total	26 m
Longitud de la parte horizontal	6 m
Longitud de la parte inclinada	20 m
Ancho de la cinta	1.4 m
Motor	15 Kw / 50 Hz / 400 V

Tabla 4.6 Especificaciones técnicas Transportador de descarga.

▪ **Imán sobre la cinta**

El auto limpiante imán sobre la cinta separa los metales ferrosos del flujo de los residuos triturados.

Datos Técnicos	
Tipo de Imán	Electromagnético
Ancho	1240 mm
Tipo	Autolimpiante
Motor Eléctrico	5,5 Kw / 1500 rpm
Potencia del Imán	7,65 Kw
Altura Operativa	200 - 400 mm
Cinta	Trabajo Pesado

Tabla 4.7 Especificaciones técnicas Imán sobre la cinta

▪ **Aleta motoriza mecánicamente**

La aleta cambia de posición cuando el triturador eyecta metales no triturables. Los metales no triturables y algún otro material que escapa simultáneamente del triturador son direccionados por la aleta a un depósito inferior.

▪ **Tamiz de finos:**

El tamiz de finos comprende una cubierta de estrellas de goma. El tamiz separa finos (arena, piedra, residuos biológicos, vidrio pequeño etc.), menores de aprox. 15 – 20 mm, del flujo de residuo triturados. El tamiz está inclinado para mejorar el proceso de tamizado. El tamiz está cubierto.

Datos Técnicos	
Largo	4000 mm
Ancho operativo	1440 mm
Tamaño del tamizado	0 - 15 mm
Motor	4 x 5.5 Kw / 50 Hz / 400 V

Tabla 4.8 Especificaciones técnicas Tamiz de finos

▪ **Mesa de alimentación vibratoria:**

La mesa de alimentación vibratoria nivela el flujo del material en un ancho de 2 metros, optimizando el funcionamiento del separador de aire.

Datos Técnicos	
Longitud	2000 mm
Ancho	2000 mm
Motores	2 x 2.2 Kw

Tabla 4.9 Especificaciones técnicas Mesa de alimentación vibratoria

▪ **Separador por corriente de Eddy RCS B-2000:**

El separador por corriente de eddy separa los metales no magnéticos, tales como aluminio, cobre, etc. La velocidad del generador de corriente de eddy y la velocidad de la cinta están controladas por medio de un convertidor de frecuencia. El separador está equipado con su propia unidad de control eléctrico. El separador de corriente de eddy también separa el sobrante de metales ferrosos.

Datos Técnicos	
Ancho operativo del sistema	1 900 mm
Ancho de trabajo	1 900 mm
Longitud Total	3 460 mm
Ancho Total	2 764 mm
Tipo de Imán	Neodymium, sintético
Velocidad	1 - 2.5 m/s
Motor de la cinta	1.5 Kw / 50 Hz / 400 V
Tipo de cinta	Caucho
Motor Impulsor del rotor	11 Kw
Llave de rotación	1 pieza
Peso	aprox. 3500 kg

Tabla 4.10 Especificaciones técnicas Separador por corriente de Eddy

El separador de corriente de eddy también incluye un transportador colector separado para los metales no ferrosos.

▪ **Clasificador por aire:**

El clasificador por aire separa el flujo de los materiales en dos fracciones:

1 - Una fracción liviana, consistente principalmente de papel, cartón y folios plásticos. Esta fracción es considerada mecánica y químicamente muy limpia. Los folios plásticos son principalmente de PE.

2 - La fracción media y pesada, consistente de residuos orgánicos, madera, vidrio, metales no magnéticos, piedras, cerámicos, etc. Esta fracción contiene muchas impurezas químicas tales como PVC –plásticos (clorados), metales pesados, etc.

El clasificador por aire usa principalmente aire reciclado. Incluye un ventilador, un cámara laminar para el ventilador, pequeñas laminas para ajustar la dirección del viento, una gran cámara de expansión, un extractor, un ciclón para partículas finas del aire circulante, válvula rotativa, un extenso ducto de aire, transportadores internos y un gabinete de control eléctrico. Los soportes están incluidos. Aproximadamente el 10 % del aire circulante es enviado a la atmósfera para mantener el sistema bajo presión. Se recomienda la utilización de filtros.

Datos Técnicos	
Longitud Total	22 000 mm
Altura Total	9 000 mm
Ancho Operativo	2 500 mm
Motor del Ventilador	90 Kw / 50 Hz / 400 V
Transportador de fracción pesada	5.5 Kw / 50 Hz / 400 V
Ancho	600 mm
Longitud	11 000 mm
Transportador de fracción liviana	7.5 Kw / 50 Hz / 400 V
Ancho	2 000 mm
Longitud	20 000 mm

Tabla 4.11 Especificaciones técnicas Clasificador por aire

El transportador de descarga de la fracción pesada asciende en pendiente hasta una altura de 6 metros desde donde deja caer el material. El transportador esta cubierto.

▪ **Triturador Secundario:**

El triturador secundario es una construcción para trabajo pesado diseñado para uso industrial pesado. El triturador las siguientes características:

- Estructura pesada.
- Rodamientos para trabajo pesado.
- Sistema de control lógico avanzado.
- Tren de transmisión controlado por un convertidor de frecuencia.
- Apertura hidráulica de contra cuchillas.

Datos Técnicos	
Longitud del rotor	4 000 mm
Diámetro del rotor	1 metro
Cuchillas del rotor	376 piezas
Tamaño de las cuchillas del rotor	60 x 60 mm
Contra cuchillas	5 piezas
Velocidad del rotor	100 - 250 rpm
Automatización	por PLC
Potencia conectada	500 Kw

Tabla 4.12 Especificaciones técnicas Triturador Secundario

▪ **Transportador de Descarga de cadena de arrastre CHN B1400 L26:**

El transportador de cadena de arrastre recibe el material triturado del triturador secundario. El transportador esta cubierto.

Datos Técnicos	
Longitud del transportador	26 000 mm
Ancho operativo	1.4 m
Motor	11 Kw / 50 Hz / 400 V

Tabla 4.13 Especificaciones técnicas Transportador de Descarga de cadena de arrastre

4.7.3 Balance de Producción

Para comprender y proyectar el cálculo del balance de producción se definen las siguientes variables:

- **Rendimiento del RSU:** representa el porcentaje de obtención de combustible SRF a partir de una cantidad procesada de RSU. Por ejemplo, si se procesan 100 toneladas de RSU, para un rendimiento del RSU del 48% se obtendrán 48 toneladas de combustible SRF.

Rendimiento RSU Bs As

	<i>Mín.</i>	<i>Esperado</i>	<i>Máx.</i>
Obtención Metales	3%	4%	4%
RSU Orgánicos (Biogas -Compost)	38%	39%	40%
RSU No Orgánicos (RDF/SRF)	45%	48%	50%
<i>RSU A disposición final</i>	<i>14%</i>	<i>9%</i>	<i>6%</i>

Tabla 4.14 Rendimientos RSU Ciudad de Buenos Aires

- **Capacidad de procesamiento:** representa la cantidad de toneladas de RSU que la planta podrá procesar por hora y por año.

Días laborales	313	días/año
Horas laborales	16	hs/día
Capacidad MÍN procesamiento	35	tn/hs
Capacidad Esperada de procesamiento	40	tn/hs
Capacidad MAX procesamiento	45	tn/hs

Tabla 4.15 Esquema de trabajo

*Toneladas procesadas
por día:*

Mín.	560 tn/día
Esperada	640 tn/día
Máx.	720 tn/día

*Toneladas procesadas
por año:*

Mín.	175.000 tn/año
Esperado	200.000 tn/año
Máx.	225.000 tn/año

La combinación de la variabilidad que presentan la capacidad de procesamiento de RSU de la planta y el rendimiento del RSU en el proceso dan lugar a nueve escenarios posibles. Es decir, de acuerdo a como se combinen el rendimiento del RSU, con la capacidad de procesamiento de la planta, tendremos nueve posibles resultados de producción anual de combustible SRF. A continuación se presentan dichos resultados (en azul, el resultado esperado):

		Capacidad de procesamiento		
		Mín.	Esperado	Máx.
Rendimiento del RSU	Mín.	78.750	90.000	101.250
	Esperado	84.000	96.000	108.000
	Máx.	87.500	100.000	112.500

Tabla 4.16 Producción anual esperada de acuerdo a la capacidad de procesamiento y el rendimiento del RSU.

Esta variabilidad se debe a que, a priori, no se conoce con exactitud tanto el rendimiento de los RSU para obtener SRF, como la cantidad de RSU que podrá procesar la línea de producción por hora de trabajo. Por ello se trabaja sobre un escenario esperado y se plantean posibles resultados. La probabilidad de ocurrencia de estos escenarios, así como su impacto en los números del proyecto serán analizados más adelante.

Es importante destacar que la variabilidad en la obtención de metales no se considera importante para el impacto del proyecto, y se adoptará un valor del 3% para el escenario mínimo, y un 4% para el escenario esperado y máximo

A continuación se establece el plan anual de producción para cada una de las tres situaciones de acuerdo a la capacidad de procesamiento de la planta (teniendo en cuenta las distintas posibilidades de rendimiento de los RSU), indicando en primer lugar la cantidad (en toneladas) requerida para alimentar cada etapa de producción, luego el resultado de cada etapa, y por último la producción total de cada uno de los productos resultados del proceso:

<i>Capacidad de procesamiento</i> <i>Rendimiento</i>	35 ton/hora		
	45%	48%	50%
Pre-Clasificación: No reciclables	175.000	175.000	175.000
Triturador Primario: No triturables	162.750	167.125	169.750
Electromagneto: Metales ferrosos	150.500	159.250	164.500
Separación p/ corriente de Eddy: Al y Fe	147.035	154.630	159.880
Clasificación por aire	145.250	152.250	157.500

Tabla 4.17 Requerimientos por etapa de acuerdo a la capacidad de procesamiento y rendimiento del RSU. Situación I.

<i>Capacidad de procesamiento</i> <i>Rendimiento</i>	40 ton/hora		
	45%	48%	50%
Pre-Clasificación: No reciclables	200.000	200.000	200.000
Triturador Primario: No triturables	186.000	191.000	194.000
Electromagneto: Metales ferrosos	172.000	182.000	188.000
Separación p/ corriente de Eddy: Al y Fe	168.040	176.720	182.720
Clasificación por aire	166.000	174.000	180.000

Tabla 4.18 Requerimientos por etapa de acuerdo a la capacidad de procesamiento y rendimiento del RSU. Situación II.

<i>Capacidad de procesamiento</i> <i>Rendimiento</i>	45 ton/hora		
	45%	48%	50%
Pre-Clasificación: No reciclables	225.000	225.000	225.000
Triturador Primario: No triturables	209.250	214.875	218.250
Electromagneto: Metales ferrosos	193.500	204.750	211.500
Separación p/ corriente de Eddy: Al y Fe	189.045	198.810	205.560
Clasificación por aire	186.750	195.750	202.500

Tabla 4.19 Requerimientos por etapa de acuerdo a la capacidad de procesamiento y rendimiento del RSU. Situación III.

Esto representa la cantidad de RSU que se requiere ingresar en cada etapa, para luego obtener el total de combustible SRF para cada escenario. A continuación, el total obtenido de cada etapa del proceso, y luego el total de productos finales, destacando la producción total de combustible SRF:

<i>Capacidad de procesamiento</i> <i>Rendimiento</i>	35 ton/hora		
	45%	48%	50%
Ingreso RSU a proceso	175.000	175.000	175.000
Pre-Clasificación: No reciclables	12.250	7.875	5.250
Triturador Primario: No triturables	12.250	7.875	5.250
Electromagneto: Metales ferrosos	3.465	4.620	4.620
Separación p/ corriente de Eddy: Al y Fe	1.785	2.380	2.380
Clasificador por aire: Fracción de Pesados	66.500	68.250	70.000
Clasificador por aire: Fracción de Livianos	78.750	84.000	87.500
Producción total SRF	78.750	84.000	87.500
Material Orgánico para Compost/Biogás	66.500	68.250	70.000
Metales	5.250	7.000	7.000
A disposición final	24.500	15.750	10.500

Tabla 4.20 Producción Anual de acuerdo a la capacidad de procesamiento y rendimiento del RSU. Situación I.

<i>Capacidad de procesamiento</i> <i>Rendimiento</i>	40 ton/hora		
	45%	48%	50%
Ingreso RSU a proceso	200.000	200.000	200.000
Pre-Clasificación: No reciclables	14.000	9.000	6.000
Triturador Primario: No triturables	14.000	9.000	6.000
Electromagneto: Metales ferrosos	3.960	5.280	5.280
Separación p/ corriente de Eddy: Al y Fe	2.040	2.720	2.720
Clasificador por aire: Fracción de Pesados	76.000	78.000	80.000
Clasificador por aire: Fracción de Livianos	90.000	96.000	100.000
Producción total SRF	90.000	96.000	100.000
Material Orgánico para Compost/Biogás	76.000	78.000	80.000
Metales	6.000	8.000	8.000
A disposición final	28.000	18.000	12.000

Tabla 4.21 Producción Anual de acuerdo a la capacidad de procesamiento y rendimiento del RSU. Situación II.

<i>Capacidad de procesamiento</i> <i>Rendimiento</i>	45 ton/hora		
	<i>45%</i>	<i>48%</i>	<i>50%</i>
Ingreso RSU a proceso	225.000	225.000	225.000
Pre-Clasificación: No reciclables	15.750	10.125	6.750
Triturador Primario: No triturables	15.750	10.125	6.750
Electromagneto: Metales ferrosos	4.455	5.940	5.940
Separación p/ corriente de Eddy: Al y Fe	2.295	3.060	3.060
Clasificador por aire: Fracción de Pesados	85.500	87.750	90.000
Clasificador por aire: Fracción de Livianos	101.250	108.000	112.500
Producción total SRF	101.250	108.000	112.500
Material Orgánico para Compost/Biogás	85.500	87.750	90.000
Metales	6.750	9.000	9.000
A disposición final	31.500	20.250	13.500

Tabla 4.22 Producción Anual de acuerdo a la capacidad de procesamiento y rendimiento del RSU. Situación III.

El escenario esperado, sobre el cual están basados los cálculos y consideraciones del proyecto, es aquel donde la capacidad de procesamiento de RSU es de **200.000 ton/año**, y el rendimiento del RSU es del **48%**. Esto corresponde a la Situación II expuesta en las tablas anteriores.

4.7.4 Puesta en marcha

La construcción de la planta consiste en un trabajo de los denominados “llave en mano”. Es decir, la planta se compra al proveedor y una vez cerrado el contrato, éste la construye a la medida pactada con el cliente. Por este motivo, todas las etapas previas a la puesta en marcha y operación de la planta, son controladas por el proveedor de la tecnología y por lo tanto los plazos de las mismas no pueden modificarse.

A continuación se presenta un pequeño diagrama de Gantt, a modo de tener una idea de las etapas y tiempos de duración de cada una hasta tener la planta en condición operativa. A modo de ejemplo, para confeccionar el diagrama se supuso el comienzo de la construcción a partir de la semana 9 del corriente año.

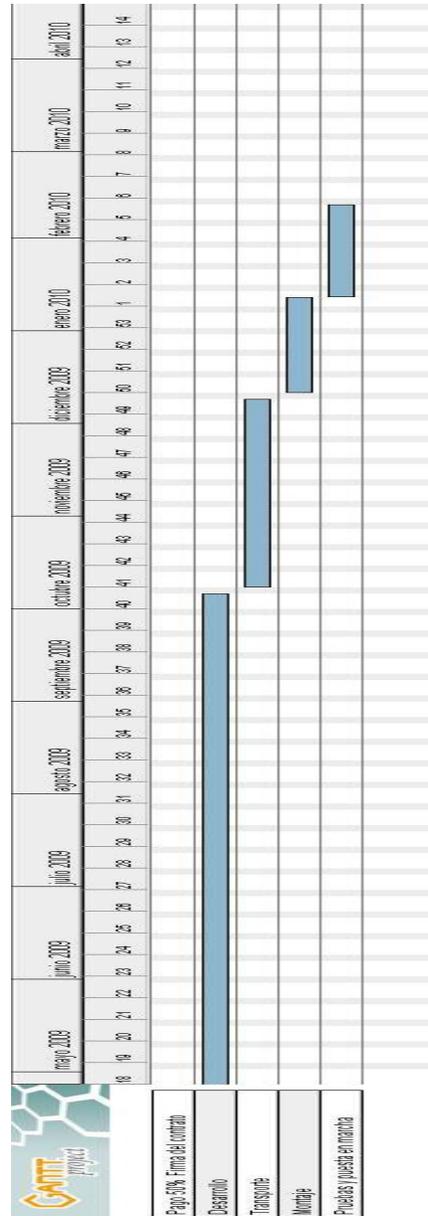


Figura 4.17 Cronograma de puesta en marcha.

El desarrollo de la planta comienza al día siguiente del pago por el 50% de valor pactado en la firma del contrato. Éste tiene una duración de 7 meses. Luego se pasa a la etapa de transporte, la cual tiene en cuenta todos los trámites aduaneros tanto en país de origen como de destino. Esta etapa se calcula que puede tomar unos 2 meses. A partir de allí comienza el montaje de la planta, el cual tiene una duración estimada de 1 mes. Por último se realizan las pruebas y puesta en marcha, durante un tiempo también de 1 mes. Esto implica que en aproximadamente 1 año (calculando 1 mes adicional en caso de

surgir un atraso en alguna etapa) se estaría en condiciones de producir combustible SRF.

4.7.5 Requerimientos de Mantenimiento

Se necesita trabajo para el cambio de cuchillas del triturador y para la limpieza de la planta. Se estima que cada 150 – 250 horas se debe realizar el mantenimiento de las cuchillas (girar o cambiar). Esto requiere cambiar un turno de trabajo. El tiempo normal de mantenimiento es un 5% del tiempo de operación.

Es recomendable que se realicen ajustes adicionales y chequeos cada día de trabajo (24 h). Esto requiere aprox. 1 hora de tiempo. Adicionalmente y normalmente 2 veces por año se deben cambiar las rejillas, los laberintos de sellado del extremo del rotor y otros componentes menores del triturador. La revisión de las rejillas normalmente requiere del tiempo de trabajo de 2 mecánicos durante 6 horas.

Los requerimientos de mano de obra para la limpieza de la planta dependen del material procesado y otros factores externos.

4.7.6 Estructura de Personal

En lo que respecta a la **mano de obra directa**, normalmente un cargador frontal es suficiente para manejar el ingreso y salida del material a la planta. Se necesita adicionalmente un operador de carga y descarga del material en la playa, el cual realiza dichas operaciones tanto para insumos (recepción de RSU) como para producto terminado (cubos de combustible SRF). Luego, se requiere una persona para la operación del tablero de comandos dado que la planta es extensivamente automatizada y no requiere de una sala de control manual, sumado a un técnico químico que realiza los análisis de laboratorio. Además son necesarias otras 4 personas adicionales para mantenimiento, limpieza y operaciones varias (ajustes adicionales y chequeos cada día de trabajo). Toda esta gente es coordinada por un Jefe de Turno, quien realiza el monitoreo de toda la operación. Esto implica que en total se requieren 9 personas por turno (considerando turnos de trabajo de 8 hs.).

Hay que tener en cuenta también una persona por turno que se encargue del servicio médico proporcionado.

En cuanto a la **mano de obra indirecta**, es suficiente para comenzar una pequeña estructura comercial que se encargue básicamente de la venta y supervisión de la distribución del material (si se comienza subcontratando la logística de distribución). En caso que el cliente retire el material en planta, la estructura podría ser aún más pequeña, pero si se decide por tener una propia flota de distribución del SRF, se tendría que considerar una estructura más amplia.

Para el caso estudiado, la mano de obra indirecta, comprende unas 4 personas administrativas dependientes de un jefe de administración, resultando así una estructura de 5 personas.

Toda la estructura es dirigida por un gerente general, el cual es responsable por la operación y administración. A continuación se presenta un organigrama de la estructura planteada:



Figura 4.18 Organigrama tipo de la estructura.

4.7.7 Macro Localización

El lugar elegido para localización/realización del proyecto debe considerar los siguientes puntos:

- Garantizar una fuente importante y significativa de RSU para la producción de combustible SRF
- Debe ser un área que permita evaluar la contribución del proyecto para un región importante del país (en cuanto a volumen generado de residuos)
- Debe ser un área que pueda servir como modelo a aplicar en regiones de similar tamaño en el resto del país, o que sirva como punto de partida para la aplicación en regiones de menor tamaño (en cuanto a volumen generado de residuos)

Teniendo en cuenta estos puntos, el área elegida es la región **Metropolitana de la Provincia de Buenos Aires**. Esto se debe al volumen de residuos generados en la Capital Federal y el conurbano (CABA), el cual garantizaría suficiente diversidad y volumen de RSU; constituye una importante región del país por lo que el éxito que pueda tener constituiría un ejemplo para otras ciudades.

Adicionalmente, cabe destacar que la mayoría de la información obtenida para el desarrollo del trabajo, se encuentra referida a la región en cuestión.

4.7.8 Micro Localización

Una vez definida la Macro localización, una de las cuestiones determinantes a tener en cuenta es que el input para el proceso son RSU y por ello el factor clave a considerar es la forma en que los mismos serán transportados a la planta para ser procesados.

Anteriormente describimos el circuito de recolección de residuos y su transporte hacia los centros de disposición final. Una vez recolectados los residuos son transportados a una de las estaciones de transferencia donde son compactados y transportados luego en vehículos de mayor porte al relleno Norte III.

Considerando que los RSU a utilizar para generar el combustible serán los provenientes de la ciudad autónoma de Buenos Aires, lo ideal sería aprovechar dicho circuito establecido para abastecer la planta. La forma más factible de

tomar ventaja de este circuito, es ubicando la planta en las inmediaciones del Complejo Ambiental Norte III, lugar donde se disponen los RSU de la ciudad autónoma de Buenos Aires.

El Complejo Ambiental Norte III se encuentra ubicado en el Camino Parque del Buen Ayre, partido de Gral. San Martín, Provincia de Buenos Aires, y es operado por la empresa TECSAN. Allí disponen sus residuos 28 municipios (incluida la ciudad autónoma de Buenos Aires) unas 384.490 toneladas, equivalentes a 12.400 toneladas diarias.



Figura 4.19 Imagen satelital del complejo Ambiental Norte III.

El Camino Parque del Buen Ayre es una vía rápida de comunicación que conecta la zona norte con el oeste del conurbano. Esto trae ventaja que al localizar dentro del mencionado predio, se tiene un canal de comunicación directo con las principales autopistas (Panamericana y Acceso Oeste), lo que facilita por un lado, la recepción de RSU, y por otro lado la rápida distribución del combustible SRF.



Figura 4.20 Planimetría Complejo Ambiental Norte III.

La imagen arriba corresponde al plano del Complejo Ambiental Norte III. Según se puede apreciar cada módulo representa un espacio destinado a la disposición final. A continuación presentamos un detalle de la ocupación de superficie de cada módulo:

<i>Disposicion final de RSU</i>	Has.
Mód III	64,21
Mód IIIa	62,78
Mód IIIb	82,15
Mód IIIc	90,00
<i>Infraestructura</i>	
Piletas tratamiento de lixiviados (incluye aerobico, anaerobico, ecuacion, fisico-quimico)	20,00
Compost (incluye area de silos)	3,12
Reciclaje (TECSAN)	1,40
Reciclaje (CEAMSE)	24,35
Ecoayres	0,45

Tratamiento de lixiviados Ecoayres	6,40
Taller / administración (TECSAN)	0,73
Caminos y accesos	19,90
Superficie libre (dentro de los límites cedidos para Disposición final)	64,04
Superficie Total del predio	504,53

Tabla 4.23 Distribución de las superficies del Complejo Ambiental Norte III.

Las áreas marcadas en rojo en la imagen del complejo, representan los espacios libres con los que cuenta. La totalidad de las superficies libres comprende 64,04 has. El sector marcado con la línea punteada roja representa la posible localización de la planta dentro del predio. La elección de este espacio se debe a que es el espacio libre más amplio disponible, y además se encuentra junto a la colectora con lo cual el acceso a la planta sería directo.

A modo de resumen, se enuncian las principales ventajas por las cuales se decide localizar la planta en el complejo ambiental Norte III:

- **Espacio disponible dentro del predio:** cuenta con 64,04 hectáreas sin ocupar, distribuidas por todo el predio. La mejor opción es ubicarlo en el espacio libre junto al módulo Norte III (área marcada con una línea punteada en rojo), donde se tiene acceso directo a la colectora que sale hacia el camino del Buen Ayre.
- **Explotación del circuito actual de recolección / disposición de residuos:** Al ubicar la planta aquí, se estaría integrando al circuito de recolección y transporte de residuos actual, sin necesidad de incurrir en una inversión extra ni en un nuevo diseño de recorrido. Solamente se tienen que derivar hacia la planta la cantidad de camiones equivalente a las toneladas de RSU provenientes de la ciudad de Bs. As. que se van a procesar. Este es un aspecto clave, dada la complejidad que implicaría diseñar una logística separada para recibir el input (RSU) en la planta.
- **Acceso a directo a rutas de comunicación importantes:** si bien está relacionado con el punto anterior, este aspecto es muy importante desde el punto de vista de la distribución del SRF. El fácil acceso y la buena comunicación con las rutas Panamericana y el acceso Oeste a través del camino del Buen Ayre, permite tanto el envío a través de camiones al cliente final, como el acceso de este a través de sus camiones a la planta a retirarlo en caso que opte por esta opción.

- **Disponibilidad de infraestructura:** El complejo cuenta con electricidad, agua, gas e instalaciones para comunicaciones, que se pueden utilizar, evitando la inversión en estas necesidades.



Figura 4.21 Imagen satelital Complejo Ambiental Norte III a 1,5 Km. La línea punteada de color rojo indica el posible sector para ubicar la planta.

4.7.9 Tratamiento de Desperdicios

Al emplazar la planta dentro del predio del complejo ambiental Norte III se tiene la ventaja que todos los desperdicios resultantes del proceso se pueden trasladar al área del relleno para su disposición final. De esta forma no es necesaria la inversión en estructuras adicionales para realizar el tratamiento de desechos, sino que dicho tratamiento puede ser realizado por la organización que opera el relleno, aprovechando así su *expertise* y fundamentalmente su estructura.

4.8 Análisis de los potenciales mercados para los SRF

4.8.1 Utilización del SRF

El alto poder calorífico del SRF hace que su principal aplicación sea como sustituto de los combustibles fósiles.

Del estudio sobre la composición media de los RSU presentado (realizado por la Universidad de Buenos Aires), se obtiene el poder calorífico³ medio de los RSU de la ciudad de Bs. As., el cual es el siguiente:

- Poder Calorífico superior **3179 Kcal/Kg**
- Poder Calorífico inferior **2815 Kcal/Kg**

Teniendo en cuenta que 1 Kcal. equivale a 4.187 Joules, se puede determinar el poder calorífico del SRF producido en **16,3 MJ/kg**. En comparación con los principales combustibles fósiles se puede apreciar lo siguiente:

Carbón	25	MJ/kg
Coque Petróleo	33	MJ/kg
Fuel Oil	42	MJ/kg
SRF	16,3	MJ/kg

Tabla 4.24 Poderes Caloríficos.

Entonces, pensando en los SRF como sustituto de estos combustibles fósiles, se tiene que:

- 1 TN de carbón es sustituido por 1,5 TN de SRF
- 1 TN de coque de petróleo es sustituido por 2,0 TN de SRF
- 1 TN de Fuel Oil es sustituido por 2,6 TN de SRF

Antes se mencionaron algunas opciones para la utilización y conversión de los SRF a partir de los RSU en energía que son aplicadas o pueden hacerlo en el futuro. Recordándolas, estas incluyen:

- Combustión en calderas que queman carbón

³ Cantidad de energía que la unidad de masa de materia puede desprender al producirse una reacción química de oxidación. El poder calorífico expresa la energía máxima que puede liberar la unión química entre un combustible y el comburente y es igual a la energía que mantenía unidos los átomos en las moléculas de combustible, menos la energía utilizada en la formación de nuevas moléculas en las materias (generalmente gases) formada en la combustión.

- Incineración en hornos de cemento
- Co-gasificación con carbón o biomasa
- Combustión en instalaciones con calderas con quemador tipo parrilla (GRATE) o calderas de lecho fluido circulante, emplear un gasificador o el método de pirolisis

De aquí se deriva que el potencial mercado de los SRF está comprendido por las siguientes industrias:

- Cemento
- Generación de electricidad
- Gasificación
- Industria de la cal
- Producción de mineral de hierro

A los fines prácticos, y teniendo en cuenta el desarrollo de cada una de estas industrias en la Argentina, se analizará particularmente la aplicación a la industria del cemento (lo que comprende el uso del SRF como combustible de los hornos de cemento) y a la generación de electricidad (lo que abarca a centrales de electricidad que utilizan combustibles fósiles).

4.8.2 Industria Cementera

Conceptualmente, se puede definir a la fabricación de cemento, como una típica industria de proceso, con reducida utilización de mano de obra directa (concentrada en la cantera, embolsadora y mantenimiento especializado), con fuerte inversión en equipos e instalaciones y elevados insumos de energía y combustible, dado que se requieren aproximadamente de 60 a 130 kg. de combustible y 110 Kwh. de electricidad para producir una tonelada de cemento.

Los insumos de energía y combustible representan aproximadamente un 50% del costo. En Argentina se utilizan fundamentalmente carbón, fuel oil y gas natural. El consumo de combustible se da en el proceso de *clinkerización* en los hornos, donde se eleva la temperatura hasta unos 1450 °C necesarios para las transformaciones físico-químicas que dan origen al *clínker*, que luego de pasar por un proceso de molienda y agregados químicos constituye al cemento.

La oferta de cemento se encuentra concentrada en dos participantes. Uno es Juan Minetti (su principal accionista pertenece al grupo suizo Holcim, el segundo mayor productor de cemento del mundo) y el otro Loma Negra

(controlada por Camargo, quinto productor de cemento en Brasil). Ambas representan en forma conjunta más de un 80% de la producción total del país, la cual fue de 9.703.264 toneladas en el año 2008.

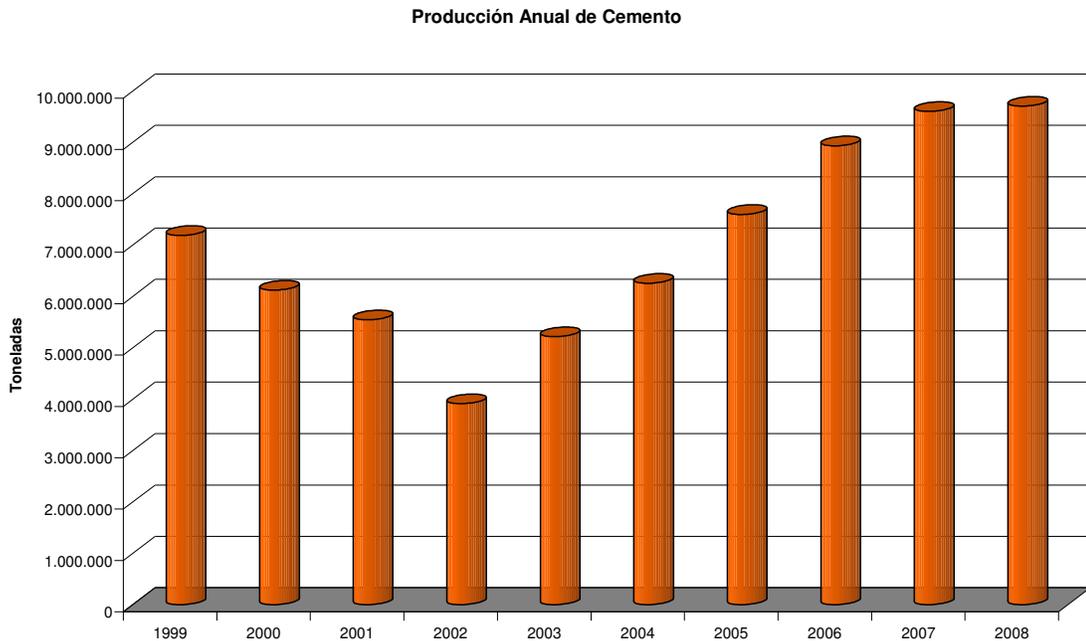
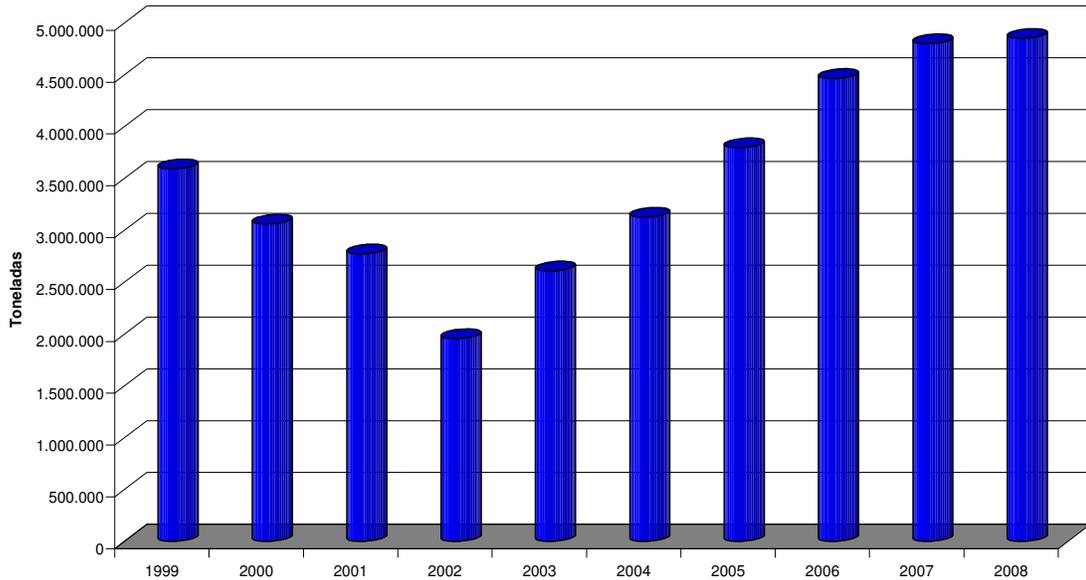


Figura 4.22 Producción anual de cemento.

En cuanto a la cantidad de carbón consumida para la producción de cemento, el *World Coal Institute*⁴ establece que para la producción de 900 g de cemento se utilizan 450 g de carbón. A partir de esta relación, se puede calcular un factor de conversión y estimar cual fue el consumo de carbón para la producción de cemento en cada uno de estos años. Este factor de conversión se estima en **0.5**, por lo que el consumo estimado de carbón para producir cemento para cada uno de los últimos 10 años es el presentado en el gráfico a continuación.

⁴ El World Coal Institute es una asociación global de industrias que nuclea a los mayores productores mundiales de carbón. La membresía está abierta tanto a compañías como organizaciones sin fines de lucro que tienen inherencia sobre el futuro de la industria del carbón desde cualquier parte del mundo.

Consumo Estimado Anual de Carbón p/ Producción de Cemento

**Figura 4.23** Consumo Estimado Anual de Carbón destinado a la producción de cemento

Con respecto a la capacidad instalada del sector, luego de la crisis del 2001, el aumento del PBI impulsó la construcción produciendo un aumento de la demanda. Este aumento de la demanda se tradujo en una mayor inversión en el sector, aumentando la capacidad instalada nominal por encima de las 16.000.000 de toneladas. La capacidad instalada operativa se encuentra por debajo de la nominal, como consecuencia de la demanda de cemento; por lo que se concluye que el sector tiene capacidad ociosa y por lo tanto, de aumentar la demanda, la producción podría aumentar sin la necesidad de inversión en infraestructura, permitiendo así destinar los costos al consumo de combustible para alcanzar la producción que satisfaga el potencial aumento de la demanda.

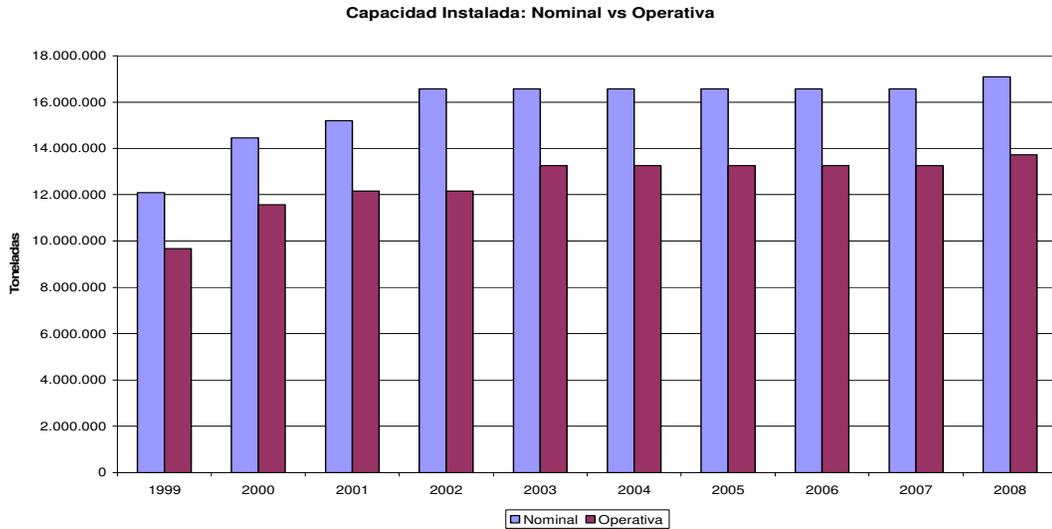
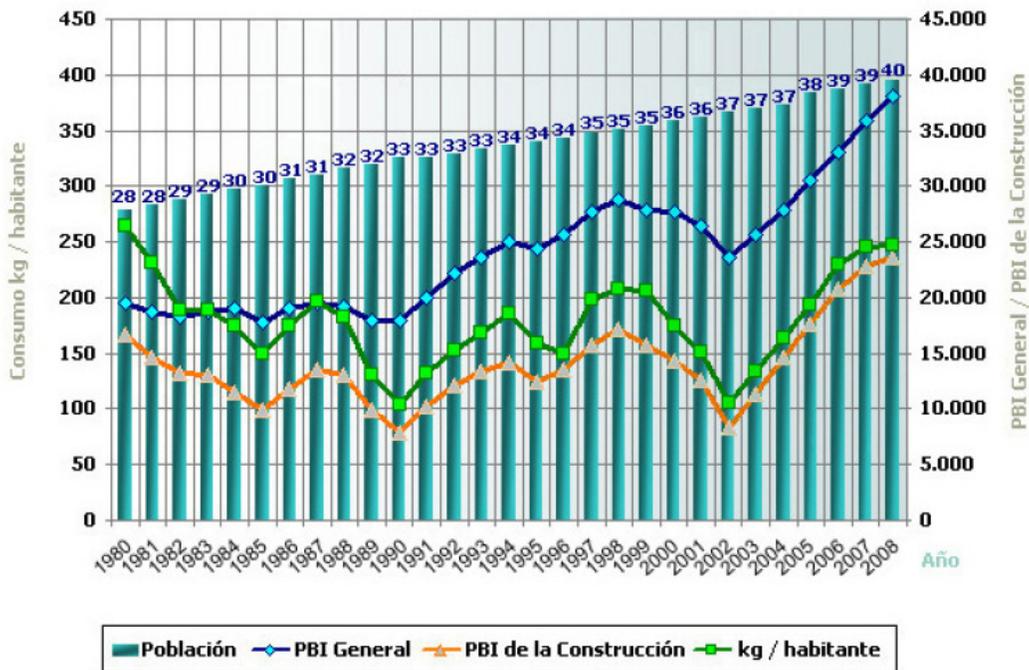


Figura 4.24 Capacidad Instalada

Las principales variables económicas que actúan como *drivers* del consumo del cemento son el PBI y el PBI de la construcción. Esto se ve demostrado en la siguiente evolución histórica.



Nota:

- Población en millones
- PBI General, en moneda homogénea \$ Año 1993 s/10.000.000
- PBI de la Construcción, en moneda homogénea \$ Año 1993 s/1.000.000
- Consumo kg / habitante

Figura 4.25 Evolución Histórica: *Drivers* vs. Consumo

Un aumento del PBI General se da acompañado de un aumento del PBI de la construcción, impulsando por lo tanto el aumento en el consumo de cemento en Kg. /habitantes. De la misma forma, se ve como en períodos de caída del PBI, disminuye el PBI de la construcción y por lo tanto cae el consumo de cemento. Esto se destaca sobre todo en el año 2002, donde la contracción económica del país luego de la crisis política de diciembre del año 2001, se vio traducida en una caída del PBI y por consecuencia del PBI de la construcción, resultando así en el consumo más bajo de cemento en los últimos 28 años.

Tomando en consideración que el consumo estimado más bajo de carbón para producir cemento de los últimos años fue un poco menos de 2.000.000 de toneladas, un consumo promedio de 3.500.000 de toneladas y perspectivas de una tendencia creciente para el mercado de la construcción en los próximos años, la demanda de cemento presentaría un panorama favorable. Como consecuencia de ello se vería influenciada positivamente la demanda de combustibles para la producción de cemento.

Recordando que la mayor cantidad anual que se espera producir de combustible SRF son 96.000 toneladas, se concluye que dentro de la industria cementera se tiene potencialmente demanda plena para la venta de SRF como sustituto de carbón.

Es importante tener en cuenta también la distribución geográfica de los productores de cemento (potenciales clientes de los SRF), tanto sea el caso de envío del producto a las plantas cementeras como el retiro del SRF en la planta procesadora. La distribución geográfica de las plantas productoras pertenecientes principales compañías dedicadas a la producción de cemento es la siguiente:

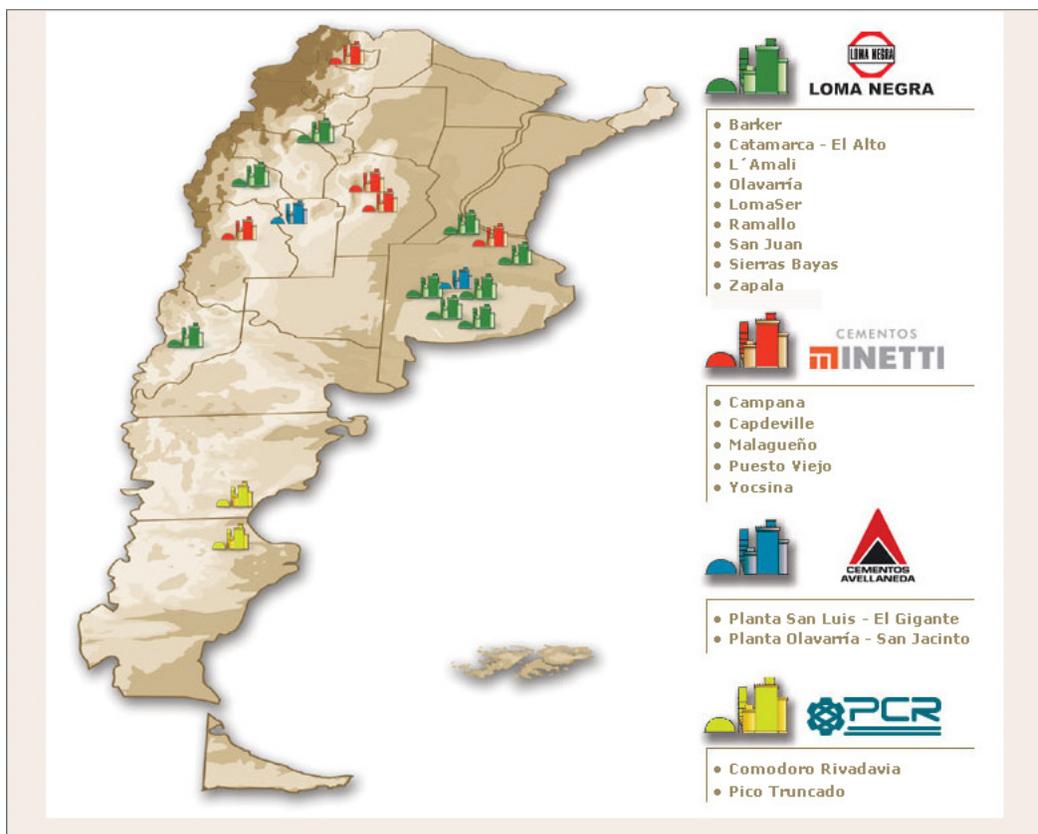


Figura 4.26 Distribución Geográfica de los Principales Grupos Cementeros en Argentina

En lo que se refiere a plantas elaboradoras de cemento, las más cercanas a la planta de procesamiento de SRF son las que se encuentran en la zona de Olavarría (Loma Negra, Cementos Avellaneda), L'Amali, Barker, Sierras Bajas (Loma Negra), todas en la provincia de Bs. As. El resto de las plantas se encuentran en las provincias de Córdoba, Mendoza, Jujuy, San Luis, Catamarca, por una cuestión de cercanía de las mismas con las canteras que proveen la materia prima para la elaboración de cemento.

En el caso que los principales clientes se concentren en la región noroeste del país, el costo logístico representaría un gasto muy importante a tener en cuenta.

4.8.3 Generación de Electricidad

Argentina genera electricidad a través de plantas a combustible fósiles (64%), centrales hidroeléctricas (33%) y centrales nucleares (3%). La generación mediante energía eólica se considera despreciable frente al resto, ya que si bien Argentina es uno de los mayores productores de electricidad mediante energía eólica de Latinoamérica, la capacidad instalada actual es de solamente 26,6 MW.

Los generadores se dividen en ocho regiones: Cuyo (CUY), Cómale (COM), Noroeste (NOA), Centro (CEN), Buenos Aires/Gran Buenos Aires (GBA-BAS), Litoral (LIT), Noreste (NEA) y Patagona (PAT).

A Febrero de 2009, la potencia instalada en la Argentina por empresa de generación y por región es la siguiente:

EMPRESA	TV	TG	CC	DI	TER	NU	HID	TOTAL
ENDESA (*)	1,131	72	1,971	0	3,174	0	1,380	4,554
ESTADO	0	0	0	0	0	1,005	2,985	3,990
SADESA	1,099	188	1,172	0	2,459	0	1,400	3,859
AES	650	521	845	0	2,016	0	1,261	3,277
PAMPA	881	475	0	0	1,356	0	630	1,986
EPEC	200	297	0	0	497	0	918	1,415
FONINVEMEM	0	0	1,125	0	572	0	0	1,125
PLUSPETROL	0	232	828	0	1,060	0	0	1,060
PETROBRAS	0	0	674	0	674	0	285	959
DUKE	0	16	80	0	96	0	472	568
ENARSA	0	61	0	252	313	0	0	313
OTROS	477	1,039	792	4	2,270	0	827	3,097
TOTAL	4,438	2,901	7,487	256	14,487	1,005	10,158	26,203

(*) incluye Dock Sud

REGION	TV	TG	CC	DI	TER	NU	HID	TOTAL
GBA-LI-BAS	3,857	674	5,413	102	9,493	357	945	11,348
COMAHUE	0	578	741	0	1,319	0	4,647	5,966
CTRO	200	417	68	25	710	648	918	2,276
NOA	261	880	828	61	2,030	0	221	2,251
NEA	0	26	0	68	94	0	2,040	2,134
CUYO	120	90	374	0	584	0	868	1,452
PATAGONICA	0	236	63	0	257	0	519	776
TOTAL	4,438	2,901	7,487	256	14,487	1,005	10,158	26,203

Tabla 4.25 Potencia instalada por tipo y región conectadas al sistema eléctrico argentino

Por el aumento de la demanda, derivado del crecimiento económico y las tarifas baratas, y la insuficiente expansión del sistema eléctrico, se utilizaron grandes cantidades de combustibles líquidos que por el aumento del precio internacional del crudo, dispararon los costos de generar energía eléctrica en Argentina. Esto derivó en importantes subsidios del estado hasta el año 2008.

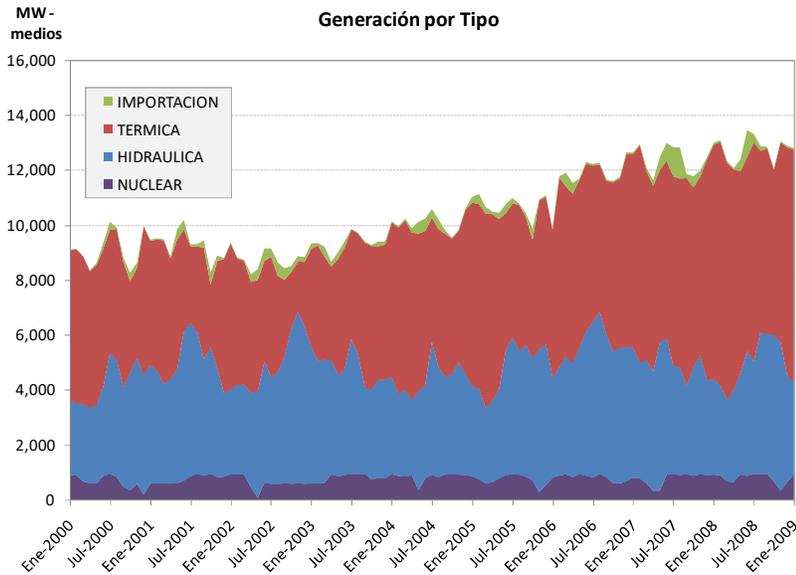


Figura 4.27 Generación total por tipo. Se observa un crecimiento de la generación de un 7% anual, con una creciente participación de la energía térmica.

La energía eléctrica abastecida creció hasta un 7% anual desde 2003, siendo 2004 y 2006 los años que presentaron mayores crecimientos: 8.5% y 11% respectivamente. Dado que en los últimos años no se instaló nueva capacidad de generación, dicho aumento en la generación implicó el aumento del factor de utilización del parque generador y el uso de máquinas progresivamente menos eficientes. Durante los últimos años la generación térmica absorbió el crecimiento de la demanda, aumentando el consumo de combustibles líquidos y gas.

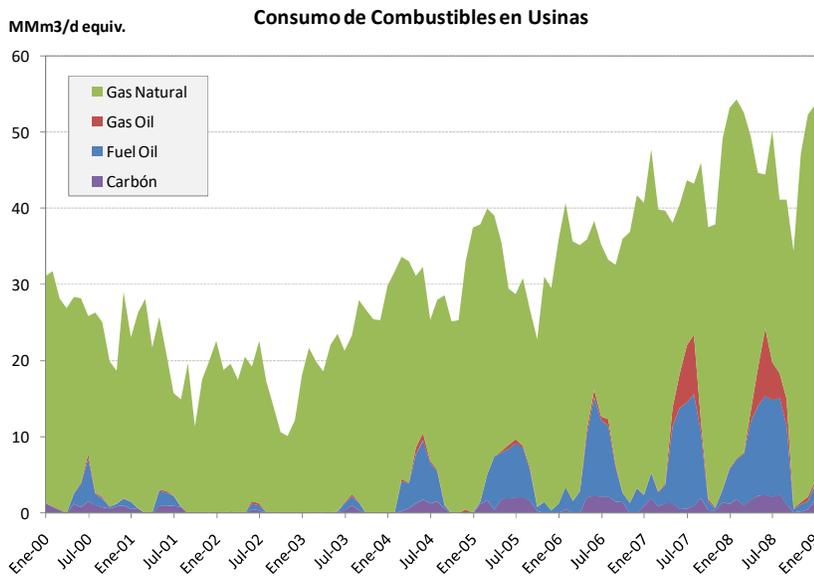


Figura 4.28 Consumo de combustibles en usinas. Se observa el aumento del consumo total de combustibles, y el aumento de la participación de los combustibles alternativos al gas.

El consumo de combustibles líquidos aumenta de manera sostenida desde el año 2003, cuando se consumieron en promedio 0.5 MMm³/d equivalentes de combustibles alternativos. En el año 2008 se consumió en promedio 11.3 MMm³/d equivalentes, con un máximo mensual de 24.3 MMm³/d en junio.

En 2008 el consumo de todos los combustibles aumentó un 12% respecto del año 2007, de 42 a 47 MMm³/d equivalentes (fueoil + 24%, Gasoil + 15%; gas natural + 9%; carbón + 35%).

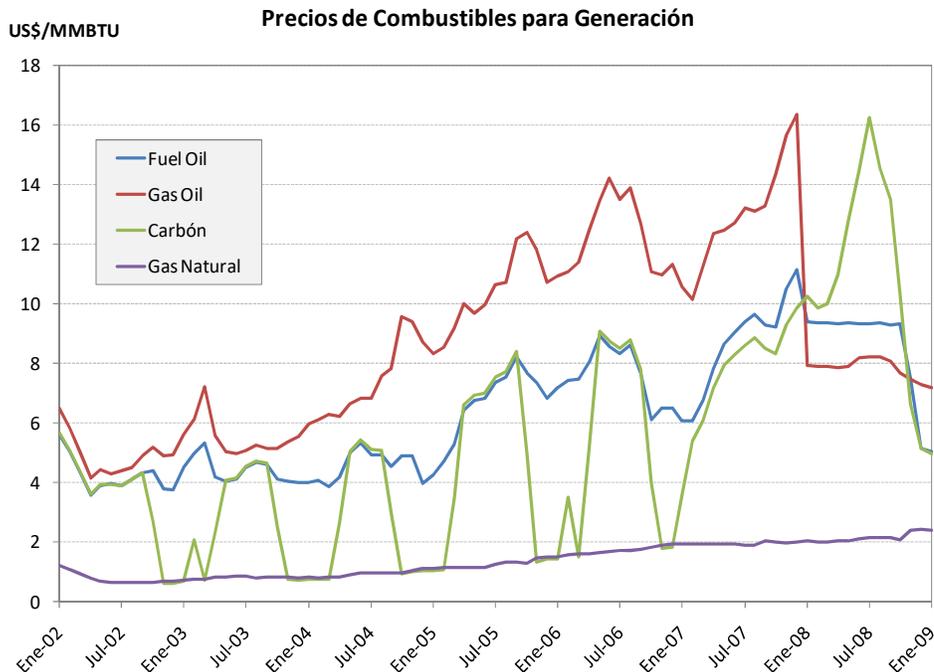


Figura 4.29 Precios de combustibles para generación. Se observa el aumento histórico del precio de los combustibles hasta 2007, la limitación de los mismos debido a las retenciones a la exportación en 2008, y la disminución de dichos precios producto de la crisis internacional a finales de 2008.

Los precios del gasoil y el fueoil para la generación de energía eléctrica reconocidos por CAMMESA⁵ siguieron los valores internacionales (import parity) hasta el año 2008. Durante el año 2008, con el aumento a las retenciones de los combustibles, los refinadores encontraban más conveniente la venta del combustible a las usinas (a quienes les reconocían el precio internacional del combustibles) que al mercado interno o la exportación. Para corregir esto, CAMMESA fijó como precios máximos de referencia valores relacionados con el precio export parity de los combustibles, luego de retenciones.

En el caso del gas, los precios de gas para usinas aumentaron en el 2008 cerca de un 20% respecto del 2007. La mayor parte de dicho aumento de precios se dio durante los últimos 2 meses del 2008.

⁵ CAMMESA: Compañía Administrador del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima, es la compañía encargada del despacho de electricidad en Argentina
Solución Propuesta
Matías Fraire

Además del problema de los costos, se tiene el de la necesidad de fuentes de energía, debido a la disminución de las reservas de los recursos no renovables. Este hecho se ve potenciado en nuestro país por el crecimiento económico del mismo y la falta de inversión en infraestructura por parte del sector energético. Si bien el agotamiento de los recursos no renovables no es inminente, es un tema de constante discusión pensando en el futuro. Sin embargo, sin ir demasiado lejos, la falta de recursos para la producción de energía eléctrica en nuestro país se puso en manifiesto durante el año 2007. En el invierno de ese mismo año, la llegada del frío impactó significativamente al sistema energético. Exceso de demanda, escasas inversiones y escasez de la oferta llevaron al gobierno a tomar medidas restrictivas en cuanto al consumo de electricidad por las principales industrias de nuestro país. A modo de evitar el desabastecimiento a nivel general en el consumo, el gobierno restringió la utilización de electricidad, comprometiendo sobre todo a la producción industrial, el motor de crecimiento del país.

En un contexto en el cual el precio de los combustibles son altos – por más que el precio del barril de petróleo este significativamente bajo respecto a años anteriores, la economía se encuentra constantemente expuesta a subas –, se tiene una necesidad creciente de energía para soportar el crecimiento y el agotamiento a largo plazo de los recursos no renovables, los SRF aparecen como una alternativa aceptable en términos de costos y disponibilidad.

Al igual que para la industria cementera, el consumo de combustibles fósiles en comparación con la cantidad anual a comercializar de SRF es mucho mayor, por lo cual a un precio competitivo del SRF no habría problemas de demanda del producto.

4.8.4 Estimación de la demanda

Como clientes potenciales se han analizado el tamaño de dos grandes mercados: la producción de cemento y la generación de electricidad a partir de combustibles fósiles. En el primer caso se ha visto que en los últimos 10 años se registró un consumo promedio de combustible fósil (mayoritariamente carbón) para la producción de cemento 3.500.000 toneladas. En el segundo caso, estamos hablando de un tamaño de mercado aún más grande.

La planta que se propone instalar tiene como objetivo generar 96.000 toneladas por año, con lo cual para el primer mercado se está hablando de acaparar un 2,86% del mercado promedio de los últimos de 10 años, y para el segundo caso una participación aún menor.

Teniendo en cuenta que se trata de un combustible novedoso, dado que por su carácter de combustible alternativo es algo que no se realiza frecuentemente en el país; las ventajas económicas que su uso puede implicar a través de los créditos de carbón, su contribución al medio ambiente; el impacto social que implica para una empresa utilizar “energía limpia”; sumado a algún tipo de estrategia comercial que se desarrolle (por ejemplo un contrato con el gobierno de la ciudad para aprovisionar alguna planta de generación de electricidad), la demanda del producto se estima que será absoluta. Esto implica que será capaz de vender todo el combustible alternativo SRF que se produzca en el plazo que se lleve adelante el proyecto (no menos de 10 años).

4.8.5 El proveedor de la Tecnología

Existen diversos proveedores que se dedican al desarrollo y emplazamiento de este tipo de tecnologías. Uno de ellos es la empresa de origen finlandés BMH Enviro, una división de BMH Technology Oy. Algunos ejemplos de plantas desarrolladas con éxito son:

- Sita Poland, en Katowice, Polonia
- Lassila & Tikanoja Oyj., en Turku, Finlandia
- Sorain Cecchini Spa., en Roma, Italia

Otro conocido proveedor es la empresa de origen italiano Entosorga, quienes han desarrollado este tipo de plantas en Italia, España y Europa del Este

Los proveedores de la tecnología se encargan del envío de materiales, construcción de la planta y soporte técnico una vez que la misma esté en operación.

4.8.6 Determinación del precio y Estrategia Comercial

Dado que el producto en cuestión es un sustituto directo del carbón, en una primera instancia el precio se determina a partir de una relación directa entre los poderes caloríficos y el precio del carbón:

Poder calorífico:

Carbón	25	MJ/kg
SRF	16,3	MJ/kg

Sustituciones:

1 TN de carbón	1,5	SRF
----------------	-----	-----

Por lo tanto, si se toma el precio de la tonelada de carbón vigente a julio de 2009:

1 ton Carbón → 225 u\$s
Solución Propuesta
Matías Fraire

1 ton SRF → 225 u\$s / 1,5

De esta forma el precio que se determina para la tonelada de SRF es de: **150 u\$s / ton.**

Este precio corresponde al precio final sin IVA en la planta, es decir, no se incluye el costo de transporte al punto de consumo, por lo que se asume que ese gasto está a cargo del cliente final.

Sin embargo, esta determinación del precio debe ir acompañada por una estrategia comercial acorde al tipo de producto y su madurez en el mercado. Por tratarse de un combustible alternativo novedoso, no sería razonable que ingrese en el mercado con un precio de venta comparable (en términos relativos) con el precio del carbón. En primer lugar, como ya se mencionó, porque se trata de un producto nuevo. En segundo lugar, probablemente no todos los potenciales clientes puedan consumirlo ya que no se trata de un sustituto perfecto en su totalidad. Es posible que se tenga que hacer una adaptación en el proceso para poder quemar este combustible alternativo en lugar del carbón.

Se debe generar entonces, un incentivo para que el cliente decida consumirlo. Este incentivo es generado posicionando el producto en un precio muy por debajo de la tonelada de carbón, de manera tal que el producto no sea atractivo solamente por el hecho de utilizar un producto cuyo impacto al medio ambiente es menos nocivo que el carbón, sino que además pueda generar un ahorro en sus costos. Este último punto es muy importante, ya que adicionalmente se debe considerar que el cliente tiene que afrontar el costo de transportar el producto hacia su punto de consumo. Por lo tanto, el precio seleccionado debe ser tal que, incluyendo los costos de transportes, siga representando un ahorro considerable para el cliente.

Para ello se realizó un análisis de sensibilidades teniendo en cuenta el precio (sin IVA) y el costo de transporte desde la planta de producción a distintas distancias del punto de consumo, dado que los costos de transporte se miden en **u\$s / ton . km.**

Suponiendo que la distancia de transportar carbón es la misma que la distancia de transportar combustible alternativo SRF hacia el punto de consumo, los costos de transportes serán más elevados debido a que se necesitará transportar más cantidad de SRF para equiparar lo que se consumiría de carbón, por la diferencia de poderes caloríficos (se recuerda que se necesitan 1,5 toneladas de SRF para aportar la misma energía que 1 tonelada de carbón). Este razonamiento resulta del siguiente análisis:

Comb.	Ton. Combustible	u\$s / ton.	Costo Comb. (u\$s)	Costo Transporte	Costo Total
Carbón	100	225	22.500	$100 \cdot 0,042 \cdot X = 4,2 \cdot X$	$22.550 + 4,2 \cdot X$
SRF	150	150	22.500	$150 \cdot 0,042 \cdot X = 6,3 \cdot X$	$22.550 + 6,3 \cdot X$

Tabla 4.26 Análisis realizado para la determinación del precio

Siendo X la distancia en kilómetros que se debe recorrer para transportar el producto y el costo medio aproximado por kilómetro en u\$s , si se supone que esa distancia es de 1.000 Km., transportar la cantidad necesaria de SRF es un 33% más caro que transportar carbón. Si se analiza el costo total para un consumidor, tenemos para este ejemplo que:

- Carbón → Costo total: 26.700 u\$s
- SRF → Costo total: 28.800 u\$s

Es decir, adquirir el equivalente de carbón en combustible alternativo SRF es un 7% más costoso. De esta forma queda demostrado el razonamiento comentado más arriba: se debe generar un incentivo, a través de la determinación del precio, para que el producto resulte atractivo a los potenciales consumidores.

Tampoco será suficiente reducir el precio de venta en un 7%. De esa forma, solamente se estaría igualando a la oferta de carbón, y además, ese porcentaje puede tener una variabilidad de acuerdo a la distancia (teniendo en cuenta que las distancias pueden fluctuar de acuerdo al cliente, y que el carbón no se transporta desde el mismo punto geográfico donde está ubicada la planta de SRF).

Teniendo en cuenta la variabilidad que puede existir en cuanto a la distancia desde la planta de producción al punto de consumo y la posible adaptación en su proceso que pueda tener que realizar el cliente, se debe adoptar un precio común a todos, en el que a pesar de los costos incurridos resulte más rentable utilizar el combustible SRF que el carbón.

Por lo tanto, el precio adoptado que se alinea con esta estrategia comercial es de **60 u\$s / ton.**

En cuanto al precio a considerar para la venta de los metales recuperados en el proceso, se trabaja con el valor de referencia existente en el mercado de reciclaje. Este precio es **100 u\$s/ton.**

4.8.7 Análisis del precio a futuro

Como se estableció en la sección anterior, el combustible alternativo SRF será comercializado como sustituto del carbón. Por ello, resulta importante comprender los movimientos en el precio del mismo, de manera de poder anticipar su comportamiento a futuro y evaluar de qué manera afectará al precio futuro del combustible alternativo SRF.

El carbón es un *commodity* comercializado mundialmente, y la variación de su precio es el resultado de una variedad de factores. Sin embargo, los factores más importantes son la oferta y la demanda. El carbón constituye una fuente primaria de energía para la producción de electricidad y aceros. Estas industrias actúan como activadoras de la demanda y oferta.

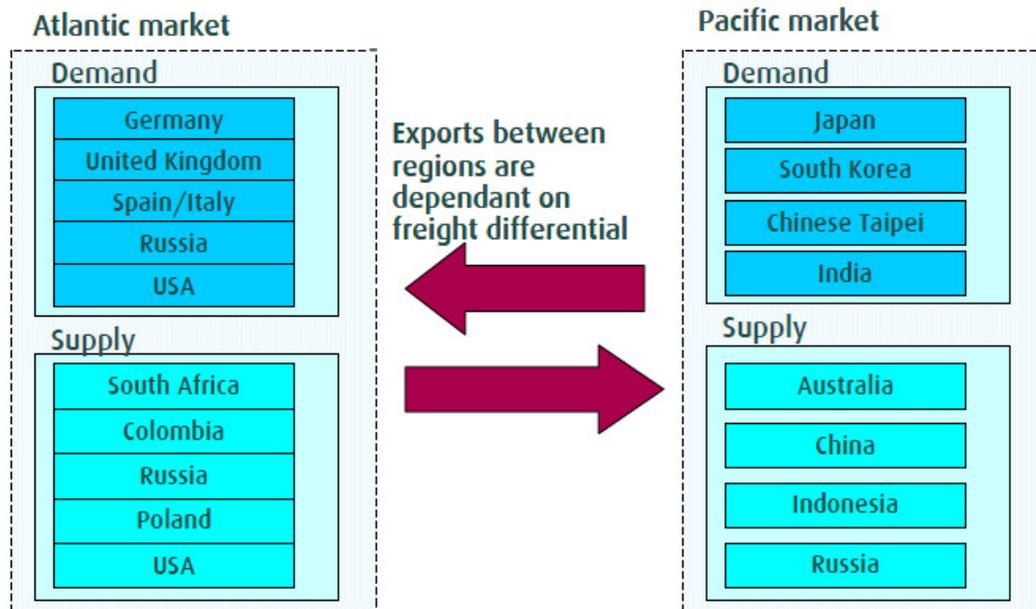


Figura 4.30 Exportaciones de carbón entre regiones

Las exportaciones entre ambos mercados dependen de los diferenciales de fletes.

Alrededor del 70% del carbón (a nivel global) es utilizado para producción de electricidad. Sin embargo, en esta industria compete con otros recursos como el gas, plantas nucleares, centrales hidroeléctricas, etc., por lo que la demanda de ve afectada según la variación en la demanda y disponibilidad de los otros recursos contra los que compete.

El carbón cumple con el 24% de los requerimientos globales de recursos energéticos. Las reservas mundiales son grandes, distribuidas en una variedad de países, y suficientes para satisfacer la demanda actual.

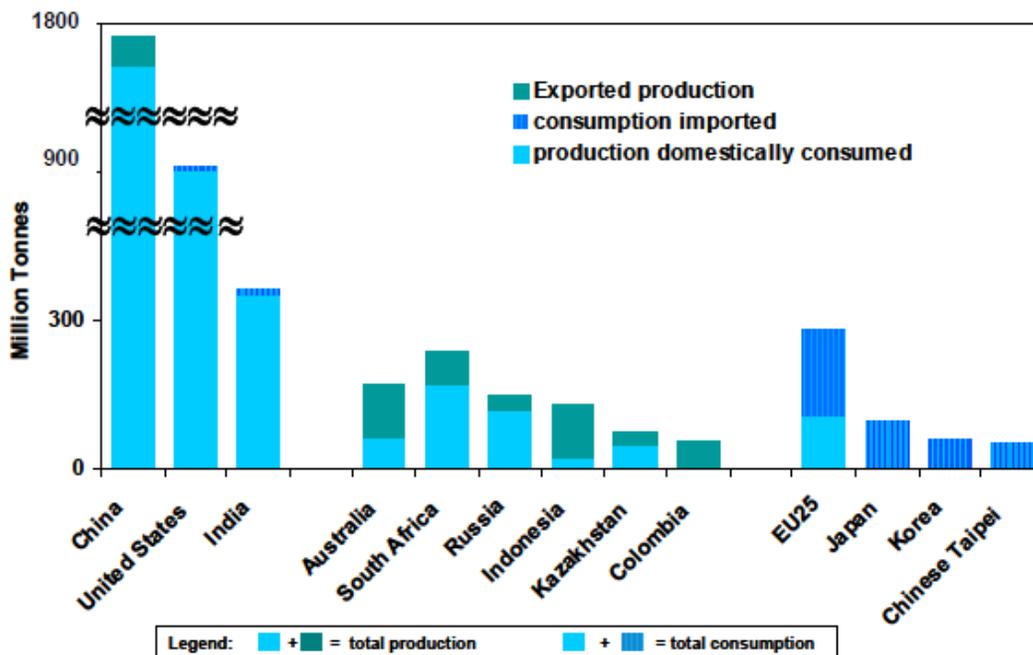


Figura 4.31 Principales países productores y exportadores de carbón mineral

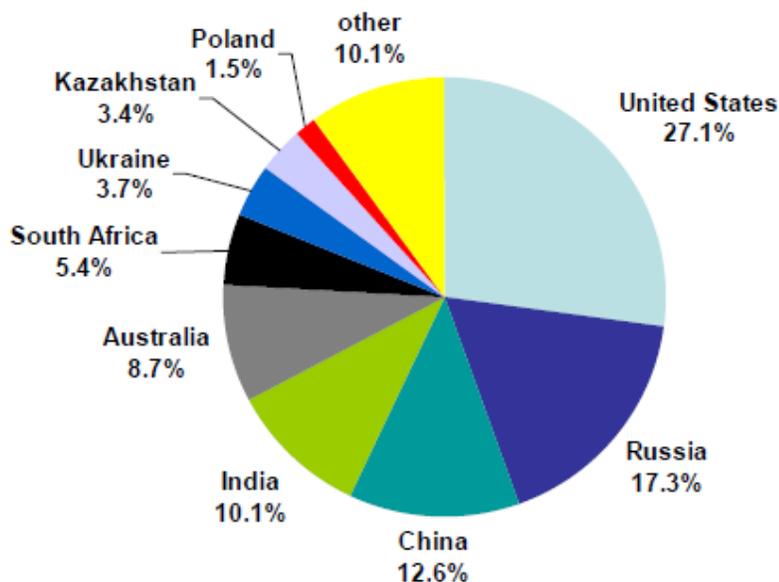


Figura 4.32 Distribución de reservas por país

Diversos modelos estadísticos se utilizan para el análisis de series de tiempo y probar las propiedades de la evolución del precio del carbón. Sobre todo se trabaja con series de precio para Estados Unidos, ya que es el principal productor y por lo

tanto es el que mayor información histórica concentra. De los análisis de series de tiempo realizados (para EE.UU.), se concluye que los precios del carbón tienden a tener propiedades no-lineales y una varianza no constante a través del tiempo. Esto no sorprende, ya que se puede explicar por el descubrimiento de nuevos yacimientos, avances tecnológicos en los procesos de explotación y cambios en las políticas regulatorias. También se concluye que las series tienen efectos asimétricos con respecto a los *shocks* en los precios. Se sugiere que esto es producto de la habilidad de las minas de comenzar una nueva producción relativa a las paradas de producción o cierre de las minas.

En el marco global, el carbón constituye una fuente primaria de energía para la producción de electricidad. A su vez, la electricidad constituye una fuente primaria de energía para la producción de muchos bienes y servicios. La oferta y demanda de carbón depende de factores domésticos propios de cada economía (más que de factores exógenos como sucede para el caso del precio del petróleo). Además, su forma (sólida) y distribución distintas provocan que los precios y la comercialización sean diferentes, por lo que se esperan patrones de series de tiempo distintos a los de otras fuentes de energía.

En la Argentina la tendencia se replica en el sentido que los principales puntos de consumo de esta fuente de energía son la producción de electricidad en primer lugar, y luego la producción de cemento y acero.

A partir de una serie de 96 datos obtenidos de CAMMESA, se intentó realizar un análisis para encontrar una tenencia en el precio a futuro. Esta muestra contiene los precios en dólares por tonelada de carbón desde el mes de abril del año 2002 hasta el mes de marzo del año 2010.

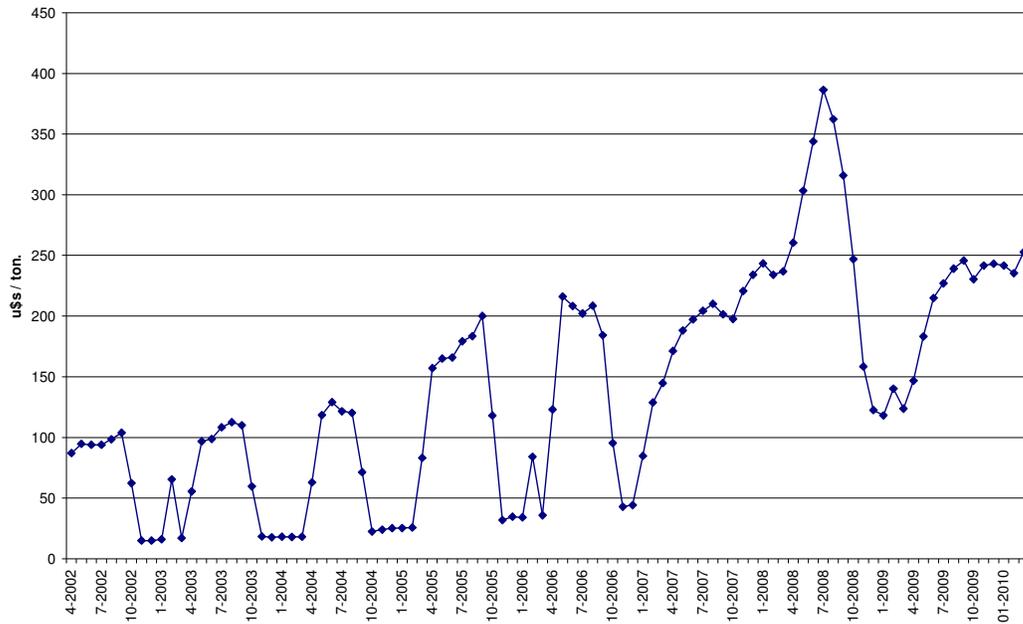


Figura 4.33 Serie de precios del carbón (u\$s)

En un primer análisis se ve una curva muy irregular con subas y bajas pronunciadas en los precios, pero con una tendencia al alza. Las bajas se reflejan en los primeros y últimos meses del año, lo cual denota cierta estacionalidad. Descomponiendo la serie año a año se puede apreciar dicho efecto.

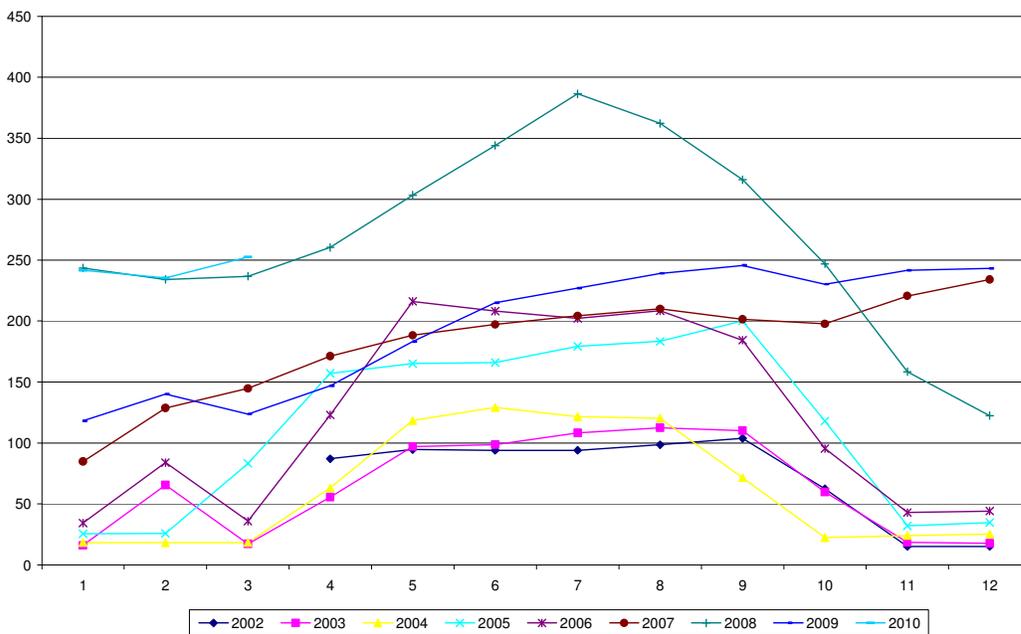


Figura 4.34 Serie de precios del carbón por año (u\$s)

Si se compara la fluctuación del precio por tonelada de carbón con la demanda mensual de electricidad (GWh), teniendo en cuenta que el mayor porcentaje del Solución Propuesta
Matías Fraire

consumo de carbón está destinado a la producción de electricidad, se puede apreciar una leve correlación entre el precio del carbón y la demanda de electricidad para un mismo período.

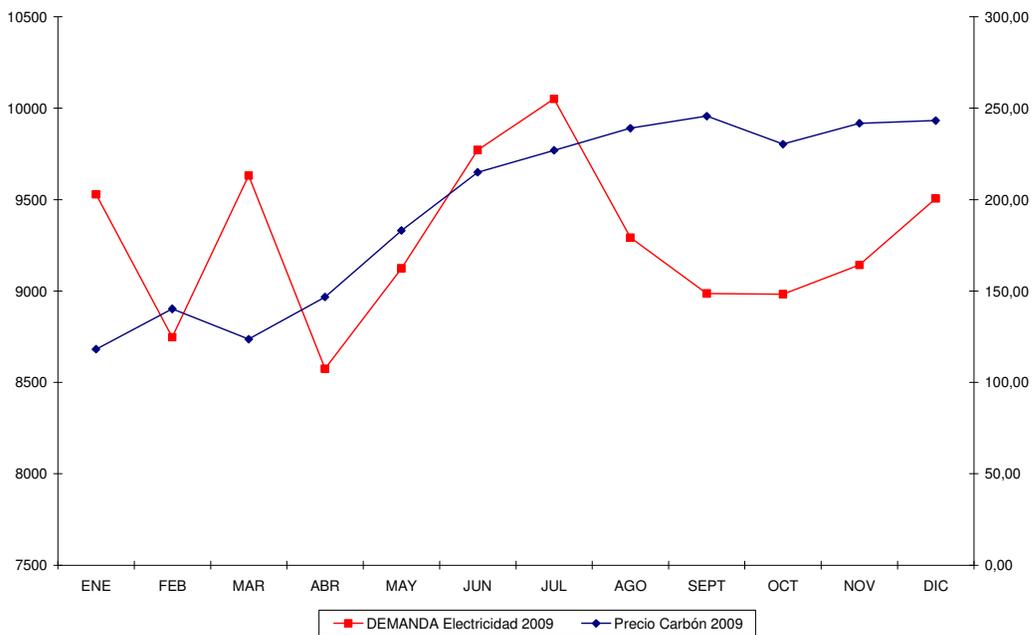


Figura 4.35 Precio del Carbón (u\$s / Ton) vs. Demanda mensual electricidad (Gwh). Año 2009

Esta leve correlación se ve en parte de la curva y no en toda ella, dado que la producción total de electricidad no se basa en el carbón como único recurso según se analizó en secciones anteriores. Sin embargo en parte de ella, se ve como aumentan en conjunto la demanda de electricidad y el precio por tonelada de carbón.

La misma relación se puede apreciar aún mejor cuando se analiza la demanda anual de electricidad (GWh) con el precio promedio por tonelada de carbón para los años 2002-2009.

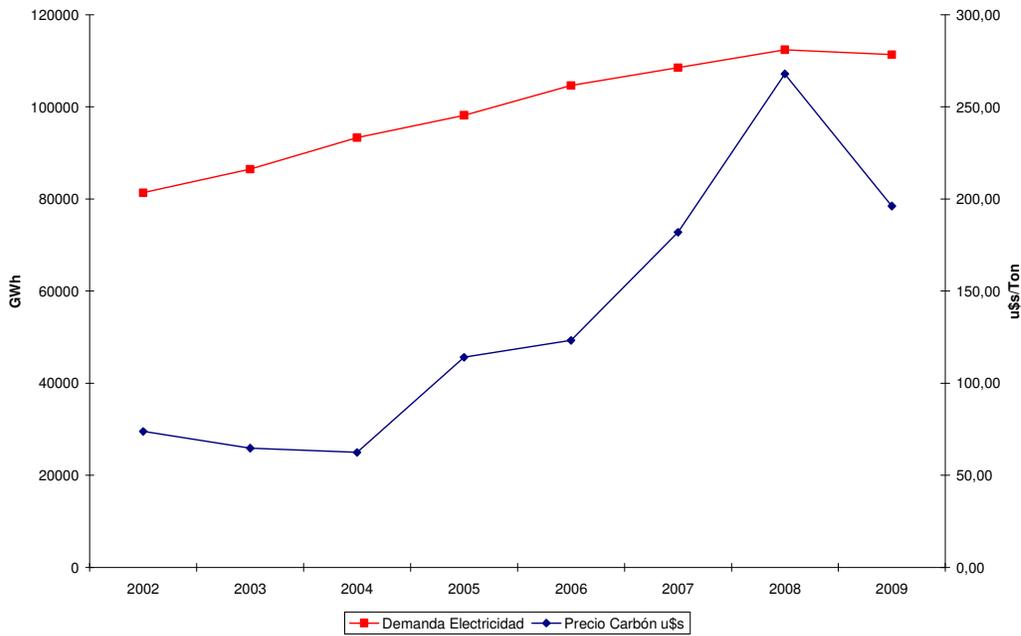


Figura 4.36 Demanda anual electricidad (Gwh) vs. Precio promedio anual carbón (u\$/ton)

Luego con la herramienta *Predictor* del software *Crystal Ball* se analizó la serie para intentar pronosticar el precio del carbón para los primeros 5 años.

En primer lugar determinó la estacionalidad, la cual dio como resultado que la serie tiene una estacionalidad cada 24 períodos, mostrando también su correspondiente auto correlaciones.

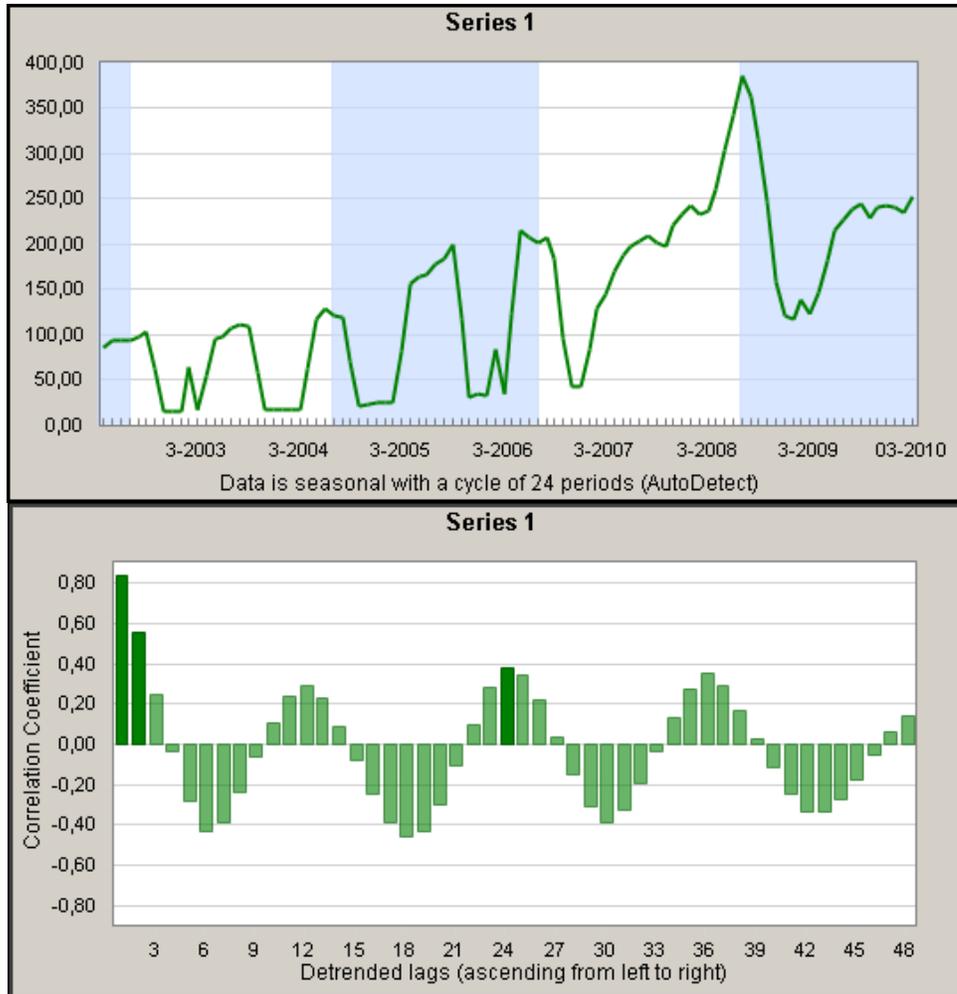


Figura 4.37 Estacionalidad serie de precios

En segundo lugar se realizó el pronóstico del precio para 180 y 360 períodos

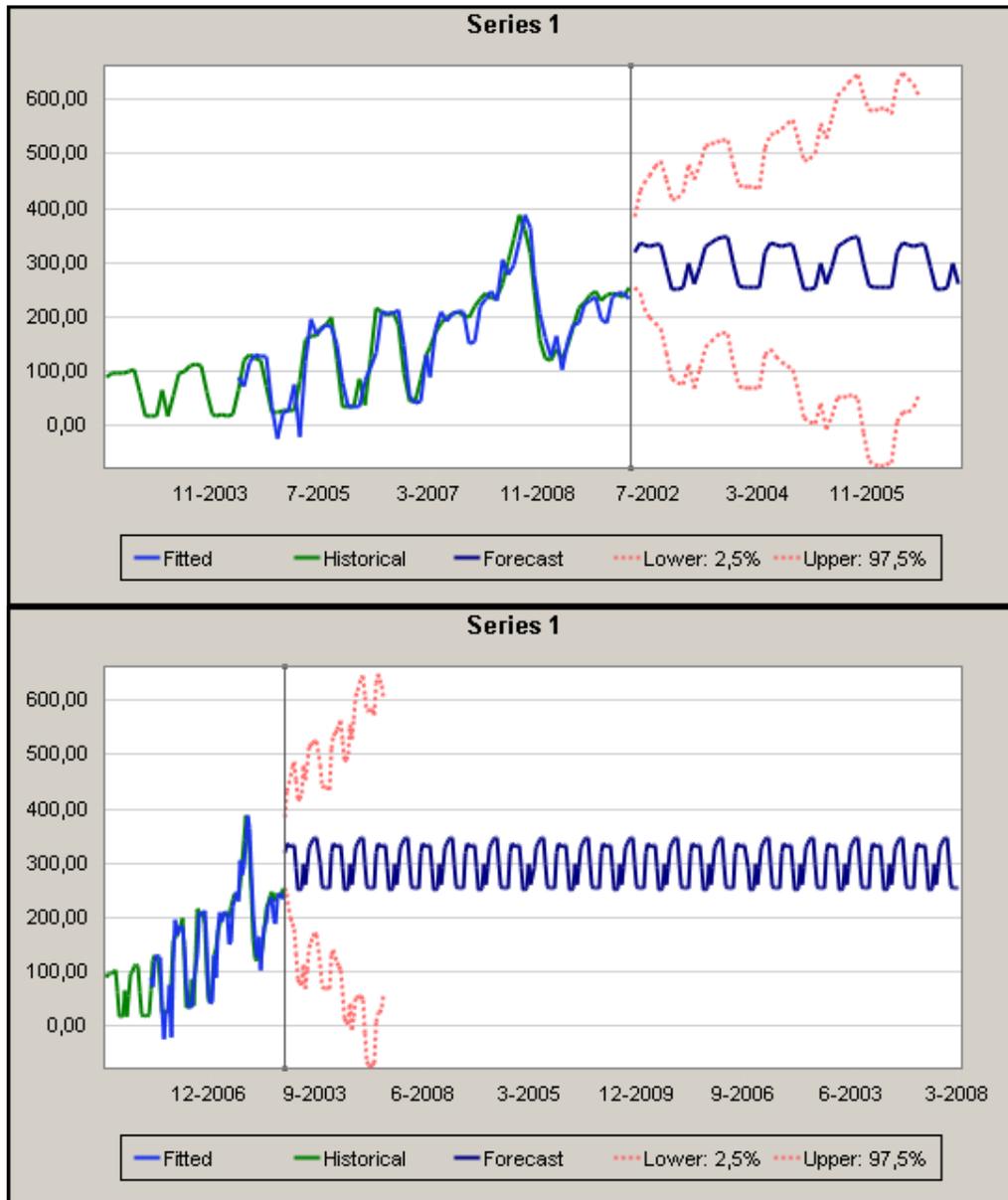


Figura 4.38 Estimación precio del carbón para 180 y 360 periodos (u\$ / Ton.)

La muestra de datos tomada no es suficiente para obtener conclusiones con respecto al comportamiento de precios a futuro.

Sin embargo de todo el análisis realizado se puede concluir que:

- Si bien existe una estacionalidad dentro de cada año, el valor promedio de la tonelada de carbón tiene una tendencia al alza.
- La oferta y la demanda son *drivers* que impulsan las fluctuaciones en el precio. Así se vio que para un aumento del consumo de electricidad anual, el

precio promedio del carbón presento una tendencia a la suba. Lo mismo debería ocurrir para las demás industrias en que es consumido: producción de cemento y producción de acero. Ante el crecimiento del país y su aumento en la producción, se espera una tendencia alcista en la demanda de recursos energéticos manteniéndose los precios en el nivel actual con una disposición a la suba (al menos en el corto plazo, es decir los primeros años del proyecto).

- Adelantos tecnológicos en la extracción facilitan su acceso al consumo, lo cual podría impulsar la demanda provocando así una suba en el precio, o una sobreoferta, generando una baja.
- Ante una demanda constante, la ampliación de la oferta como consecuencia de proyectos en desarrollo, podría producir una baja en el precio.

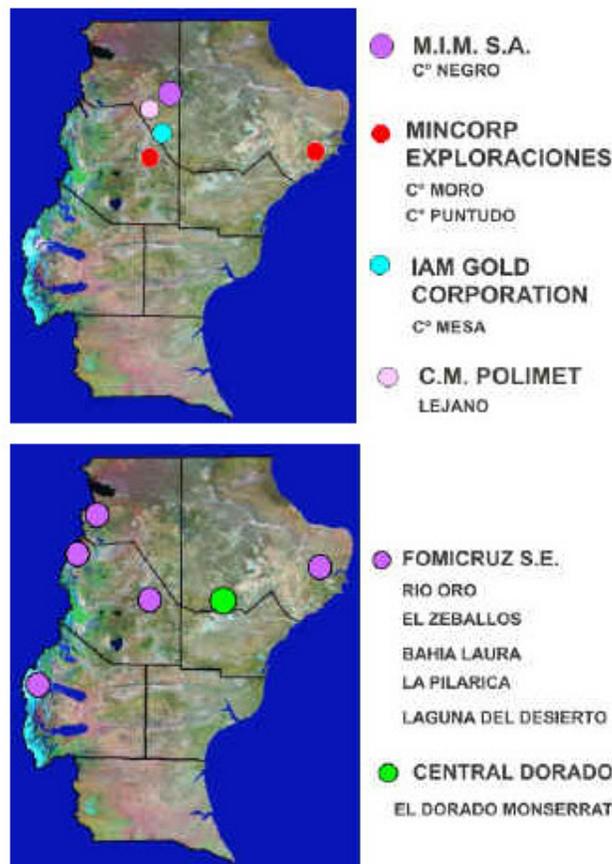


Figura 4.39 Distribución geográfica minas de carbón en Argentina

Por último no se debe dejar de lado un fenómeno que se viene dando en el mundo y que se está convirtiendo en un factor clave en la variabilidad del precio: la regulación de emisiones de CO₂. Tanto en EE.UU. como en la Unión Europea se están fijando políticas bajo las cuales las empresas no pueden arrojar a la atmósfera más de una cierta cantidad de CO₂. Esto impacta directamente en el consumo del carbón y por lo

tanto en su precio, dado que al ser una de las principales fuentes emisoras de dicho gas contaminante, las empresas deben reducir su uso de manera de poder cumplir con dichas regulaciones. Esto tiende a producir una baja en el precio del carbón y por lo tanto en el precio del combustible alternativo SRF, disminuyendo así los ingresos futuros del proyecto.

Sin embargo ante esta situación, considerando que las emisiones producidas por el combustible alternativo SRF son menores que las del carbón mineral, se esperaría una suba en el precio del primero, impactando positivamente en los ingresos del proyecto. Es decir, el combustible alternativo SRF surgiría como un sustituto que permitiría cumplir con normas regulatorias de emisiones, aumentando así su demanda y por lo tanto su precio.

4.9 Análisis Económico / Financiero

El objetivo de la siguiente etapa del trabajo es relacionar todos los puntos tratados y aspectos definidos hasta el momento mediante la incorporación de valores monetarios. Esto permitirá determinar la conveniencia o no de invertir en el proyecto y su factibilidad frente a otras alternativas de inversión en tecnología que aborden la problemática planteada.

Se presentará la estructura del cuadro de resultados y sus principales rubros. Luego se presentará el flujo de fondos del proyecto (sin considerar financiamiento) y el balance pro-forma. Por último se abarcará el cálculo de la tasa de descuento, el valor presente del proyecto, se discutirán posibles alternativas de financiamiento y se analizarán algunos indicadores financieros que permitirán tener una idea de la magnitud del proyecto.

El horizonte temporal considerado para las proyecciones es de 15 años.

4.9.1 Premisas Macroeconómicas

Los números del proyecto serán analizados en moneda local (\$ARS), sin embargo, los flujos relevantes y la valuación del mismo serán expresados en dólares americanos (u\$s). Para ello se considera una proyección del tipo de cambio y un contexto inflacionario.

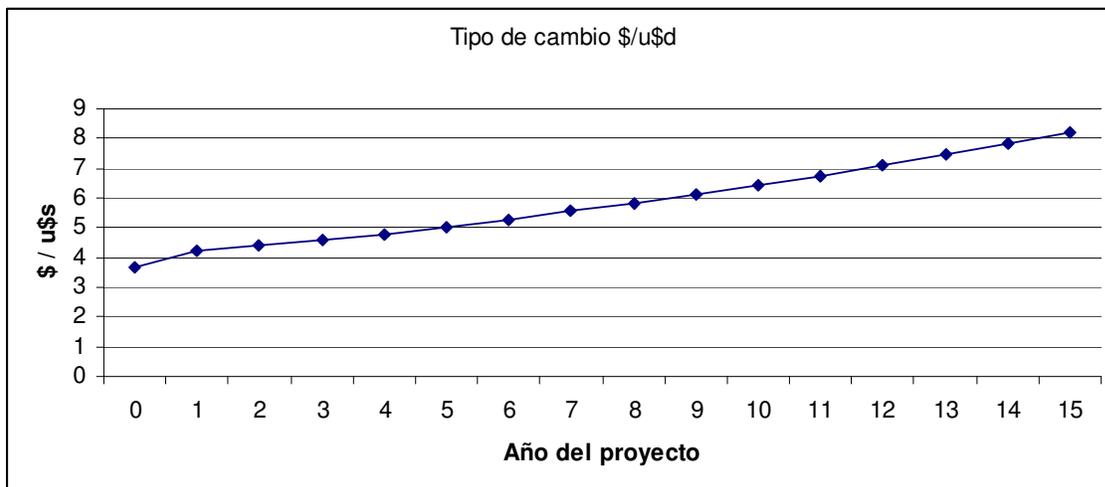


Figura 4.40 Proyección del tipo de cambio \$ / u\$s

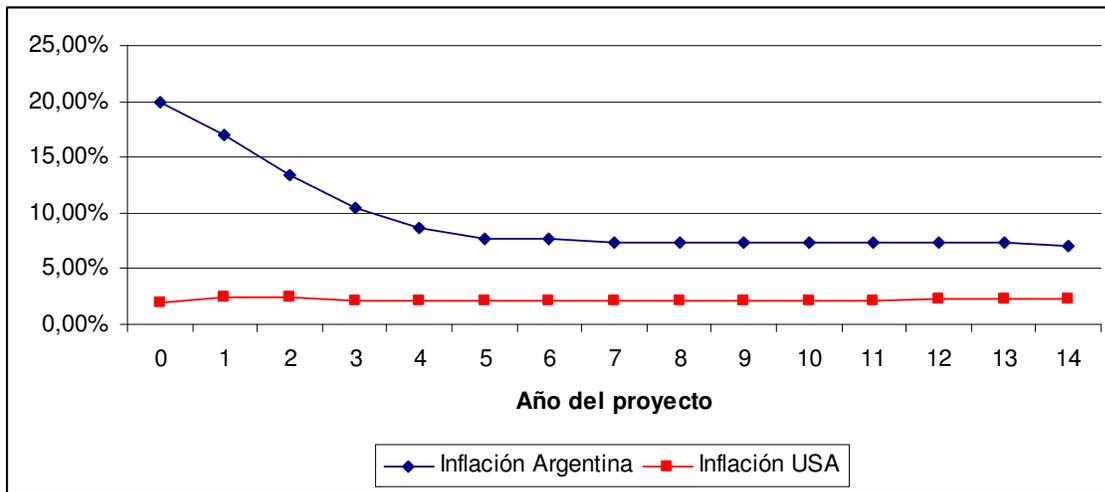


Figura 4.41 Proyección Inflación Argentina vs, Inflación USA

Se trabajó con una proyección del tipo de cambio para 5 años, realizada por la filial local del empresa multinacional PSA PEUGEOT CITROEN ARGENTINA. Las proyecciones de la inflación para Argentina y USA también fueron obtenidas del análisis realizado por la misma empresa, teniendo en cuenta que a largo plazo la inflación en USA se mantendría en un valor estable, mientras que la inflación para Argentina debería converger hacia un nivel menor que el actual.

A partir de la inflación proyectada para Argentina y para USA, teniendo en cuenta la paridad del poder de compra (PPP) se realiza la proyección del tipo de cambio para los restantes 10 años de análisis.

4.9.2 Cuadro de Resultados

La estructura del cuadro de resultados es la siguiente:

INCOME STATEMENT (u\$s)	
Ventas (sales)	
<i>SRF</i>	
<i>Metales</i>	
Costos operativos	
EBITDA	
Amortizaciones	
EBIT	
Intereses (Interest expenses)	
Impuestos y Tasas (Other expenses)	
EBT	
Impuesto a las ganancias → 35% (Income Tax)	
Resultado Neto (Net Income)	

Figura 4.41 Estructura Estado de Resultados

4.9.2.1 Ventas

Los ingresos del proyecto vienen dados por la comercialización de 2 productos: la venta del combustible alternativo SRF y la venta de metales recuperados del proceso. Son el resultado de la cantidad proyectada a producir - la cual como se explicó con anterioridad, debido a las condiciones de mercado y la estrategia comercial a implementar, se podrá vender en su totalidad – por el precio determinado de cada uno. A continuación se presentan los montos en dólares. Más adelante se expondrán dichos valores en moneda local (\$ ARS) en el cuadro de resultados.

Previsión de Ventas –Años:	1 → 15
Ventas totales SRF (u\$s)	5.760.000
Ventas totales Metales (u\$s)	800.000
Total Cobros por Ventas	6.560.000
Total Cobros por Ventas del proyecto	98.400.000

Figura 4.42 Previsión de ventas (u\$s)

Esto corresponde a las ventas totales devengadas por período. Sin embargo las ventas no se perciben en el mismo período que se generan. Se consideran 60 días de crédito, por lo que en lo que respecta a los cobros totales, se percibe un 83% de los mismos en un período, y el 17% restante al período siguiente.

4.9.2.2 Costos operativos

A continuación se presenta la composición del rubro Costos operativos:

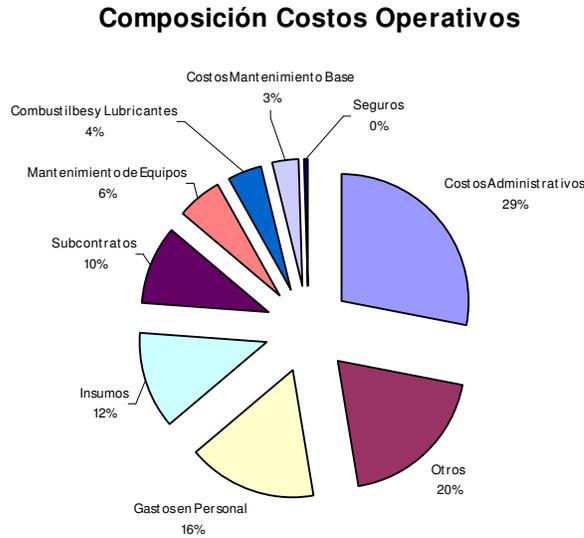


Figura 4.43 Participación de los distintos rubros del costo operativo

El detalle de cada uno de los componentes puede consultarse en la sección de Anexos.

4.9.2.3 Amortizaciones

Los principales rubros se amortizan en los siguientes plazos:

	<i>Vida útil (años)</i>
Infraestructura planta y preliminares	15
Obra Civil	15
Caminos	15
PLANTA (inversión en la tecnología)	15
PALA CARGADORA CAT 950	5
AUTOELEVADOR	7
CAMIONETA	6
HIDROLAVADORA A VAPOR	4
HIDROLAVADORA AGUA FRIA	4
Muebles y Equipos Técnicos Oficina	15
Inversiones en Manejo, Control Ambiental y Seguridad	15
Imprevistos	15

Tabla 4.27 Plazos de amortización por rubro

4.9.2.4 Impuestos y Tasas

Impuestos considerados:

Impuesto	Alícuota (%)
INGRESOS BRUTOS	3,45%
IMPUESTO AL DEBITO	0,60%
IMPUESTO AL CREDITO	0,40%
PATENTE AUTOMOTOR	71,60%
SEGURIDAD E HIGIENE	0,50%

Tabla 4.28 Alícuotas consideradas por impuesto

4.9.2.5 Cuadro de Resultados del proyecto

INCOME STATEMENT (\$)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Ventas (sales)	27.552.000	28.864.000	30.176.000	31.488.000	32.800.000	34.533.072	36.357.716	38.207.620	
<i>SRF</i>	24.192.000	25.344.000	26.496.000	27.648.000	28.800.000	30.321.722	31.923.848	33.548.154	
<i>Metales</i>	3.360.000	3.520.000	3.680.000	3.840.000	4.000.000	4.211.350	4.433.868	4.659.466	
Costos operativos	-11.117.371	-11.169.788	-10.899.877	-10.693.022	-10.589.555	-10.571.109	-10.667.648	-10.746.114	
EBITDA	16.434.629	17.694.212	19.276.123	20.794.978	22.210.445	23.961.963	25.690.068	27.461.506	
Amortizaciones	-2.310.763	-2.310.763	-2.310.763	-2.310.763	-2.284.963	-2.200.067	-2.282.963	-2.241.499	
EBIT	14.123.865	15.383.449	16.965.359	18.484.215	19.925.482	21.761.896	23.407.105	25.220.007	
Intereses (Interest expenses)	-	-	-	-	-	-	-	-	
Impuestos y Tasas (Other expenses)	-1.373.752	-1.626.227	-1.684.401	-1.742.576	-1.800.750	-1.874.476	-1.954.703	-2.036.540	
Diferencia de cambio generada por pasivos	0	0	0	0	0	0	0	0	
EBT	12.750.114	13.757.222	15.280.958	16.741.639	18.124.732	19.887.419	21.452.402	23.183.466	
Impuesto a las ganancias -35% (Income Tax)	-4.462.540	-4.815.028	-5.348.335	-5.859.574	-6.343.656	-6.960.597	-7.508.341	-8.114.213	
Resultado Neto (Net Income)	8.287.574	8.942.194	9.932.623	10.882.066	11.781.076	12.926.823	13.944.061	15.069.253	

Figura 4.44 Cuadro de Resultados (AR\$) años 0 al 8.

INCOME STATEMENT (\$)	9	10	11	12	13	14	15
Ventas (sales)	40.151.647	42.194.588	44.341.475	46.597.597	48.920.645	51.359.504	53.719.129
<i>SRF</i>	35.255.105	37.048.907	38.933.978	40.914.963	42.954.712	45.096.150	47.168.016
<i>Metales</i>	4.896.542	5.145.681	5.407.497	5.682.634	5.965.932	6.263.354	6.551.113
Costos operativos	-10.848.808	-10.956.728	-11.070.138	-11.189.319	-11.312.441	-11.441.295	-11.524.582
EBITDA	29.302.839	31.237.860	33.271.337	35.408.278	37.608.204	39.918.209	42.194.547
Amortizaciones	-2.282.963	-2.257.163	-2.282.963	-2.282.963	-2.172.267	-2.282.963	-2.282.963
EBIT	27.019.875	28.980.697	30.988.373	33.125.314	35.435.936	37.635.245	39.911.584
Intereses (Interest expenses)	-	-	-	-	-	-	-
Impuestos y Tasas (Other expenses)	-2.122.042	-2.211.893	-2.306.316	-2.405.544	-2.508.052	-2.615.334	-2.720.546
Diferencia de cambio generada por pasivos	-	-	-	-	-	-	-
EBT	24.897.834	26.768.804	28.682.057	30.719.770	32.927.884	35.019.911	37.191.037
Impuesto a las ganancias -35% (Income Tax)	-8.714.242	-9.369.081	-10.038.720	-10.751.920	-11.524.759	-12.256.969	-13.016.863
Resultado Neto (Net Income)	16.183.592	17.399.722	18.643.337	19.967.851	21.403.125	22.762.942	24.174.174

Figura 4.45 Cuadro de Resultados (AR\$) años 9 al 15.

4.9.3 Inversiones

4.9.3.1 Inversiones en Activo Fijo

La inversión total requerida para el proyecto es de **\$ 41.240.976**, la cual es realizada un 96% en el año de inicio del proyecto. Se encuentra integrada por los siguientes rubros:

1) Preparación Infraestructura Planta y Preliminares (\$)	7.317.014
2) Obra Civil (\$)	5.275.113
3) Caminos (\$)	2.528.658
3) Equipamiento (\$)	22.279.715
4) Muebles y Equipos Técnicos Oficina (\$)	341.807
5) Inversiones en Manejo, Control Ambiental y Seguridad (\$)	556.057
6) Imprevistos (\$)	1.148.951

Tabla 4.28 Inversiones en Activo Fijo

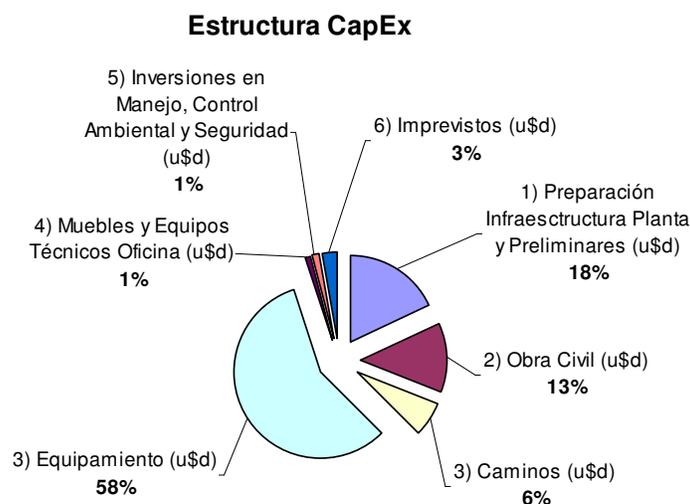


Figura 4.46 Participación de cada rubro sobre la inversión total en Activo Fijo

Se destaca que el 58% de la inversión inicial corresponde al rubro denominado equipamiento, dentro del cual se incluye la inversión en la tecnología de producción, que representa un 95% del total del rubro.

El detalle de cada uno de los rubros puede consultarse en la sección de Anexos.

A continuación se presenta el Cronograma de Inversiones:

Año	0	5	6	8	10	13
Inversión Neta (\$)	39.447.315	124.872	611.595	320.726	124.872	611.595

Tabla 4.29 Cronograma de Inversiones

En el año 0 del proyecto se realiza la inversión más fuerte, compuesta por los rubros definidos en el gráfico anterior. Las inversiones en los años siguientes corresponden la renovación de equipamiento de trabajo, distribuidos de la siguiente forma, de acuerdo a su amortización:

- Palas cargadoras c/ 5 años Se renuevan en los años 6 y 13
- Auto elevadores c/ 7 años Se renuevan en el año 8
- Hidrolavadoras c/ 4 años Se renuevan en los años 5 y 10

Cabe destacar que no se considera inversión en el espacio para el emplazamiento de la planta. Como ya se discutió, el lugar asignado para ello sería en un espacio dentro del predio del complejo ambiental Norte III. Sin embargo, si por algún motivo ello no fuera posible, deberá contemplarse la erogación de dinero para la compra de un terreno, lo cual elevará sustancialmente el monto en inversiones.

4.9.3.2 Inversiones en Activo de Trabajo

El activo de trabajo está conformado por los activos “no fijos” que se necesitan para la operación de la empresa. Los requerimientos son en función del plan de explotación del proyecto y de las políticas definidas:

- Disponibilidad mínima de caja: se considera un 3% sobre el total de ventas
- Créditos por ventas: se trabaja con un crédito de 60 días
- Bienes de cambio: el stock de elaborados no es significativo ya que se considera que se entrega dentro de los 10 días de producción. En lo que respecta a materia prima, la misma está conformada por los RSU que se reciben, los cuales se procesan en el día que son recibidos y sus descartes son conducidos a disposición final en el relleno sanitario. Estas consideraciones hacen que las tenencias en este rubro no resulten significativas en comparación con los otros.

ACTIVO DE TRABAJO (\$)	0	1	2	3	4	5	6	7
DISPONIBILIDAD MINIMA DE CAJA		688.524	859.347	898.707	938.067	977.427	1.027.309	1.081.590
CRÉDITOS POR VENTAS BIENES DE CAMBIO	-	4.601.184	4.820.288	5.039.392	5.258.496	5.477.600	5.767.023	6.071.739
Total Activo de Trabajo	-	5.289.708	5.679.635	5.938.099	6.196.563	6.455.027	6.794.333	7.153.329
Δ Activo de Trabajo		5.289.708	389.926	258.464	258.464	258.464	339.306	358.996

Figura 4.47 Activo de Trabajo (AR\$) año 0 al 7

ACTIVO DE TRABAJO (\$)	8	9	10	11	12	13	14	15
DISPONIBILIDAD MINIMA DE CAJA	1.136.961	1.194.810	1.255.603	1.319.488	1.386.625	1.455.981	1.528.566	1.599.752
CRÉDITOS POR VENTAS BIENES DE CAMBIO	6.380.672	6.705.325	7.046.496	7.405.026	7.781.799	8.169.748	8.577.037	8.971.095
Total Activo de Trabajo	7.517.633	7.900.135	8.302.099	8.724.515	9.168.423	9.625.729	10.105.604	10.570.847
Δ Activo de Trabajo	364.304	382.502	401.964	422.416	443.909	457.305	479.875	465.243

Figura 4.48 Activo de Trabajo (AR\$) año 8 al 15

4.9.4 Balance

Luego de haber definido los ingresos y costos involucrados en el resultado anual del proyecto, es necesario ver su efecto en el estado de situación patrimonial de la empresa. En este punto se define la estructura del balance y se cuantifican los rubros involucrados.

4.9.4.1 Estructura del Balance

Las distintas cuentas que integran la estructura del balance se presentan a continuación en la siguiente tabla.

Activo	Pasivo
Caja	Deudas operativas
Créditos por ventas	Deudas fiscales (I.G.)
Bienes de cambio	Deudas bancarias y financieras
Otros créditos (IVA)	Otras Deudas
Bienes de Uso	Patrimonio Neto
	Capital
	Resultados no asignados

Figura 4.49 Estructura del Balance

Cabe destacar, que a fines prácticos para su exposición, *la cuenta Deudas bancarias y financieras se desdobra en 2: Deudas bancarias y financieras (Principal)* para reflejar el monto de la deuda contraída, y *Deudas bancarias y financieras (Intereses)* para reflejar el monto adeudado en concepto de intereses, ya que como se indicó antes, se adopta como criterio el hecho de pagar los intereses de la deuda al período siguiente en el que fueron devengados.

4.9.4.2 Balance Pro-forma del proyecto

ESTADO DE SITUACIÓN PATRIMONIAL (\$)	0	1	2	3	4	5	6	7
Caja	0	13.688.844	22.803.270	29.101.324	35.633.452	42.243.824	48.897.998	56.319.276
Créditos por ventas	-	4.601.184	4.820.288	5.039.392	5.258.496	5.477.600	5.767.023	6.071.739
Bienes de cambio	-	-	-	-	-	-	-	-
Otros créditos (IVA)	6.758.538	3.529.387	-	-	-	-	-	-
Bienes de Uso	32.688.777	30.378.014	28.067.250	25.756.487	23.445.724	21.263.960	19.617.373	17.334.409
TOTAL ACTIVO	39.447.315	52.197.429	55.690.809	59.897.203	64.337.671	68.985.384	74.282.394	79.725.423
Deudas operativas	-	-	-	-	-	-	-	-
Deudas fiscales (I.G.)	-	4.462.540	4.815.028	5.348.335	5.859.574	6.343.656	6.960.597	7.508.341
Deudas bancarias y financieras (Principal)	-	-	-	-	-	-	-	-
Deudas bancarias y financieras (Intereses)	-	-	-	-	-	-	-	-
Otras Deudas	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL PASIVO	0	4.462.540	4.815.028	5.348.335	5.859.574	6.343.656	6.960.597	7.508.341
Capital	39.447.315	39.447.315	39.447.315	39.447.315	39.447.315	39.447.315	39.447.315	39.447.315
Resultados no asignados	-	8.287.574	11.428.466	15.101.553	19.030.783	23.194.413	27.874.482	32.769.768
Patrimonio Neto (PN)	39.447.315	47.734.889	50.875.781	54.548.868	58.478.098	62.641.728	67.321.797	72.217.083
PASIVO + PN	39.447.315	52.197.429	55.690.809	59.897.203	64.337.671	68.985.384	74.282.394	79.725.423

Figura 4.50 Balance Pro-forma (AR\$) años 0 a 7

ESTADO DE SITUACIÓN PATRIMONIAL (\$)	8	9	10	11	12	13	14	15
Caja	63.875.873	72.069.328	80.608.168	89.665.771	99.202.676	108.631.984	119.020.622	129.909.537
Créditos por ventas	6.380.672	6.705.325	7.046.496	7.405.026	7.781.799	8.169.748	8.577.037	8.971.095
Bienes de cambio	-	-	-	-	-	-	-	-
Otros créditos (IVA)	-	-	-	-	-	-	-	-
Bienes de Uso	15.383.160	13.100.197	10.946.233	8.663.270	6.380.306	4.761.519	2.478.555	195.592
TOTAL ACTIVO	85.639.706	91.874.850	98.600.897	105.734.067	113.364.781	121.563.250	130.076.215	139.076.224
Deudas operativas	-	-	-	-	-	-	-	-
Deudas fiscales (I.G.)	8.114.213	8.714.242	9.369.081	10.038.720	10.751.920	11.524.759	12.256.969	13.016.863
Deudas bancarias y financieras (Principal)	-	-	-	-	-	-	-	-
Deudas bancarias y financieras (Intereses)	-	-	-	-	-	-	-	-
Otras Deudas	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL PASIVO	8.114.213	8.714.242	9.369.081	10.038.720	10.751.920	11.524.759	12.256.969	13.016.863
Capital	39.447.315	39.447.315	39.447.315	39.447.315	39.447.315	39.447.315	39.447.315	39.447.315
Resultados no asignados	38.078.178	43.713.293	49.784.501	56.248.032	63.165.547	70.591.176	78.371.931	86.612.046
Patrimonio Neto (PN)	77.525.493	83.160.608	89.231.816	95.695.347	102.612.862	110.038.491	117.819.246	126.059.361
PASIVO + PN	85.639.706	91.874.850	98.600.897	105.734.067	113.364.781	121.563.250	130.076.215	139.076.224

Figura 4.51 Balance Pro-forma (AR\$) años 8 a 15

4.9.5 Flujo de Fondos (FCF)

Tomando todas las consideraciones y datos presentados hasta el momento, se procede al armado del flujo de fondos del proyecto. Para la construcción del mismo, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- No se consideran créditos comerciales. Las ventas son percibidas en el mismo período en que se devengan.
- Los costos operativos se pagan en el mismo período que se devengan.
- El impuesto a las ganancias se paga en el período siguiente al que fue devengado.
- El impuesto al valor agregado (IVA) se paga en el mismo año que se devenga. El detalle de los pagos de IVA realizados al fisco se puede ver en la sección *Anexos*.
- En el caso de contraer deuda bancaria, los intereses se pagan al período siguiente de ser devengados. De todas formas, el flujo de fondos de la deuda no es parte de flujo de fondos libre del proyecto

CASH FLOWS (\$)	0	1	2	3	4	5	6	7
Ingresos por ventas		22.950.816	28.644.896	29.956.896	31.268.896	32.580.896	34.243.649	36.053.001
<i>SRF</i>		20.151.936	25.151.616	26.303.616	27.455.616	28.607.616	30.067.595	31.656.293
<i>Metales</i>		2.798.880	3.493.280	3.653.280	3.813.280	3.973.280	4.176.055	4.396.707
Costos operativos		-11.117.371	-11.169.788	-10.899.877	-10.693.022	-10.589.555	-10.571.109	-10.667.648
I.V.A.	-6.758.538	3.229.151	3.529.387	-	-	-	-	-
Impuesto a las ganancias (I.G.)		-	-4.462.540	-4.815.028	-5.348.335	-5.859.574	-6.343.656	-6.960.597
Otros impuestos y tasas		-1.373.752	-1.626.227	-1.684.401	-1.742.576	-1.800.750	-1.874.476	-1.954.703
Flujo de Fondos Operativo	-6.758.538	13.688.844	14.915.728	12.557.590	13.484.964	14.331.018	15.454.408	16.470.053
Inversiones (Capex)	-32.688.777	-	-	-	-	-103.200	-553.480	-
Venta de inversiones	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo de Fondos Libre (FCF)	-39.447.315	13.688.844	14.915.728	12.557.590	13.484.964	14.227.818	14.900.928	16.470.053

Figura 4.52 Flujo de Fondos Libre (AR\$) años 0 a 7

CASH FLOWS (\$)	8	9	10	11	12	13	14	15
Ingresos por ventas	37.898.686	39.826.995	41.853.417	43.982.945	46.220.825	48.532.696	50.952.214	53.325.072
<i>SRF</i>	33.276.895	34.970.044	36.749.342	38.619.171	40.584.139	42.614.074	44.738.530	46.822.014
<i>Metales</i>	4.621.791	4.856.951	5.104.075	5.363.774	5.636.686	5.918.621	6.213.685	6.503.058
Costos operativos	-10.746.114	-10.848.808	-10.956.728	-11.070.138	-11.189.319	-11.312.441	-11.441.295	-11.524.582
I.V.A.	-	-	-	-	-	-	-	-
Impuesto a las ganancias (I.G.)	-7.508.341	-8.114.213	-8.714.242	-9.369.081	-10.038.720	-10.751.920	-11.524.759	-12.256.969
Otros impuestos y tasas	-2.036.540	-2.122.042	-2.211.893	-2.306.316	-2.405.544	-2.508.052	-2.615.334	-2.720.546
Flujo de Fondos Operativo	17.607.691	18.741.932	19.970.554	21.237.409	22.587.242	23.960.283	25.370.826	26.822.974
Inversiones (Capex)	-290.250	-	-103.200	-	-	-553.480	-	-
Venta de inversiones	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo de Fondos Libre (FCF)	17.317.441	18.741.932	19.867.354	21.237.409	22.587.242	23.406.803	25.370.826	26.822.974

Figura 4.53 Flujo de Fondos Libre (AR\$) años 7 a 15

4.9.6 Tasa de Descuento

Con el objetivo de asignar un valor al proyecto se adopta la metodología del flujo de fondos descontado. Una vez que fueron determinados los flujos relevantes del proyecto, se procede a determinar una tasa que permita descontar el flujo de fondos del proyecto y llevarlo al valor presente. Dicha tasa debe asegurar una rentabilidad mínima que compense el costo de oportunidad de los accionistas y prestamistas del proyecto.

Para ello se trabaja con la tasa conocida como *WACC (Weighted Average Cost of Capital)* la cual representa una medida de la rentabilidad mínima que se le exige al proyecto según el perfil de riesgo que adopte. Corresponde a la rentabilidad que el accionista le exigirá al proyecto para renunciar a un uso alternativo de esos recursos en proyectos con perfiles de riesgo similares.

El propósito de utilizar esta tasa de descuento es evaluar si el valor presente del retorno esperado del proyecto es suficiente para cubrir la totalidad de la inversión inicial, los egresos de la operación, los intereses de la deuda, y la rentabilidad que el accionista le exige a su propio capital invertido.

El cálculo de la tasa consiste en un promedio ponderado de los costos relativos de cada una de las fuentes de financiación. La fórmula utilizada es la siguiente:

$$WACC = K_d \times \frac{D}{D+P} + K_e \times \frac{P}{D+P} \quad (4.1)$$

Donde K_d representa el costo de la deuda y K_e corresponde al costo de capital propio; D se refiere al monto contraído de deuda, y P , al monto de capital propio invertido por los accionistas. De esta forma los cocientes representan la proporción de deuda sobre los activos totales, y la proporción de capital sobre los activos totales.

4.9.6.1 Costo de la deuda (K_d)

El costo de la deuda es equivalente a la tasa de interés a la que se obtiene la deuda para financiar el proyecto. Al endeudarse los intereses del préstamo se deducen de la utilidad económica disminuyendo el monto de impuesto a las ganancias (IG) a ganar. Por lo tanto el costo real de la deuda después de impuestos resulta ser:

$$K_d = i \times (1 - IG) \quad (4.2)$$

4.9.6.2 Costo de capital propio (K_e)

El costo de capital propio puede definirse como la tasa asociada con la mejor oportunidad de inversión de riesgo similar que se abandonará por destinar esos recursos al proyecto en estudio. Corresponde a la tasa de descuento del flujo de fondos del inversor y como se definió antes, el retorno que el inversor le exige al proyecto por renunciar a utilizar los recursos en proyectos que tengan un perfil de riesgo similar.

Para su cálculo existen dos teorías: *CAPM (Capital Asset Pricing Model)* y *APT (Arbitrage Pricing Theory)*. La metodología a utilizar será la primera, por lo que se procede a explicar brevemente las premisas sobre las que se sustenta:

- Los inversores eligen las inversiones según su rendimiento. Es decir, a igual riesgo los inversores compran el activo de mayor rendimiento esperado.
- Los inversores tienen aversión al riesgo. Es decir, a igual rendimiento los inversores compran el activo de menor riesgo.
- Existe una tasa libre de riesgo a la cual el inversor puede colocar sus fondos.
- El mercado es eficiente. La información no tiene costo y llega a todos los inversores al mismo tiempo. Los costos de transacción son irrelevantes.
- Los inversores tienen expectativas similares. Es decir, que se asume que los inversores procesan y analizan la información de la misma forma.

A partir de estas premisas se infiere que el comportamiento de los inversores en el mercado impulsa a lograr un equilibrio entre el retorno esperado de cada activo y su riesgo asociado. Teniendo diferentes alternativas de inversión, el inversor optará por tomar como costo de oportunidad a la inversión de mayor rentabilidad después de su ajuste por riesgo.

El costo de capital propio K_e se calcula como:

$$K_e = R_f + R_p \quad (4.3)$$

Donde:

R_f : Tasa libre de riesgo. Generalmente se consideran como activos libres de riesgo la tasa de los documentos de inversión colocados en el mercado de capitales por los gobiernos.

R_p : Prima de riesgo. El accionista, al optar por una inversión distinta a aquella que le otorga una cierta rentabilidad asegurada, le exigirá al proyecto una tasa mayor. Esa tasa mayor deberá compensar el mayor riesgo al que incurre por invertir en el proyecto y no en una inversión segura o activo libre de riesgo. Se puede calcular

entonces, como la media observada históricamente entre la rentabilidad del mercado (R_m) y la tasa libre de riesgo (R_f):

$$R_p = R_m - R_f \quad (4.4)$$

El riesgo es clasificado en sistemático, el cual representa al riesgo no diversificable por el inversor que depende de la economía en su conjunto, y no sistemático, el cual depende del proyecto en sí mismo y será responsabilidad del accionista disminuirlo. Por ello, el único riesgo que tiene en cuenta el modelo es el riesgo sistemático y la prima de riesgo será:

$$R_p = \beta \times (R_m - R_f) \quad (4.5)$$

El ponderador β es entonces una medida del riesgo sistemático, calculado como:

$$\beta = \frac{\sigma_{im}}{\sigma_m^2} \quad (4.6)$$

Esto representa una relación entre la covarianza entre la rentabilidad de la inversión y la rentabilidad del mercado, y la varianza de la rentabilidad del mercado. De acuerdo a los distintos valores de β se tiene una idea del riesgo:

- $\beta = 1$ \rightarrow El riesgo es similar al riesgo promedio del mercado
- $\beta < 1$ \rightarrow El riesgo es menor que el riesgo promedio del mercado
- $\beta > 1$ \rightarrow El riesgo es mayor que el riesgo promedio del mercado

El CAPM tiene una visión global del mercado, es decir no hay mercados nacionales. Sin embargo, los analistas aplican versiones modificadas del CAPM para valorar activos en mercados emergentes, argumentando problemas de diversificación, insuficiencia de liquidez, etc. Estas modificaciones no tienen una base teórica que las sustente pero tienen importante aceptación en la práctica.

Esta modificación implica corregir el costo de capital por el riesgo país R_c

$$K_e = R_f + R_p + R_c = R_f + \beta \times (R_m - R_f) + R_c \quad (4.7)$$

4.9.6.3 Cálculo del WACC

Luego de presentar el sustento teórico que respalda el modelo de valuación seleccionado, se procede a mostrar los parámetros elegidos en el proyecto para determinar el WACC.

- **Costo de capital propio (Ke)**

Se considera como activo libre de riesgo – es decir, como el activo financiero más seguro donde el inversor podría colocar sus recursos – a la tasa de interés de los bonos del tesoro americano, conocidos como *US Treasuries*. Estos activos poseen diferentes tiempos de maduración por ello se debe seleccionar aquel cuya maduración sea aproximada a la duración del proyecto. A continuación se presenta la curva de rendimiento para las *US Treasuries*:

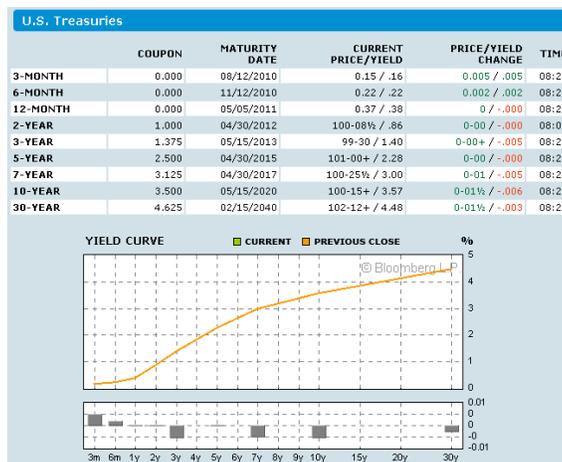


Figura 4.54 US Treasuries
Fuente: Bloomberg Agencia de Noticias

Dado que no existe una *US Treasury* que posee una maduración igual a la maduración del proyecto, se adopta como criterio seleccionar una cuya maduración sea superior. Por lo tanto para la valuación del proyecto se adopta como tasa libre de riesgo (R_f) al rendimiento de la *US Treasury* de 30 años, siendo:

→ $R_f = 4,63\%$

Para la determinación de la prima de riesgo (R_p) se toma como referencia el índice SP500, el cual se considera representativo del mercado mundial. El valor adoptado se presenta en el siguiente esquema:



Figura 4.55 Índice S&P 500.
Fuente: Bloomberg Agencia de Noticias

Por lo tanto, la diferencia con la tasa libre de riesgo ya definida, determinará la prima de riesgo resultando ser:

$$\rightarrow R_p = R_m - R_f = 6,43\%$$

Sin embargo, de acuerdo a la teoría del CAPM el concepto de riesgo debe ser introducido en el cálculo del costo de capital propio a través del ponderador β el cual representa una medida del riesgo sistemático o no diversificable. Este valor se estima a través del cociente entre la covarianza del retorno esperado de un activo y el retorno del mercado, y la varianza del retorno de mercado, para una industria determinada. El valor de β considerado se adopta de una tabla de valores provista por Aswath Damodaran⁶, donde están calculados los β para distintos tipos de industria, tomando como base las empresas norte americanas que cotizan en dicha bolsa. Se considera que el proyecto entra en la categoría de empresas vinculadas al medio ambiente, por lo tanto se utiliza el β para *Environment*. Esta categoría está integrada por empresas como *Greenman Tech Inc*, *CECO Environmental*, *Fuel Tech*, etc. entre otras, dedicadas a la gestión de residuos y medio ambiente, y obtención de energías alternativas:

$$\rightarrow \beta_i: 0,97$$

$$\rightarrow \beta_{ul}: 0,68$$

Se trabaja con el β *unlevered* y se apalanca de acuerdo a la estructura de capital del proyecto. Dado que aún no se ha discutido sobre la estructura de financiamiento se

⁶ Aswath Damodaran es un Profesor de Finanzas de la Escuela de Negocios de Stern, en Nueva York. En materia de valuación, es considerado una autoridad y sus teorías son globalmente aceptadas en el mundo de las finanzas y las inversiones.

decide adoptar un nivel similar al de las empresas del rubro que cotizan públicamente. En el Merval no existen actualmente empresas medioambientales que lo hagan, por eso se toman como referencia las empresas que cotizan en el mercado norteamericano. La estructura de deuda para estas empresas es del 49%; sin embargo para el proyecto se adopta una estructura:

→ $D / E = 45 \%$

Tomando como criterio, que por tratarse de una compañía joven o *start-up*, se puede adoptar una estructura similar a la de otras empresas ya establecidas en la industria.⁷

Apalancando el β *unlevered* con la estructura seleccionada se llega a un $\beta = 0,88$ con el que se trabaja para calcular el costo de capital propio.

Por último, se debe tener en cuenta el parámetro adicional del riesgo país. Este valor se toma del índice *EMBI+*⁸ para Argentina, confeccionado por el banco *JP Morgan*, adoptando un valor promedio del 7%. Por lo tanto:

→ $R_c = 7 \%$

De acuerdo a la definición de cada uno de los parámetros mencionados se calcula entonces el costo de capital propio

→ $K_e = 17,32 \%$

- **Costo la deuda (K_d):**

Teniendo en cuenta las premisas del modelo CAPM, se considera una entidad bancaria como un inversor que tiene aversión al riesgo. Este inversor le requerirá al proyecto un "spread" o compensación por invertir en el mismo, en lugar de hacerlo en un activo libre de riesgo. Esta compensación fue definida también como prima de riesgo.

En primer lugar se considera la tasa de interés de los bonos del tesoro americano (*US Treasuries*) como el activo de riesgo más seguro. Al igual que para el cálculo del K_e se toman los de 30 años de maduración, siendo esta tasa del 4,63%.

⁷ Fuente: Damodaran, A. 2009. Valuing Young, Start-up Growth companies: Estimation Issues and Valuation Challenges. Stern School of Business, New York University

⁸ *Emerging Markets Bond Index Plus* es un índice que evalúa el retorno total por los instrumentos de deuda comercializados. Elaborado por el banco JP Morgan, es el principal indicador de riesgo país de mercados emergentes. Se calcula como la diferencia de tasa de interés que pagan los bonos denominados en dólares, emitidos por países emergentes, y los Bonos del Tesoro de Estados Unidos, que se consideran "libres" de riesgo. Este indicador mide las posibilidades de un país emergente de incumplir en los términos acordados con el pago de su deuda externa.

En segundo lugar para el cálculo del *spread* adicional que se exigirá por sobre el activo libre de riesgo, se considera al proyecto como una empresa con una calificación o *rating* de clase C. Típicamente, a la hora de tomar deuda, a este tipo de empresas se les exige un *spread* del 12%. Por lo tanto, este será el valor adoptado, llegando así a un valor para el costo de la deuda de:

→ $K_d = 17\%$

Dado que, al endeudarse los intereses del préstamo se deducen de la utilidad económica disminuyendo el monto de impuesto a las ganancias (IG) a ganar, con una tasa de este impuesto del 35%, el costo real de la deuda después de impuestos resulta ser:

→ $K_d = 11\%$

- **WACC**

Al ponderar el costo del capital propio y el costo de la deuda, por la relación capital sobre activos y deuda sobre activos, respectivamente, se obtiene el WACC que será utilizado para descontar el flujo de fondos del proyectos y determinar su valor.

De acuerdo a la definición de cada uno de los valores que forman parte de su cálculo, se obtiene el siguiente resultado para el WACC:

→ $WACC = 15,3\%$

4.9.7 Valor Terminal

El valor terminal se calcula de acuerdo a la siguiente estructura:

$$\frac{FCF_{n+1}(1 + \text{Tasa Crecimiento})}{WACC - \text{Tasa Crecimiento}} \quad (4.8)$$

FCF_{n+1} representa el flujo de fondos libres correspondiente al período siguiente respecto del último período considerado en el proyecto.

La razón por la cual se adopta este método se debe a que se tienen flujos constantes (en u\$s) y por ello es el método que mejor captura el valor del proyecto.

La tasa esperada de crecimiento, esta está sujeta a la tasa de reinversión y al retorno del capital:

$$\text{Tasa Crecimiento} = \text{Tasa de reinversión} * \text{Retorno del capital}$$

A los fines prácticos del análisis y la valuación del proyecto, se considera que luego del horizonte temporal estudiado, la tasa de reinversión del proyecto será del 5%. El retorno de capital, calculado como la relación entre los ingresos antes de intereses e impuestos, descontando el efecto del impuesto a las ganancias, y el capital, arroja un valor del 22%. De esta forma el crecimiento esperado será del 1%.

De esta forma se llega al Valor Terminal del proyecto:

Terminal Value (u\$s)
23.428.047

4.9.8 Criterios de Evaluación

Existen diversos criterios que permiten evaluar un proyecto en términos de su rentabilidad, los cuales resultan necesarios para la toma de decisiones. A continuación se describirá brevemente aquellos que serán aplicados al proyecto en cuestión.

- **Valor Actual Neto (VAN)**

Consiste en descontar los flujos de fondos libres esperados para el proyecto (los *cash-flows* residuales después de pagar todos los gastos operativos e impuestos, pero antes de pagos de intereses y emisiones netas de deuda) al costo de capital o WACC, que representa el costo de los diferentes componentes de financiación usados por el proyecto, ponderados por sus proporciones de valor de mercado.

Se basa en el concepto “valor tiempo del dinero”, es decir que el dinero, solo por el transcurso del tiempo debe ser remunerado con una rentabilidad que el inversionista le exigirá por no utilizar esos recursos de capital hoy.

El VAN se calcula como:

$$VAN = \sum_{i=0}^{i=n} FF_i \times \frac{1}{(1+d)^i} \quad (4.9)$$

Donde,

FF_i: flujo de fondos del período i

d: tasa de descuento

i: período a descontar

El proyecto es aceptado si el VAN es mayor que cero. No se trata solamente de un indicador que permite construir un “ranking de proyectos”, sino que también mide el valor o excedente generado por el mismo, por encima de lo que será producido en caso de colocar los mismos fondos en un plazo fijo a una tasa de interés igual a la tasa de descuento.

Su principal ventaja es la capacidad de indicar la magnitud del beneficio del proyecto. Sin embargo, no permite comparar proyectos con distinto período de análisis ni demuestra la magnitud de rendimiento del proyecto.

Aún así, resulta ser el criterio de valuación más confiable y el valor que arroja el VAN es el valor del proyecto o *Firm Value* (valor de la compañía):

$$\text{Firm Value} = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{\text{CF to Firm}_t}{(1 + \text{WACC})^t} \quad (4.10)$$

Donde,

CF to Firm_t = Flujo de fondos para el proyecto esperado en el período t

WACC = *Weighted Average Cost of Capital*

- **Tasa Interna de Retorno (TIR)**

La TIR evalúa el proyecto con respecto a única tasa de rendimiento por período con la cual el total de los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual. Se calcula sobre el flujo de fondos del proyecto sin financiación, dado que es una tasa intrínseca del proyecto.

Otro enfoque que se le da a la TIR, es que representa la tasa que anula el VAN del proyecto. El criterio de aceptación de la TIR se basa en que un proyecto es aceptado si la TIR es superior a la tasa de descuento; esto sería, si el retorno esperado del proyecto es superior al costo de financiarlo.

Su principal ventaja como criterio de evaluación es que da una idea de la rentabilidad del proyecto. Por el contrario no exhibe la magnitud del beneficio del proyecto, y su cálculo supone que los ingresos del flujo de fondo son reinvertidos a la TIR.

- **Rentabilidad del Capital Propio (TOR o TIR del Inversor)**

Este criterio mide la rentabilidad del inversor. El método de cálculo es similar al de la TIR, solo que la TOR es aquella tasa que hace nulo el VAN del inversor.

Esta variable presenta una relativa importancia en la toma de decisiones ya que en definitiva el objetivo financiero del proyecto es maximizar el valor para el accionista. La rentabilidad de su propio capital invertido representa una buena medida del grado de cumplimiento con este objetivo.

- **Resultados**

Antes de la definición de una estructura de financiamiento, asumiendo que el 100% del capital necesario para la realización del proyecto es aportado por el accionista, se tienen los siguientes resultados para los indicadores de rentabilidad definidos:

Firm Value Proyecto (VAN)	u\$s 9.731.246
TIR Proyecto	29,15%
TOR	10,04%

Tabla 4.30 Resultados indicadores financieros antes de seleccionar la estructura óptima de capital

4.9.9 Estructura de Capital

Como criterio para la elección de la estructura de financiamiento, se propone que la misma no sea inferior al 5% y no supere al 60% de nivel de deuda sobre activos. La razón de fijar un valor máximo de deuda se apoya en la premisa de acotar los riesgos financieros que trae aparejada una estructura con endeudamiento muy elevado.

Con este objetivo, se calculan los indicadores de VAN y TOR para los distintos niveles de financiamiento, de manera de poder seleccionar aquel nivel de endeudamiento que maximice estos indicadores.

Los cálculos se realizaron considerando que si el proyecto fuese una firma joven, es decir en su etapa de iniciación *start-up*, probablemente recibiría la calificación de riesgo más baja: *clase C*. Las empresas de este tipo pueden endeudarse a una tasa promedio del 16% (en u\$s), valor que se adopta entonces para realizar el análisis y que coincide con la oferta de crédito encontrada en el mercado.

Se prevé tomar un crédito por 5 años de modo de no interferir en el ciclo del negocio a largo plazo, y sobre además 5 años es el plazo promedio que se consigue actualmente en el mercado para un crédito de estas características en dólares. El

sistema de amortización bajo el cual se devolverá el préstamo es el alemán, repagando una cuota fija anual del principal, y los intereses variables de acuerdo al monto de principal que reste cancelar. Los intereses se pagan al período siguiente de su devengamiento.

Una vez aclarados los criterios adoptados se presenta las evoluciones de los valores para el VAN y la TOR de acuerdo a las distintas estructuras de financiamiento en el siguiente gráfico:

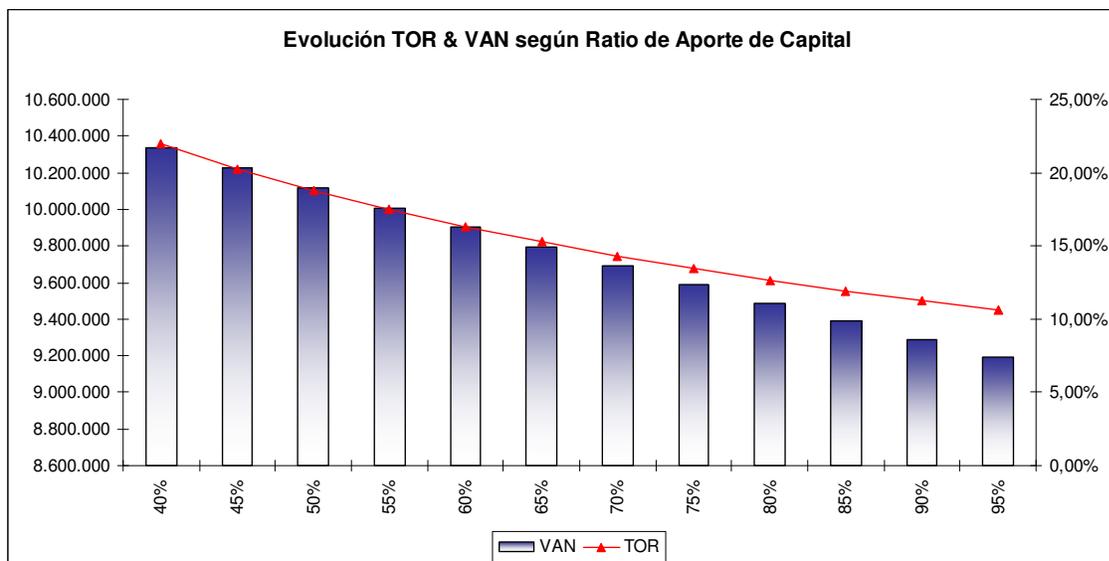


Figura 4.56 Evolución TOR y VAN según ratio de aporte de capital

Según se puede apreciar, la estructura de financiamiento óptima se da con un nivel de deuda del 60% (40% aporte de capital), dado que es la estructura donde el VAN alcanza su máximo valor (10.338.036 u\$s) y la TOR tiene su mayor nivel de rendimiento (22,00%).

A continuación se exponen los indicadores que resultan de la estructura de financiamiento elegida.

Firm Value Proyecto (VAN)	u\$s 10.338.887
TIR Proyecto	31,06%
TOR	22,00%
Capital Propio	40%

Tabla 4.30 Resultados indicadores financieros acorde a la estructura de capital óptima

Cabe destacar que la tasa de descuento para el cálculo del VAN se ve modificada, tanto en el costo del capital propio como en el costo de la deuda. Esto se debe a que al adoptar esta estructura de financiamiento se modifica la relación de deuda sobre

capital considerada en el primer análisis, y el costo de la deuda se modifica al nuevo nivel de tasa.

4.9.10 Flujos de Fondos Finales

A continuación se presenta como quedan conformados los flujos de fondos finales para el proyecto, deuda e inversor, luego de la definición de la estructura de capital óptima.

- Flujo de Fondos Libre

Free Cash Flow (u\$s)	0	1	2	3	4	5	6	7
FCF	-10.661.436	3.259.248	3.986.300	3.097.480	3.083.260	3.027.542	2.921.128	2.975.097
Free Cash Flow (u\$s)	8	9	10	11	12	13	14	15
FCF	2.973.292	3.062.068	3.088.781	3.141.921	3.179.827	3.138.729	3.240.542	3.275.532

Figura 4.57 Flujo de Fondos Libre Final (u\$s)

- Flujo de Fondos de la Deuda

Flujo de Fondos de la Deuda (u\$s)	0	1	2	3	4	5	6	7
Alta Deuda Bancaria	6.396.862							
Baja Deuda Bancaria		-1.279.372	-1.279.372	-1.279.372	-1.279.372	-1.279.372	-	-
Pago de Intereses	-	-	-1.023.498	-818.798	-614.099	-409.399	-204.700	-
Flujo de Fondos de la Deuda	6.396.862	-1.279.372	-2.302.870	-2.098.171	-1.893.471	-1.688.772	-204.700	-

Figura 4.58 Flujo de Fondos Deuda (u\$s)

- Flujo de Fondos del Inversor

Flujo de Fondos del Inversor (\$)	0	1	2	3	4	5	6	7
Ratio de aporte de capital	40%							
Pay-out ratio	70%							
Aportes de capital	-4.264.575	-	-	-	-	-	-	-
Dividendos	-	-	543.207	882.929	1.092.447	1.286.918	1.448.919	1.628.225
Flujo de Fondos del Inversor	-4.264.575	-	543.207	882.929	1.092.447	1.286.918	1.448.919	1.628.225

Flujo de Fondos del Inversor (\$)	8	9	10	11	12	13	14	15
Aportes de capital	-	-	-	-	-	-	-	-
Dividendos	1.675.873	1.723.416	1.761.246	1.801.914	1.837.224	1.874.308	1.913.631	1.945.814
Flujo de Fondos del Inversor	1.675.873	1.723.416	1.761.246	1.801.914	1.837.224	1.874.308	1.913.631	1.945.814

Figura 4.59 Flujo de Fondos Inversor (u\$s)

4.9.11 Fuentes y Usos

Cuadro de origen y aplicación de fondos

CUADRO DE FUENTES Y USOS (\$)	0	1	2	3	4	5	6	7
FUENTES								
Saldo Ejercicio Anterior	-	-	5.336.535	12.274.352	14.862.003	17.381.540	19.645.628	28.120.680
Aportes de Capital	15.778.926	-	-	-	-	-	-	-
Ventas	-	22.950.816	28.644.896	29.956.896	31.268.896	32.580.896	34.243.649	36.053.001
Créditos	23.668.389	-	-	-	-	-	-	-
Recupero del Crédito Fiscal (IVA)	-	3.229.151	3.529.387	-	-	-	-	-
Otras Fuentes	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Fuentes	39.447.315	26.179.967	37.510.818	42.231.248	46.130.899	49.962.436	53.889.277	64.173.680
USOS								
Inversión Activo Fijo	32.688.777	-	-	-	-	103.200	553.480	-
Δ Activo de Trabajo	-	5.289.708	389.926	258.464	258.464	258.464	339.306	358.996
IVA Inversión	6.758.538	-	-	-	-	21.672	58.115	-
Costo Total de lo Vendido	-	11.117.371	11.169.788	10.899.877	10.693.022	10.589.555	10.571.109	10.667.648
IG	-	-	1.838.547	3.124.209	4.033.652	4.949.684	5.867.218	6.941.669
Otros Impuestos y Tasas	-	1.373.752	1.626.227	1.684.401	1.742.576	1.800.750	1.874.476	1.954.703
Cancelación de Deudas	-	5.373.364	10.132.629	9.651.585	9.088.661	8.443.858	1.077.577	-
Dividendos en Efectivos	-	-	2.390.111	4.061.472	5.243.748	6.434.589	7.627.383	9.024.170
Total Usos	39.447.315	23.154.195	27.547.229	29.680.009	31.060.122	32.601.771	27.968.665	28.947.186
Fuentes - Usos	-	3.025.771	9.963.589	12.551.240	15.070.777	17.360.665	25.920.612	35.226.495
Amortizaciones del Ejercicio	-	2.310.763	2.310.763	2.310.763	2.310.763	2.284.963	2.200.067	2.282.963
Saldo Propio del Ejercicio	-	5.336.535	12.274.352	14.862.003	17.381.540	19.645.628	28.120.680	37.509.458

Figura 4.60 Origen y Aplicación de Fondos (AR\$) años 0 a 7.

CUADRO DE FUENTES Y USOS (\$)	8	9	10	11	12	13	14	15
FUENTES								
Saldo Ejercicio Anterior	37.509.458	46.912.774	57.006.690	67.379.058	78.297.208	89.673.169	100.759.323	112.951.050
Aportes de Capital								
Ventas	37.898.686	39.826.995	41.853.417	43.982.945	46.220.825	48.532.696	50.952.214	53.325.072
Créditos	-	-	-	-	-	-	-	-
Recupero del Crédito Fiscal (IVA)	-	-	-	-	-	-	-	-
Otras Fuentes	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Fuentes	75.408.144	86.739.769	98.860.107	111.362.003	124.518.033	138.205.864	151.711.537	166.276.122
USOS								
Inversión Activo Fijo	290.250	-	103.200	-	-	553.480	-	-
Δ Activo de Trabajo	364.304	382.502	401.964	422.416	443.909	457.305	479.875	465.243
IVA Inversión	30.476	-	21.672	-	-	58.115	-	-
Costo Total de lo Vendido	10.746.114	10.848.808	10.956.728	11.070.138	11.189.319	11.312.441	11.441.295	11.524.582
IG	7.508.341	8.114.213	8.714.242	9.369.081	10.038.720	10.751.920	11.524.759	12.256.969
Otros Impuestos y Tasas	2.036.540	2.122.042	2.211.893	2.306.316	2.405.544	2.508.052	2.615.334	2.720.546
Cancelación de Deudas	-	-	-	-	-	-	-	-
Dividendos en Efectivos	9.760.843	10.548.477	11.328.514	12.179.806	13.050.336	13.977.496	14.982.187	15.934.060
Total Usos	30.736.868	32.016.042	33.738.213	35.347.758	37.127.828	39.618.809	41.043.451	42.901.400
Fuentes - Usos	44.671.275	54.723.727	65.121.894	76.014.245	87.390.205	98.587.056	110.668.087	123.374.722
Amortizaciones del Ejercicio	2.241.499	2.282.963	2.257.163	2.282.963	2.282.963	2.172.267	2.282.963	2.282.963
Saldo Propio del Ejercicio	46.912.774	57.006.690	67.379.058	78.297.208	89.673.169	100.759.323	112.951.050	125.657.685

Figura 4.61 Origen y Aplicación de Fondos (AR\$) años 8 a 15.

4.10 Análisis de Riesgos

El objetivo de estudiar la rentabilidad del proyecto no debe limitarse a los resultados obtenidos en los puntos anteriores. Pues ellos son el producto del análisis de un escenario base (considerado el más probable), pero no significa que el resultado sea el mismo al cambiar las condiciones, es decir, ante distintos escenarios. Por ello en este punto del trabajo se propone realizar un análisis de riesgos, simulando a través de una herramienta informática distintos posibles escenarios para evaluar el comportamiento del VAN y la TIR. La herramienta utilizada es el software *Crystal Ball*.

Si bien pueden existir numerosas variables de riesgo que pueden condicionar la rentabilidad económico-financiera de un proyecto de este tipo, el análisis está dedicado a aquellas variables consideradas de mayor impacto. A cada una se le asigna una distribución de probabilidad y se estudia el efecto que pueden tener en el proyecto. Las mismas se presentan a continuación.

4.10.1 Identificación de las variables de riesgo

Se utilizó la herramienta Tornado Chart de Crystal Ball para determinar las variables de riesgo relevante. Esta herramienta muestra la incidencia de cada variable en el resultado pretendido, que en este caso es el VAN del Proyecto.

A continuación se puede observar lo obtenido (se trabajó con 100 *Testing Points* por variable):

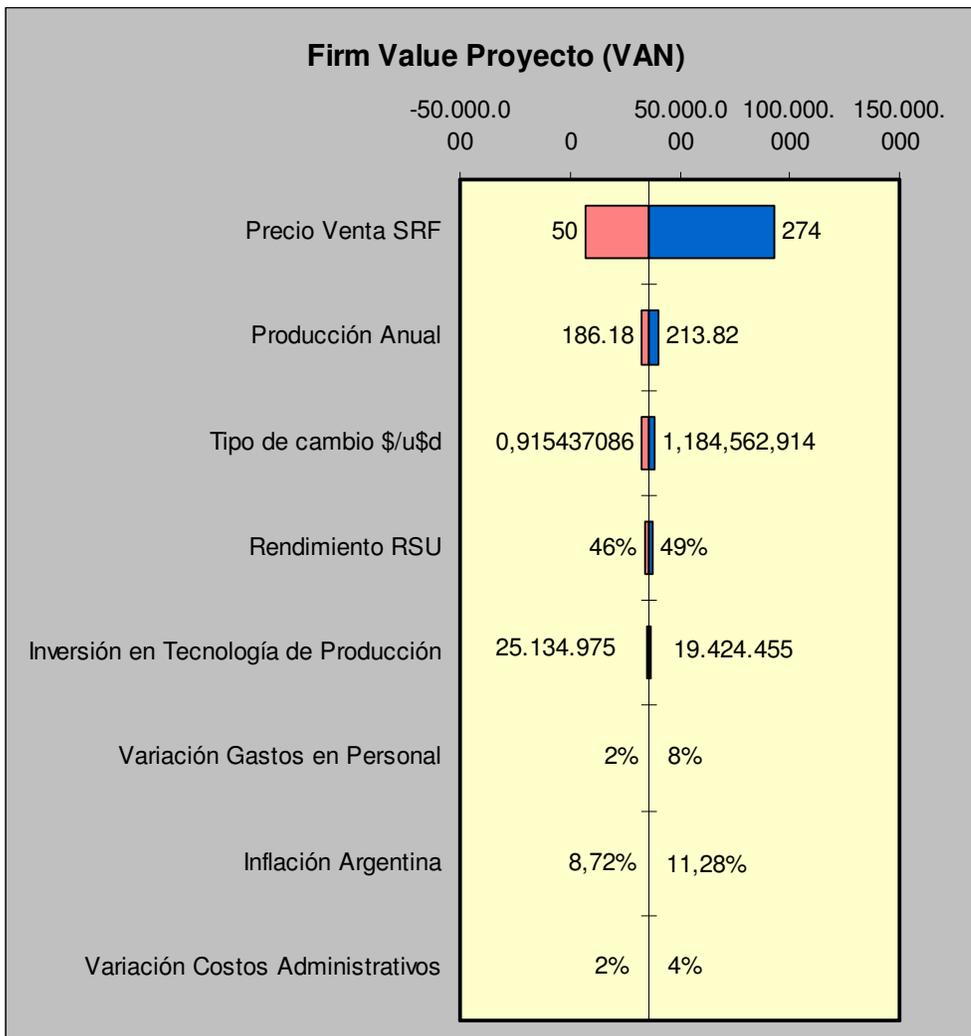


Figura 4.62 Impacto de las variables relevantes sobre el VAN del proyecto

Se identifican entonces como variables de mayor impacto individual las siguientes:

- Producción anual (SRF)
- Rendimiento RSU
- Precio de venta SRF
- Tipo de cambio \$ / u\$s

4.10.2 Definición de las variables de riesgo

1. Producción Anual (SRF)

Esta variable se refiere a la cantidad de RSU (medida en toneladas) que ingresa por año al proceso, a partir de la cual se obtiene el total de combustible alternativo SRF disponible para la comercialización. Está asociado a la capacidad de procesamiento anual de RSU que tenga la planta, la cual según como se estableció en el análisis de ingeniería asociado tenía un valor esperado (o más probable), un valor mínimo y un valor máximo, trabajando de acuerdo al cronograma definido. El rendimiento del RSU (es decir, la proporción de combustible SRF que se produce a partir de 1 tonelada de RSU) se mantiene constante por el momento, siendo del 48%, y luego será analizada como variable de riesgo, tanto en forma aislada como combinada con esta y otras variables.

Entonces la cantidad de RSU a procesar anualmente (*Ingreso de RSU a proceso*) adoptará un valor esperado de 200.000 ton/año, un valor mínimo de 175.000 ton/año y un valor máximo de 225.000 ton/año.

Ingreso RSU a proceso	175.000	200.000	225.000
Pre-Clasificación: No reciclables	7.875	9.000	10.125
Triturador Primario: No triturables	7.875	9.000	10.125
Electromagneto: Metales ferrosos	4.620	5.280	5.940
Separación p/ corriente de Eddy: Al y Fe	2.380	2.720	3.060
Clasificador por aire: Fracción de Pesados	68.250	78.000	87.750
Clasificador por aire: Fracción de Livianos	84.000	96.000	108.000
Producción total SRF	84.000	96.000	108.000
Material Orgánico para Compost/Biogas	68.250	78.000	87.750
Metales	7.000	8.000	9.000
A disposición final	15.750	18.000	20.250

Por ello se utiliza una variable aleatoria con una distribución triangular para modelar el comportamiento. El objetivo de esta variable es evaluar el impacto que tiene sobre el proyecto la variabilidad de la producción desde el punto de vista de la capacidad de procesamiento.

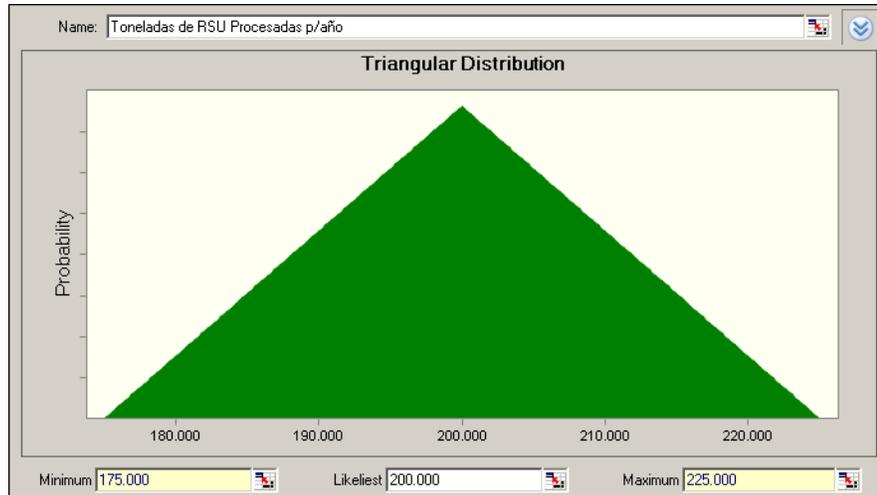


Figura 4.63 Distribución de la variable Toneladas RSU Procesadas p/año

2. Rendimiento RSU

La cantidad de combustible alternativo SRF disponible para comercialización no solo depende de la cantidad de RSU que se procesen anualmente, sino también del rendimiento de esos RSU procesado. Este punto se refiere a la riqueza del contenido de los RSU para obtener SRF.

Según el estudio mostrado sobre la composición y caracterización, los RSU de la ciudad de Bs. As. son apropiados para la obtención de combustible alternativo SRF. De acuerdo al análisis del proceso y al balance de producción, se estableció que dicho rendimiento tiene un valor esperado del 48%, un valor mínimo del 45% y un valor máximo del 50%.

Por ello se utiliza una variable aleatoria con una distribución triangular para modelar el comportamiento. El objetivo de esta variable es evaluar el impacto de la variabilidad del proceso en el proyecto; es decir, de que manera se ven afectados los resultados si procesando la cantidad esperada de RSU por año, si existe una variabilidad vinculada a la materia prima que alimenta el proceso.

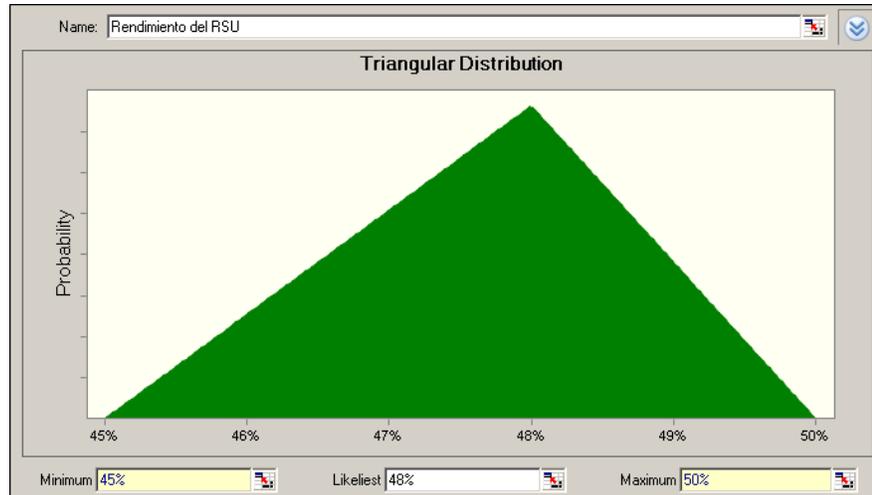


Figura 4.64 Distribución de la variable Rendimiento RSU

3. Precio de venta del combustible alternativo SRF

Como tercer variable de riesgo se define el precio al que se comercializa el combustible alternativo SRF, principal ingreso del proyecto. Durante el análisis de los potenciales mercados se mencionó la metodología de determinación y en base a ella cual sería la estrategia comercial.

A pesar de ello, no se pierde de vista que el primer precio de referencia surge del precio del carbón, el cual fluctúa en el tiempo. Es decir, por más de adecuar el precio final conforme a una estrategia comercial, en cierta forma se actúa como tomadores de precios por lo que resulta importante estudiar cual sería el impacto del movimiento de estos precios. Por ello para la modelación de esta variable aleatoria se realizó un análisis de una serie de precios de carbón.

Se trabajó con información de precios mensuales del carbón de enero 2003 a diciembre 2009. A través de un modelo multiplicativo se analizó la serie de tiempo de manera de poder quitarle la estacionalidad a los datos. Para ello, en primer lugar se graficó la muestra de datos. Luego, por el método de cuadrados mínimos se calculó la ecuación de la recta de tendencia de la muestra. Con la pendiente y la ordenada al origen se calculó la estacionalidad promedio para cada año del mes y el error. Gracias a esto se pudo construir un modelo que permitió obtener la muestra de datos sin la estacionalidad.

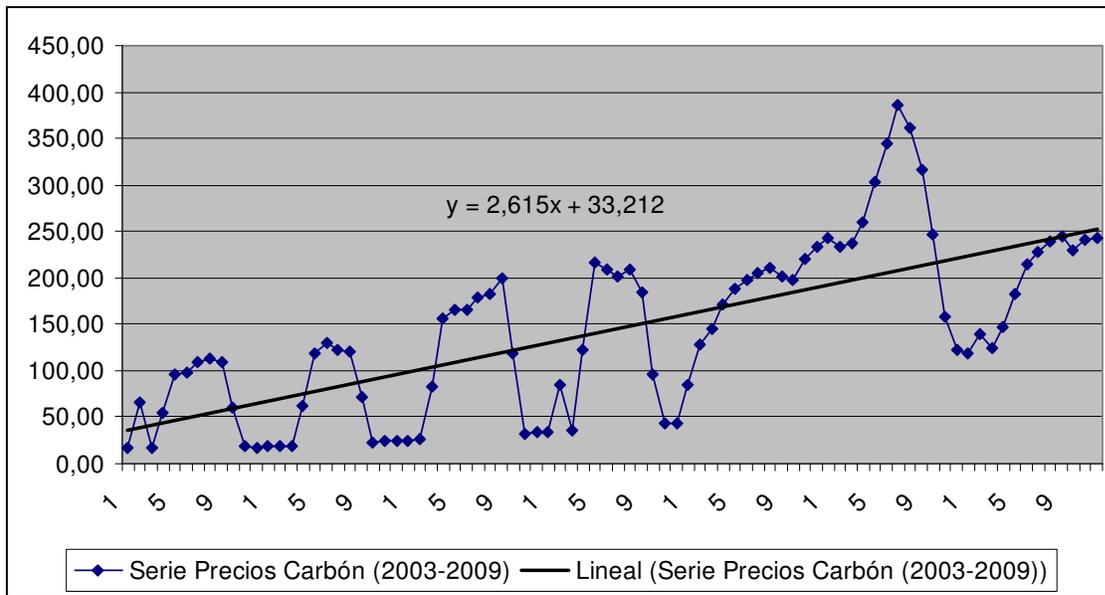


Figura 4.65 Serie de precios Carbón

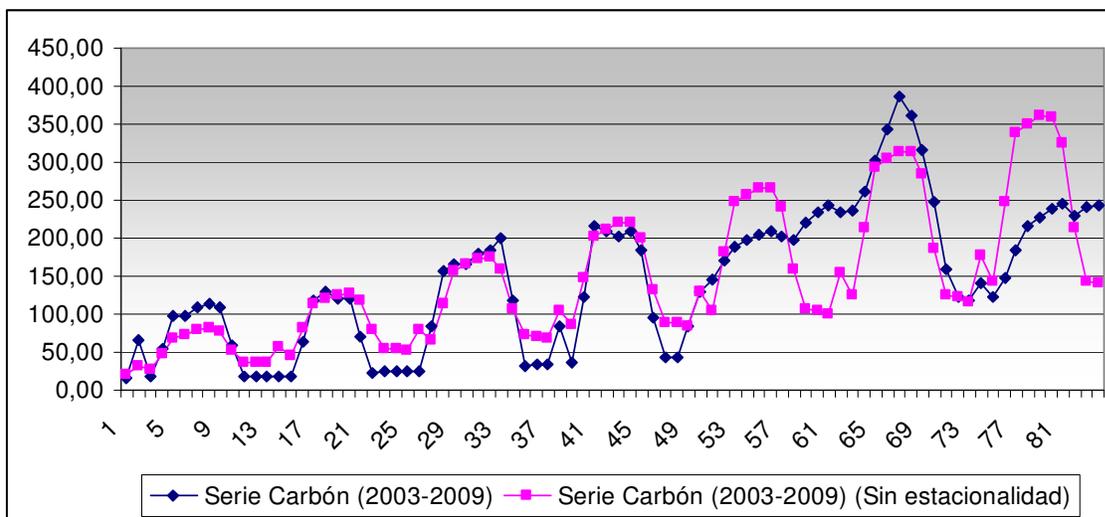


Figura 4.66 Serie de precios Carbón: Normal vs. Sin Estacionalidad

A partir de la relación de los poderes caloríficos del carbón y el combustible alternativo SRF se podía determinar un precio de referencia. Sin embargo como estrategia comercial se decidió que la comercialización se haría a un precio un tanto menor de manera de generar un incentivo en los potenciales clientes. Por lo tanto, teniendo en cuenta la estrategia comercial determinada, se tradujeron los precios de la serie de carbón sin la estacionalidad a un potencial precio de combustible alternativo SRF, obteniéndose así la muestra de datos para modelar la variable *precio de venta combustible alternativo SRF*.

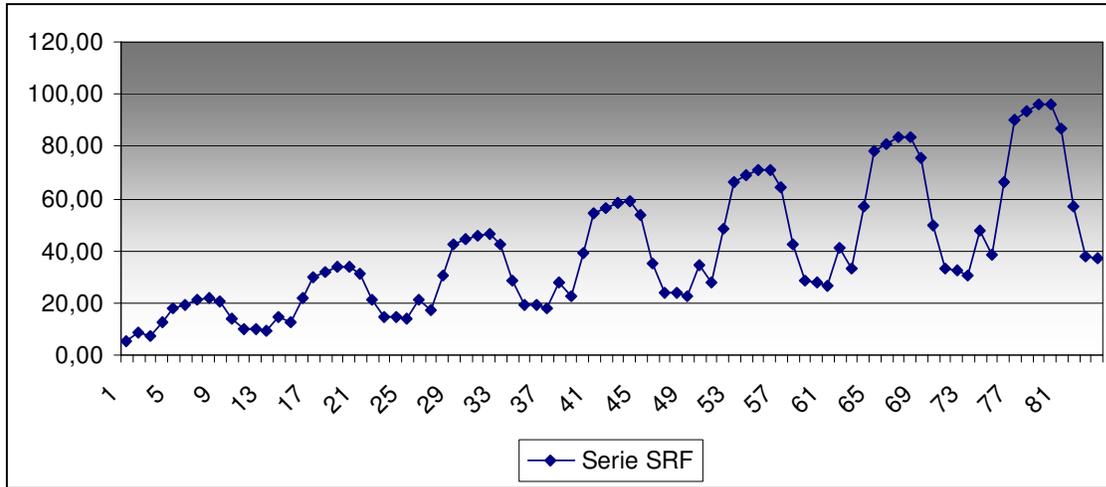


Figura 4.67 Serie de precios SRF

A través de una herramienta de análisis de datos provista por el software se analizó la muestra para obtener la distribución que mejor se adaptara para modelar la variable.

De todas las distribuciones propuestas por la herramienta se concluyó que la más representativa de la fluctuación del precio podría ser la distribución *gamma*.

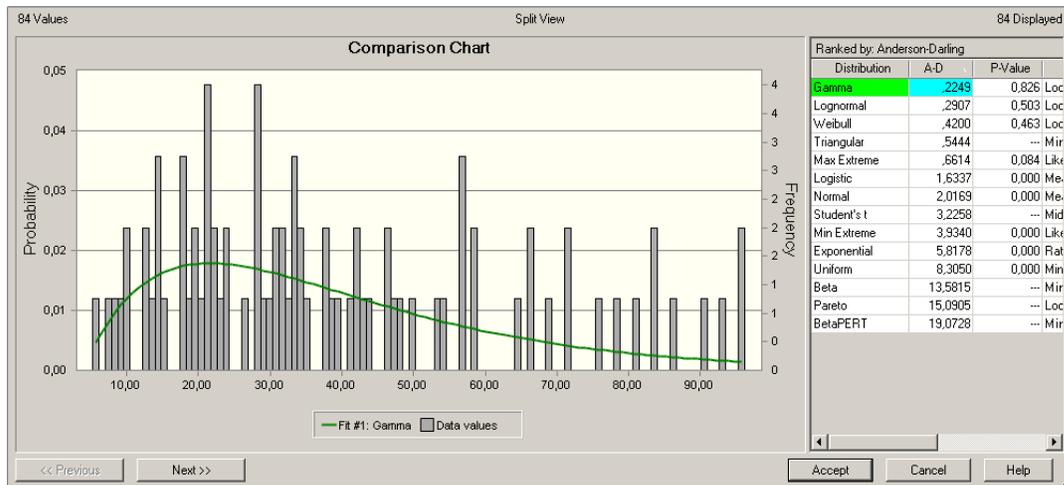


Figura 4.68 Ajuste Distribuciones

Sin embargo, esta distribución no es representativa. Cada punto de la serie responde a una población muestral distinta. Por ello se utiliza una variable aleatoria con una distribución normal teniendo en cuenta el precio medio estimado y un desvío que contempla la variación que puede tener a futuro.

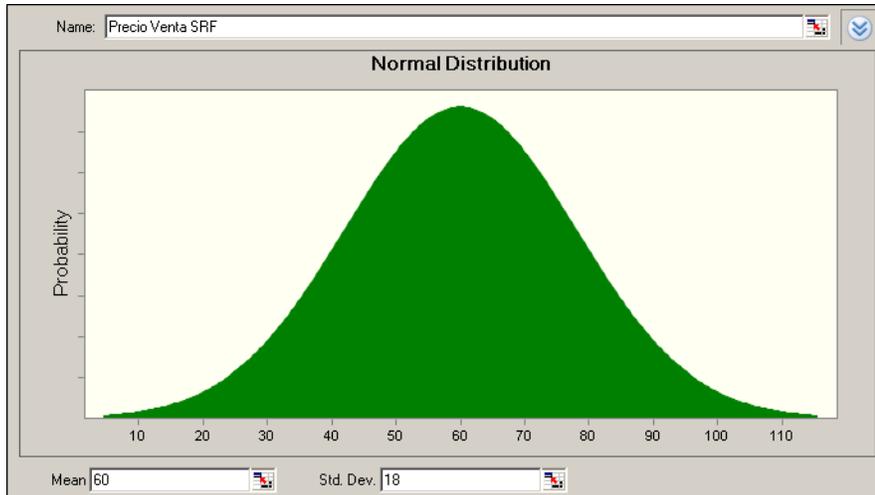


Figura 4.69 Distribución para la variable Precio Venta SRF

4. Tipo de cambio \$ / u\$s

Para la simulación de la variable *tipo de cambio* se asignó una distribución normal a una determinada celda de la planilla, de manera tal que se introdujera variabilidad a un coeficiente que produce un aumento del tipo de cambio de acuerdo a la proyección tomada en el análisis económico-financiero realizado.

A su vez, la simulación de la variable se correlacionó positivamente con aquella utilizada para simular la proyección de la tasa de inflación. Esta variable fue afectada a toda la proyección del tipo de cambio utilizada.

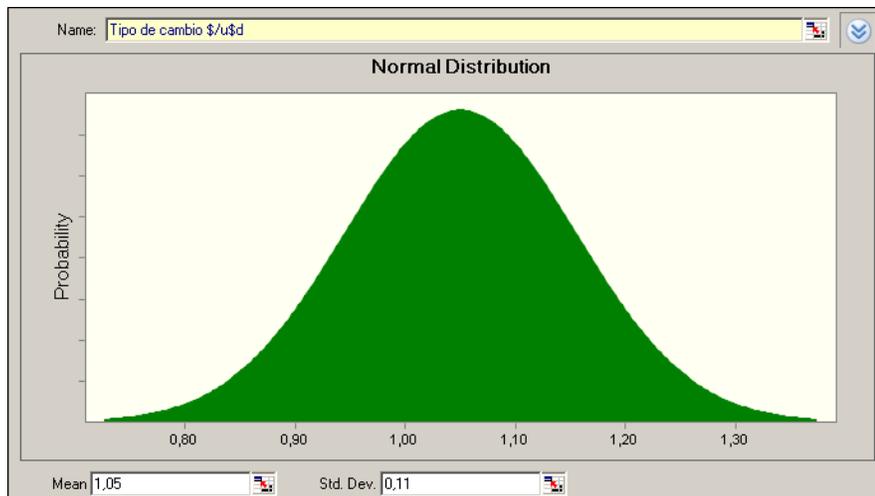


Figura 4.70 Distribución para la variable Tipo de cambio 4 / u\$s

4.10.3 Resultados obtenidos de la simulación

A modo de estudiar el efecto combinado de las variables definidas como más significativas se plantearon 2 escenarios posibles.

El primero, denominado escenario base, estudia el impacto de las variables bajo las premisas en que se realizó todo el análisis. El segundo escenario, denominado inversión en predio, estudia el efecto combinado de las variables bajo la posibilidad en la que el emplazamiento del proyecto no pudiera ser ubicado en el complejo Norte III y debiera invertirse en un predio, así como también en el diseño, desarrollo y operación de un canal logístico para transportar los RSU hacia la planta. Este escenario considera una inversión adicional de 20.000.0000 AR\$ y un aumento aproximado del 10% en los costos operativos.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de las simulaciones.

Escenario Base

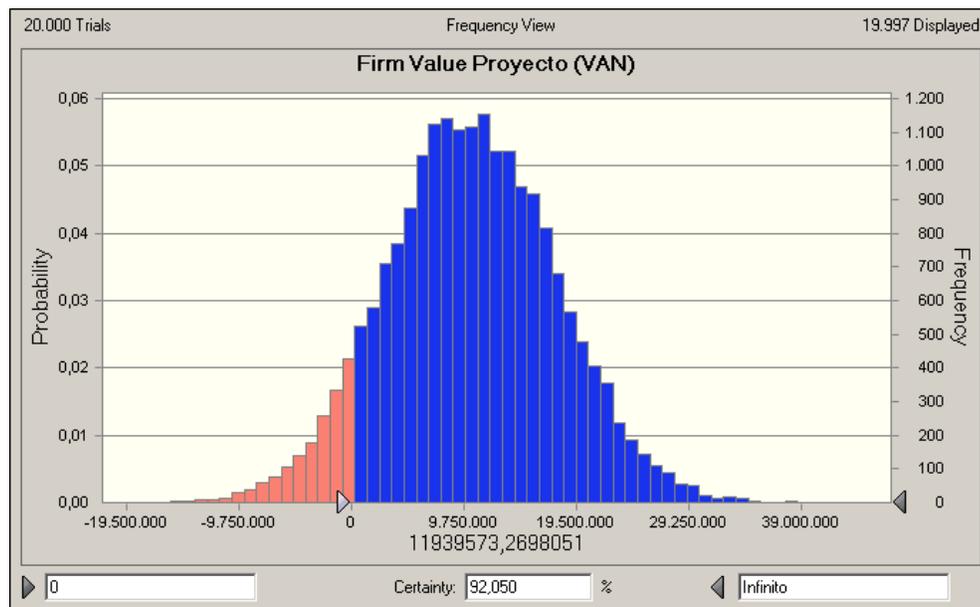


Figura 4.71 Distribución del VAN luego de la simulación

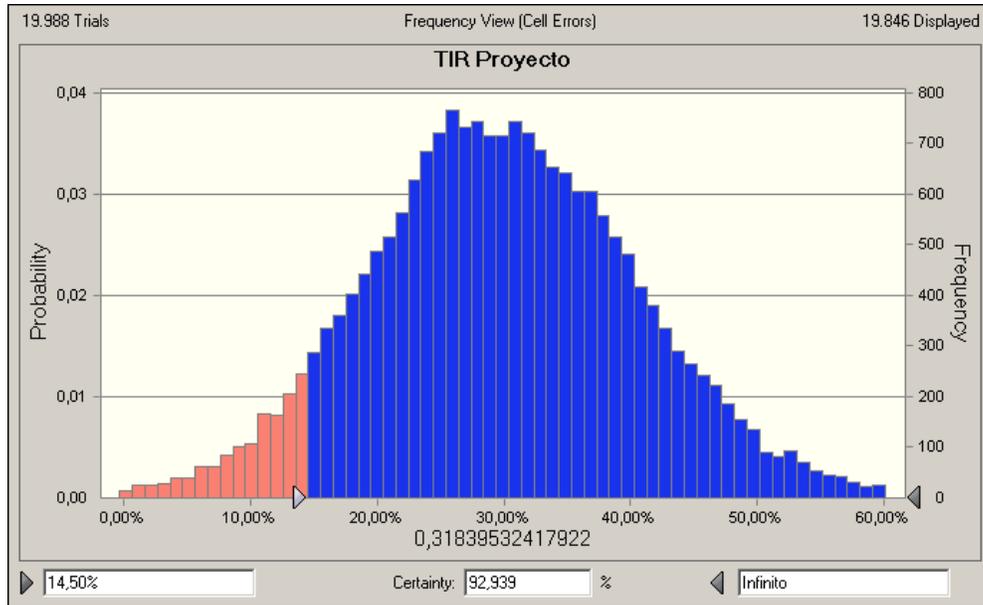


Figura 4.72 Distribución de la TIR luego de la simulación

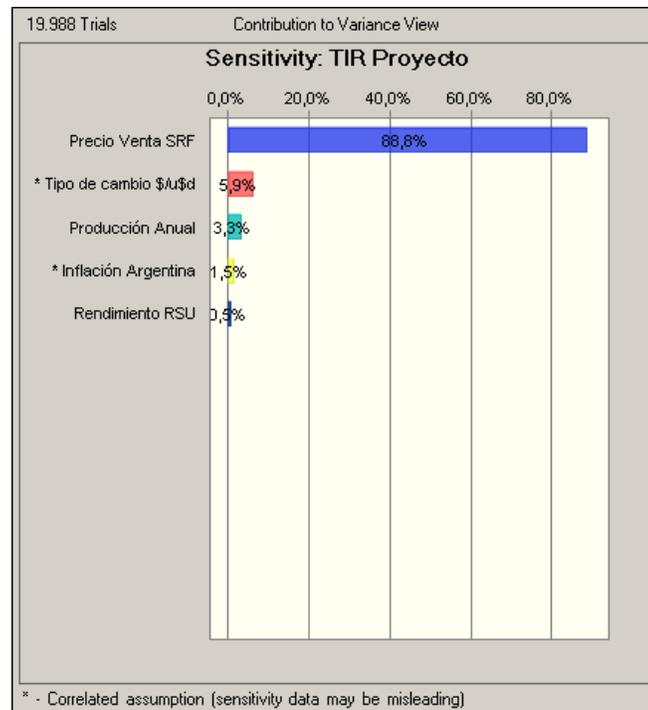


Figura 4.73 Sensibilidad de las variables a la TIR

Escenario Inversión en Predio

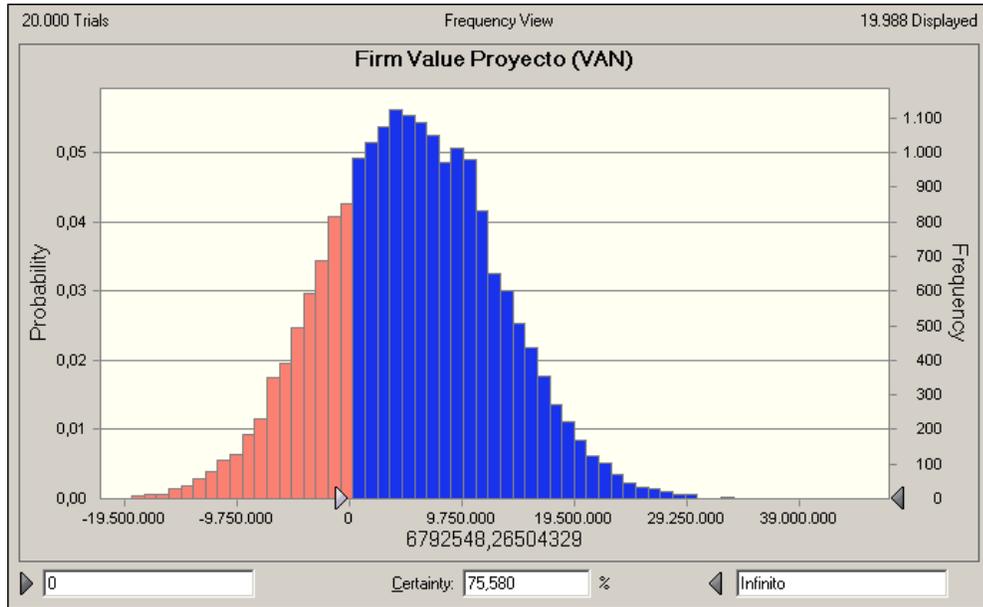


Figura 4.74 Distribución del VAN luego de la simulación

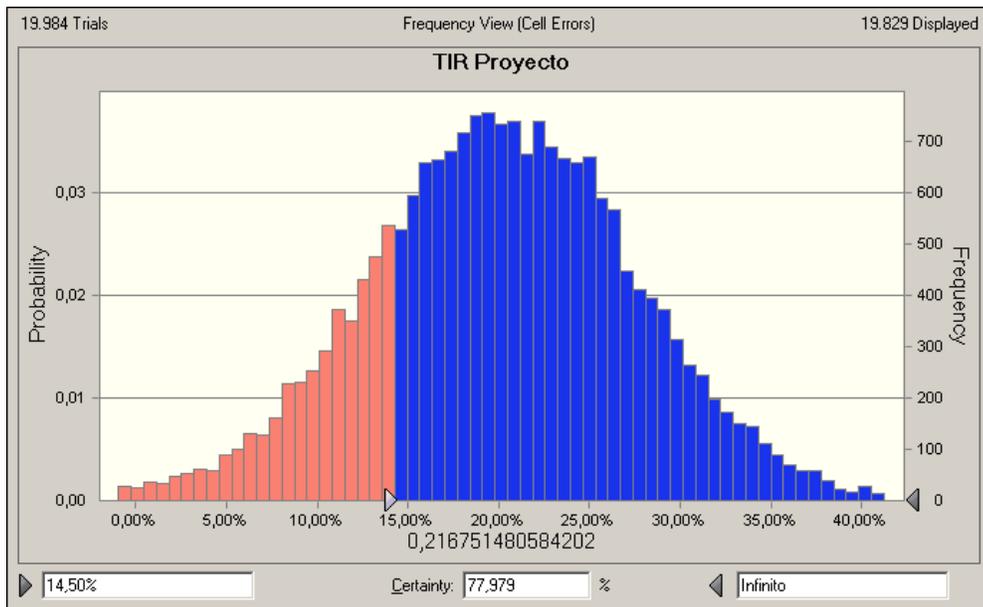


Figura 4.75 Distribución de la TIR luego de la simulación

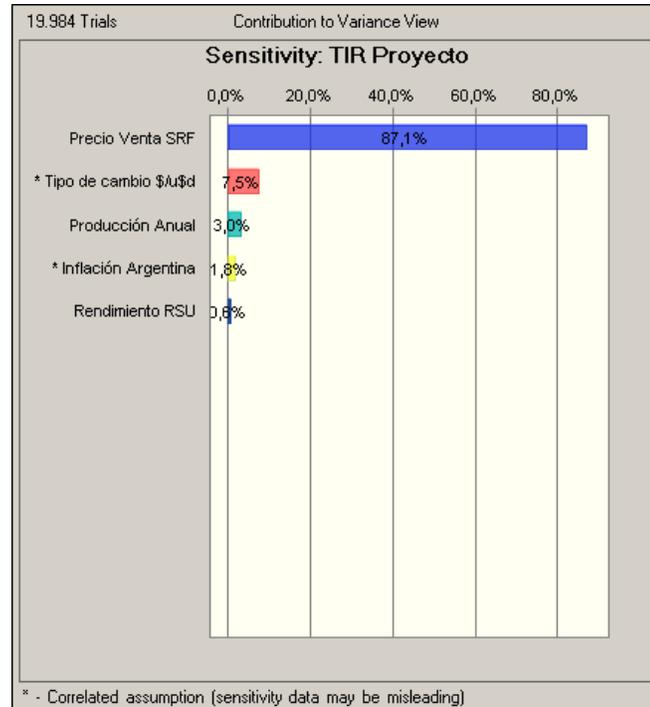


Figura 4.76 Sensibilidad de las variables a la TIR

La simulación de efectos globales, para el primer escenario, muestra una probabilidad de VAN positivo del 92,1% y una probabilidad que la TIR sea superior al costo de capital del 92,9%. Para el segundo escenario se obtuvo una probabilidad de VAN positivo del 75,5% y una probabilidad que la TIR sea superior al costo de capital del 77,9%. Estos resultados dan una idea de la bondad del proyecto ante la variabilidad, de la cual se puede hacer una lectura para cada escenario. Para el escenario base, el proyecto presenta una solidez aceptable en términos de respuesta ante escenarios pesimistas. Sin embargo no se debe dejar de lado el hecho que existe una probabilidad que bajo un contexto desfavorable el proyecto no resulte ser rentable. La situación se ve empeorada en el segundo escenario planteado, ya que tiene un adicional importante en la inversión y un aumento significativo en los costos operativos. Esto da la pauta que, para asegurar una buena probabilidad de que el proyecto resulte rentable, se debe garantizar la realización del mismo dentro del predio estudiado.

No solamente se debe tener en cuenta este último aspecto mencionado, sino también intentar asegurar que las principales variables que puedan condicionar el proyecto se mantengan, lo que implica encontrar la forma de mitigar o controlar estos riesgos.

El impacto de estas variables se puede apreciar en el gráfico de sensibilidad de la simulación, donde se encuentran ordenadas de acuerdo al nivel de impacto que tienen sobre la variación en el VAN y la TIR. La variable más sensible resultó ser el precio al que se comercializa el combustible alternativo SRF. Se debe entonces, buscar la forma de controlar su incertidumbre, dado que resulta ser la variable fundamental para ambos escenarios simulados.

4.10.4 Mitigación de los riesgos

A partir de que las variables de riesgo más importantes fueran identificadas y luego de haber evaluado el impacto o incidencia que ellas tienen sobre los resultados, resulta muy importante realizar un análisis sobre las distintas medidas o acciones que se podrían tomar para mitigar los riesgos asociados. Por ello en esta sección se proponen alternativas para mitigar aquellas variables de riesgos sobre las cuales se podría tener ingerencia.

- Precio de venta del combustible alternativo SRF: durante el análisis del proyecto se estableció que el precio estaría vinculado a los movimientos del precio internacional del carbón, colocándose en una banda inferior como consecuencia de la estrategia comercial determinada. Esto hace pensar que no se tendría entonces la manera de garantizar que el precio esté en los valores proyectados. Sin embargo, se podría plantear la posibilidad de realizar contratos *business-to-business* con potenciales clientes, bajo los cuales se podría asegurar una cantidad del producto a un precio fijo. De esta forma se podría cubrir al proyecto de las bajas en el precio del carbón y a su vez asegurar una cantidad de ventas.

La contraparte estaría dispuesta a aceptar el riesgo implícito en este tipo de contratos a cambio de asegurarse la provisión continua de combustible a un precio. De esta forma tendría una cobertura ante la escasez de producto, o ante la suba de precio que podría enfrentar utilizando otros combustibles convencionales.

- Producción anual: para mitigar el riesgo en la variación de las cantidades de combustible a producir anualmente se plantea la posibilidad de trabajar con esquemas de horas extras. De esta forma se estaría asegurando el cumplimiento con la demanda del mercado. En lo que respecta a mermas en la producción, se deben diferenciar 2 aspectos: uno vinculado al proceso y otro al material que ingresa. El segundo aspecto, se discutirá en el próximo punto. Para el primero, se pueden

implementar esquemas de mantenimiento preventivo sobre las máquinas, de manera de evitar paradas innecesarias, desgastes prematuros, etc., así como también estudiar la posibilidad de renovar el equipamiento con una frecuencia mayor a la establecida.

- Rendimiento RSU: El riesgo implicado en esta variable está asociado a que la calidad del residuo no sea lo suficientemente buena para obtener la producción programada. En este caso los programas de recuperación de social (“cartoneros”) alentados desde los municipios favorecerían la separación de residuos permitiendo alimentar el proceso con aquellos RSU que tienen un mejor poder calorífico.
- Tipo de cambio / Inflación: Estas variables están asociadas al contexto global y políticas macroeconómicas definidas por el gobierno de la nación. Por ello constituyen parte del riesgo sistemático o no diversificable. Sin embargo se podrían plantear la posibilidad de realizar contratos a futuros con los posibles proveedores, de manera de asegurarse contra la variabilidad hacia la suba en algunos costos operativos. De todos modos, ésta no representa una alternativa viable en términos de realización ya que para muchos de estos costos no existe este tipo de contratos (gastos administrativos, gas, electricidad, etc.)

Un comentario aparte merece la Inversión en el predio. Si bien no corresponde a una variable de riesgo, sino una cuestión propia del escenario planteado, resulta de gran importancia dado que en caso de no contar con el predio mencionado, se debería diseñar un canal logístico para desviar toneladas de RSU hacia la planta y luego transportar los descartes del proceso hacia los centros de disposición final. Esto no trae aparejado solamente el costo de la inversión en un espacio, sino también los costos operativos asociados a dicho canal logístico. Por ello es primordial asegurar la obtención del espacio. Esto se podría hacer a través de la firma de un contrato con el CEAMSE (administrador del complejo) con el respaldo del gobierno de la ciudad. Esta alternativa resulta viable, dado que el proyecto traería un beneficio hacia ambas partes involucradas.

4.11 Alternativas a la solución propuesta

El objetivo de este punto es proveer un marco comparativo para contribuir al análisis de factibilidad de la solución propuesta. Ya se discutió sobre la rentabilidad y factibilidad propia del proyecto, por lo que se está buscando ahora es determinar como resulta el proyecto frente a sistemas alternativos que podrían contribuir a la solución del problema esbozado.

Ya se habló de las tecnologías de procesos biológicos-mecánicos. Ahora se presentarán tecnologías de tratamiento térmico.

El procesamiento térmico de los residuos sólidos se define como la conversión de los RSU en productos gaseosos, líquidos y sólidos, con la simultánea o subsiguiente emisión de energía en forma de calor. Los sistemas de procesamiento térmico se clasifican en base a sus requisitos de oxígeno. A continuación se hará una breve descripción de ellos.

4.11.1 Pirolisis

El proceso de pirolisis consiste en la combustión del residuo en total ausencia de oxígeno. Se trata de procesos endotérmicos que requieren de una fuente de calor externa. El producto de la pirolisis es el gas de síntesis y puede quemarse en un motor de combustión interna, turbina de gas o caldera en condiciones de oxígeno adicional o también para la producción de químicos, como por ejemplo, la producción de ácido acético.

Existen dos tecnologías disponibles:

- **Pirolisis de tambor pequeño:** capacidad de procesamiento de hasta 5 toneladas por hora
- **Pirolisis de tambor medio:** capacidad de procesamiento de entre 5 y 10 toneladas por hora.

Los RSU deben ser pretratados antes de su ingreso al proceso, lo cual supone una limitación teniendo en cuenta que esta característica se había destacado como negativa en análisis anteriores con respecto a estas tecnologías. Adicionalmente, este pretratamiento tiene un costo elevado, la cual hace aún más alto el costo de capital para inversiones en este tipo de tecnologías. Los procesos de ingeniería que se desarrollan requieren un control crítico y se necesita de personal con amplia experiencia.

4.11.2 Gasificación

El proceso de gasificación consiste en la combustión parcial de los residuos, lo que implica una cantidad de oxígeno por debajo de la exactamente necesaria (generalmente un aporte del 30%). La combustión produce un aumento de la temperatura y consecuentemente la descomposición del resto del residuo.

El producto de la gasificación es un combustible rico en gas, el cual es purificado resultando una mezcla de gas combustible con hidrógeno y monóxido de carbono.

Este gas combustible, también llamado gas de síntesis, puede quemarse en un motor de combustión interna, turbina de gas o caldera en condiciones de oxígeno adicional o también para la producción de químicos.

Las principales tecnologías de gasificación son:

- **De lecho fijo:** es viable para una mezcla de plástico, no aplicable para los RSU. Capacidad de procesamiento de hasta 20 toneladas por hora
- **De lecho fluidizado:** trabaja con RSU triturados, por lo cual se podría decir que está limitada para RSU. Capacidad de procesamiento de 5-20 toneladas por hora
- **De flujo de arrastre:** también viable para una mezcla de plásticos, por lo que no aplica para los RSU. Capacidad de procesamiento de hasta 10 toneladas por hora.

Por lo general estas tecnologías presentan una limitación de alimentación del residuo, altos costos de operación, pretratamiento y mantenimiento.

Un párrafo aparte merece el proceso de **gasificación por plasma**, considerado el más complejo de este tipo de tratamiento térmico. Consiste en un reactor con antorchas en las que se inyecta energía eléctrica de alto voltaje y algún tipo de gas como oxígeno, nitrógeno o argón. Este proceso permite generar temperaturas cercanas a los 1500 °C y obtener el estado de plasma, es decir un gas cuyos átomos han perdido o ganado algunos electrones. De esta forma, los enlaces de las moléculas se rompen y los residuos quedan en forma de átomos inofensivos. A diferencia de cualquier otro tratamiento térmico de residuos y debido a que no se trata de un proceso de combustión sino de atomización de la materia no se producen emisiones contaminantes a la

atmósfera ni cenizas, tan solo quedan gases simples y un sólido inerte completamente vitrificado que puede ser empleado en la construcción.

En la actualidad esta tecnología se encuentra a nivel mundial en una fase inicial, existiendo muy pocas instalaciones de este tipo. La mayoría de estas instalaciones se encuentran en Japón, Canadá, Taiwán e Inglaterra. La falta de experiencia provoca que las capacidades de procesamiento sean muy limitadas, alcanzando las 250 toneladas por día.

Debido a estos factores, y al hecho que las inversiones en estas plantas se encuentran extremadamente por encima de los demás tratamientos térmicos, se descarta esta solución por sí misma. No existen plantas con probado rendimiento confiable con la capacidad suficiente para el tratamiento de los residuos de la ciudad de Bs. As.

4.11.3 Incineración

El proceso de incineración consiste en la combustión total del residuo con una cantidad de oxígeno igual o por encima de la exactamente necesaria. Es el procesamiento térmico de los residuos sólidos mediante oxidación química en exceso de oxígeno. Este proceso es muy utilizado para tratamiento de RSU, por no decir el más utilizado a nivel mundial: existen 2500 plantas de incineración activas en el mundo, y desde el año 1997 al año 2007 la capacidad instalada creció en más de un 25%.

Los productos finales son básicamente gases de combustión, efluentes, líquidos y cenizas (residuos no combustibles).

La incineración de parrilla es la única tecnología mundialmente probada para tratamiento térmico de RSU. A través de diseño y control en la alimentación del residuo y aire al horno, se logra la combustión completa del residuo, asegurando el óptimo aprovechamiento del poder calorífico de residuo, como también la calidad de la ceniza para su posterior uso como materia prima en la construcción.

El calor proveniente de los gases se utiliza para generar vapor súper calentado a alta presión. La transferencia de calor se produce en el horno a través de paredes donde el agua se evapora en la caldera. Los gases son utilizados para la generación de energía eléctrica.

En cuanto a los costos, estos son menores en comparación con las otras tecnologías de tratamientos térmicos. El detalle de los mismos será abordado más adelante.

Debido al poder calorífico de los RSU de la ciudad de Bs. As., la configuración más apropiada para este tipo de tecnología sería la incineración en parrilla aireada. Existen varias compañías internacionales que se dedican a la fabricación de este tipo de tecnologías. Algunas de ellas son: CNIM, Keppel Seghers, Martin, TAKUMA, VOLUND, Von Roll.

En la incineración de parrilla aireada los residuos son alimentados al horno a través de una tolva de alimentación. Dentro del horno se produce la incineración, y el calor presente en los gases de escape es utilizado para generar vapor a alta presión. La transferencia de calor ocurre dentro del horno mismo a través de paredes-membrana, en las cuales el agua es evaporada inclusive en la caldera. Luego del horno, los gases ingresan a la caldera.

4.11.4 Análisis de las tecnologías propuestas

Comparando las tres tecnologías, de acuerdo a las características generales presentadas para cada una, se concluye que la mejor propuesta alternativa al proyecto estudiado es la incineración en parrilla.

Se descartan entonces los procesos de gasificación y pirolisis. Las razones son las siguientes:

- Ambos sistemas requieren inversiones sustanciales adicionales debido al necesario pretratamiento del gas de síntesis antes de quemarse en motores o turbinas, por lo que requieren un tratamiento complementario para tratarse de tecnologías *waste to energy* propiamente dichas.
- La pequeña capacidad de procesamiento ocasiona que la economía de escala del tratamiento pueda resultar no atractiva.
- Ambas tecnologías poseen además altos riesgos operativos que pueden derivar en una menor fiabilidad y disponibilidad de la planta. Adicionalmente, este riesgo operativo implicaría incurrir en altos costos para mitigarlo o controlarlo.
- La eficiencia eléctrica de la gasificación y pirolisis es menor que la encontrada en el tratamiento térmico por incineración debido a la

ocurrencia de pérdidas de calor durante la producción del gas de síntesis y la post combustión.

- En ambas tecnologías existe una gran diferencia entre la eficiencia eléctrica bruta y neta debido a la energía necesaria para mantener estos procesos en régimen, especialmente en el pretratamiento del residuo para su reducción del tamaño.

A través de una planta de incineración en parrilla no solo se logrará el tratamiento de los RSU, sino que además utilizando los gases de combustión en una turbina de vapor condensadora se podrá generar electricidad. Asumiendo una eficiencia eléctrica del 25% se podrán generar 0.513 MWh/ ton de residuos⁹.

4.11.5 Informaciones y Ventajas de la Incineración en Parrilla

Algunos datos técnicos y económicos a retener:

- Inversión necesaria: u\$s 48.000.000 (aproximadamente)
- Plazo de construcción de la planta: 3 años.
- Reducción del 88% de los residuos ingresados.
- Capacidad de incineración: 650 toneladas/día
- Costos de operación menores en comparación con otras tecnologías de tratamiento térmico

Valor agregado / Ventajas:

- No requiere pretratamiento de residuos
- Óptimo uso del poder calorífico
- Posibilidad de utilizar las cenizas obtenidas en el horno para obras civiles

⁹ Cabe destacar que los cálculos realizados son aproximados dado que está fuera del alcance del trabajo el análisis de una planta de incineración. Sin embargo la información proporcionada será utilizada para generar un marco comparativo con el proyecto analizado.

- Tecnología mundialmente probada para tratamiento de RSU.

5 CONCLUSIONES

En el comienzo del trabajo se plantearon tres objetivos a lograr. En esta última sección del trabajo se propone realizar un balance de manera de determinar cual fue el grado de cumplimiento alcanzado para cada uno de ellos.

5.1 Incorporación del concepto de valorización energética a partir de los RSU

En primer lugar, a lo largo del desarrollo del trabajo se buscó incorporar el concepto de valorización energética a partir de los RSU. No solo se estudió este aspecto con el análisis del proyecto propuesto; sino también a través de la descripción y propuesta de alternativas, la provisión de información sobre las mejores prácticas y experiencia de países desarrollados, y

Si bien se trata de un concepto algo novedoso en nuestro país, es aplicado y desarrollado en todo el mundo.

El continuo desarrollo de nuestro país y la sociedad; la implementación de leyes como la “Ley de Basura Cero” que proponen metas exigentes para su cumplimiento; la concientización de la población en el cuidado del medioambiente, son algunos de los factores que ayudan a la construcción de un marco para la investigación y desarrollo de proyectos relacionados con este campo de estudio.

5.2 Análisis de factibilidad Técnica y Económica de la tecnología estudiada

5.2.1 La Tecnología MT

La tecnología MT o *Mechanical Treatment* se trata de una combinación de operaciones mecánicas de separación, clasificación y triturado, que permiten obtener como principal producto final la fracción combustible SRF. Esta tecnología es un tipo de configuración de las plantas MBT, y su resultado ha sido probado con éxito.

El proyecto se centró en el análisis de la factibilidad técnica y económica de implementación de una planta de este tipo, dado que del análisis realizado resultó más beneficiosa que una instalación MBT tipo.

La tecnología demuestra en sí misma la capacidad para el tratamiento de los RSU, aprovechándolos a su vez como fuente de energía. Los RSU de la ciudad de Bs. As. poseen un poder calorífico apropiado para su transformación en combustible alternativo SRF y existen potenciales mercados donde dicho combustible podría ser demandado.

El procesamiento de los RSU bajo esta tecnología da como productos finales combustible alternativo SRF, material destinado a tratamiento complementario (para la obtención de compostaje) y material destinado a disposición final. Los RSU son reducidos en aproximadamente un 60%.

Esto trae aparejado como ventaja la reducción de rellenos sanitarios. En el caso de nuevos rellenos, se requiere comprar menos tierra. En el caso de rellenos existentes se extiende la vida útil de los mismos. Este hecho implica consecuencias ambientales, sociales y económicas favorables:

- Una menor confrontación con la sociedad y sus actores (comunidades y municipios) por la apertura de nuevos centros de disposición final.
- Una menor cantidad de RSU para disposición final implica una gestión de riesgos operativos mejor aún que la actual, reduciendo así mucho más el riesgo de accidentes con impactos desfavorables para el medioambiente.
- Una menor cantidad de RSU para disposición final implica también una mejor gestión económica, ya que al tratar una menor cantidad de RSU se incurriría en un ahorro en la operación de los rellenos.
- El menor espacio requerido para los nuevos rellenos sanitarios implica una mayor disponibilidad de terrenos a los que las entidades gobernantes pueden dar un mejor uso para la sociedad.

En cuanto a la facilidad de implementación, no presenta complejidades a destacar. Su tecnología es de simple operación y su corto tiempo de construcción permite una implementación y puesta en marcha rápida. El sistema no presenta complejidades en el diseño y construcción. Adicionalmente, con la inversión en la tecnología se está pagando también por el asesoramiento y servicio técnico del proveedor, lo que permitiría sortear con alguna dificultad que pueda surgir.

En cuanto a su factibilidad económica-financiera, según el análisis económico financiero realizado el proyecto resulta rentable. Los indicadores financieros

resultaron favorables, haciendo atractivo el proyecto tanto para un inversionista público como privado. Éstos indicadores mejoran aún más si se puede conseguir una fuente de financiamiento como la planteada de manera de lograr una estructura de capital que optimice la inversión. A pesar de ello, dicho nivel de inversión requerido no es muy elevado en comparación con otros proyectos de estas características. Teniendo en cuenta esto, y que el flujo de caja proyectado permite el repago de la inversión en un corto plazo, no sería descabellado para un inversor aportar el 100% del capital requerido en caso que las condiciones de endeudamiento no resulten favorables al momento de realizar el proyecto.

La factibilidad económico-financiera no se limitó exclusivamente al análisis del proyecto a partir de valores esperados, sino que también se realizó un análisis de sensibilidad sobre el mismo. Esto permitió evaluar la solidez del proyecto ante distintos escenarios como consecuencia de una posible evolución de las variables críticas. Aún bajo la consideración de todos los factores de riesgo definidos, actuando en conjunto, se concluyó que el proyecto posee una adecuada robustez en términos de rentabilidad. Sin embargo no puede dejarse de lado que existe una probabilidad que deje de serlo ante ciertos contextos desfavorable. El principal contexto desfavorable identificado, y el cual su ocurrencia es factible, es el aumento de los costos operativos como consecuencia de la inflación. Del análisis del impacto de esta variable aislada, este problema no reflejaba una amenaza; pero al combinarlo con otros efectos sí lo hacía. Por ello es fundamental para el éxito del proyecto poder garantizar por un lado, la producción anual estimada. Por otro lado, y quizás más importante, está el precio de comercialización. Se deben crear los incentivos para que el combustible alternativo SRF pueda ser comercializado al nivel de precio proyectado. Esto no solamente es responsabilidad de la estrategia comercial, sino del mercado el cual directamente hoy no existe. Por ello puede resultar fundamental la intervención de los organismos públicos, ya sea para promover los incentivos que generen un mercado de combustibles alternativos o para asegurar de alguna forma – teniendo en cuenta las ventajas sociales, políticas, económicas y ambientales que genera la aplicación de la tecnología en cuestión – la compra del producto al precio estudiado.

Con respecto al cumplimiento de las metas establecidas por la ley de Basura Cero, el hecho que la tecnología posea una eficiencia de reducción del volumen de los residuos de aproximadamente del 60%, implica que se efectiva solamente en el mediano plazo. Los porcentajes de reducción finales – 75% para el año 2017 y 0% para el año 2020 – son finales, por lo que sería necesario su complemento con otras tecnologías y una concientización mayor por parte de la sociedad.

En resumen, ante la problemática de emisiones contaminantes del efecto invernadero, los altos costos de operación y saturación a futuro de los rellenos sanitarios, la escasez de fuentes de energía renovable y el cumplimiento de metas establecidas por leyes como la Ley de Basura Cero para la ciudad de Bs. As., surge una posibilidad viable que es el tratamiento de los RSU para la obtención de un combustible alternativo. Esta solución sería capaz de abarcar la problemática del tratamiento de los RSU y el de la necesidad de fuentes de energía alternativa.

5.2.2 Comparativa con otras alternativas

De manera que el análisis de factibilidad resulte más completo, se brinda una comparación con otra alternativa que fue presentada (aunque con menor detalle dado que su estudio no está dentro del alcance del trabajo): la incineración en parrilla.

El objetivo de este análisis comparativo es no limitar el análisis de factibilidad al proyecto en sí, sino también evaluar como resulta ante otras alternativas posibles.

Se tomaron tres dimensiones preponderantes que se tomaron en cuenta para realizar este análisis comparativo:

1. Efectividad en la reducción del volumen de los residuos:

Esta dimensión de análisis, se refiere a cual de las dos alternativas resulta más eficiente en términos de cumplimiento con las metas propuestas de la Ley de Basura Cero.

- El tratamiento térmico por incineración posee una excelente relación de minimización de residuos: 88%. Su utilización contribuiría fuertemente al logro de las metas propuestas y a lograr en gran medida la independencia de la utilización de rellenos sanitarios
- Por otra parte, el tratamiento mecánico (MT) contribuye moderadamente a la minimización de residuos dado que su eficiencia en la reducción del volumen de residuos es del orden del 60%. Para aumentar dicha eficiencia, sería necesario complementar esta tecnología con otras, lo que implicaría incurrir en mayores costos y un proceso integrado más complejo

2. Nivel de facilidad de implementación de las tecnologías

Esta dimensión de análisis está referida a consideraciones varias a tener en cuenta, tomando la factibilidad de su instalación evaluando las implicancias políticas, legislativas, sociales y ambientales.

- En primer lugar se hace hincapié sobre la Ley de Basura Cero – Ley N° 1854 – la cual establece que los tratamientos térmicos no son considerados como método de reducción amparado por la ley. Por lo cual, en primer lugar, resultaría necesario modificarla. A nivel técnico, su complejidad de implementación resulta muy alta. En cuanto al impacto ambiental y social, genera gases contaminantes que a pesar de ser emisiones controladas y cumplir con los niveles autorizados en la Comunidad Europea, siempre serán objetados por las ONG y parte de la población
- El artículo 10 de la Ley de Basura Cero tiene como objetivo promover el aprovechamiento de los RSU, siempre que no se utilice la combustión. El tratamiento MT da como resultado final el combustible alternativo SRF, con lo cual al igual que en las tecnologías de tratamiento térmico habría una necesidad de modificar dicha ley. Salvando este problema, no presenta complejidades a destacar. Su tecnología es de simple operación y su corto tiempo de construcción permite una implementación y puesta en marcha rápida. El proceso no emite gases contaminantes y la combustión del SRF lo hace en niveles inferiores a los autorizados.

3. Nivel de inversión

Esta dimensión está referida a las erogaciones totales para cada uno.

- El tratamiento térmico por incineración requiere un nivel de inversión muy alto: u\$s 48.000.000. El monto elevado reduce la posibilidad que un inversor aporte todo el capital necesario y por lo tanto deba recurrir al financiamiento externo
- El tratamiento mecánico MT tiene un nivel de inversión moderado: u\$s 10.500.000.

El análisis realizado puede resumirse en el siguiente gráfico:

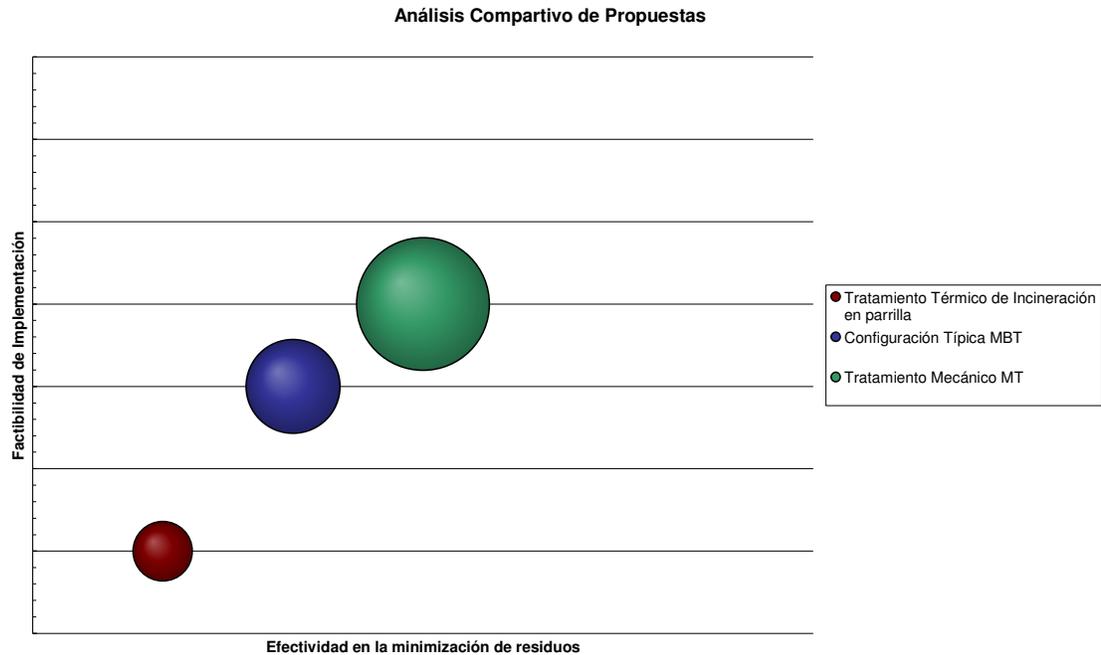


Figura 5.1 Análisis comparativo de las propuestas.

Se concluye entonces que la implantación de una planta MT resulta más conveniente. Las ventajas resultan numerosas frente a la instalación de una planta de incineración:

- Menor requerimiento de inversión
- Bajos costos operativos
- Provee una fuente de energía alternativa directa
- Baja complejidad de operación
- Constituye una tecnología aceptada por los ambientalistas
- Representa una fuente de empleo de mano de obra

5.3 Consideraciones Finales

La implementación de la tecnología se estudió para los RSU de la ciudad de Buenos Aires, aunque los resultados obtenidos son aplicables a cualquier

ciudad o municipio del país que cuente con un contexto y características similares.

En cuanto a la situación particular de la ciudad de Buenos Aires, se destaca que en la actualidad se encuentra en una situación difícil en el sentido que promulgó una ley con un objetivo noble y metas de cumplimiento ambiciosas, pero sin proveer condiciones que construyan un marco favorable. Es muy difícil que se puedan alcanzar las metas propuestas solamente a través de programas de concientización y promoción del reciclado. Es imprescindible el estudio y desarrollo de este tipo de tecnologías, así como también es imprescindible la reformulación de la ley.

Fuera del análisis para la ciudad de Buenos Aires, el proyecto y sus resultados son aplicables a otras ciudades y municipios del país, dado que la problemática que busca resolver es la misma. En dichas ciudades, en caso de avanzar los proyectos de ley para la promulgación de una ley de basura cero, se deberá tener en cuenta la existencia de este tipo de proyectos y por lo tanto flexibilizar la ley de manera de crear un contexto favorable.

El estudio fue realizado para una línea de producción. Aumentando los niveles de inversión se podrían construir instalaciones más grandes con varias líneas de producción, incrementando la cantidad de RSU tratados así como la producción del combustible alternativo SRF.

Si bien se presentó una propuesta alternativa, se recuerda que cuando se habló de las aplicaciones y usos generales del combustible alternativo SRF, se mencionó que mundialmente era utilizado como combustible para tratamientos térmicos de residuos. Por lo que se concluye que no se trata de una propuesta alternativa, sino de una propuesta que puede ser complementaria a otras ya existentes. Sin embargo, ante la decisión de invertir en una u otra, tal como se analizó, resulta más beneficioso invertir en una planta de tratamiento mecánico que una planta de incineración en parrilla.

Es importante destacar que el relleno sanitario siempre será un complemento de cualquier tecnología, dado que ninguna garantiza la reducción del volumen del residuo en un 100%: la relación de reducción de las plantas de tratamiento térmico por incineración tienen una relación de reducción del orden del 88%, mientras que en las plantas MT (o cualquier otra configuración de la tecnología MBT) la relación de reducción es del orden del 60%. Por lo tanto las inversiones en las mejoras y optimización de los rellenos sanitarios deben continuar.

Un aspecto que no se estudió en detalle es el hecho que los consumidores del combustible alternativo SRF reducirían sus emisiones de CO₂. De esta forma podrían generar créditos de carbono los cuales podría comercializar creando así un ingreso adicional que de utilizar cualquier otro combustible fósil. Como se explicó, el CO₂ es uno de los gases causantes del efecto invernadero. La reducción de emisiones de gases causantes del efecto invernadero se mide en toneladas de CO₂ equivalentes y se traduce en Certificados de Emisiones Reducidas (CER). Un CER equivale a una tonelada de CO₂ que se deja de emitir a la atmósfera y puede ser vendido en el mercado de carbono.

Considerando que la producción promedio de la industria cementera argentina desde el año 1999 al 2008 fue de 7.014.228 y teniendo en cuenta que 1 tonelada de carbón emite 2,41 toneladas de CO₂ y 1 tonelada de combustible alternativo SRF emite 0,64 toneladas de CO₂:

Combustible a Utilizar	Consumo	Emisiones CO2
Carbón	3.507.114	8.452.145
SRF	5.260.671	3.366.829

Cantidad de CER a emitir	5.085.315
Precio estimado CER	10 u\$s

Ingreso total industria	u\$s 50.853.153
--------------------------------	------------------------

Tabla 5.1 Análisis de ingresos por CER

Tomando un precio estimado para los CER, y asumiendo que toda la industria cementera utiliza carbón para su producción, se podría generar un ingreso adicional de casi u\$s 51.000.000 al año. Esta cuestión haría aún más atractivo el proyecto – aunque habría que analizar proporciones mayores en cuanto al tamaño del proyecto para poder sustituir toda esa cantidad de combustible fósil – y aplicación de tecnologías que generen combustible alternativo. Para que esto ocurra, nuevamente es fundamental la intervención de los organismos decidores de manera que generen los incentivos necesarios.

Cabe destacar que este pequeño y último análisis realizado es a partir de cálculos aproximados. A través de él se busca generar una noción del posible ingreso adicional que podría generar el empleo de combustibles alternativos creando un contexto más favorable para la implementación del proyecto. Adicionalmente se plantea como futura línea de investigación a modo de complemento del estudio ya realizado en el presente trabajo.

Para finalizar, el proyecto constituye una alternativa con sustentabilidad ambiental y económica. La responsabilidad recae sobre los centros de decisión públicos y privados para que promuevan la generación de los incentivos necesarios tanto en la economía como en la sociedad para el desarrollo de este tipo de proyectos.

5.4 Recomendaciones finales

Las conclusiones obtenidas hasta el momento se pueden resumir en una serie de recomendaciones a proporcionar a los organismos de decisión pública. Estas recomendaciones constituyen una serie de medidas que cubren distintos enfoques (operativo, político, económico), cuya adopción ayudaría a generar los incentivos necesarios para la ejecución de este tipo de proyectos.

- **Garantizar la utilización en el espacio disponible dentro del Complejo Ambiental Norte III.** Esta medida reduce la inversión original a realizar, así como los costos en la operación de la actividad y simplifica la operatoria. Permite la integración de la planta al circuito logístico existente para el transporte de RSU de la ciudad y evita el diseño de un nuevo canal que pudiera complicar la operación actual.

Localizar la planta dentro del predio implica utilizar menos de 1 hectárea. El predio cuenta con 64,04 hectáreas libres, por lo que se estaría utilizando un 1% de la superficie libre total disponible. Teniendo en cuenta la ganancia asociada al costo de disposición final que trae al predio, resulta una alternativa viable y seductora.

Por otro lado el hecho de evitar la inversión en el predio con su correspondiente canal logístico y operación del mismo, mejora sustancialmente los indicadores financieros del proyecto.

	Inversión en Predio	Localización en Norte III
Firm Value Proyecto (VAN) – u\$s	6.439.356	11.586.629
TIR Proyecto	21,34%	31,34%

Tabla 5.2 Comparación del TIR y VAN de acuerdo a la necesidad de inversión en un predio para el emplazamiento de la planta.

- **Garantizar la demanda del combustible alternativo SRF.** Por tratarse de un producto nuevo, para el cual no existe un mercado de consumo definido sino que puede actuar como sustituto del carbón, la creación de incentivos por parte de los gobiernos que alienten el consumo y aseguren la venta sería necesario. Estos incentivos pueden ir desde una normativa bajo la cual, aquellas industrias que consumen carbón en sus procesos, se vean obligadas a sustituir parte de ese consumo de carbón por combustible alternativo SRF, hasta una decisión del gobierno de la

ciudad de imponer a las centrales eléctricas que abastecen a la ciudad que la producción sea a partir de uso de combustible alternativo SRF. De esta forma se estaría garantizando la venta del producto (así como también asegurando un precio) y a su vez tiene la ventaja ambiental de que su impacto en las emisiones gaseosas es menor que la de carbón.

Una propuesta concreta podría ser una regulación del Gobierno de la Ciudad a través de la cual se obligue a las centrales eléctricas que abastecen a la ciudad a reemplazar un determinado porcentaje de su consumo en combustibles fósiles por la utilización de combustible alternativo SRF. Teniendo en cuenta que se consumen 700.000 toneladas al año de carbón para la generación de electricidad, la propuesta sería reemplazar el 9,2% de ese consumo de carbón, por la utilización de combustible alternativo SRF. Dicho porcentaje permitiría asegurar la comercialización de 96.000 toneladas de combustible alternativo SRF, lo que equivale a la producción anual estimada.

Una segunda posibilidad, sería que el Gobierno de la Provincia mediante una regulación similar a la anterior obligue a las grandes cementeras que operan dentro del territorio a reemplazar un porcentaje de su consumo de carbón por combustible alternativo SRF. En lo que respecta a los grandes grupos cementeros, el reemplazo del orden del 2% (en conjunto) de su consumo de combustibles fósiles sería suficiente para garantizar un mercado a la producción de combustible alternativo SRF.

Como tercera posibilidad, leyes a nivel nacional para reducir emisiones contaminantes reemplazando un porcentual de las emisiones de combustibles fósiles por las de combustibles alternativos (teniendo en cuenta que 1 tonelada de carbón emite 2,41 toneladas de CO₂ y 1 tonelada de combustible alternativo SRF emite 0,64 toneladas de CO₂).

Como propuestas de este tipo se pueden pensar en numerosas posibilidades. Lo que es importante destacar es que existe el antecedente en nuestro país. En el año 2006 se sancionó la Ley N° 26.093: Ley de Régimen y Promoción para la producción y uso sustentables de Biocombustibles, que tal como su nombre lo indica, tiene el objeto de promover la producción, promoción y uso de biocombustibles. A raíz de ello, resulta lógico pensar que sería viable la aplicación de medidas e incentivos por parte de los organismos de decisión para garantizar el consumo del combustible alternativo SRF y por lo tanto asegurar la rentabilidad del proyecto

- **Reformulación de la Ley N° 1854 (“Basura Cero”).** El artículo 10 de ésta ley tiene como objetivo promover el aprovechamiento de los RSU, sin que sean utilizados para la combustión. Bajo el tratamiento MT, los RSU son convertidos en combustible alternativo SRF el cual luego es combustionado, por lo cual existe una necesidad de modifica la ley de manera tal que el proyecto pueda cumplirla. Esto favorecería también la realización de proyectos de incineración.
- **Acceso al crédito en moneda extranjera.** Este tipo de proyectos requiere de fuertes inversiones en tecnología extranjera durante los primeros años del mismo. Por lo tanto, sería conveniente contar con líneas de crédito en moneda extranjera a tasas accesibles de manera de poder financiar parte del capital a invertir.

5.5 Creación de valor para las partes interesadas (*Stakeholders*)

El siguiente apartado del trabajo tiene como objetivo listar los beneficios para las distintas partes afectadas por la ejecución de este tipo de proyectos.

5.5.1 Ganancia estimada para las partes interesadas (*Stakeholders*)

▪ Gobierno y Comunidad

- **Minimización de RSU:** reducción de los residuos en un **52%** (en promedio), de los cuales 48% corresponden a la obtención de combustible alternativo SRF y un 4% a la obtención de metales, quedando para disposición final un **48%** de los RSU procesados. Si se utiliza el material orgánico para *compost*, la cantidad de residuos a disponer finalmente se reduce aún más hasta alcanzar el orden del **9%**.
- **Ahorro (aproximado) de 15,6 M\$ / año en concepto de disposición final para el Gobierno de la Ciudad:** La ciudad dispone anualmente 1.600.000 toneladas de RSU a un costo de 150 \$ / ton, lo cual implica un gasto anual de \$ 240.000.000. La planta está dimensionada para tratar 200.000 toneladas por año, de las cuales se obtienen 96.000 toneladas en combustible alternativo SRF y 8.000 toneladas en metales, dejando para disposición final otras 96.000 toneladas. Esto implica que se estarían dejando de enviar a disposición final unas 104.000 toneladas. A un costo de disposición de 150 \$ / ton, se estaría generando un ahorro de 15.600.000 \$ / año, lo que equivale a una reducción del 7% sobre total anual. Si bien el ahorro no es demasiado grande, no puede dejarse de lado. Si se considera que el material inorgánico es utilizado para *compost*, se dejan de disponer en total 182.000 toneladas por año, lo equivale a un ahorro de 27.300.000 \$/año (11% sobre el gasto total en disposición final).

Adicionalmente se debe considerar lo siguiente:

- El ahorro generado es para una instalación de una línea. Una instalación más grande, con más líneas de producción que permita tratar un mayor volumen de RSU contribuiría a generar un ahorro superior.

- Se está generando un ahorro económico al mismo tiempo en que se apoya un proyecto sustentable con un beneficio hacia el medioambiente y la comunidad.
 - **Fuente de energía alternativa directa y no estacional:** el combustible alternativo SRF obtenido del proceso se puede aplicar directamente como sustituto de combustibles fósiles (carbón) y la producción no depende de la temporada; pues la generación de residuos es constantes. Si bien durante el invierno la cantidad generada es menor, no compromete a los volúmenes estudiados para el proyecto.
 - **Nueva fuente de empleo y mano de obra:** Generación de 26 puestos de trabajo. Esta cantidad corresponde a una línea de producción. En caso de implementarse más de una, se debe aumentar la mano de obra directa para producir el combustible, como la mano de obra indirecta para la comercialización del mismo.
 - **Mayor vida útil para los rellenos sanitarios:** al reducirse la cantidad de RSU a disponer, la vida útil del relleno sanitario naturalmente. La reducción de residuos que se disponen es directamente proporcional al plazo que se extienden los mismos. Por otro lado, nuevos rellenos sanitarios requieren menor superficie.
 - **Contribución potencial al cumplimiento de la Ley N° 1854 (“Basura Cero”):** en caso de que la legislación vigente sea modificada tiene una fuerte contribución al reducir los RSU con una tasa de 520 kg de basura por tonelada de RSU procesada. Esto implica reducir los RSU a disponer en 104.000 toneladas por año, lo que equivale a un 7% del total de residuos que dispone la ciudad. Tal como se mencionó más arriba, si el material inorgánico expulsado del proceso es utilizado para compost, de 200.000 toneladas por año procesadas por la planta, quedarían disponibles para disposición final solamente 18.000 toneladas de RSU, lo que equivale a un 11% de reducción.
 - **Alternativa con sustentabilidad ambiental:** minimización de RSU y generación de energía con recursos renovables
- **Accionistas**

- **Proyecto de buena rentabilidad:** VAN u\$s 10.338.887 , TIR 31,06% , Período Repago Inversión de 3 años
 - **Bajos costos de operación:** Representan en promedio 30% del ingreso por ventas.
 - **Contribución al desarrollo sustentable:** Invertir en un proyecto que contribuye a la reducción de RSU y al desarrollo de energía alternativa (Responsabilidad Social Empresaria)
- **Medio Ambiente**
- **Minimización de RSU:** reducción de los residuos en un **52%** (en promedio), de los cuales 48% corresponden a la obtención de combustible alternativo SRF y un 4% a la obtención de metales, quedando para disposición final un **48%** de los RSU procesados. Si se utiliza el material orgánico para *compost*, la cantidad de residuos a disponer finalmente se reduce aún más hasta alcanzar el orden del **9%**.
 - **Fuente de energía alternativa directa y renovable:** el combustible alternativo SRF obtenido del proceso se puede aplicar directamente como sustituto de combustibles fósiles (carbón). Por otro lado, la actividad humana siempre generará residuos a partir de los cuales se podrá obtener el combustible alternativo SRF, a menos que su composición cambie de forma tal que no alcance el poder calorífico necesario para ser utilizado como combustible alternativo SRF.
 - **Reducción de emisiones contaminantes:** 1 tonelada de carbón emite 2,41 toneladas de CO₂, mientras que 1 tonelada de combustible alternativo SRF emite 0,64 toneladas de CO₂. Para sustituir 1 tonelada de carbón, son necesarias 1,5 toneladas de combustible alternativo SRF, lo que generaría 0,96 toneladas de CO₂. Esto equivale a reducción del 60% de toneladas de CO₂ por tonelada de combustible.
 - **Mayor vida útil para los rellenos sanitarios:** al reducirse la cantidad de RSU a disponer, la vida útil del relleno sanitario naturalmente. La reducción de residuos que se disponen es directamente proporcional al plazo que se extienden los mismos. Por otro lado, nuevos rellenos sanitarios requieren menor superficie.

- **Tecnología de aceptación por los organismos ambientalistas:** en comparación con la incineración, resulta ser una tecnología más económica y mejor controlada.
- **Clientes (Consumidores del combustible alternativo SRF)**
 - **Suministro de fuente de energía constante:** no enfrentarían problemas de abastecimiento dado que la producción de combustible alternativo SRF es continua.
 - **Reducción en el costo de sus insumos para la producción:** ahorro estimado de 170 u\$s por tonelada de carbón consumida. Para la generación eléctrica que utiliza aproximadamente 700.000 toneladas de carbón por año, reemplazar 96.000 toneladas por combustible alternativo SRF implica un ahorro de 10.880.000 u\$s, es decir un 7% de ahorro. Para el caso de la industria cementera, el porcentaje de ahorro es menor: del orden del 2%.
 - **Potencial ingreso por venta de CER:** teniendo en cuenta las emisiones generadas por cada tipo de combustible, la producción anual de la planta, y considerando un precio medio para los CER de 10 u\$s, el potencial ingreso es el siguiente:

Combustible a Utilizar	Consumo	Emisiones CO2
Carbón	64.000	154.240
SRF	96.000	61.440

Cantidad de CER a emitir	92.800
Precio estimado CER	10 u\$s

Ingreso total industria	928.000
--------------------------------	----------------

Tabla 5.3 Potencial ingreso por emisión de CER para la sustitución de 64.000 toneladas de carbón.

- **Minimización del impacto ambiental de las emisiones gaseosas:** al utilizar el combustible alternativo SRF reducen sus emisiones contaminantes en un 60% por tonelada de combustible.
- **Compromiso con el medio ambiente y la comunidad:** al utilizar el combustible alternativo SRF reducen sus emisiones contaminantes

actuando de manera responsable con el medio ambiente y la comunidad.

5.5.2 Resumen de las contribuciones generadas por el proyecto

GANANCIA	GOBIERNO y COMUNIDAD	ACCIONISTAS	MEDIO AMBIENTE	CLIENTES DEL SRF
Minimización del RSU en un 52% por tonelada de RSU procesada				
Ahorro en disposición final: 15,6 M\$/ año (7%)				
Fuente de energía alternativa directa y no estacional				
Nueva fuente de empleo y mano de obra				
Mayor vida útil para los rellenos sanitarios				
Contribución potencial al cumplimiento de la Ley N° 1854 (“Basura Cero”)				
VAN u\$s 10.338.887 , TIR 31,06% , Período Repago Inversión de 3 años				
Bajos costos de operación				
Contribución al desarrollo sustentable				
Reducción de emisiones contaminantes: 60% por ton. sustituida de carbón				
Tecnología de aceptación por los organismos ambientalistas				
Reducción costo de insumos para la producción: 7% generación eléctrica, 2% industria cementera				
Potencial ingreso por venta de CER: u\$s 928.000				

Tabla 5.4 Contribuciones del proyecto y Partes Interesadas.

6 BIBLIOGRAFIA

- Apuntes de Cátedra 2006. Proyectos de Inversión. ITBA. Argentina
- Apuntes de Cátedra. 2005. Organización de la Producción II. ITBA. Argentina.
- Sanchez Bravo, A. 2008. Políticas Públicas Ambientales. ArCiBel Editores.
- Sanchez Bravo, A. 2007. Ciudades, medio ambiente y sostenibilidad. ArCiBel Editores.
- Elias Castells, X. 2005. Tratamiento y Valorización Energética de Residuos. Editorial Díaz de Santos.
- Provincia de Buenos Aires, Ley 11.459 y Decreto Reglamentario.
- Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE). <http://ceamse.gov.ar/>.
- Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Gestión Integral de Residuos. <http://www.buenosaires.gov.ar/>.
- European Commission – Directorate General Environment. 2003. RDF, Current Practices and Perspectives. Final Report.
- Sapag Chain, N. Sapag Chain, R. 2000. Criterios de Evaluación de Proyectos. McGraw-Hill.
- Sapag Chain, N. Sapag Chain, R. 2000. Preparación y Evaluación de Proyectos. McGraw-Hill.
- Kotler, P. 1990. Principles of Marketing. Prentice Hall.
- Kotler, P. 1999. Marketing Management: The Millenium Edition. Prentice Hall.
- Kotler, P. 1996. Marketing Management: Analysis, Planning, Implementation and Control. Prentice Hall.
- Porter, M. 1979. How competitive forces shape strategy. Harvard business Review.
- Porter, M. 1980. Competitive Strategy. Free Press, New York.
- Asociación de Fabricantes de Cemento Pórtland. <http://www.afcp.org.ar/>.

- Winston, W. 2005. Investigación de Operaciones. Aplicaciones y algoritmos. Editorial Thomson Learning.
- Apuntes de Cátedra. 2005. Presupuestación y Control. ITBA. Argentina.
- Varian, H. Microeconomía Intermedia. Editorial Antoni Bosch.
- Damodaran, A. 2009. Valuing Young, Start-up Growth companies: Estimation Issues and Valuation Challenges. Stern School of Business, New York University.
- Damodaran, A. 2001. Applied Corporate Finance: A User's Manual. Wiley Series in Finance.
- Damodaran, A. 2001. Investment Valuation. Editorial Wiley.
- Stowe, Robinson, Pinto, Mc Leavey. 2007. Equity Asset Valuation. Editorial Wiley.
- Hooke, J.C. 2007. Security Analysis on Wall Street. Editorial Wiley.
- Tahm, J. Velez-Pareja, I. 2004. Principles of Cash Flow Valuation. Academic Press.
- Ittelson, T. 1998. Financial Statements. Paperback.
- Tjia, J. 2004. Building Financial Models. McGraw-Hill Finance & Investing
- Brealy, R. Myres, S.C. & Allen, F. 2005. Principles of Corporate Finance. McGraw-Hill Finance & Investing.

7 ANEXOS

7.1 Análisis económico financiero

7.1.1 Costos operativos

1) Gastos en Personal						1
	Servicio	Cantidad	Sal prom (\$)	Cargas Soc (\$ (48,9%))		
GTE GENERAL (OPERAC., REP TECNICO Y ADMIN)	Op. Planta / A	1	14.565	7.122		260.251
JEFE DE TURNOS	Op. Planta	2	8.087	3.955		288.995
TECNICO QUIMICO	Op. Planta	2	6.348	3.104		226.846
OPERADOR PALA CARGADORA PLAYA DE DESCARGA	Op. Planta	2	5.825	2.849		208.169
OPERADOR RETROPALA	Op. Planta	2	5.825	2.849		208.169
OPERADOR TABLERO DE COMANDOS	Op. Planta	2	5.825	2.849		208.169
MANTENIMIENTO EQUIPOS	Op. Planta	4	5.261	2.572		375.979
SSGG (Limpieza, parqueizac.,)	Op. Planta	4	4.763	2.329		340.394
SERVICIO MEDICO	Aux.	2	5.348	2.615		191.110
JEFE ADMINISTRATIVO	Admin.	1	10.696	5.230		191.110
PERSONAL ADMINISTRATIVO	Admin.	4	6.348	3.104		453.692
Total (\$)						2.952.886

2) Mantenimiento de Equipos					1
	Costo \$	IVA (21%)	Total (\$)		
PLANTA COMER	201.724	42.362	244.086		244.086
PALA CARGADORA CAT 950	157.248	33.022	190.270		190.270
AUTOELEVADOR	13.200	2.772	15.972		15.972
CAMIONETA	38.400	8.064	46.464		46.464
GRUPO ELECTROGENO	18.000	3.780	21.780		21.780
HERRAMIENTAS TALLER	12.000	2.520	14.520		14.520
ABASTECIMIENTO COMBUSTIBLE (MANTENIMIENTO SUR	6.000	1.260	7.260		7.260
Total (\$)					540.352
IVA (\$)					93.780

3) Combustible y Lubricantes					1
	Costo \$	IVA (21%)	Total (\$)		
PALA CARGADORA CAT 950	134.784	28.305	163.089		163.089
AUTOELEVADOR	70.200	14.742	84.942		84.942
CAMIONETA	15.600	3.276	18.876		18.876
GRUPO ELECTROGENO	3.900	819	4.719		4.719
LUBRICANTES	102.679	21.563	124.242		124.242
Total (\$)					395.867
IVA (\$)					68.704

4) Costos Administrativos					1
	Costo \$	IVA (21%)	Total (\$)		
MATERIAL DE OFICINA E INFORMATICA (Café y agua)	18.000	3.780	21.780		21.780
COSTO LINEA PUNTO A PUNTO	20.898	4.389	25.287		25.287
COMIDAS Y DESPLAZAMIENTOS	1.129.440	237.182	1.366.622		1.366.622
LUZ (Electricidad)	628.153	131.912	760.065		760.065
GAS	158.832	33.355	192.187		192.187
TELEFONO	6.240	1.310	7.550		7.550
AGUA	129.600	27.216	156.816		156.816
GASTOS ENFERMERIA	18.000	3.780	21.780		21.780
TRATAMIENTO RESIDUOS PELIGROSOS	2.400	504	2.904		2.904
CAJA CHICA	42.000	8.820	50.820		50.820
Total (\$)					2.605.811
IVA (\$)					452.248

5) Costos Mantenimiento Base					1
	Costo \$	IVA (21%)	Total (\$)		
SEÑALIZACION	3.600	756	4.356		4.356
INSTALACIONES	14.400	3.024	17.424		17.424
CERRAMIENTOS	7.200	1.512	8.712		8.712
CAMINOS	214.710	45.089	259.799		259.799
RED ELECTRICA	14.400	3.024	17.424		17.424
Total (\$)					307.715
IVA (\$)					53.405

6) Insumos					1
	Costo (\$)	IVA (21%)	Total (\$)		
LABORATORIO	0	0			
LIMPIEZA	30.000	6.300	36.300		36.300
GORE - TEX	60.000	12.600	72.600		72.600
ALAMBRE DE FARDO (Polipropileno)	698.427	146.670	845.097		845.097
HEBILLAS	76.535	16.072	92.607		92.607
ROPA DE TRABAJO	85.008	17.852	102.860		102.860
				Total (\$)	1.149.463
				IVA (\$)	199.494

7) Otros					1
	Costo (\$)	IVA (21%)	Total (\$)		
PROGRAMA GESTIÓN SOCIAL	9.600	2.016	11.616		11.616
IMPREVISTOS OPERATIVOS (3%)	-	-	-		266.351
IMPREVISTOS ADMINISTRACIÓN (4%)	-	-	-		918.033
COSTOS DE ESTRUCTURA	-	-	-		459.016
				Total (\$)	1.655.016
				IVA (\$)	287.234

8) Seguros					1
	Costo (\$)	IVA (21%)	Total (\$)		
SEGURO DE VIDA OBLIGATORIO	914	0	914		914
TODO RIESGO OPERATIVO	18.733	3.934	22.666		22.666
MAQUINAS Y EQUIPOS PESADOS	5.583	1.172	6.756		6.756
SEGURO TECNICO AUTOMOTOR	6.000	1.260	7.260		7.260
RESPONSABILIDAD CIVIL AUTOMOTOR	9.000	1.890	10.890		10.890
RESPONSABILIDAD CIVIL COMPRENSIVA	99.755	20.949	120.704		8.047
				Total (\$)	56.533
				IVA (\$)	9.811

9) Subcontratos					1
	Costo (\$)	IVA (21%)	Total (\$)		
VIGILANCIA	459.110	96.413	555.524		555.524
MANTENIMIENTO MENSUAL PAGINA WEB	84.000	17.640	101.640		101.640
MONITOREO AMBIENTAL	24.000	5.040	29.040		29.040
DEPÓSITO PARA COMBUSTIBLE 20.000 LTS Y SURTIDOR	1.800	378	2.178		2.178
CONTROL DE VECTORES	76.800	16.128	92.928		92.928
SERVICIO AMBULANCIA	6.000	1.260	7.260		7.260
MANTENIMIENTO FORESTACIÓN	12.000	2.520	14.520		14.520
SEGURIDAD INDUSTRIAL	14.400	3.024	17.424		17.424
CALIDAD Y MEDIOAMBIENTE	15.400	3.234	18.634		18.634
NORMA ISO 9001 IBERPAC	36.000	7.560	43.560		43.560
NORMA ISO 14001 IBERPAC	36.000	7.560	43.560		43.560
				Total (\$)	926.268
				IVA (\$)	160.757

7.1.2 Inversiones

1) Preparación Infraestructura Planta y Preliminares (\$)					7.317.014
	Cantidad	Costo (\$)	Inversión (\$)	IVA (21%)	Costo Total (\$)
Nave 60 x 90 mts	1	3.724.719	3.724.719	782.191	4.506.910
CERRAMIENTO PERIMETRAL DEL PREDIO	1	54.400	54.400	11.424	65.824
LIMPIEZA Y NIVELACION (mas o menos 20000m2)	1	2.268.000	2.268.000	476.280	2.744.280
				Total IVA (\$)	1.269.895
				Costo Total (\$)	7.317.014

2) Obra Civil (\$) 5.275.113				
	Cantidad	Costo (\$)	IVA (21%)	Costo Total (u\$D)
OFICINA CONTRATISTA (Incluye sala reunión / capacitación)	1	230.790	48.466	279.256
OFICINA INSPECCION	1	208.680	43.823	252.503
ESTACIONAMIENTO CONTRATISTA (50 x 3 = 150 m2)	1	183.168	38.465	221.633
GALPÓN DE MANTENIMIENTO (TALLER)	1	74.390	15.622	90.012
VESTUARIOS Y BAÑOS, COCINA Y COMEDOR	1	240.291	50.461	290.752
OFICINA DE VIGILANCIA	1	58.274	12.238	70.512
LABORATORIO	1	135.566	28.469	164.035
SERVICIO MEDICO	1	133.128	27.957	161.085
INSTALACION DE GAS	1	307.808	64.640	372.448
INSTALACION DE AGUA	1	114.413	24.027	138.440
ENERGÍA (incluye instalación eléctrica completa)	1	998.299	209.643	1.207.942
ALCANTARILLADO	1	250.000	52.500	302.500
TERRAPLEN DE BASE	1	1.304.100	273.861	1.577.961
PAVIMENTACION ACCESO	1	103.200	21.672	124.872
LAVADERO	1	17.490	3.673	21.163
Total IVA (\$)				915.516
Total (\$)				5.275.113

3) Caminos (\$) 2.528.658					
	Cantidad	Costo (\$)	Inversión (\$)	IVA (21%)	Costo Total (u\$D)
VÍAS DE ACCESO INTERNAS	1	2.089.800	2.089.800	438.858	2.528.658
Total IVA (\$)				438.858	
Costo Total (\$)				2.528.658	

4) Equipamiento (\$) 22.279.715					
	Cantidad	Inversión (u\$D)	IVA (21%)	Costo Total (u\$D)	
PLANTA (inversión en la tecnología)	1	4.699.175	986.827	5.686.002	
- Equipamiento y máquinas que conforman el proceso					
- Motores eléctricos					
- Engranajes e impulsores				IVA 10,5%	
- Electrificación y automatización del equipo					
		Inversión (\$)	IVA (21%) (\$)	Costo Total (\$)	
		17.386.948	3.651.259	21.038.207	
	Cantidad	Costo (\$)	Inversión (\$)	IVA (21%)	Costo Total (\$)
PALA CARGADORA CAT 950	2	276.740	553.480	58.115	611.595
AUTOELEVADOR	3	96.750	290.250	30.476	320.726
CAMIONETA	2	83.400	166.800	17.514	184.314
HIDROLAVADORA A VAPOR	2	34.400	68.800	14.448	83.248
HIDROLAVADORA AGUA FRIA	2	17.200	34.400	7.224	41.624
Total IVA (\$)				3.779.037	
Costo Total (\$)				22.279.715	

5) Muebles y Equipos Técnicos Oficina (\$) 341.807					
	Cantidad	Costo (\$)	Inversión (\$)	IVA (21%)	Costo Total (\$)
MUEBLES Y ENSERES	1	25.000	25.000	5.250	30.250
PC	10	2.903	29.030	6.096	35.126
monitor	10	948	9.480	1.991	11.471
Impresoraschorro tinta	4	337	1.348	283	1.631
Impresoras color	3	3.638	10.914	2.292	13.206
Cableado de Fibra Optica	1	15.500	15.500	3.255	18.755
EQUIPOS DE COMUNICACIÓN - telefonos	1	1.000	1.000	210	1.210
EQUIPOS DE COMUNICACIÓN -nextel	5	300	1.500	315	1.815
INTERNET (ANTENA E INSTALACION INALAMBRICA)	1	70.000	70.000	14.700	84.700
DISEÑO PAGINA WEB	1	70.000	70.000	14.700	84.700
Servidor	1	36.765	36.765	7.721	44.486
Rack	1	400	400	84	484
Switch	1	1.548	1.548	325	1.873
SOFTWARE	1	10.000	10.000	2.100	12.100
Total IVA (\$)				59.322	
Costo Total (\$)				341.807	

6) Inversiones en Manejo, Control Ambiental y Seguridad (\$) 556.057			
	Costo (\$)	IVA (21%)	Costo Total (\$)
FORESTACIÓN (Incluye la compra, riego y colocación del individuo)	11.515	2.418	13.933
CARTEL PRINCIPAL (ROTONDA Y ENTRADA)	15.000	3.150	18.150
CARTEL INDICADOR ZONAS	6.000	1.260	7.260
CARTELERÍAS VARIAS	2.500	525	3.025
DETECCION Y EXTINCION DE INCENDIO	399.536	83.903	483.439
HIGIENE Y SEGURIDA DE OBRA	25.000	5.250	30.250
Total IVA (\$)			96.506
Costo Total (\$)			556.057

7) Imprevistos (\$)			1.148.951
Imprevistos (3%)	3%	199.405	<i>Costo Total (u\$D)</i> 1.148.951
Total IVA (\$)			199.405
Costo Total (\$)			1.148.951

7.1.3 Impuesto al valor agregado (IVA)

I.V.A.	0	1	2	3	4	5	6	7
Ingresos sujetos al IVA		22.950.816	28.644.896	29.956.896	31.268.896	32.580.896	34.243.649	36.053.001
IVA Débito Fiscal (21%)		4.819.671	6.015.428	6.290.948	6.566.468	6.841.988	7.191.166	7.571.130
Total IVA inversiones	6.758.538	-	-	-	-	21.672	58.115	-
IVA Costos operativos	-	1.585.974	1.615.699	1.581.478	1.556.131	1.545.633	1.548.622	1.568.896
IVA Crédito Fiscal (21% y al 10,5%)	6.758.538	1.585.974	1.615.699	1.581.478	1.556.131	1.567.305	1.606.738	1.568.896
Posición Neta IVA	-6.758.538	3.233.697	4.399.729	4.709.470	5.010.337	5.274.683	5.584.429	6.002.235
IVA Cash Flow	-6.758.538	3.233.697	3.524.841	-	-	-	-	-
IVA a Pagar al fisco	-	-	-874.889	-4.709.470	-5.010.337	-5.274.683	-5.584.429	-6.002.235
Crédito IVA (al balance)	6.758.538	3.524.841	-	-	-	-	-	-

I.V.A.	8	9	10	11	12	13	14	15
Ingresos sujetos al IVA	37.898.686	39.826.995	41.853.417	43.982.945	46.220.825	48.532.696	50.952.214	53.325.072
IVA Débito Fiscal (21%)	7.958.724	8.363.669	8.789.218	9.236.418	9.706.373	10.191.866	10.699.965	11.198.265
Total IVA inversiones	30.476	-	21.672	-	-	58.115	-	-
IVA Costos operativos	1.586.621	1.608.187	1.630.850	1.654.666	1.679.694	1.705.550	1.732.609	1.752.595
IVA Crédito Fiscal (21% y al 10,5%)	1.617.097	1.608.187	1.652.522	1.654.666	1.679.694	1.763.665	1.732.609	1.752.595
Posición Neta IVA	6.341.627	6.755.482	7.136.695	7.581.752	8.026.679	8.428.201	8.967.356	9.445.670
IVA Cash Flow	-							
IVA a Pagar al fisco	-6.341.627	-6.755.482	-7.136.695	-7.581.752	-8.026.679	-8.428.201	-8.967.356	-9.445.670
Crédito IVA (al balance)	-							

