

Centro Argentino de Ingenieros
Premio Pre Ingeniería 2015

[Trabajo premiado]



**Estudio de factibilidad: generación de energía
eléctrica a partir de la incineración controlada de
RSU**

Autores

Fernández Palacios, Tomás

Klimczyk, Enzo Iván

Nasrala, Matías Daniel

Roveri, Francisco José

Tutor del Proyecto: **Ing. Julio García Velasco**

PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

2014

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias, por brindarnos la posibilidad de estudiar y acompañarnos durante todo el proceso.

Al Profesor Ing. Julio García Velasco, por guiarnos no sólo durante este proyecto, sino también durante la carrera.

Al Ing. Ezequiel Rossi, por toda la ayuda en la investigación y todas sus ideas.

A la Profesora Lic. Liliana Bertini, por todas las enseñanzas y la información compartida.

Al Lic. Jorge Juan Rodríguez de CEAMSE, por recibirnos y compartir información con nosotros.

RESUMEN EJECUTIVO

En los últimos años la Argentina, y más precisamente el Área Metropolitana de Buenos Aires, estuvieron marcadas por dos grandes problemáticas. Por un lado el problema estructural que presenta la gestión de los residuos sólidos urbanos, y por el otro el déficit energético y el aumento de la dependencia de la importación de energía, por lo general en forma de combustible.

En el siguiente trabajo se propone un análisis técnico e ingenieril sobre una posible “*solución*” a estas problemáticas: una planta generadora de energía mediante la incineración controlada de residuos sólidos urbanos.

Si bien la incineración es algo que en los últimos veinte años se trató de eliminar- e inclusive de prohibir- debido a sus potenciales efectos sobre la salud humana y sobre el medio ambiente, los avances tecnológicos permiten volver a contemplar esta solución como algo viable y *sustentable*. Junto con el análisis técnico, se presentarán casos de éxito que evidencien esto.

Es importante mencionar que ésta, no es una solución definitiva al problema. Es simplemente una herramienta para tratar de disminuir, en el corto plazo, las problemáticas previamente mencionadas. Con este tipo de planta generadora, no se busca desviar la atención de soluciones más efectivas y con menor impacto ambiental –e inclusive nulo-, como el reciclaje, entre otras. Sin embargo, para que el reciclaje y otras soluciones sean posibles a grandes escalas, es necesario un cambio en los paradigmas y un compromiso de la sociedad respecto a los residuos, y empezar a pensarlos como un recurso; y para ello una educación a largo plazo.

De la misma forma, la generación de energía de la planta no solucionará el déficit energético. Para ello es necesaria una reformulación de la matriz energética general del país.

El gran valor de este tipo de planta reside en dos factores:

Atacar de forma sustentable dos problemáticas que requieren soluciones urgentemente.

Evidenciar y reforzar la idea de que los residuos son un recurso de gran valor

EXECUTIVE SUMMARY

Over the last years, Argentina, but most precisely the Metropolitan Area of Buenos Aires, has been struggling with two big concerns: the structural issues that a proper solid waste management implies on one hand and, on the other hand, a power deficit and thus an increasing dependency on importing it, most of it being fuel.

The following study analyzes, from a technical point of view, a possible 'solution' to the aforementioned concerns. The solution this study proposes is setting up a plant that generates power through the controlled incineration of solid waste.

Although there have been attempts to eliminate and even ban incineration over the past 20 years because of it being hazardous to human health and the environment, there's been numerous technological improvements on the matter, to the point it could be considered to be a feasible and sustainable solution. Successful cases of its

However, it is important to mention that this proposal is not itself a solution to the abovementioned concerns, but merely a tool to help diminish issues in short term. The implementation of this plant does not seek to deviate attention to itself from other more effective and eco-friendly solutions, such as recycling. Nonetheless, for these solutions to be applied, there needs to be a big change in how our society perceives and deals with matters related to waste and how it could being to be thought of as a resource. This breakthrough in our society requires a long term investment in educating the people on these matters and the benefits that they bring.

Just like it was stated above, the power generated by this plant will not solve our power deficit by itself by itself. For this to happen, there needs to be a reformulation of the energy consumption by source in Argentina.

A big value can be found in the implementation of this kind of plants because of 2 key factors:

In a sustainable way, it tackles two big problems that need to be dealt with urgently.

Makes it evident that solid waste is a resource of great value and reinforces this idea.

Contenido

AGRADECIMIENTOS	1
RESUMEN EJECUTIVO	1
EXECUTIVE SUMMARY	1
CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA EN LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RSU	13
EL PROBLEMA DE LOS RELLENOS SANITARIOS	13
IMPACTOS DE LOS RELLENOS SANITARIOS SOBRE LA SALUD	14
COMPATIBILIDAD DE LA INCINERACIÓN CONTROLADA CON EL RECICLAJE	16
JERARQUIZACIÓN DE LA GESTION DE LOS RESIDUOS	17
NECESIDAD DE CAMBIO Y COMPROMISO SOCIAL	18
WASTE MANAGEMENT EN ARGENTINA. GENERALIDADES	19
GRSU EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUENOS AIRES.....	20
¿Qué es el AMBA?	20
¿Qué es el CEAMSE?	20
CAPÍTULO 2: PROBLEMÁTICA ELÉCTRICA EN ARGENTINA.....	23
SITUACIÓN ACTUAL	23
Matriz energética ⁵	24
Déficit de generación.....	25
Importación de combustible	26
EL MERCADO ELÉCTRICO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUENOS AIRES....	28
CAPÍTULO 3: LA INCINERACIÓN CONTROLADA DE RSU	31
INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA.....	31
TECNOLOGÍAS DE INCINERACIÓN.....	31
Parrillas móviles	32
Hornos rotatorios	34
Lecho fluidizado	35
Selección de la tecnología.....	37
TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE GASES	38
Separación de partículas	39
Precipitadores electrostáticos	40
Filtros de mangas	41
Lavadores venturi (“scrubbers”).....	42
Ciclones	45

ELIMINACIÓN DE GASES ÁCIDOS: SOX, HCL, HF	47
Proceso seco y semi-seco.....	47
Proceso húmedo.....	47
Eliminación de los óxidos de nitrógeno NO _x	49
Medidas primarias	50
Medidas secundarias	51
Reducción de la emisión de compuestos orgánicos, dioxinas y furanos	53
TECNOLOGÍA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA	54
CAPÍTULO 4: CASOS DE ÉXITO A NIVEL MUNDIAL	57
WASTE-TO-ENERGY A NIVEL MUNDIAL.....	57
CASOS EN EL MUNDO.....	58
Ejemplos de éxito: Suecia	58
Otros casos de éxito en el mundo:	61
Ejemplos de fracaso: India	63
Factores clave para el éxito	64
Tarifas altas de disposición en rellenos sanitarios	64
Políticas y situaciones favorables para el WTE.....	66
CAPÍTULO 5: POSIBLE IMPLEMENTACIÓN EN AMBA	67
GENERALIDADES	67
ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LOS RSU EN EL AMBA.....	67
Composición de RSU en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires	68
Resultados:	70
Composición física promedio RSU CABA.....	72
Análisis porcentaje RSU potencialmente reciclables	72
Generación de componentes potencialmente incinerables.....	72
Conclusiones del estudio:	73
ESTUDIO DE MACRO-LOCALIZACIÓN	75
ANÁLISIS DE FACTORES DE LOCALIZACIÓN	75
Cercanía a la fuente de insumos y al mercado y costos de transporte.....	75
Consideraciones legales y políticas.....	75
Factores ambientales y sociales	75
Disponibilidad y costo de personal calificado.....	75
ESTUDIO DE MICRO-LOCALIZACIÓN.....	76
MARCO REGULATORIO	79

Ley 1.854 de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires - <i>Ley de Basura Cero</i>	79
Ley 13.592 de la Provincia de Buenos Aires - <i>Ley de Gestión Integral de RSU</i>	81
Ley Nacional 26.190 – <i>Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica</i>	82
Programa “GENREN” ENARSA – <i>Licitación de generación eléctrica a partir de fuentes renovables</i>	83
Otras legislaciones aplicables	83
CAPÍTULO 6: ESTUDIO DE INGENIERÍA	85
INTRODUCCIÓN	85
Análisis de diferentes plantas WTE en el mundo	85
Otros casos de estudio	87
Primeras definiciones técnicas.....	88
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO	89
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA PLANTA	90
Estación 1: Recepción de MP.....	90
Estación 2: Incineración y combustión.....	92
Estación 3: transferencia de calor	96
Estación 4: generación de energía eléctrica	98
Estación 5: Sistema de limpieza de gases	102
Balance de masas	110
Lay-out de Planta	112
CAPÍTULO 7: ESTUDIO ECONÓMICO-FINANCIERO	115
INTRODUCCIÓN	115
PROYECCIÓN DE COSTOS PARA LA PLANTA WTE	115
Costos de capital y necesidades de inversión	116
Costos operativos de la planta	117
PROYECCIÓN DE INGRESOS PARA LA PLANTA WTE	117
Ingresos por venta de energía eléctrica.....	117
Ingresos por Gate Fee o Tarifa por gestión de residuos	118
Ingresos por venta de metal recuperado de la ceniza	118
Ingreso por venta de Bonos o Créditos de Carbono.....	119
Resumen costos e ingresos.....	120
Análisis de distintos escenarios	121
CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES	123
POSIBILIDADES DE LA INCINERACIÓN CONTROLADA	123

POSIBILIDADES EN ARGENTINA	123
BIBLIOGRAFIA	125
ANEXOS	129
ANEXO A: MARCO REGULATORIO.....	129
LEY 1854 – CIUDAD AUTÓNOMA DE BUENOS AIRES.....	129
LEY NACIONAL 26.190	132
ANEXO B: CALCULO DEL PODER CALORIFICO	135

CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA EN LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RSU

EL PROBLEMA DE LOS RELLENOS SANITARIOS

Los rellenos sanitarios presentan problemas mucho más serios que la contaminación visual de una zona, o el mal olor que se esparce por el aire. Existen diversos aspectos por los cuales los rellenos sanitarios resultan peligrosos y perjudiciales.

Por un lado, independientemente de la gestión previa que se realice, el hecho de enterrar masivamente residuos implica que no se esté dando el tratamiento adecuado a residuos peligrosos que contienen materiales tóxicos. Algunos ejemplos son los residuos electrónicos, baterías, etc. De esta forma se liberan múltiples tipos de compuestos tóxicos, incluido mercurio, arsénico, cadmio, PVC, solventes, diversos ácidos peligrosos y plomo. Independientemente del recubrimiento de seguridad que tenga el relleno, estas sustancias permanecen *activas* y pueden penetrar hasta el suelo y las napas de agua.

Otro punto peligroso son los lixiviados, que es la sustancia líquida que va drenando a través de la basura, a medida que ésta se va descomponiendo. Los lixiviados son sumamente tóxicos para el ser humano, y sin una adecuada impermeabilización, pueden contaminar el suelo y los cuerpos de agua. Inclusive en los rellenos cuya impermeabilización es correcta, los movimientos de suelo y la presión misma generada por la basura pueden hacer que aparezcan fisuras por donde los líquidos filtran hacia afuera.

Otro punto importante es la liberación de gases de efecto invernadero a la atmosfera producto de la descomposición de los residuos. Si bien en la actualidad existen tecnologías que permiten aprovechar los gases generados a partir de la descomposición de los residuos, esto no es aplicado en grandes escalas. En la provincia de Buenos Aires, CEAMSE comenzó a utilizar una porción de los residuos que recibe para la obtención de gas. Sin embargo, en una escala muy pequeña todavía.

También es necesario pensar el problema desde el punto de vista del aprovechamiento de la tierra. Con una tasa del crecimiento de población del 14% en 9 años (2001-2010) y con el aumento de la Tasa Global de Fecundidad de 2,40 a 2,52 hijos por mujer¹, la superficie requerida, tanto para vivienda, producción de alimentos, etc., será cada vez más escasa. De esta forma, los rellenos sanitarios presentan otro gran inconveniente, no solo por el espacio ocupado durante su funcionamiento, sino que, una vez que el mismo es cerrado, deben transcurrir largos períodos de tiempo para el terreno sea habitable nuevamente.

¹ De acuerdo a las cifras difundidas por el INDEC, mediciones final del censo 2010.

Respecto a los efectos sobre la salud, existen extensos estudios sobre el tema. Tal vez uno de los más trascendentes fue un estudio realizado por Departamento de Salud de Nueva York², en donde se analizó los efectos sobre la salud de personas viviendo en la cercanía de rellenos sanitarios. Se encontraron gran cantidad de casos de cáncer de vejiga, leucemia, cáncer de estómago, hígado, entre tantos otros.

Estas son solamente algunos de los aspectos negativos y dañinos, tanto para la salud humana como para el ambiente, que presentan los rellenos sanitarios. De esta forma, es imprescindible e impostergable la necesidad de buscar soluciones sustentables al problema.

IMPACTOS DE LOS RELLENOS SANITARIOS SOBRE LA SALUD

Dada la diversidad de desechos que se encuentran en los rellenos sanitarios, hay una gran cantidad y variedad de sustancias nocivas para el medio ambiente y la salud humana. A continuación se resumen las principales sustancias nocivas y su efecto sobre la salud humana. Se clasifican según:

- **Compuestos Orgánicos Volátiles:** son compuestos formados básicamente por átomos de carbono e hidrógeno que se evaporan fácilmente. Los compuestos orgánicos volátiles más comunes de encontrar en los líquidos lixiviados son benceno, cloroformo, dicloroetano, etilbenceno, cloruro de metileno, tetracloroetileno, tolueno, tricloroetileno, cloruro de vinilo, xileno, entre otros.
- **Metales:** contenidos en los residuos depositados en los rellenos, debido al carácter ácido de los líquidos lixiviados, son disueltos y transportados. Los más representativos cuyos efectos son nocivos son arsénico, cadmio, cromo, plomo, mercurio, níquel.
- **Otras sustancias químicas:** otros compuestos que pueden encontrarse dentro de los lixiviados son los compuestos orgánicos sintéticos y alcoholes. Algunos ejemplos son lindano, pentaclorofenol, etanol, propanol, nitrofenol.

Con el paso del tiempo se fueron detectando graves efectos sobre la salud de la población circundante a la zona de los rellenos (menos de 5 km). La gran mayoría de estos compuestos podrían traer como consecuencia efectos cancerígenos, mutagénicos, posibles teratogénicos³, efectos sobre el sistema nervioso central, periférico, inmunológico, gastrointestinal, cardiovascular, daños en el hígado y el riñón, desórdenes de las células de la sangre, alergias, irritaciones en el sistema respiratorio, en los ojos y la piel, y efectos embriotóxicos.

² M. Vhrijhed, et al., "Health Effects of Residence Near Hazardous Waste Landfill Sites", EPA, New York, June 1999.

³ Teratogénico: Que produce malformaciones en el embrión o feto

Tal es así, que existen varios estudios en el mundo que dan cuenta del impacto que pueden tener los rellenos sanitarios en la salud de la población cercana. He aquí un breve resumen de algunos de ellos:

- Residentes a menos de 5 km de rellenos sanitarios en seis áreas de la región de Toscana, Italia presentaron **excesos de mortalidad por enfermedades cardiovasculares, cerebrovasculares, linfoma de tipo no-Hodgkin y por cáncer de hígado y de vejiga**, entre 1995-2000. (Minichilli et al, 2005)
- En 1995 se publicó un estudio sobre familias que vivían cerca de un importante relleno municipal: The Miron Quarry, en la Ciudad de Montreal, Canadá. Allí se encontró una **elevada incidencia de cáncer de estómago, hígado, próstata, y pulmón entre los hombres y de útero y cervical entre las mujeres** (ATSDR, 2001).
- Un estudio asocia el riesgo de cáncer y asma a personas con viviendas en áreas de rellenos sanitarios en Helsinki, Finlandia. (Pukkala et al, 2001)
- Un estudio realizado en 1998 por el Departamento de Salud del Estado de Nueva York examinó la incidencia de siete tipos de cáncer en hombres y mujeres que viven cerca de 38 rellenos donde se piensa que existe liberación de gases. De los 14 tipos de cáncer estudiados (7 en hombres y 7 en mujeres), se encontró que en 10 casos, los valores eran elevados, pero en sólo dos tipos de cáncer (**cáncer de vejiga y leucemia en las mujeres**) fueron estadísticamente significativos. Los siete tipos de cáncer estudiados fueron la leucemia; los linfomas no Hodgkin; el cáncer de hígado, de pulmón, de riñón, de vejiga y de cerebro. El estudio también concluyó que para las mujeres que viven cerca de los rellenos, la incidencia de los siete tipos de cáncer era elevada. En los hombres, el estudio encontró una incidencia elevada (aunque no estadísticamente significativa) de cáncer de pulmón, cáncer de vejiga y leucemia (Environmental Research Foundation, 1998)
- En el informe realizado por Environmental Research Foundation, 1998, se mencionan varios estudios realizados tanto en Estados Unidos y Canadá como en Europa a poblaciones que viven cerca de rellenos sanitarios. A partir de éstos el informe concluye que habitar cerca de un relleno es peligroso para la salud, no importa si es un relleno de residuos sólidos o de residuos peligrosos. Se detecta además que los efectos más comunes de vivir cerca de un relleno son un menor peso y tamaño de los recién nacidos. Por otro lado **los tipos más comunes de cáncer relacionados con los rellenos son la leucemia y el cáncer de vejiga**.

Los riesgos son mayores para fetos y recién nacidos ya que la barrera hematoencefálica inmadura permite el pasaje de sustancias libremente de la sangre al sistema nervioso central. Estos son algunos trabajos científicos en deficiencias congénitas asociados a cercanía de rellenos sanitarios:

- Se encontraron aumentos significativos en las tasas de incidencia de **anomalías congénitas** en 24 rellenos sanitarios desde 1983 a 1997 en residentes a 2 o 3 km de distancia de rellenos sanitarios (Palmer et al, 2005)
- En Inglaterra, entre los años 1970-1993, encontraron un pequeño pero significativo aumento en el riesgo de muerte de "**anomalías congénitas del sistema nervioso**" en niños cuyas madres vivían cerca de rellenos sanitarios municipales. (Dummer et al, 2003)
- En agosto de 2001 se publicó un estudio realizado en Inglaterra sobre los efectos en la salud de las personas que viven cerca de rellenos sanitarios. A partir de un estudio sobre 9.565 rellenos, se halló que el **riesgo de malformaciones** aumentaba en un 1% para aquellas personas que vivían dentro de los 2 Km de distancia del relleno.
- Los niños expuestos a un depósito de residuos sólidos en Colombia presentaron valores inferiores en los índices de crecimiento peso-talla. Los datos también sugirieron un mayor efecto de la exposición con afecciones respiratorias. (Ocampo et al, 2008)

COMPATIBILIDAD DE LA INCINERACIÓN CONTROLADA CON EL RECICLAJE

Una de las grandes críticas de la Incineración Controlada de RSU es que competiría con otras soluciones al problema de los residuos, que resultan incluso, más sustentables.

La re-utilización en primer lugar, y el reciclaje eficiente, en segundo, son las dos soluciones energéticamente y nivel sustentabilidad, más eficientes. Esto es así porque con estos dos métodos, lo que se contempla como residuo en realidad deja de serlo, para convertirse en un recurso. Un claro ejemplo de esto son las botellas retornables, en lugar de tratar a la botella como el residuo que queda luego de consumido el líquido que contenía, esta botella es un recurso necesario para la planta de llenado. La botella solamente necesita ser lavada para seguir siendo provechosa, no es necesario ningún tipo de transformación, ni grandes aportes de energía.

El Energy Recovering Council de los Estados Unidos realizó diversos estudios para analizar esto. En su última actualización del estudio (2014)⁴, se mostró que la tasa de reciclaje "Recycling Rate" en las comunidades con plantas WTE –Waste to Energy-, era mayor que en el resto del país en general, y que en comunidades vecinas sin esta tecnología. Según la revisión del estudio en el año 2012, la tasa a lo largo de los 21 estados analizados era, en promedio, del 34.5%, mientras que en las comunidades con

⁴Eileen Brettler Berenyi, PhD., "A Compatibility Study: Recycling and Waste-to-Energy Work in Concert". Governmental Advisory Associates, Westport, USA. Mayo 2014.

plantas WTE, en promedio, 35.4%. Si bien esta diferencia parecería casi despreciable, es importante recalcar que la aplicación de la tecnología en estas comunidades favorece a la toma de conciencia social, y romper con el paradigma de que los residuos no tienen utilidad. También se analiza que la mayoría de estas comunidades suelen ser pioneras en la implementación de programas para el reciclaje, y tener programas especiales para la separación de residuos en origen.

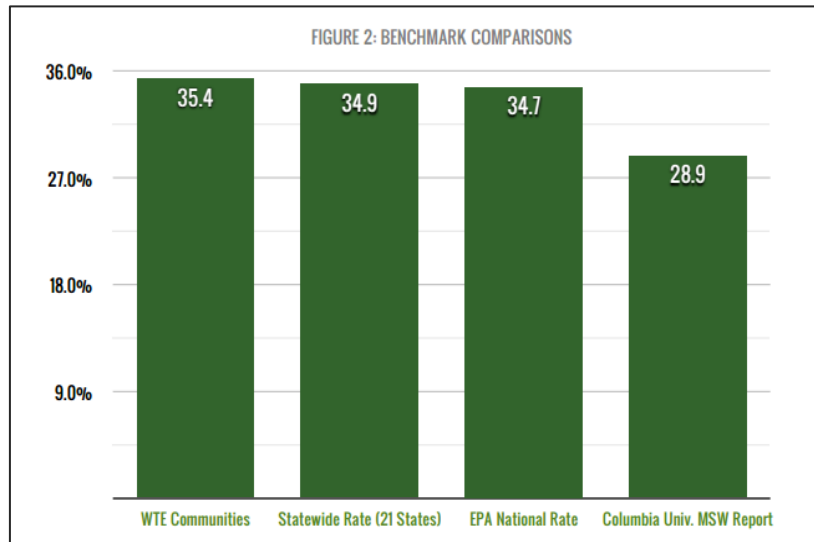


Figura 1. Comparación entre Recycling Rates en EEUU

JERARQUIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS

No es posible solucionar la problemática de los residuos con un único enfoque. Para poder contar con sistema de gestión de residuos exitoso es necesario plantear soluciones a distintos niveles.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos elaboró una clasificación⁵ de los distintos enfoques para el tratamiento de los residuos, desde el más deseado hasta el menos deseado, en función de cuánto afectan al ambiente. A continuación se enlistan los distintos enfoques:

Reducción en origen y reutilización: Lo que se busca es no generar el residuo, es decir, eliminarlo desde su origen. La reutilización funciona de la misma forma, ya que lo que sería el residuo de un proceso se convierte en una materia prima de otro. Hay que mencionar que trabajar sobre esta solución puede resultar muy complejo, se necesita la integración y participación de todos los actores involucrados, desde los fabricantes de productos hasta los consumidores, pasando por comerciantes, transportistas, gobiernos, etc.

⁵ US Environmental Protection Agency. EEUU, 2013 "Non-Hazardous Waste Management Hierarchy". <http://www.epa.gov/waste/nonhaz/municipal/hierarchy.htm>. Vigente al 31/05/2015.

Reciclaje y compostaje: Se busca rescatar de los residuos elementos para reacondicionarlos y reutilizarlos. Implica reintroducir materiales al circuito productivo, que de otra forma serían desechados.

Recupero de energía de los residuos: Existen diversas formas de extraer energía de los residuos. Puede ser a través de la generación de bio-gas, o como se plantea en este trabajo, a través de la incineración controlada de los residuos, entre otras.

Tratamiento y disposición: Supone tratar a los residuos para que generen el menor impacto posible en el ambiente a la hora de su disposición final. De todas formas, al enviar los residuos a rellenos sanitarios, se generan grandes impactos al ambiente, debido a las emisiones que se generan, a la contaminación del suelo y las aguas subterráneas, etc. Además se ocupan extensiones considerables de tierra, que además una vez cerrado el relleno, quedan inutilizables por un gran periodo de tiempo



Figura 2. Jerarquía en la gestión de residuos. US EPA

NECESIDAD DE CAMBIO Y COMPROMISO SOCIAL

Para que se logre un sistema de gestión de los residuos exitoso en Argentina, es necesario cambiar ciertos paradigmas sociales y trabajar sobre la concientización.

Una encuesta llevada adelante por el Banco Inter-americano del Desarrollo⁶, para la Ciudad de Buenos Aires, arrojó resultados que demuestran la necesidad de comenzar a trabajar de manera inmediata:

⁶ Inter-American Development Bank. "Guidebook for the application of WTE technologies in LAC countries". Columbia, EEUU. Julio 2013.

El 81,9% de los habitantes no separa residuos, ni reciclaje, ni practica ningún tipo de recuperación de los mismos

De este número de personas, el 59,2% no lo hace porque dice que “se vuelven a mezclar todos los residuos en el camión de basura”. Además, un 25,4% dice no saber cómo hacerlo

En una escala del 1 –nada- al 5-mucho- , en referencia al conocimiento del sistema de recolección de basura, el valor obtenido entre los encuestados fue de 2.1

En la misma escala, el valor obtenido para el “conocimiento de la Ley de Basura Cero” fue 1.5

El 79% de los habitantes desconoce las prácticas de recuperación de energía a partir de los residuos

El nivel de riesgo percibido de los métodos de recupero de energía a través de residuos es casi idéntico al de un relleno sanitario

Además, esto resulta un factor de apalancamiento negativo para proyectos de esta índole.

Como contrapartida, y como se mostró anteriormente, en sociedades con plantas de recuperación de energía, los índices de reciclaje y recupero de materiales a través de los residuos es mayor que en comunidades sin este tipo de plantas.

WASTE MANAGEMENT EN ARGENTINA. GENERALIDADES

La Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) es una disciplina asociada a la generación, almacenamiento, recolección, transferencia y/o transporte y disposición final de los residuos sólidos, para su correcto control, y en armonía con principios económicos, de higiene y salud pública, y de consideraciones ambientales, para responder adecuadamente a las expectativas públicas.

La GIRSU comprende un conjunto de acciones normativas, operacionales, financieras y de planificación, que una administración debe desarrollar basándose en criterios sanitarios, ambientales, sociales y económicos para recolectar, tratar y disponer los residuos generados en su territorio. Por lo tanto gestionar los residuos sólidos urbanos (RSU) de una manera integral, significa manipularlos correctamente desde la generación hasta la disposición, utilizando las tecnologías más compatibles con la realidad local, dándoles un destino final ambientalmente seguro, tanto en el presente como en el futuro.

Un sistema de Gestión Integral de RSU es también responsable de revalorizar los residuos, y no tratarlos únicamente como desperdicio, sino como recursos de gran valor intrínseco. El objeto de estos sistemas no es simplemente tratar a los residuos de forma segura, sino garantizar que se aproveche al máximo su potencial, enviando a disposición final únicamente lo que no sea aprovechable en ninguna circunstancia.

En lo que respecta el Área Metropolitana de Buenos Aires, cada municipio presenta su propio sistema de gestión de residuos, no existiendo un sistema único, global e integrado para toda la región. Cada municipio debe buscar su propio modelo de gestión, y tener presente que la cantidad y la calidad de los residuos sólidos generados por cada municipio es principalmente en función de su población, economía y grado de urbanización.

En algunos municipios de Argentina, las políticas de gestión y el aumento de generación de RSU no coinciden con las realidades presupuestarias de dichos lugares. Esto, lamentablemente desemboca en métodos poco efectivos de disposición final, como lo son basurales a cielo abierto, en los cuales no hay ningún tipo de cuidado y control de los residuos que allí se depositan.

GRSU EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUENOS AIRES

¿Qué es el AMBA?

Se denomina “AMBA” al Área Metropolitana de Buenos Aires que se encuentra localizada en la margen occidental del Río de la Plata.

Desde su centro inicial, que es hoy la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), se fue extendiendo con el transcurso del tiempo, y sin solución de continuidad, por la Provincia de Buenos Aires, siguiendo las líneas de comunicación ferroviaria y vial, hacia el interior y a lo largo de la costa del río.

Incluye a la Ciudad de Buenos Aires y a los 33 municipios circundantes. La superficie total alcanza los 2590 km². Según datos del censo 2010, la población era de 13.580.000 habitantes. Esto representa el 33% de la población total de la Argentina.

¿Qué es el CEAMSE?

La Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE) es una empresa pública argentina encargada de la gestión de residuos sólidos urbanos del Gran Buenos Aires, incluyendo la Ciudad de Buenos Aires y 33 partidos de su conurbano. Como empresa inter-jurisdiccional, su capital es propiedad en partes iguales de los estados bonaerense y porteño.

CEAMSE cuenta con 3 Centros de Disposición Final de residuos o Rellenos Sanitarios actualmente en operación, y uno en etapa de pos-cierre.

1. "Norte III" (localizado en el Partido General San Martín). Recibe los residuos provenientes de las localidades del norte del Gran Buenos Aires, que generan aproximadamente 136.000 toneladas mensuales.
2. "González Catán II" (localizado en el Partido La Matanza). Recibe los residuos provenientes de la zona oeste del Conurbano Bonaerense, con un promedio de 49.000 toneladas por mes.

3. "Ensenada" (localizado en el Partido de Ensenada). Recibe los residuos generados por los municipios del núcleo urbano de La Plata, Berisso y Ensenada, alrededor de 20.000 toneladas por mes. Sin embargo, tiene fecha de cierre para el año 2017. En su lugar se construirá una planta de tratamiento mecánico-biológico de residuos, pero la capacidad de tratamiento será de 800 toneladas diarias. De esta forma, es una incógnita que sucederá con la diferencia de más de 200 toneladas diarias que no podrían ser procesadas por limitaciones de diseño de la futura planta de tratamiento.
4. "Villa Domínico" (localizado en los Partidos de Avellaneda y Quilmes). En etapa de pos-cierre, allí funciona una planta de tratamiento de gases que transforma el metano emanado por el relleno, en dióxido de carbono –no se aprovecha este biogás. Esta planta de tratamiento se encuentra aprobado dentro del marco de los Mecanismos para el Desarrollo Limpio, por lo que obtiene bonos de carbono.

Referencias

- Complejo ambiental Norte III
- Complejo ambiental González Catan
- Complejo ambiental Ensenada
- Planta de transferencia Pompeya
- Planta de transferencia Colegiales
- Planta de transferencia Flores
- Planta de transferencia usina GCBA
- Planta de transferencia Almirante Brown

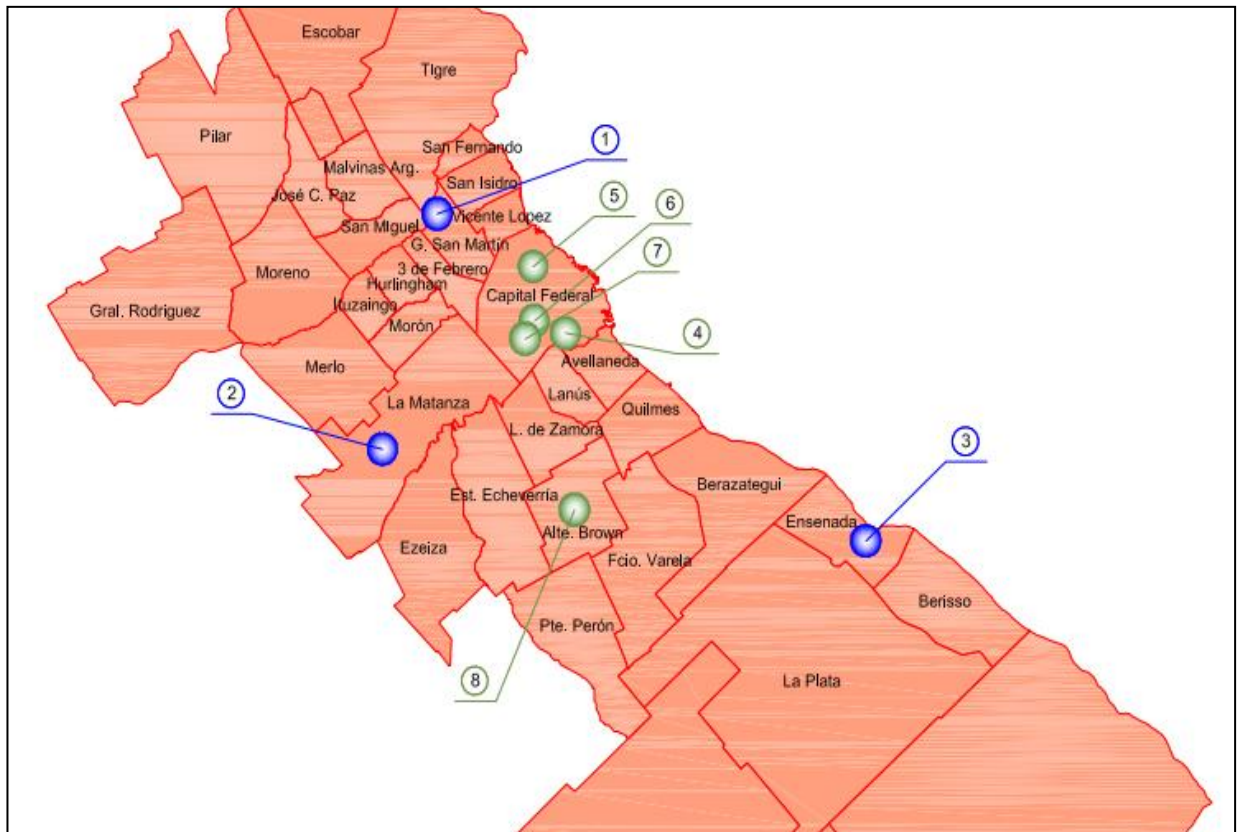


Figura 3. Mapa de los 33 municipios en que opera CEAMSE

La gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) es uno de los problemas estructurales más importantes con los que tiene que lidiar la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), enterrándose a diario más de 4200 toneladas de residuos en rellenos sanitarios ubicados en la provincia de Buenos Aires. La situación es crítica ya que el relleno sanitario donde se disponen los residuos de dicha localidad, y de otras jurisdicciones de la provincia de Buenos Aires, se encuentra al borde del colapso, y si no se reduce la cantidad de residuos que se entierra, el Gobierno de la ciudad se verá en serias dificultades en su gestión.

Por su parte, la provincia de Buenos Aires no se encuentra en mejores condiciones, con la particularidad de la complejidad que alberga su territorio, en donde gran cantidad de personas conviven con la basura como consecuencia de la disposición masiva de RSU y la existencia de basurales a cielo abierto que agudiza la situación.

Es así que, al igual que la Ciudad de Buenos Aires, la Provincia de Buenos Aires se enfrenta con el mismo problema, esto es, la saturación de los rellenos sanitarios existentes a donde se envían en forma masiva los RSU.

CAPÍTULO 2: PROBLEMÁTICA ELÉCTRICA EN ARGENTINA

SITUACIÓN ACTUAL

A principios de siglo, la crisis económica que golpeó al país se vio acompañada de una caída en la demanda de energía eléctrica, lo cual se tradujo en inconvenientes para el sistema eléctrico nacional. La situación económica, junto con otros factores, obligaron a operar con niveles ineficientes, producto de la subutilización de la capacidad de generación. No obstante, poco tiempo después, el mercado cambió en la tendencia de la actividad económica y un aumento en la actividad industrial revirtieron la situación, lo cual resultó en un crecimiento ininterrumpido en el mercado eléctrico argentino.

La demanda eléctrica y el crecimiento económico están muy vinculados. En el país, se pueden identificar dos grandes sectores de demanda eléctrica: el sector residencial y el sector industrial y comercial. El primero crece a largo plazo, debido al crecimiento vegetativo de la población y el aumento en el número de electrodomésticos en los hogares, a la vez que el segundo sector varía a lo largo del ciclo económico. Para el período 1992-2009, el coeficiente de correlación entre el crecimiento de la demanda eléctrica y el nivel de actividad económica es de 0,72 y de 0,98 para el período 2004-2009.

La demanda del mercado eléctrico argentino en el año 2012 fue de 121.192 GWh, de los cuales un 39% corresponde al sector residencial, un 47% corresponde a grandes (> 300 kW) e intermedios (10 y 300 kW) usuarios industriales y el 14% corresponde a usuarios menores (< 10kW). El mercado mayorista de energía eléctrica cuenta con unos 13.000.000 clientes, de los cuales 11.000.000 corresponden al sector residencial, 1.000.000 al comercial y el resto se divide entre organismos públicos, industria y otros usuarios.

El consumo de los sectores residenciales, comercial y de las pequeñas y medianas industrias es atendido por 75 distribuidoras, mientras que el bloque de las grandes industrias y grandes usuarios comerciales y de servicios generan su propia energía. En el país, las más grandes distribuidoras son EDENOR y EDESUR, las cuales brindan servicios en el AMBA.

En el año 2012, la demanda en el Gran Buenos Aires y el resto de la provincia de Buenos Aires representó un 47% de la demanda total del país, seguida por la región del Litoral (Santa Fe y Entre Ríos) con un 13%, luego por la región del Centro (San Luis y Córdoba) con un 9% y después por la región del Noroeste Argentino (Catamarca, Santiago del Estero, Tucumán, La Rioja, Salta y Jujuy) con un 8%, sumando un 81% de la demanda entre estas regiones.

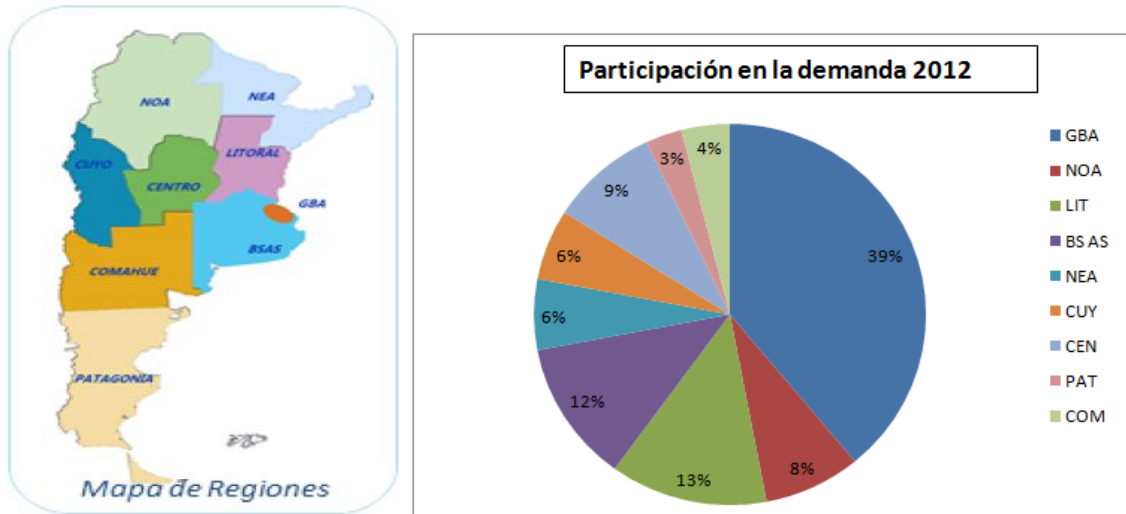


Figura 4. Demanda por región en 2012. Datos de la Secretaría de Energía

En las décadas del '70 y del '80, producto de la inauguración de represas como El Chocón, Planicie Banderita y Futaleufú, la hidroelectricidad fue la fuente de energía más usada, aportando a fines de los '80 casi un 50% de la oferta total. El sistema incorporó también energía nuclear con la construcción de las centrales nucleares de Atucha en Buenos Aires (370 MW) en 1976 y Embalse en Córdoba (650 MW) en 1983.⁷

Matriz energética⁵

En el año 2012, el 87% de la disponibilidad de energía en Argentina se vio representada por combustibles fósiles, principalmente por gas natural. El 13% restante estuvo conformado por energía hidráulica, nuclear y por energía a partir de aceite principalmente.

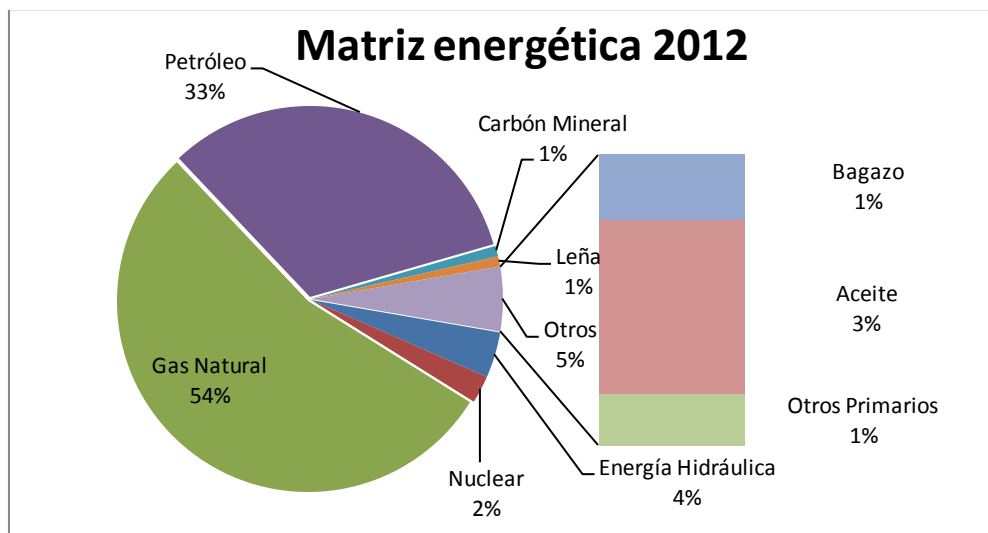


Figura 5. Matriz energética año 2012. Datos de la Secretaría de Energía.

⁷ Fabio Klitenik, Pablo Mira y Pablo Moldovan, "El Mercado Eléctrico Argentino". Ministerio de Economía y Finanzas Públicas, cuarto trimestre de 2009

Las principales fuentes efectivas de generación de energía en 2012 fueron las de ciclo combinado, hidráulica, turbovapor y turbogas. Las energías renovables o alternativas (eólica, solar e hidráulica hasta 30 MW) acumulan menos de un 2% del total de la energía generada.

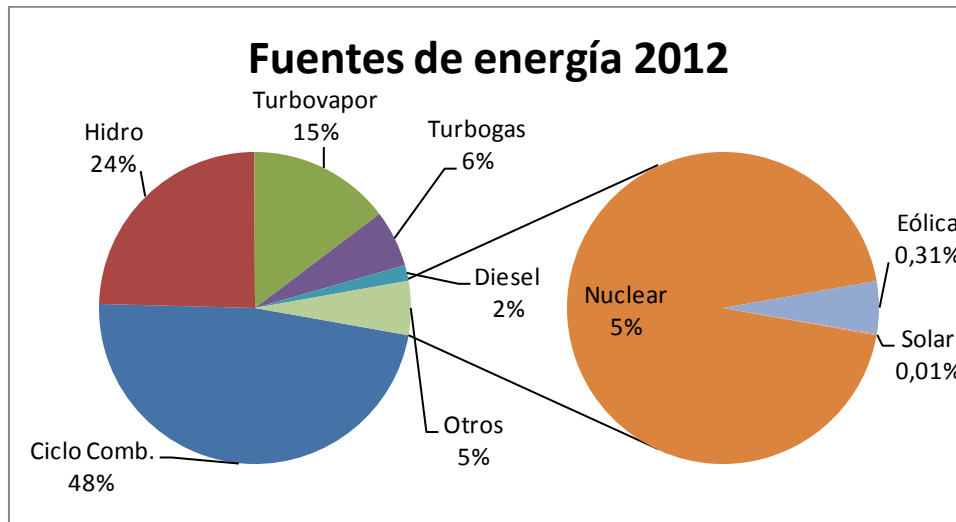


Figura 6. Fuentes de energía año 2012. Datos de la Secretaría de Energía.

Déficit de generación⁸

En el período 2001-2012, la capacidad instalada en el mercado eléctrico mayorista se incrementó un 38% y se observó que los motores diesel alcanzarían casi el 5% de la capacidad total instalada, superando la capacidad nuclear. Entre 2001 y 2007, se incorporaron 2000 MW a la red.

⁸ Secretaría de Energía, "Series Históricas de Energía Eléctrica".

<http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3140>. Página vigente al 30/5/2015

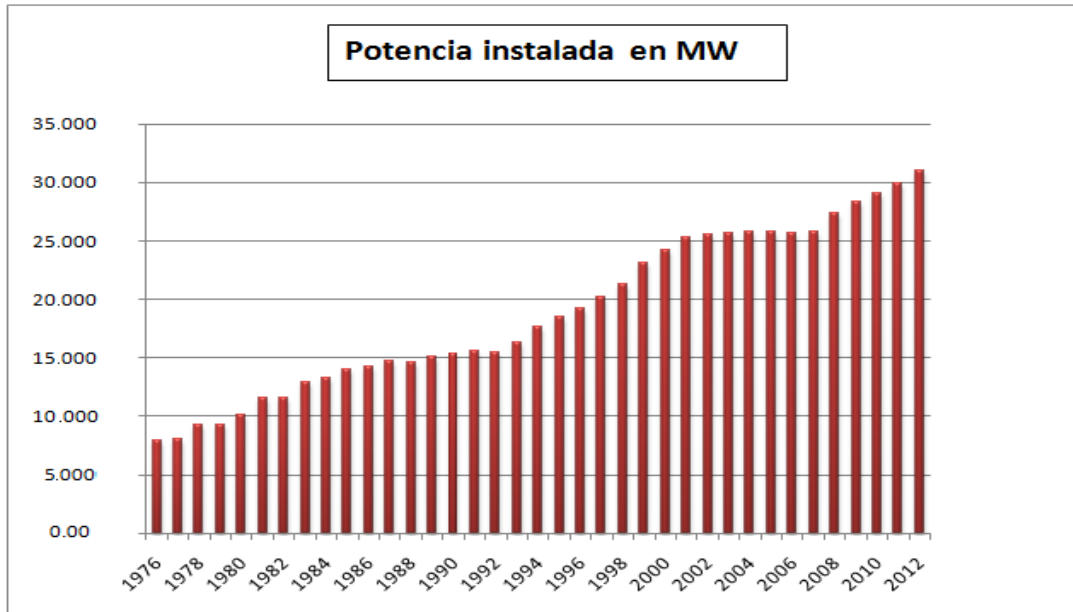


Figura 7. Potencia instalada a lo largo del período 1976-2012. Datos de la Secretaría de Energía.

Sin embargo, a pesar de los aumentos en la capacidad instalada, ésta ha sido excedida en numerosas oportunidades por la demanda que crece continuamente. Se observa en el siguiente gráfico un permanente déficit que hace que la reserva del sistema sea nula o negativa. Esta reserva es cubierta mediante restricciones en la demanda y mediante importaciones.

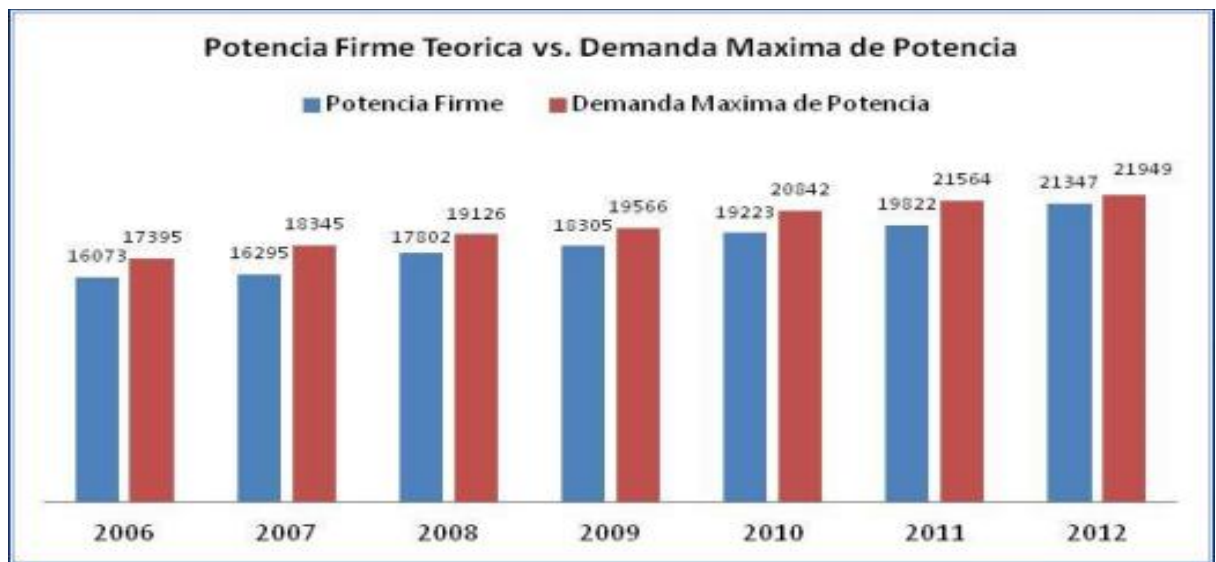


Figura 8. Demanda máxima de potencia contra potencia teórica por año. Datos de la Secretaría de Energía.

Importación de combustible

Como se mencionó previamente, el gas natural es el principal insumo en la matriz energética del país. Sin embargo, la producción local de gas natural ha disminuido año a

año desde 2008, lo cual ha llevado a tomar distintas medidas como aumentar el consumo de combustibles líquidos (fuel oil y gas oil) e importar gas natural desde Bolivia.⁹

En la tabla siguiente aparece expresada la evolución de la producción local de gas natural año a año:

Años	Gas de Baja Presión Mm3	Gas de Media Presión Mm3	Gas de Alta Presión Mm3	Producción Total de Gas Mm3
2003	9.295.922	21.327.962	20.008.630	50.633.157
2004	10.898.548	28.040.948	13.444.935	52.384.431
2005	13.505.167	24.610.067	13.457.511	51.572.746
2006	15.447.804	22.728.086	13.602.640	51.778.531
2007	21.014.612	18.353.513	11.638.118	51.006.243
2008	24.228.690	15.168.753	11.117.052	50.514.494
2009	24.285.743	14.017.087	10.115.656	48.418.485
2010	24.830.356	15.493.693	6.785.273	47.109.320
2011	23.975.807	16.049.033	5.498.893	45.524.254
2012	24.720.052	15.780.768	3.622.847	44.123.666
2013	25.681.735	13.444.987	2.581.579	41.708.300

Tabla 1. Producción de gas anual en el período 2003-2013. Datos del IAPG.

Si la tendencia del consumo energético local se mantuviera lo largo de los años venideros, la brecha entre la proyección de oferta y la proyección de demanda de energía eléctrica será cada vez mayor y, por ende, también lo será la cantidad de energía a importar.¹⁰

⁹ Instituto Argentino del Petróleo y del Gas, 2014. "Producción de gas – Anual".

<http://www.iapg.org.ar/estadisticasnew/producciongasanualpais2.htm>. Página vigente al 30/5/2015

¹⁰ Ing. Alberto Calsiano, 2013. "La Matriz Energética Actual y Futura". Departamento de Infraestructura de la Unión Industrial Argentina.

<http://www.afcparg.org.ar/jcp2013/Presentaciones/AlbertoCalsiano.pdf>. Página vigente al 30/5/2015

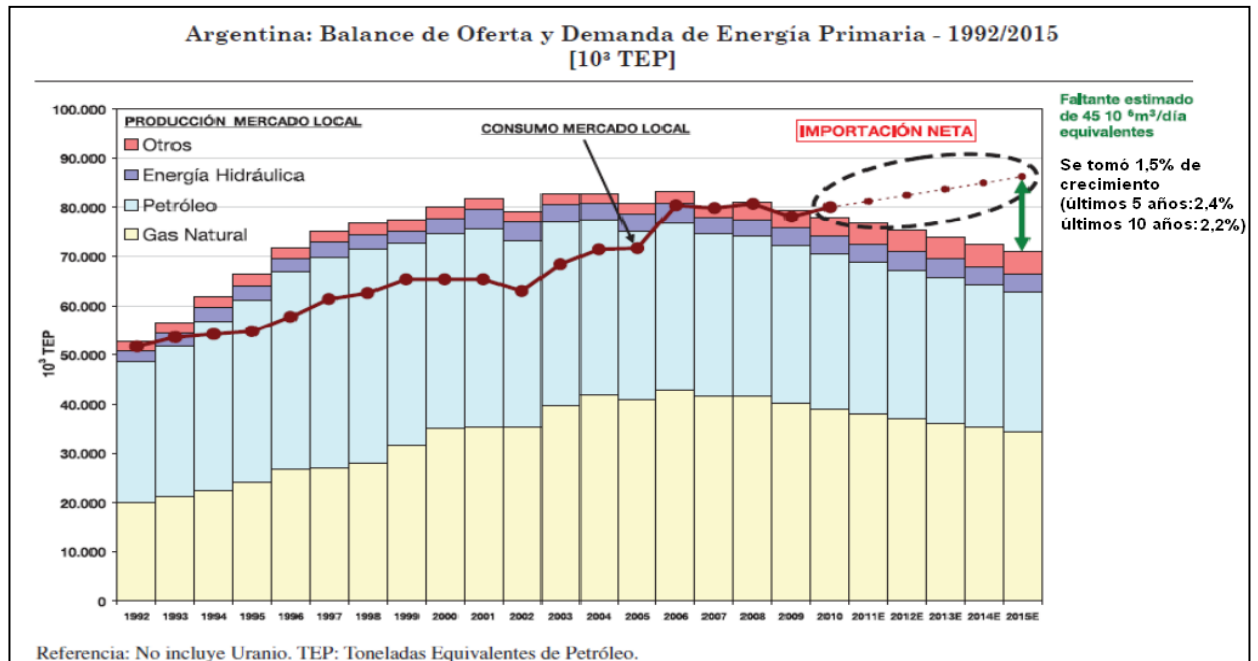


Figura 9. Balance de oferta y demanda de energía primaria 1992-2015.

EL MERCADO ELÉCTRICO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUENOS AIRES

Como se mencionó previamente, este sector, congregando a un 33% de la población, es el que más demanda representa, con un 39% de la demanda total y sus principales proveedores de energía eléctrica son EDENOR y EDESUR. Son diversos los tipos de usuarios de la red eléctrica, destacándose los del sector residencial.

Dada su lejanía a yacimientos de combustibles fósiles y a centrales hidráulicas y nucleares, genera tan sólo el 26% del total de la energía producida en el país. La mayor fuente de energía en la zona es del tipo térmica, utilizándose principalmente gas natural, gas oil y fuel oil como combustible. La producción se reparte entre varias centrales de distinta potencia, como Costanera, Puerto, Dock Sud, Genelba, Buenos Aires y Dique.

La región metropolitana tiene la característica de ser una importadora neta de energía, dado que gran parte de lo que consume es provisto a través del Sistema Interconectado Nacional, tanto desde las centrales nucleares como desde las centrales hidroeléctricas de Yacyretá, Salto Grande y las ubicadas en la región del Comahue.

En cuanto a infraestructura, es la región con mayor densidad de líneas eléctricas y es casi total la electrificación en la región. El sector transporte, es uno de los grandes consumidores de energía. Los ferrocarriles electrificados y los subterráneos, que transportan un gran caudal de pasajeros diariamente, representan alrededor de un 30% de la energía total consumida en el sector transporte. El 70% restante, que corresponde al transporte automotor y a ferrocarriles no electrificados, utiliza combustibles fósiles, los

cuales son más contaminantes y menos económicos que la generación de energía eléctrica.

En cuanto a la evolución de la demanda de energía, lógicamente se comporta de igual manera que la totalidad del país, creciendo a la par de las actividades económicas en el país. Para los años venideros, se pronostican demandas mayores, siguiendo con la tendencia.

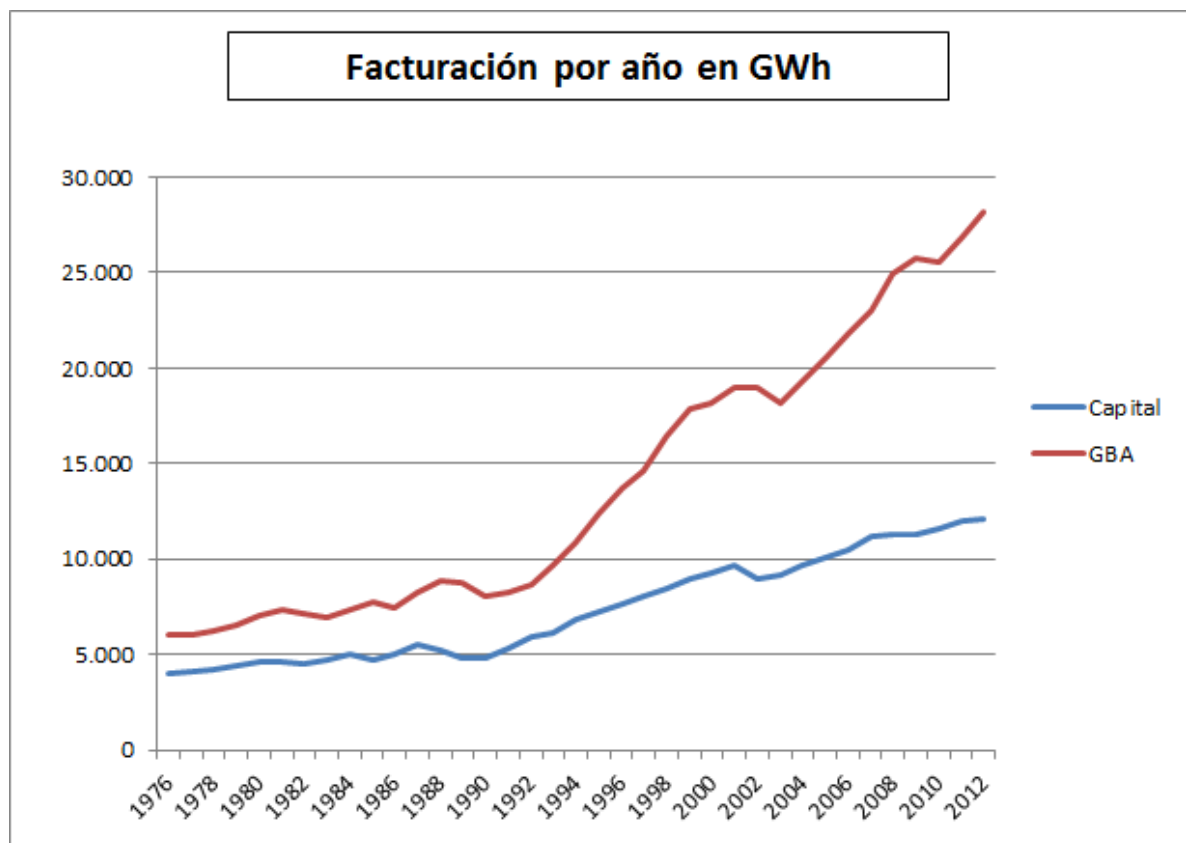


Figura 10. Facturación por año en GWh. Datos de la Secretaría de Energía.

CAPÍTULO 3: LA INCINERACIÓN CONTROLADA DE RSU

INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA

Las tecnologías waste-to-energy, conocidas como tecnologías “Green” o renovables, consisten en utilizar a los residuos sólidos urbanos como materia prima para generar energía, ya sea en forma de gas, calor, o energía eléctrica

Las tecnologías waste-to-energy más conocidas actualmente son:

- Pirolisis
- Gasificación
- Incineración controlada

El marco de nuestro estudio nos sitúa en esta última tecnología.

La incineración controlada de RSU implica utilizar como combustible los residuos sólidos urbanos para luego incinerarlos. Dichos RSU se recolectarán de las zonas urbanas, y se dispondrán para incinerar, habiendo sido previamente preclasificados. Hay que tener en cuenta que una buena preclasificación de los RSU ayuda a mantener el poder calorífico de dichos RSU, y a su vez permite la convivencia con otras políticas de gestión de residuos, como lo son el reciclaje y la disminución de generación de basura¹¹

Dichos residuos, previamente seleccionados, son incinerados en un horno, para generar gases de combustión. Dichos gases de combustión se dirigirán hacia una caldera, donde por medio de transferencia de calor (radiación y convección) generaran vapor.

Luego de generado el vapor, el proceso es similar al de una central térmica de ciclo combinado HCP. El vapor generado en la caldera se dirigirá a las turbinas.

Las 2 turbinas, con una capacidad de generación de 30 MW cada una, recepcionarán el vapor, y generaran la energía eléctrica que luego será incluida en el mercado de abastecimiento eléctrico.

TECNOLOGÍAS DE INCINERACIÓN

Existen diversos sistemas de incineración¹²:

- Parrillas móviles
- Hornos rotatorios

¹¹ Brunner, C.R. 1998. Incineration Systems: Selection & design. Capitulo 1: introduction, paginas 45 y 46. 280 páginas. Publisher Van Nostrand Reinhold, New York, NY.

¹² Baum, B. ; Parker, C. 2004. Solid Waste Technologies .Capitulo 1: Incineration Technologies. Paginas 70 a 85. 350 paginas. Editorial Ann Arbor Science Publishers Inc.,Ann Arbor, MI

- Lecho fluidizado

Parrillas móviles

Este sistema tiene una estructura en forma de gradas o parrillas móviles encargados de mover y mezclar los residuos provenientes de la tolva de alimentación, y así favorecer el proceso de combustión.

Tanto la velocidad del aire que ingresara, como la velocidad de movimiento de las gradas o los rodillos serán modificados de manera que la combustión sea completa.

El comburente utilizado es aire en exceso, el cual se inyecta desde 2 sistemas de alimentación: uno por debajo de las gradas, que apunta directamente a los residuos a punto de ser incinerados; y el otro por encima de las gradas.

Existen distintos tipos de parrillas móviles:

- ✓ De cinta sin fin: consisten en una cinta de acero que se mueve sobre 2 cilindros sobre los que se apoya. Estos cilindros, por medio de engranajes conectados a un motor logran el movimiento de la cinta. Sobre esta circulan los residuos provenientes de la tolva de alimentación, los cuales a su vez son sometidos a inyección de aire en exceso por medio del sistema primario de alimentación de aire.

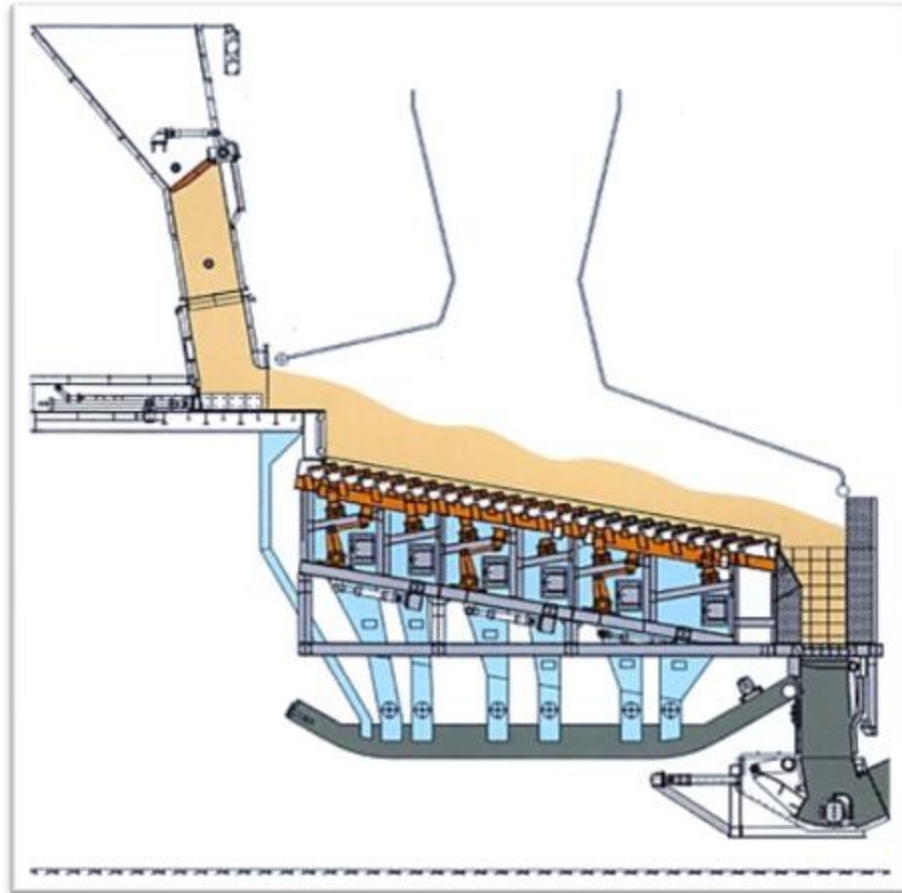


Figura 11. Vista de corte de parrilla móvil de tipo cinta sin fin¹³

- ✓ De rodillos: consisten en una serie de rodillos dispuestos en serie, accionados por un motor impulsor. Los residuos provenientes de la tolva de alimentación ingresan a la parrilla, y por medio de los rodillos van descendiendo hasta lograr una combustión completa

¹³ Imagen tomada de MH Power Systems Europe Service, "Moving Grate Systems".
<http://www.service.eu.mhps.com/en/grate-services.html>. Página vigente al 2/3/2015

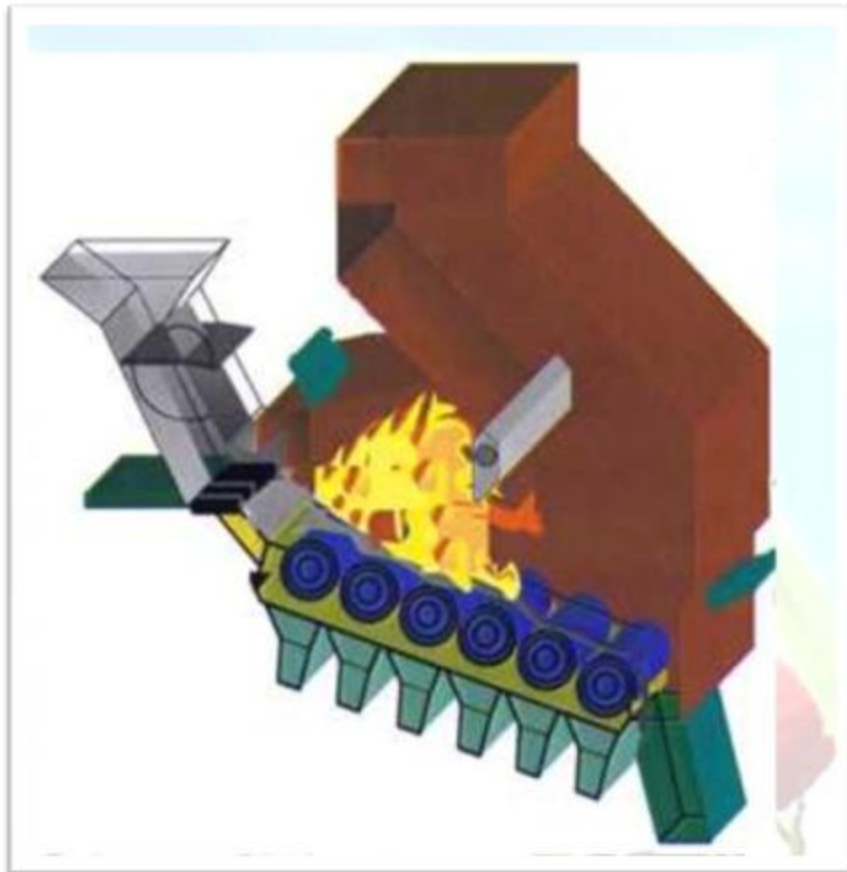


Figura 12. Vista de corte de parrilla móvil a base de cilindros¹⁴

Hornos rotatorios

Un horno rotatorio es un incinerador cilíndrico levemente inclinado que opera en dos etapas:

Pirólisis: Tratamiento térmico de los residuos, trabajando en un rango de 350-500°C. Esta etapa tiene como objetivo transformar los residuos tratados en carbón, agua, residuos líquidos, metales, etc. De esta manera, se reduce el volumen de los residuos a lo largo del eje del incinerador y se produce combustibles como subproducto, que luego se quemará en la siguiente etapa.

Combustión: A través del uso de quemadores y trabajando en exceso de aire, este proceso tiene como objetivo llevar a cabo la combustión completa de los residuos. Los gases de combustión avanzan a través de un conducto en la parte superior del incinerador que lleva a la siguiente etapa de generación de vapor, mientras que en la parte inferior del

¹⁴ Imagen proporcionada por la cátedra de Residuos Sólidos Peligrosos, clase n|6 "Residuos sólidos urbanos", ITBA, segundo cuatrimestre 2013

incinerador se recolecta la ceniza para ser tratada luego. Parte de los gases de combustión se aprovechan para proveer de calor al proceso de pirolisis.

Ventajas:

- Mezcla uniforme de subproductos combustibles a la entrada de la zona de combustión gracias a la lenta rotación
- Flexibilidad en la configuración del tiempo de residencia de los residuos en la zona de pirolisis para trabajar en variedad de condiciones
- Eficiente descomposición de elementos tóxicos

Desventajas:

- Baja eficiencia de intercambio de calor dentro del cilindro, lo que implica mayores consumos energéticos
- Precio alto y altos costos de mantenimiento
- Capacidad de 20t/h

Lecho fluidizado

Este tipo de hornos se emplea con residuos homogéneos, ya sean sólidos, líquidos, pastosos o gaseosos.

La incineración de residuos en lecho fluidizado se realiza alimentando el residuo de forma continua a un lecho compuesto por un material inerte granulado, por lo general de cuarzo. Este lecho es alimentado por una corriente ascendente de aire, cuya temperatura se mantiene entre 800 y 900 °C. Cabe destacar que si el lecho es de piedra caliza las temperaturas pueden disminuir levemente, rondando el rango de entre 700 y 800 °C.

La corriente de aire, previamente calentada a unos 200°C, debe compensar la tendencia a sedimentar que tiene el lecho en combinación con los residuos. El estado de los materiales en la cámara de fluidización es de líquido en ebullición. Debido a esto, se favorece una transferencia de calor por convección.

El residuo de alimentación pierde humedad y otros componentes volátiles al estar directamente en contacto con la corriente ascendente de aire, gracias a la alta superficie de contacto. Los gases luego ascienden y son arrastrados hacia la parte superior de la cámara de combustión, donde terminan su oxidación.

Algunos también poseen sistemas del tipo Denox, que consisten en agregado de NH₃ en la cámara de combustión, para capturar óxidos de Nitrógeno y Azufre.

En la figura siguiente se permite apreciar una vista de corte de un horno de lecho fluidizado. Se observan el lecho fluidizado, los ingresos de aire y los quemadores.

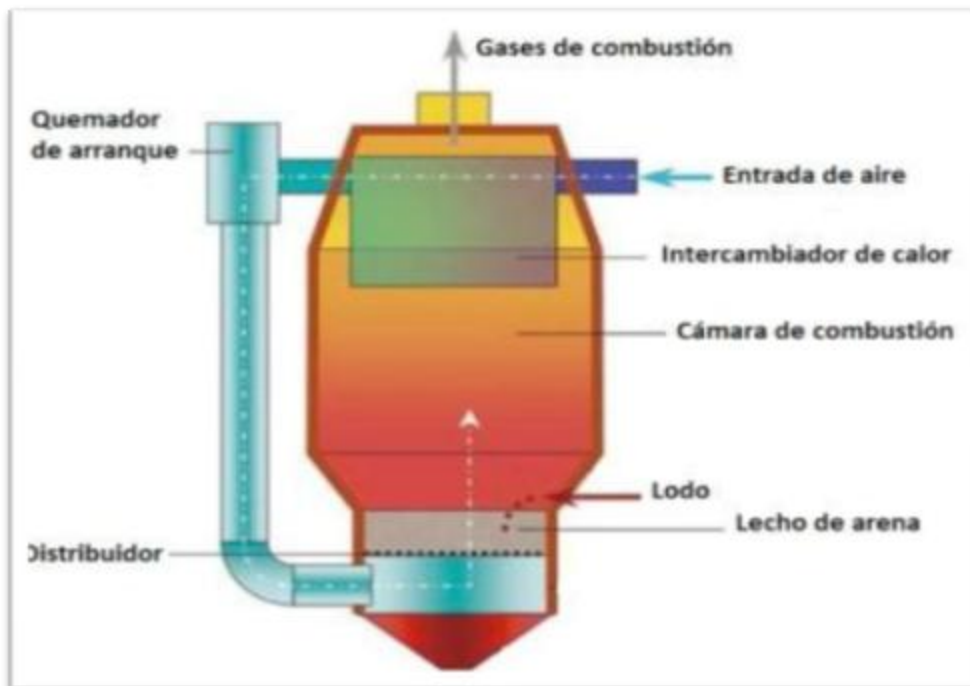


Figura 13. Vista completa de un horno de lecho fluidizado.¹⁵

En la figura siguiente se puede observar el sistema de incineración por lecho fluidizado completo. Se aprecian además del lecho fluidizado y los quemadores, ingresos de aire y combustible, el banco convectivo de tubos de la caldera, la inyección del sistema SNCR y los depósitos de los rezagos sólidos de residuos, que caen en una tolva de contención, y luego por medio de cintas se transportan hacia la zona de acondicionamiento de residuos de combustión.

¹⁵ Imagen proporcionada por la cátedra de Residuos Sólidos Peligrosos, clase n|6 "Residuos sólidos urbanos", ITBA, segundo cuatrimestre 2013

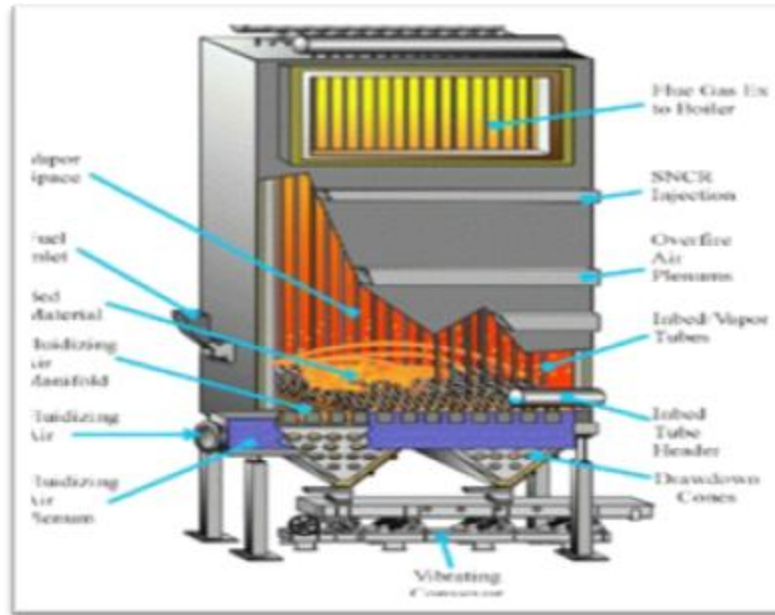


Figura 14. Vista de corte de la parte inferior de un horno de lecho fluidizado¹²

Selección de la tecnología

De acuerdo a las 3 tecnologías planteadas anteriormente, se presenta el siguiente análisis

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
PARRILLAS MOVILES	Bajo costo inicial Temperaturas uniformes Versatilidad a la hora de quemar RSU Permite mayores volúmenes de RSU Tiempos de residencia aceptables (3 seg) Genera poco material particulado.	Puede generar poca turbulencia
HORNO ROTATORIO	Fácil ajuste tiempo de residencia Mayor turbulencia de gases Versatilidad a la hora de quemar RSU Tiempos de residencia buenos (4 seg)	Alto costo inicial Pocos volúmenes de RSU Elevado exceso de aire
LECHO FLUIDIZADO	Temperaturas uniformes Elevados tiempos de residencia (5 seg)	Requiere homogeneidad de RSU Elevado costo inicial Pocos volúmenes de RSU

Tabla 2. Características de parrillas móviles, hornos rotatorios y de lecho fluidizado

La elección de la tecnología a aplicar recae en una situación de compromiso, donde se deben poner en la balanza diversos aspectos. Se deben ponderar de acuerdo a prioridades los factores a tener en cuenta, y con ello armar una matriz de decisión, de la cual saldrá la tecnología deseada.

Los principales parámetros a ponderar fueron los siguientes:

- Costo inicial
- Tiempo de Residencia
- Volumen a procesar
- Temperatura uniforme
- Versatilidad

Y la matriz de decisión es la siguiente

	Costo inicial	Tiempo de Residencia	Volumen a procesar	Temperatura uniforme	Versatilidad	
Ponderación	0,2	0,25	0,35	0,1	0,2	
Calificación	1: irrelevante, 3: relativa importancia, 5: importante, 7: muy importante, 9: vital					TOTAL
Parrillas móviles	7	3	7	5	7	6,5
Horno rotatorio	3	5	3	5	5	4,4
Lecho Fluidizado	5	7	5	7	3	5,8

Tabla 3. Matriz de decisión de tecnologías de incineración

De acuerdo a nuestra matriz de decisión la tecnología seleccionada fue de parrillas móviles. Esto se debió principalmente a que tanto el costo inicial de puesta en marcha como el de mantenimiento son bajos, y que además nos permite incinerar grandes cantidades de volúmenes

TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE GASES

Una planta de incineración controlada de RSU debe reducir los residuos provenientes de los municipios, y con ellos generar calor y energía eléctrica para abastecer. Sin embargo la tarea no termina allí. En dicha planta se deben tratar los gases producidos por la combustión, con el fin de emanar la mínima cantidad de partículas potencialmente nocivas para el ambiente y la salud humana.

Es por ello que el área de tratamiento de gases comprende diversos equipos capaces de llevar a los gases de combustión a la mínima emisión de partículas nocivas, para que luego sean emitidos por la chimenea hacia la atmosfera.

Entre los compuestos y partículas nocivas podemos encontrar¹⁶

- | Ácido clorhídrico ()
- | Monóxido de carbono (), originado por una combustión incompleta.
- | Óxidos de nitrógeno (). La procedencia de los óxidos de nitrógeno puede ser de dos tipos: termino y combustible
- | Compuestos orgánicos tales como dioxinas, furanos, compuestos clorobenzenicos, clorofenoles e hidrocarburos poliaromáticos.
- | Metales pesados presentes en el flujo de residuos como plomo, cobre, cadmio, mercurio, siendo éste último el más problemático al volatilizar a 330°C.
- | Partículas sólidas compuestas de inquemados provocados por combustiones incompletas.

A continuación se detallan las tecnologías existentes para la eliminación de partículas, metales pesados volátiles y no volátiles, dioxinas, furanos,

Separación de partículas

Se consideran partículas las cenizas volantes, y finos arrastrados en el horno, los componentes condensados, los reactivos y los productos formados como consecuencia de otros procesos de limpieza de gases.

Para la eliminación de partículas en el flujo de gases pueden emplearse diversos equipos, tales como¹⁷:

- | Precipitadores electrostáticos.
- | Filtros de mangas.
- | Lavadores venturi (“scrubbers”)
- Ciclones

¹⁶ Christensen, Thomas H. 2005. Incineration: Flue Gas Cleaning and Emissions. Chapter 2: Emissions. Pages 56-60. 220 pages. Publisher SWTM.

¹⁷ Christensen, Thomas H. 2005. Incineration: Flue Gas Cleaning and Emissions. Chapter 3: Equipments. Pages 113-120. 220 pages. Publisher SWTM.

Precipitadores electrostáticos

Los precipitadores electrostáticos consisten en un recinto estanco al gas con electrodos en su interior. Los gases son forzados a circular a través de conductos con un espesor aproximado de 20 a 40 cm. formados por plaquetas metálicas cargadas eléctricamente (electrodos colectores). En el medio de los conductos se sitúan los electrodos de descarga que generan un campo electrostático mediante el empleo de corriente continua. De esta forma, las partículas presentes en el flujo de gases ceden su carga eléctrica al electrodo colector, quedando adheridas al mismo. Posteriormente son recogidas y depositadas en las tolvas situadas en la parte inferior del equipo. Para aumentar la efectividad del proceso, los electrodos deben ser operados lo más cerca posible del voltaje de descarga disruptiva.

En el precipitador, se consigue una eficacia de acumulación que va desde 5 miligramos por m³ Normal de aire seco con un 11% de O₂, a menos de 5 miligramos por m³ Normal de aire seco con un 11% de O₂. Es preciso indicar, para comparar, que para las fábricas de reciente construcción los límites legalmente establecidos son de 15 miligramos por m³ Normal de aire seco con un 11% de O₂¹⁸.

A continuación se muestra una imagen del objeto en cuestión

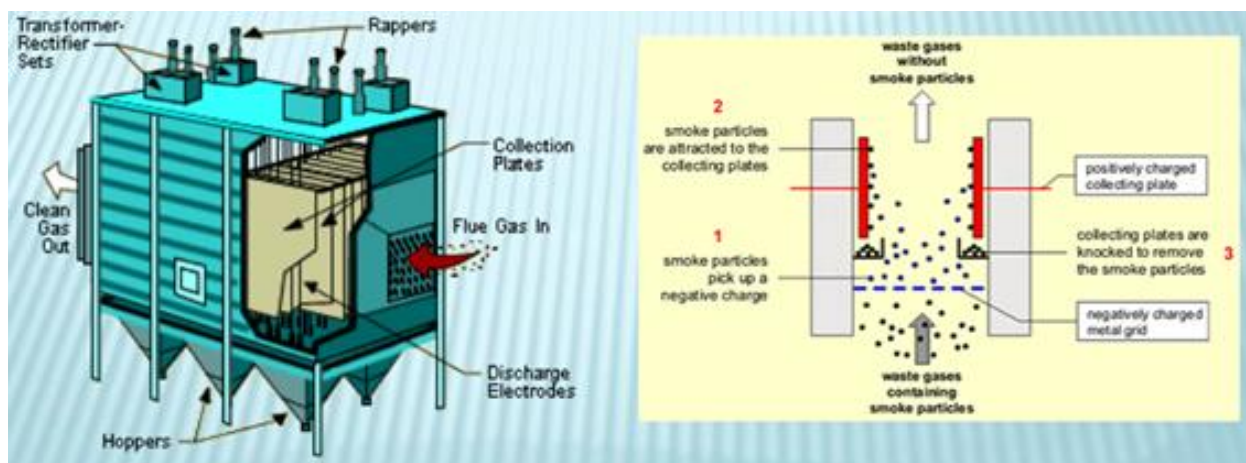


Figura 15. Representación gráfica y esquema de funcionamiento de precipitador electrostático¹⁴

¹⁸ Christensen, Thomas H. 2005. Incineration: Flue Gas Cleaning and Emissions. Chapter 3: Equipments. Pages 130-132. 220 pages. Publisher SWTM.

Filtros de mangas

Los filtros de mangas son equipos que emplean filtros de fibras a través de los cuales circulan los gases de combustión y en los que se quedan retenidas las partículas contenidas en el mismo.

Estos filtros deben ser regenerados a espacios de tiempo regulares, y en función del proceso de limpieza se distinguen dos tipos:

- Limpieza off-line: El flujo de gases debe ser interrumpido para acometer las labores de limpieza, generalmente mediante vibración.
- Limpieza on-line: En estos equipos el proceso re-limpieza no requiere la interrupción del flujo de gases, y se realiza generalmente mediante la inyección de impulsos de aire a presión.

Los filtros deben ser realizados en materiales de fibra con suficiente resistencia mecánica, tolerancia a altas temperaturas, resistencia a ácidos y soluciones cáusticas y buena permeabilidad al aire.¹⁹

Para evitar la formación de PCDD/F (dioxinas y furanos), los filtros de mangas deben operar fuera del rango de temperaturas de síntesis ex novo. (200 - 500°C)²⁰

¹⁹ Wikipedia. Bag filters. <http://en.wikipedia.org/wiki/Baghouse>. Página vigente al 15/01/15.

²⁰ Christensen, Thomas H. 2005. Incineration: Flue Gas Cleaning and Emissions. Chapter 3: Equipments. Pages 135. 220 pages. Publisher SWTM.

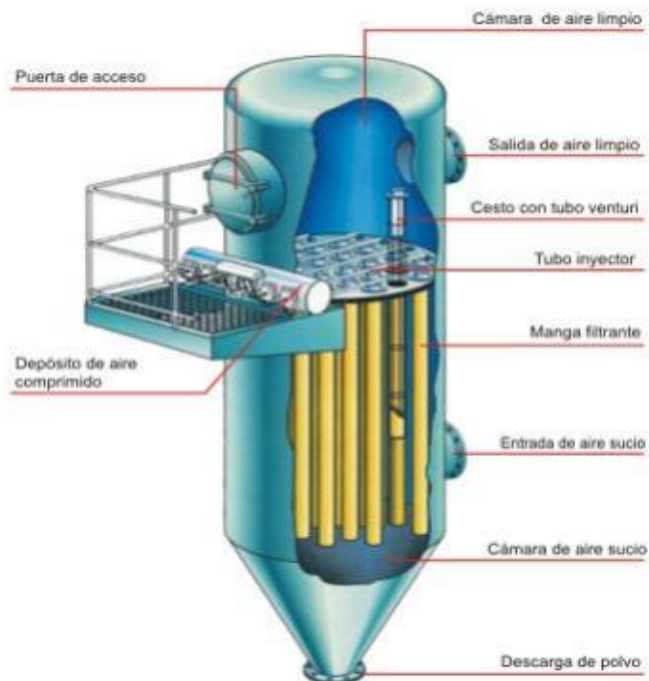


Figura 16. Vista de corte de un filtro de mangas²¹

Lavadores venturi (“scrubbers”)

Para la eliminación de partículas de diámetro reducido, pueden emplearse lavadores venturi asociados a precipitadores electrostáticos. En ellos las partículas contaminantes se transfieren al agua pulverizada para depositarse posteriormente en los electrodos. Dichos lavadores o scrubbers son reactores donde ocurre la reducción de los elementos a eliminar. Esto ocurre atravesando a contra corriente el gas con una solución acuosa de reactivo (en el caso de los húmedos y semi húmedos) o con el reactivo pulverizado (scrubber seco)

Hay scrubbers del tipo seco, semi-húmedo y húmedo.

Su principio de funcionamiento se basa en lograr capturar y reducir las partículas nocivas y gases potencialmente peligrosos a través de hacer chocar la masa de gases proveniente de la combustión con una corriente de gas (en el caso de los secos) o con una corriente líquida (en el caso de los húmedos y semi húmedos)²²

²¹ Imagen tomada de Jeven Oy, “How cyclone grease separators work”. http://www.jeven.com/mvhome/homepage_item_view.html?id=00001285&did=298&lang=en&page_category_id=75354. Página vigente al 2/3/2015

²² ABS. 2011. Exhaust Scrubber Systems Advisory. Principio de funcionamiento. Pagina 3. http://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/publications/2013/Scrubber_Advisory.pdf.pagina_vigente_al_23/04/15.

Sus principales insumos son Amoniaco, Urea, y piedra caliza²³.

A continuación se muestran imágenes de los distintos tipos de scrubbers

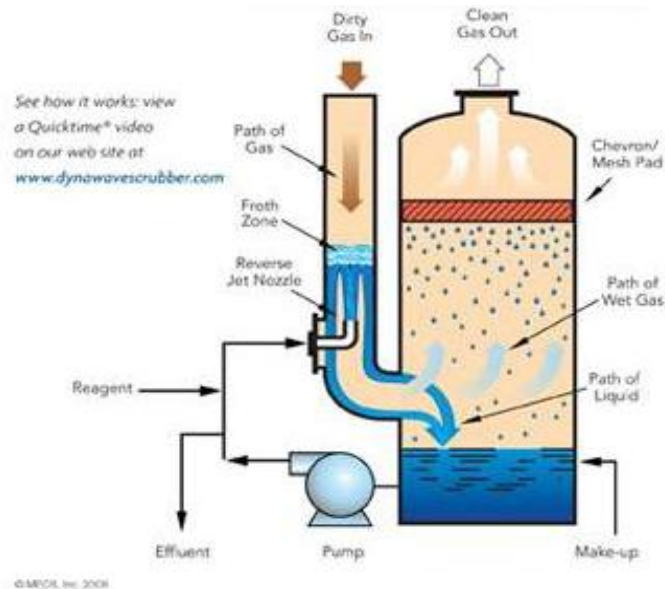


Figura 17. Esquema de separador scrubber húmedo²⁴

En el scrubber húmedo se puede observar como el gas con los elementos nocivos ingresa al reactor, y choca contra la corriente de solución acuosa de reactivo. En ese choque ocurre la reacción, que desemboca en precipitados, agua y gas limpio.

²³ ABS. 2011. Exhaust Scrubber Systems Advisory. Insumos . Paginas 17-18.

http://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/publications/2013/Scrubber_Advisory.pdf, pagina vigente al 23/04/15

²⁴ Imagen tomada de Eagle.org, "Exhaust Gas Scrubber System Advisory"

http://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/publications/2013/Scrubber_Advisory.pdf, Página vigente al 31/5/2015.

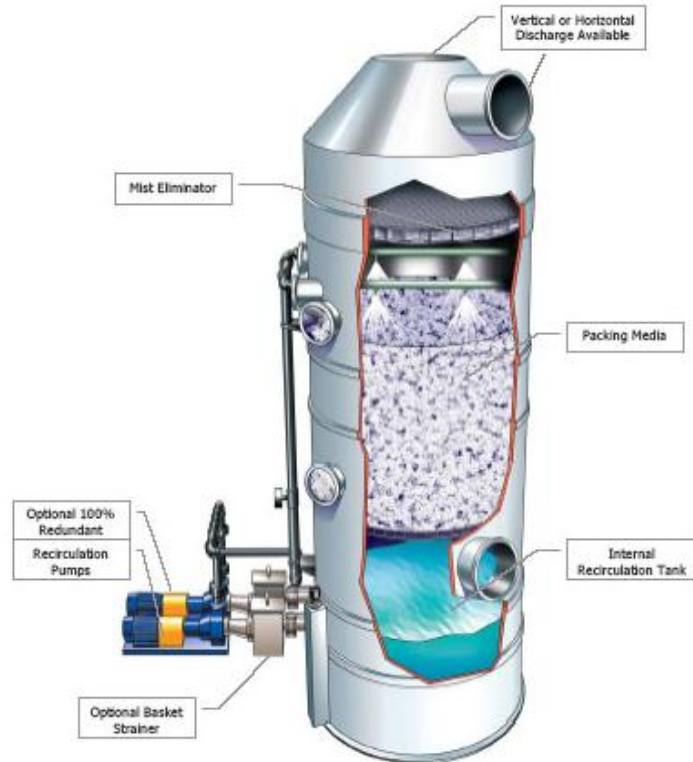


Figura 18. Representación gráfica de un scrubber semi húmedo²¹

En el scrubber semi húmedo interactúan a contracorriente el gas a limpiar con la solución acuosa. Ocurre la reacción, aparecen precipitados, el agua desemboca en la parte inferior y el gas sale por el lado superior sin los elementos contaminantes. La principal diferencia con respecto al húmedo está en la proporción de reactivo-agua²⁵.

²⁵ Jefferson, M. Air Pollution Control Equipment. 2001. Capítulo 2: scrubber semi -humedo. Página 123. 230 paginas

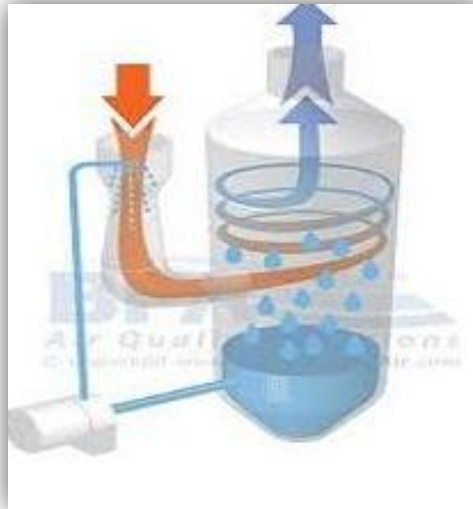


Figura 19. Representación gráfica de un scrubber seco

En el scrubber seco se puede observar como el gas contaminante interactúa con el reactivo pulverizado. Por medio de la reacción, se generan los precipitados, agua, y el gas avanza hacia la siguiente instancia del proceso sin los elementos contaminantes

Ciclones

Los ciclones son equipos que permiten separar partículas de gran tamaño empleando un proceso de centrifugación de gases. Los equipos más empleados son los de tipo axial con recogedores de polvo cónicos en su parte inferior.

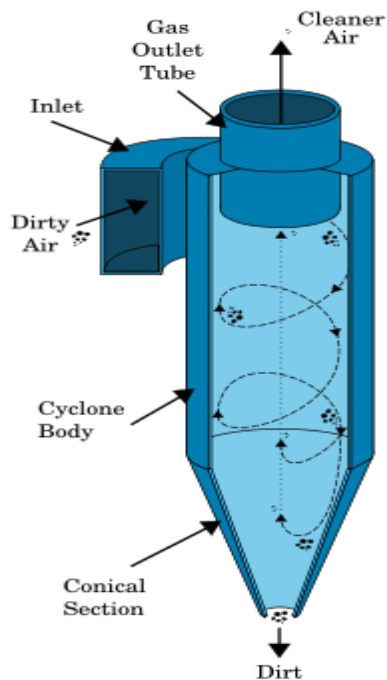


Figura 20. Representación gráfica de un ciclón o separador ciclónico²⁶

En la imagen se puede observar como el gas ingresa tangencialmente, y por efecto de fuerza centrífuga las partículas contaminantes comienzan a caer, mientras el gas asciende y se dirige hacia el equipo siguiente.

A modo de resumen, se muestra a continuación un gráfico en el que se puede observar los distintos equipos a utilizar en relación al tamaño de la partícula. Se evidencia la eficiencia que tienen los equipos que actúan eliminando de forma física las partículas de mayor tamaño. También se ve que para recurrir a partículas y gases de mayor complejidad y tamaño se recurre a reactores scrubbers donde la eliminación viene de la mano de la reacción química.

Por último se observa un límite inferior en lo que respecta al tamaño de partículas, propio del límite tecnológico que hay en este tipo de equipamientos.

²⁶ Imagen tomada del Air Pollution Training Institute.
<http://www.epa.gov/eogapti1/module6/matter/control/control.htm>. Página vigente al 2/3/2015.

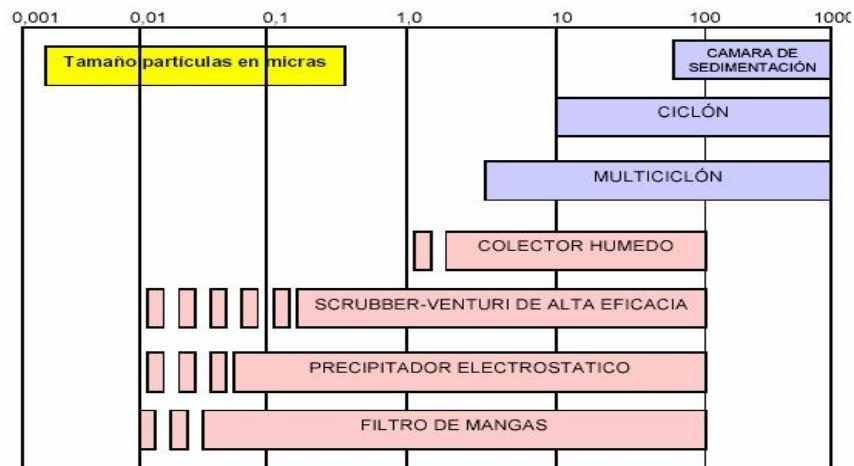


Figura 21. Equipos a emplear en función del tamaño de la partícula

ELIMINACIÓN DE GASES ÁCIDOS: SOX, HCL, HF

Estos gases se forman durante el proceso de combustión, por lo que su concentración dependerá de la composición de los residuos incinerados.

Para llevar a cabo la eliminación de gases ácidos presentes en el flujo de gases se pueden emplear procedimientos de lavado seco, semi-seco y húmedo. Para ello se utilizan los antes mencionados scrubbers o reactores.

Proceso seco y semi-seco.

Este proceso se basa en la inyección de un agente neutralizador en el flujo de gases, generalmente en un equipo reactor que facilita la reacción de neutralización y la recogida de los productos del proceso.

El reactivo utilizado para llevar a cabo el proceso de limpieza es cal, que en el caso seco se pulveriza en estado sólido sobre la corriente de gases, mientras que en el caso semi-seco, éste se pulveriza sobre los mismos en forma de lechada de cal. En ambos casos los residuos generados se encuentran en estado sólido.

Las reacciones que tienen lugar en el reactor son:

Proceso húmedo

Para la limpieza de gases empleando el proceso húmedo se emplean dos etapas de

lavadores húmedos (scrubbers), que son equipos consistentes en una cámara donde a contracorriente del flujo de gases se inyecta agua pulverizada que previamente ha sido aditivada con los reactivos necesarios. En la primera etapa, se lleva a cabo el enfriamiento de los gases hasta su temperatura de saturación, además de la absorción de los compuestos halógenos y el mercurio. El HCl y HF son absorbidos al entrar en contacto con el agua pulverizada:

Posteriormente, los iones ácidos absorbidos reaccionan con el hidrato cálcico presente en el agua formando sus respectivas sales.

2

2

Durante esta etapa parte del mercurio presente en los gases puede ser eliminado:

En la segunda etapa del proceso de limpieza húmedo se lleva a cabo la eliminación del SO₂. Al igual que la primera, esta se lleva a cabo en un equipo donde se inyecta agua pulverizada en varios niveles a contracorriente del flujo de gases. Los reactivos añadidos al agua en esta fase pueden ser hidróxido de sodio, hidrato cálcico o carbonato cálcico. Las reacciones que tienen lugar en cada caso son:

Reactivo: NaOH

-(1)

- -

(1)

(1)

- Reactivo: hidrato cálcico: Similares a las del modo semi-seco, con la diferencia que los productos residuales serán húmedos.
- Reactivo: Carbonato cálcico

En general, las tres tecnologías (seco, semi-seco y húmedo) permiten obtener buenos resultados en cuanto a la eliminación de gases ácidos del flujo de gases. El proceso húmedo permite operar con bajos consumos de reactivos, sin embargo genera aguas residuales que deberán disponer de instalaciones específicas para su posterior tratamiento. El proceso semi-seco, permite disminuir el consumo de reactivos con relación al proceso seco, sin generar aguas residuales²⁷.

Eliminación de los óxidos de nitrógeno NO_x

Los óxidos de nitrógeno NO_x pueden formarse durante el proceso de combustión de tres formas distintas:

- térmico: Durante el proceso de combustión parte del nitrógeno del aire empleado como comburente se oxida formando óxidos de nitrógeno. Esta reacción solo se produce a altas temperaturas y es directamente proporcional a la presencia de oxígeno. La cantidad de óxidos de nitrógeno formados aumenta exponencialmente con la temperatura.
- combustible: Procede de la oxidación de parte del nitrógeno contenido en los residuos durante la incineración.
- procedente de reacciones con radicales: El nitrógeno del aire de combustión también puede ser oxidado reaccionando con radicales CH y la consecuente formación intermedia de HCN. En cualquier caso esta forma de producción es de escasa importancia.

En el gráfico siguiente se puede observar la evolución de las 3 formaciones de óxidos de nitrógeno con respecto a la temperatura. Se observa un elevado crecimiento de los óxidos formados por la combustión del nitrógeno contenido en el aire de inyección. Debido a esto, se debe tener en cuenta que un exceso de inyección de aire puede repercutir en tener que utilizar mayor carga en los reactores catalíticos, por lo que es preferible llegar a una solución de compromiso e inyectar el aire justo y necesario

²⁷Semrau, K.T., 1997. "Practical process design of particule scrubbers". Chemical Engineering. 84:87-91

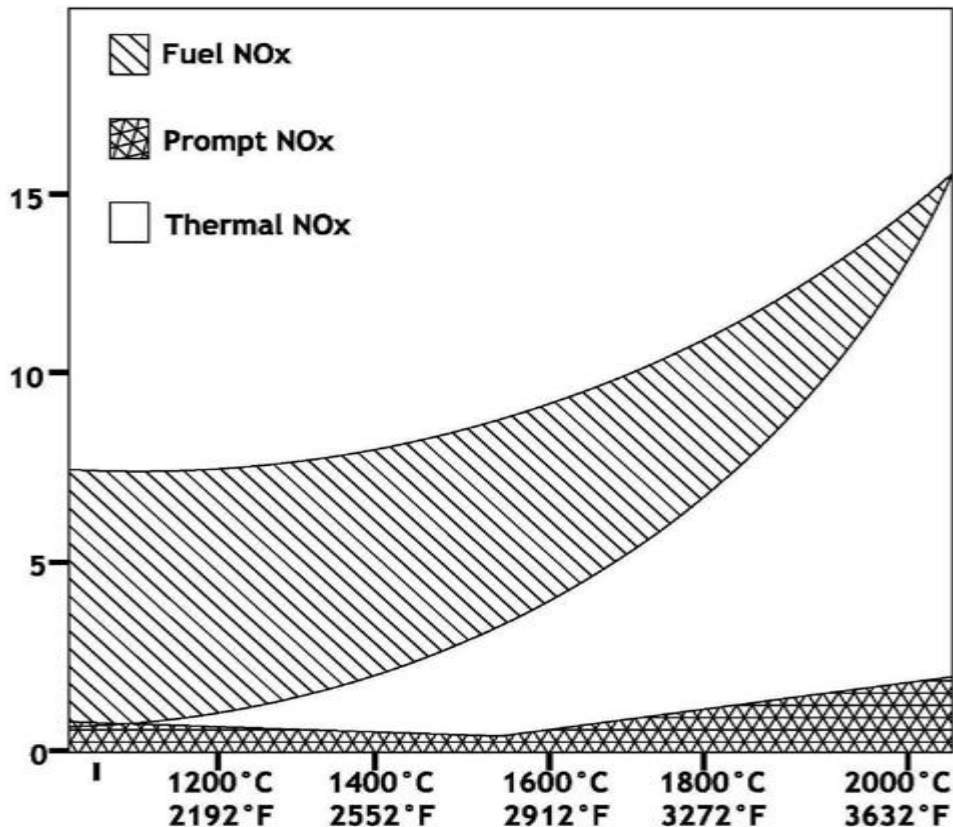


Figura 22. Formación de óxidos de nitrógeno según la temperatura²⁸

Las emisiones de NOx pueden ser reducidas mediante la adopción de medidas primarias y secundarias.

Medidas primarias

Las medidas primarias tratan de reducir principalmente la reducción de la formación de NO_x térmico. Éstas son principalmente:

- Uso de hornos con baja producción de NO_x : Este tipo de hornos implementan tecnologías que reducen la concentración de oxígeno en las partes de mayor temperatura del horno, creándose así una atmósfera reductora que minimiza la generación de NO_x térmico. La combustión completa se logra inyectando mayor cantidad de oxígeno en las zonas con temperaturas más bajas.
- Combustión por fases: En determinadas plantas se puede reducir la formación de NO_x mediante una combustión por etapas. En la primera etapa se introduce oxígeno por debajo de la cantidad estequiométrica. En la segunda etapa se completa la

²⁸ Imagen tomada de Innovative Combustion Technologies, "Common issues".
http://www.innovativecombustion.com/pulv_nox.html. Página vigente al 31/5/2015

combustión mediante la inyección de aire secundario, a temperaturas más bajas.

Medidas secundarias

Las medidas secundarias tienen por objeto la reducción de óxidos de nitrógeno ya presentes en los gases de combustión. Esto se logra mediante la inyección de un agente reductor en el flujo de gases (amoníaco). Dependiendo de la temperatura a la que se lleve a cabo la reacción se distinguen dos procesos:

- Reducción selectiva no catalítica (SNRC): Consiste en la inyección dentro de la cámara de combustión de amoníaco. Este proceso se lleva a cabo en las zonas donde los gases de combustión se encuentran a temperaturas en torno a los 1000°C. El amoníaco reacciona con el óxido de nitrógeno formando nitrógeno y agua. Como efecto no deseado, también se produce la combustión de parte del amoníaco generándose más óxido de nitrógeno. Igualmente, parte del amoníaco puede no reaccionar, siendo arrastrado por los gases de combustión. Para que el proceso de desnitrificación se lleve a cabo de forma satisfactoria es de vital importancia controlar la temperatura a la que se produce la reacción, así como optimizar la inyección para que el reactivo se mezcle adecuadamente con los gases. En estos casos se puede obtener una eficiencia de en torno al 50 - 60 %. Las reacciones que se producen durante el proceso son:²⁹

A continuación, se observa en la figura se observa el porcentaje de las reacciones en función de la temperatura.

²⁹ Guido Busca et al, 1998, "Chemical and mechanistic aspects of the selective catalytic reduction of NOx by ammonia over oxide catalysts: A review". Capítulo 3: "Selective Catalytic Reduction with ammonia". Páginas 80-83.

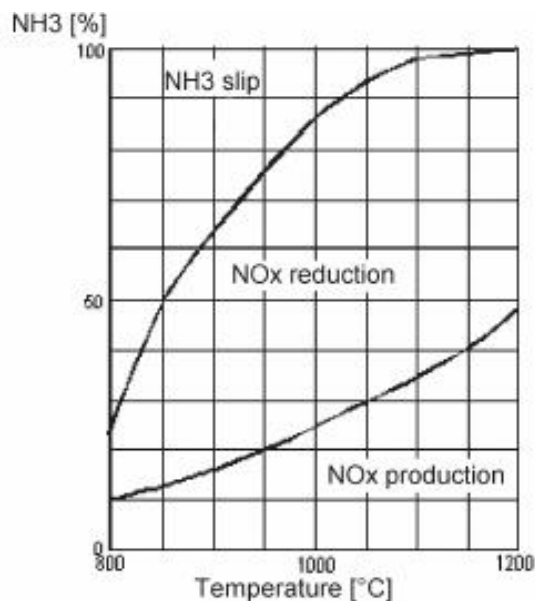


Figura 23. RCNS en función de la temperatura

- Reducción catalítica selectiva (SCR): Este sistema se basa en el empleo de un catalizador a través del cual se hace pasar el flujo de gases previamente mezclado con un agente reductor. Las reacciones que tienen lugar en el catalizador son:

La eficacia en la reducción de NOx obtenida mediante el empleo de la técnica SCR es superior al 90%. Para alcanzar este ratio, así como para optimizar el uso del reactivo, la cantidad de amoníaco inyectada debe ser regulada según las circunstancias. La temperatura óptima para éste proceso se sitúa en torno a los 400°C.³⁰

A continuación se presenta, a modo explicativo, un esquema de flujos con inputs, outputs, y lo que ocurre en el reactor.

³⁰ M. Shelef, 1995. "Selective Catalytic Reduction of NOx with N-Free Reductants", Capítulo VII. Páginas 211-223

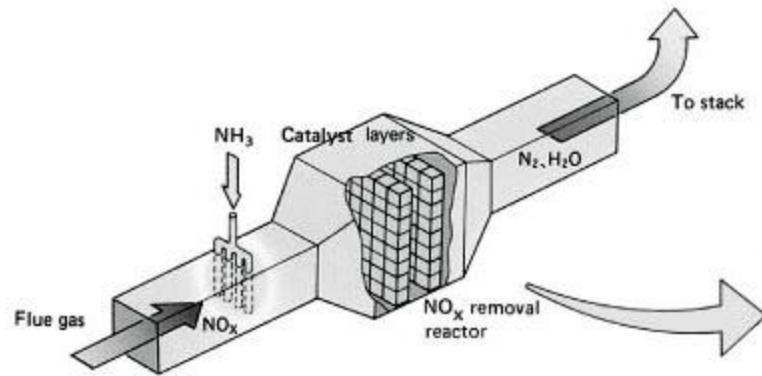


Figura 24. Esquema de funcionamiento del proceso de selección catalítica reductiva³¹

Este proceso permite obtener muy buenos rendimientos, pero la necesidad de disponer del equipo catalizador (con su correspondiente sustrato catalítico), encarece el diseño de la planta incineradora.

Reducción de la emisión de compuestos orgánicos, dioxinas y furanos³²

Las dioxinas y furanos son compuestos tóxicos formados por anillos bencénicos en cuyos radicales se insertan oxígenos y cloros, dando lugar a numerosos isómeros, algunos de los cuales son altamente tóxicos. Existen dos mecanismos principales de formación de PCDD/F (dioxinas y furanos):

- | Formación de dioxinas y furanos en presencia de los correspondientes precursores clorados (PCBs y PCPs) mediante una reacción gaseosa homogénea a temperaturas entre 300 y 800°C.
- | Síntesis novo: La formación de PCDD/F tendrá lugar durante el enfriamiento de los gases de combustión bajo las siguientes condiciones: Temperatura entre 200 y 500°C, presencia de una fuente clorada y oxígeno en los gases, y presencia de metales pesados que actúen como catalizadores.

Para la reducción de las emisiones de PCDD/F se pueden adoptar medidas de carácter primario o secundario.

Medidas primarias:

- | Limitación de la síntesis novo: Para ello será necesario controlar la temperatura a la que operan los filtros de mangas o

³¹ Imagen tomada de Japanese Advanced Environment Equipment, "IHI NOx Removal Plant". http://nett21.gec.jp/jsim_data/air/air_3/html/doc_082.html. Página vigente al 31/5/2015.

³² Información proporcionada por la cátedra de "Residuos Sólidos Urbanos", "Clase n°6: Residuos Sólidos y Peligrosos". ITBA, segundo cuatrimestre 2013.

precipitadores, puesto que es en estos equipos donde la presencia de metales pesados puede favorecer la formación de PCDD/F.

- Control de la temperatura de los gases de combustión: Para asegurar la destrucción de los PCDD/F presentes en los gases de combustión, será necesario que éstos permanezcan a temperaturas superiores a 850°C durante un tiempo no inferior a 2 segundos. Por lo tanto, la cámara de combustión deberá ser diseñada y dimensionada con el fin de alcanzar las condiciones anteriormente descritas.

Medidas secundarias :

- Retención de partículas: Gran parte de las dioxinas existentes en los gases de combustión se adhieren a las partículas, especialmente a las de pequeño tamaño. Por lo tanto la disposición de equipos para la separación y precipitación de éstas partículas reducirá la cantidad total de dioxinas emitidas.
- Adsorción sobre carbón activo: Para llevar a cabo la eliminación de los PCDD/F y metales pesados presentes en el flujo de gases, se emplean procesos de inyección de carbón activo que gracias a su poder adsorcitivo, provocan su precipitación. Para que el proceso de adsorción alcance los rendimientos requeridos, la inyección deberá realizarse de forma continua, con un tiempo de contacto entre los gases y el carbón activo de al menos segundos, la temperatura de los gases deberá estar comprendida entre 100 y 170°C, y el pH del medio deberá ser ligeramente básico.

TECNOLOGÍA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA

Una vez generados los gases de combustión, las tecnologías de recuperación energética son similares a las que se puedan llegar a encontrar en una central de ciclo combinado HCP.

Esta consiste en una caldera, donde se producirá la transferencia de calor, donde los gases de combustión generaran vapor, y ese vapor será el que se dirija a la turbina

Se dispondrá de 2 líneas de generación de vapor, que desembocaran en 2 turbinas con capacidad de generación de energía eléctrica de 30 MWh cada una, sumando ambas una capacidad de 60, que restándole la energía utilizada para el propio insumo de la planta (10 MWh) nos dará un resultado de capacidad de generación eléctrica de 50 MWh. Dichas turbinas recibirán el vapor generado en la caldera, y generaran la energía eléctrica que luego servirá tanto para el propio autoabastecimiento de la planta, como para la distribución a las zonas aledañas.

CAPÍTULO 4: CASOS DE ÉXITO A NIVEL MUNDIAL

WASTE-TO-ENERGY A NIVEL MUNDIAL

Las tecnologías waste-to-energy, conocidas por lograr una recuperación energética de los RSU, están cobrando cada vez más importancia a nivel mundial.

La acumulación de diversos factores, como por ejemplo las últimas tendencias de cambio en las gestiones de RSU a nivel mundial (el relleno sanitario ya no es la solución principal), sumado a los altos costos de disponer de los residuos en rellenos sanitarios, mas políticas del tipo “Green” consistentes en lograr obtener energías de recursos renovables, han potenciado el uso de este tipo de tecnologías.

Actualmente en el mundo existen más de 1200 plantas en operación en más de 40 países, principalmente en Europa y Asia. Sin embargo se nota que ha habido avances en el uso de esta tecnología en Estados Unidos y Canadá.

En el caso de países Europeos, tenemos a Austria, Noruega, Suecia, Finlandia, Reino Unido, Irlanda, Suiza, Alemania, Italia, Holanda y Bulgaria como los principales países que hacen uso de este tipo de tecnología, con más de 30 plantas en cada uno de ellos.

Los usos de este tipo de tecnología son principalmente generación de energía eléctrica, calor para calefaccionar hogares, reducción del volumen de RSU que irá a disposición final, y recuperación de materiales no combustibles. A continuación se muestra un plano a nivel mundial con la cantidad de países que hacen uso de este tipo de tecnologías.



Figura 25. Referencias WTE a nivel mundial³³

CASOS EN EL MUNDO

A la hora de analizar un proyecto de tal magnitud, es interesante ver lo ocurrido con casos similares que se han ido implementando en el mundo a lo largo del tiempo. Es muy importante tener en cuenta tanto casos de éxito como de fracaso, para poder visualizar tanto ventajas y beneficios, como factores a considerar a fin de evitar ciertos riesgos.

Ejemplos de éxito: Suecia³⁴

Siendo este un país considerado potencia mundialmente, y un ejemplo en cuanto a conducta y disciplina, se presenta a continuación un caso ejemplar de tratamiento de los residuos y la generación de energía, notando que llevan más de 80 años incinerando parte de ellos.

WTE es una fuente de energía bien establecida en Suecia. Habiendo comenzado como un problema sanitario donde los desechos se trataban para que no se esparzan enfermedades, el tratamiento de residuos es hoy en día un símbolo de cooperación y trabajo con el medio ambiente. La primera planta de incineración inició sus operaciones a fines de 1940. Durante la década de 1970 fue cuando comenzó la mayor expansión de plantas incineradoras.

³³ Imagen proporcionada por la cátedra de "Residuos Sólidos Urbanos". "Unidad 6: Residuos Sólidos y Peligrosos", ITBA, segundo cuatrimestre 2013.

³⁴ Avfall Sverige, 2014. Swedish Waste Management. www.avfallsverige.se Pagina vigente al 30/5/2015

Cada ciudadano en Suecia produce alrededor de 500 kg de residuos por año. Actualmente se aprovecha el 96% de sus residuos reciclando, quemando y tratando desechos. Esto quiere decir que Suecia atravesó una especie de revolución de reciclaje en las últimas décadas, dado que en 1975 sólo el 38% de sus residuos eran reciclados.

Hoy en día, Suecia solamente genera tanta energía como 1.1 millón de metros cúbicos de petróleo, lo cual reduce las emisiones de dióxido de carbono 2.2 millones de toneladas por año. Esto es tanto Co2 como 680.000 autos emitiendo en todo un año.

Para esto, las estaciones de reciclaje están a no más de 300 metros de las zonas residenciales. La mayoría de los ciudadanos separan en sus casas los desechos y los depositan en contenedores especiales o directamente los alcanzan a las plantas de reciclaje.

Dentro de todo lo reciclado por los ciudadanos, el 50% es quemado para producir energía en las plantas de incineración controlada. Los residuos son un combustible barato y se ha desarrollado a lo largo del tiempo una buena capacidad y habilidad para tratarlos de manera eficiente generando amplios beneficios. Suecia incluso importa 700.000 toneladas de residuos de otros países.

Tienen estrictos estándares para la limitación de emisiones desde mediados de 1980, habiendo caído la mayoría de los mismos entre un 90 y un 99 por ciento gracias al desarrollo tecnológico y a la clasificación de residuos.

Las cenizas sobrantes del proceso constituyen un 15% del total del peso de los residuos antes de ser incinerados. De las cenizas, se separan y reciclan metales, mientras que de otros materiales como azulejos o porcelana, que son ignífugos, se sustraen gravilla para la construcción de caminos. De todo esto, sólo el 1% de la cantidad de residuos originales es lo que sobra y va a un relleno sanitario.

El humo de las plantas incineradoras consiste en un 99,9% de gases no tóxicos como dióxido de carbono y agua, que es a su vez filtrado por filtros y agua. Los filtros utilizados para este proceso son depositados, y son utilizados para rellenar el interior de minas abandonadas.

Cada año se tratan poco más de 2 millones de toneladas de residuos domésticos para transformarlos en energía. Estas plantas incineran también una cantidad similar de los residuos de industrias. La incineración de residuos en este país pudo recuperar en 2007 casi 13.7 Twh, un aumento del 19% en comparación con el año anterior. Esto se dividió en 12.2 Twh cubriendo las necesidades de calor de 810.000 hogares (siendo esto alrededor de un 20% del calor producido para calefaccionar) y 1.5 Twh, proveyendo electricidad a 250.000 hogares.

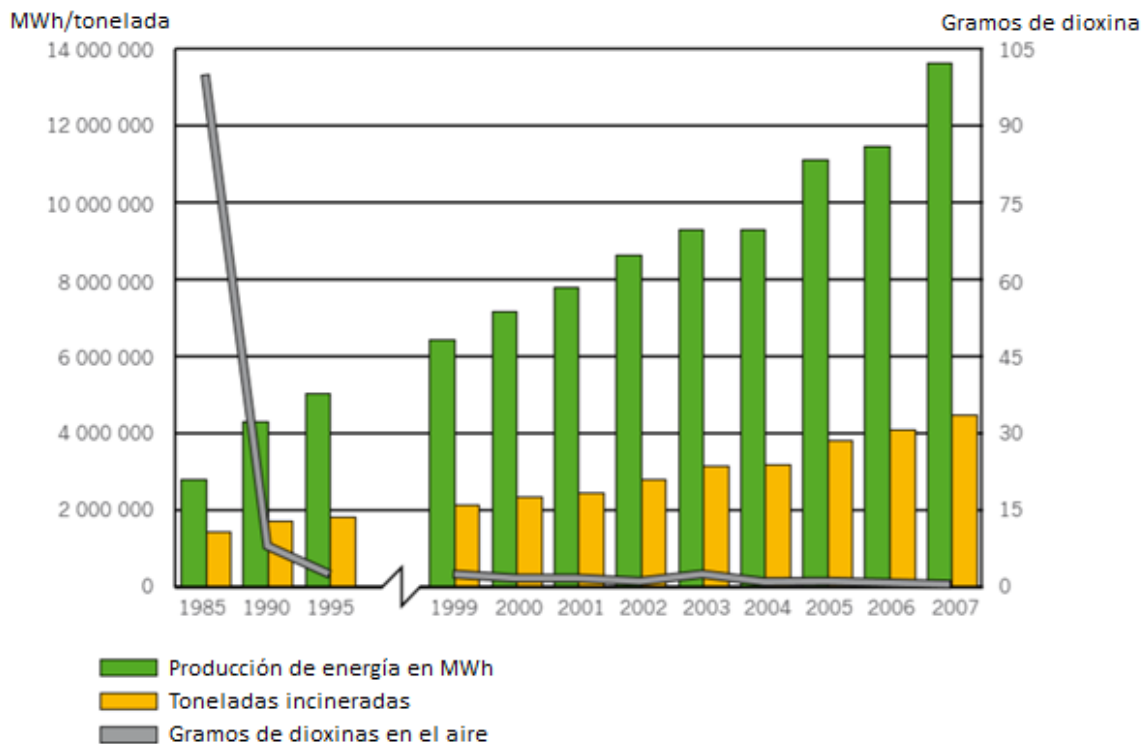


Figura 26. Incineración, producción de energía y cantidad de dioxinas en el aire 1985-2007. Datos de Avfall Sverige.

Puede observarse en el gráfico que la producción energética ha aumentado considerablemente en las últimas décadas, e incluso ha aumentado en proporción comparado con la cantidad de toneladas incineradas. Y al mismo tiempo, ha disminuido casi totalmente la generación de dioxinas. Todo esto se debe al desarrollo tecnológico y la inversión en infraestructura.

En el gráfico siguiente se aprecia más detalladamente cómo ha aumentado en grandes cantidades la incineración de residuos y la producción de energía, habiendo disminuido drásticamente los desechos enviados a rellenos sanitarios.

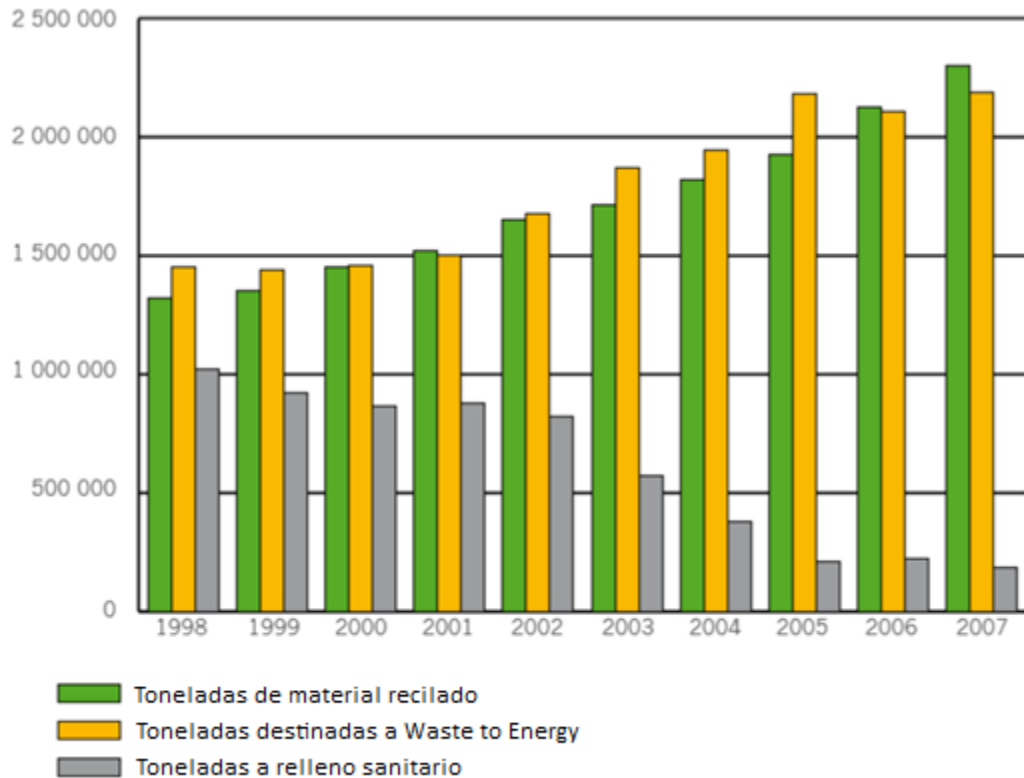


Figura 27. Métodos de tratamiento de residuos domésticos en el período 1998-2007. Datos de Avfall Sverige

Otros casos de éxito en el mundo:

Se mencionarán, a continuación, algunos de los numerosos casos que se encuentran operando hoy en día alrededor del mundo:

Keppel Seghers Tuas WTE Plant, Singapur³⁵

La afamada firma Keppel Seghers provee tecnologías de punta para plantas de incineración de residuos. Tuas WTE, que opera desde 2009, es la quinta planta construida por Keppel Seghers en Singapur, y es una de las más compactas del mundo. Procesa diariamente 800 toneladas de residuos y genera alrededor de 22 MW de energía.

Osaka City Environment Bureau (Maishima) y Clean Association of TOKYO 23 (Chuo), Japón³⁶

El grupo Hitachi Zosen es líder mundial en este campo, habiendo inaugurado numerosas plantas alrededor del mundo. Las de Maishima y Chuo, inauguradas ambas en 2001, procesando 900 y 600 toneladas de residuos por día, y produciendo 32 y 15 MW respectivamente.

³⁵ Keppel Seghers, 2014. Waste to Energy Plants. <http://www.keppelseghers.com/en/content.aspx?sid=3028> Página vigente al 30/5/2015

³⁶ Hitachi Zosen, 2014. <http://www.hitachizosen.co.jp/english/technology/index.html> Página vigente al 30/5/2015

Essex County Resource Recovery Facility, New Jersey, EEUU³⁷

Esta planta de incineración controlada de residuos, ubicada en New Jersey, USA, fue inaugurada en 1990 y pertenece a la Autoridad Portuaria de New Jersey. Según estimaciones del 2012, procesa diariamente 2.800 toneladas de residuos urbanos, produciendo mediante dos generadores alrededor de 65 MW. Esta planta trata residuos de 22 municipalidades de Essex County y de numerosos distritos de Nueva York.

Teesside Energy from Waste plant, Inglaterra³⁸

Al norte de Inglaterra, a orillas del río Tees en Haverton Hill, se encuentra esta planta de incineración de residuos inaugurada en 1998. Produce 29.2 MW de electricidad para la red nacional eléctrica, quemando 390.000 toneladas de residuos domiciliarios y comerciales, y es una de las incineradoras más modernas operando en Inglaterra.

El proceso de tratamiento de residuos y generación de energía ha sido motivo de estudio desde hace mucho tiempo en numerosos países, operando algunas plantas desde hace alrededor de 100 años. Esta industria ha sido desarrollada y ha ido creciendo con el paso del tiempo, siendo hoy en día muy poderosa y radicada fuertemente en muchos países. A continuación se muestra un mapa de Europa, detallando cuántas plantas y que capacidad de procesamiento tienen en los distintos países.

³⁷ Covanta Essex Company, 2014. Facilities. <http://www.covanta.com/facilities/facility-by-location/essex.aspx> Página vigente al 30/5/2015

³⁸ Teesside EFW Facility, UK, 2014. <http://www.power-technology.com/projects/teesside-energy-from-waste-efw-facility/> Página vigente al 30/5/2015

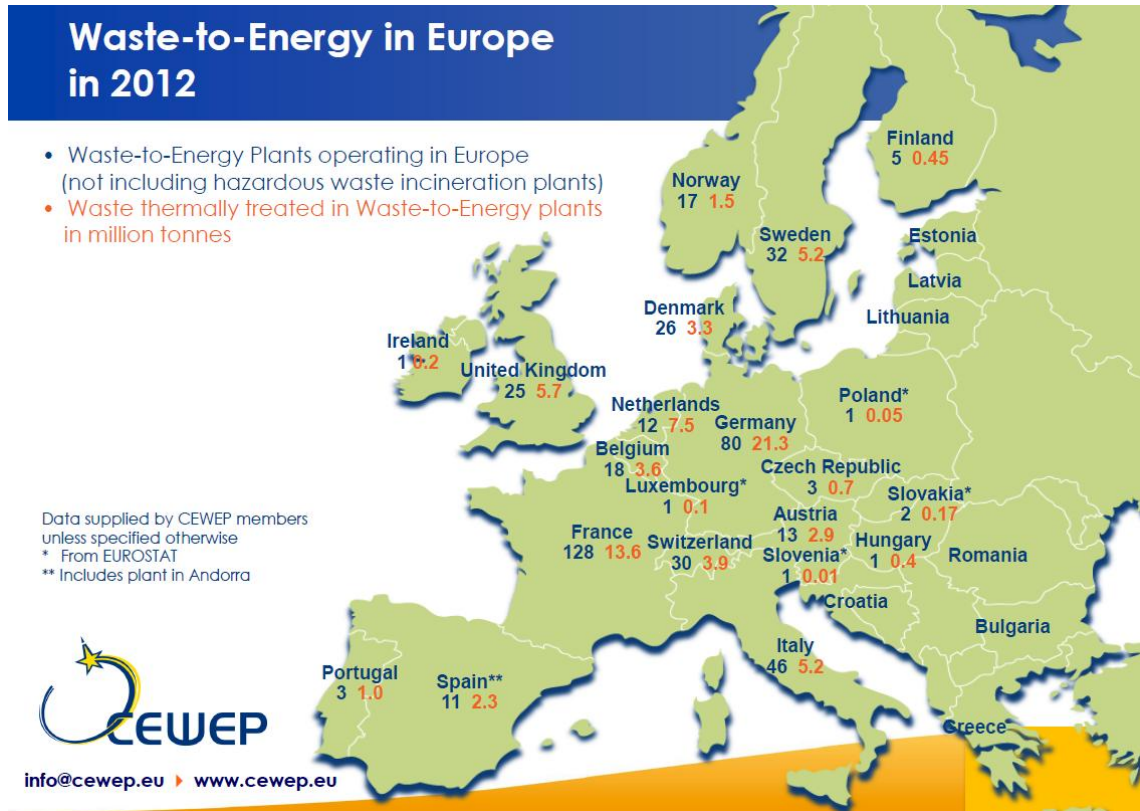


Figura 28. Cantidad de plantas (azul) y millones de toneladas procesadas (rojo) por año en Europa. Datos de CEWEP

Ejemplos de fracaso: India³⁹

El estado de Dehli es el mayor productor de residuos sólidos en India, generando alrededor de 8000 toneladas todos los días. Más del 78% de estos residuos son vertidos en alguno de los tres rellenos sanitarios en las afueras de la ciudad. A medida que Delhi crece, también lo hace la necesidad de inaugurar más rellenos sanitarios. Se ha utilizado ya más de 14 rellenos sanitarios y los tres actualmente en actividad ya han excedido su capacidad.

A pesar de lo mencionado en el párrafo anterior, los rellenos siguen recibiendo residuos. Tres organizaciones municipales, MCD, NDMC y DCB, son responsables de la gestión de residuos en Nueva Delhi y, de estos tres, MCD cubre casi la totalidad del área de Nueva Delhi (95%). Hacer frente a la cuestión de los RSU se ha convertido en una prioridad para todas las organizaciones urbanas de Nueva Delhi y se ha incluido a varias compañías privadas para que trabajen en conjunto a través de distintos métodos tecnológicos.

En 1987, el Ministerio de Fuentes de Energía No Convencionales (MNES, por sus siglas en inglés) encargó la construcción de la estación incineradora Timarpur con un

³⁹ The Timarpur-Okhla Waste to Energy Plant, 2014. <http://www.no-burn.org/downloads/Timarpur.pdf>
Página vigente al 30/5/2015

costo de 4,4 millones de dólares. Construida por Volund Miljoteknik Ltd. de Dinamarca, la planta fue diseñada para incinerar 300 toneladas de RSU y generar 3,75 MW de electricidad.

La planta funcionó a modo de prueba durante 21 días antes de ser clausurada debido al pobre poder calorífico aportado por los residuos entrantes. Para funcionar, se requería como mínimo un valor calorífico de 1462,5 kcal/kg pero el rango de valores aportados por los residuos era de 600-700 kcal/kg. Se intentó complementar con combustible diesel pero, aún así, no hubo éxito.



Figura 29. Planta de WTE Timarpur Okhla en la actualidad

Factores clave para el éxito⁴⁰

A continuación, se analizan aquellos factores que favorecen el desarrollo de un proyecto de planta WTE.

Tarifas altas de disposición en rellenos sanitarios

El hecho de que haya que pagar tarifas para poder disponer residuos en rellenos sanitarios (generalmente por tonelada) es tal vez uno de los factores que más impulsa a buscar destinos alternativos para la disposición de residuos. Si el precio de estas tarifas fuera elevado, podría llegar a resultar más conveniente económicamente usar estos residuos para generar energía eléctrica.

En Europa, para incentivar el crecimiento de proyectos WTE, la tarifa es mayor si lo que se quiere disponer es reciclable, reutilizable o transformable en energía. La

⁴⁰ European Environment Agency, 2009 , "Diverting Waste from Landfill".
<http://www.eea.europa.eu/publications/diverting-waste-from-landfill-effectiveness-of-waste-management-policies-in-the-european-union>. Página vigente al 31/5/2015

siguiente tabla muestra el valor de la tarifa de disposición (sin incluir IVA) para algunos países europeos⁴¹:

País	Tarifa promedio (€/ton)	País	Tarifa promedio (€/ton)
Austria	87	Irlanda	50
Bélgica (Flandes)	85	Letonia	10
Bélgica (Valonia)	65	Lituania	14,5
Bulgaria	2	Holanda	25
República Checa	19	Noruega	100
Dinamarca	63	Polonia	26
Estonia	55	Eslovenia	11
Finlandia	99	España	25,36
Francia	30	Suecia	50
Hungría	25	Reino Unido	25

Tabla 4. Tarifas de relleno en Europa. Datos del CEWEP.

Se puede observar que las tarifas más altas corresponden a aquellos países en los que el uso del relleno sanitario es menor para desechos municipales.

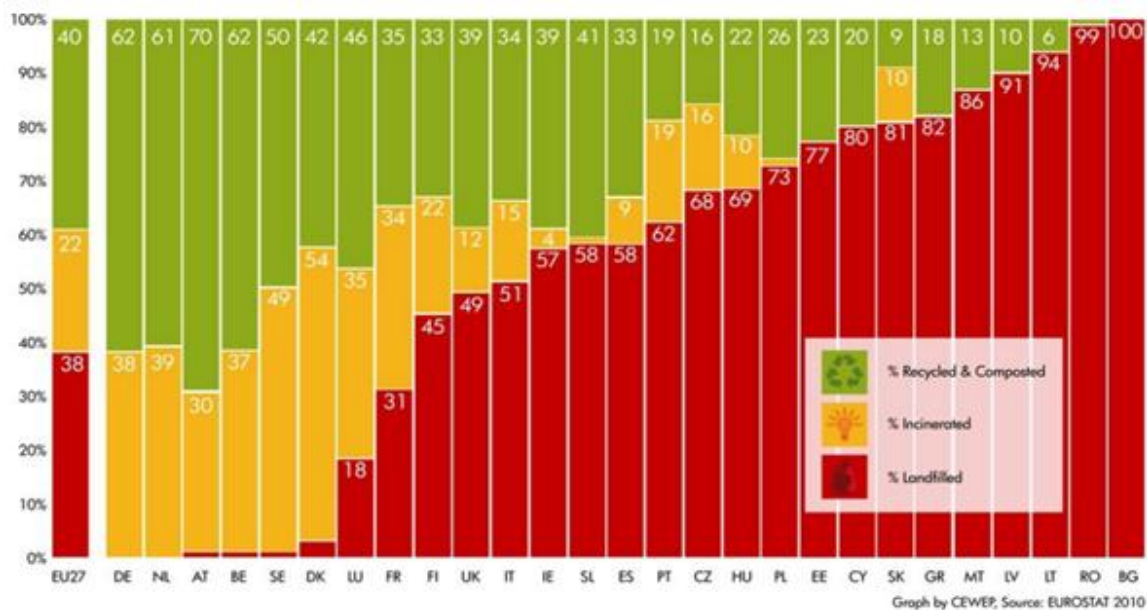


Figura 30. Destino de los RSU por país - Reciclaje (verde), incineración (amarillo) y rellenos sanitarios (rojo). En el eje de las abscisas figura el código de país según la norma ISO 3166-1

En cuanto a Argentina, en el Complejo Ambiental Norte III el servicio de disposición para residuos sólidos asimilables a residuos domiciliarios privados tiene un

⁴¹ CEWEP, 2012. "Landfill taxes and bans".

http://www.cewep.eu/media/www.cewep.eu/org/med_557/955_2012-04-27_cewep_-_landfill_taxes_bans_website.pdf. Página vigente al 31/5/2015

costo de aproximadamente 67USD+IVA/ton⁴² (61€+IVA). El valor de esta tarifa se encuentra un 30% por encima de la tarifa media europea y podría llegar a ser más económico desarrollar actividades WTE que disponer los residuos en rellenos sanitarios.

Políticas y situaciones favorables para el WTE

Ciertas políticas del gobierno podrían incentivar el WTE. En algunos países de Europa, se buscó reducir la dependencia de combustibles fósiles a través de ciertas políticas, incentivando así el crecimiento de la capacidad de actividades WTE. Algunas de las políticas argentinas que podrían incentivar el desarrollo de WTE son:

- El Impuesto a la Transferencia de los Combustibles, que incluye al combustible que se importa para generar energía eléctrica
- La Ley Basura Cero
- Ley Nacional 26.190 y Ley 25.019 que estipulan que para el 2016, el 8% del consumo eléctrico local deberá ser abastecido con fuentes de energías renovables
- Rellenos sanitarios del AMBA excederán su capacidad en el corto plazo
- Existencia de subsidios a organismos que aporten energía eléctrica al mercado a través de energías no convencionales o renovables, como, por ejemplo, declara la Ley Nacional 25.019 sobre el régimen nacional de energía eólica y solar
- La cantidad de combustible importada ha crecido continuamente a lo largo de los últimos 12 años, siendo el valor en dólares de las importaciones en 2012 unas 18 veces mayor que en 2003
- Amplia disponibilidad de RSU para alimentar a la planta. La cantidad de RSU generada por día sobra para aportar 50 MWh a la red eléctrica a través de una instalación WTE

Por otro lado, sin embargo, no hay todavía una desarrollada conciencia o cultura de compromiso con el medio ambiente, ya sea en cuanto a los beneficios de las energías renovables o en cuanto a buenas prácticas, como lo es separar los residuos para una mejor gestión de los RSU. También, en general, hay una mala opinión en la sociedad acerca de la incineración, dado que el tipo de incineración que se practicaba comúnmente no era controlada y no eran tratados los gases de combustión ni los lixiviados.

⁴² CEAMSE, Agosto 2014. "Horarios y tarifas". <http://www.ceamse.gov.ar/generadores-privados-horarios-y-tarifas/> Página vigente al 31/5/2015

CAPÍTULO 5: POSIBLE IMPLEMENTACIÓN EN AMBA

GENERALIDADES

Luego del análisis de todos los factores influyentes, se llega a la conclusión que existe un gran potencial para la introducción de esta tecnología en la República Argentina.

Son diversos los factores que influyen positivamente a este tipo de proyectos:

- La situación crítica en la gestión de residuos urbanos, y la necesidad de una solución concreta y sustentable en el largo plazo.
- La situación actual de la matriz energética de la Argentina, donde se depende fuertemente de la importación de combustibles.
- El incremento tanto en el interés, como en la promoción – a nivel nacional e internacional- de formas de generación energética sustentable.
- El avance tecnológico que permite que la incineración controlada sea efectivamente una forma de generación energética sustentable.

Estos son algunos de los factores que impulsan el análisis de una posible implementación de esta tecnología en Argentina, más precisamente, en el Área Metropolitana de Buenos Aires.

A continuación se analizarán diversos aspectos de gran impacto en el proyecto, y qué soluciones resultan más convenientes para asegurar el éxito del mismo.

ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LOS RSU EN EL AMBA

Un aspecto clave que determinará en gran parte el éxito o fracaso del proyecto será la calidad y composición de la materia prima a utilizar en el proceso, en este caso, los residuos.

Tal como se mencionó anteriormente, existen casos en los que este tipo de proyectos fracasan⁴³ debido a un bajo poder calorífico de los residuos a utilizar como materia prima.

Para esto, se utilizarán los estudios estadísticos llevados adelante por el CEAMSE en conjunto con la Universidad de Buenos Aires⁴⁴.

⁴³S. Dharmesh, "The Timarpur-Okhla Waste to Energy Venture", GAIA, Delhi, India, 2010.

⁴⁴"Estudio de Calidad de los Residuos Sólidos Urbanos del Área Metropolitana de Buenos Aires. Tercer Informe de Avance", FIUBA y CEAMSE, 2010-2011.

Composición de RSU en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires

A continuación se muestra un estudio de calidad de los residuos sólidos urbanos en el área de Ciudad Autónoma de Buenos Aires. El estudio fue realizado por el Instituto de Ingeniería Sanitaria, en conjunto con la facultad de Ingeniería de la Ciudad de Buenos Aires, con importante participación de Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE)

El objetivo de este estudio es obtener datos y especificaciones acerca de la composición física de los residuos sólidos urbanos en ciudad autónoma de buenos aires, así como de las fuentes de generación de estos. Estos datos son vitales a la hora de tomar decisiones sobre las próximas políticas de gestión integral de los residuos sólidos urbanos en ciudad autónoma de buenos aires.

Los objetivos son:

- Obtener datos y separar los RSU por composición.
- Obtener especificaciones y separar los RSU por poder calorífico
- Identificar qué porcentaje de los RSU son potencialmente reciclables.
- Identificar qué porcentaje de los RSU son potencialmente incinerables

Metodología de estudio

Se realizaron muestras de los 48 barrios existentes en la CABA, y se tomaron muestras también de las estaciones de transferencia, y de los RSU que están ya en el complejo ambiental Norte III.

Para el estudio de los componentes y subcomponentes se realizó un análisis (ver tabla 7) de las distintas clasificaciones de residuos, que va desde papeles y cartones hasta pilas y materiales electrónicos. Esta tabla fue de gran ayuda para clasificar y obtener los datos posteriores

Luego del relevamiento de datos, se realizó un estudio exhaustivo, del cual surgieron:

Tabla de composición de RSU de CABA. En ella se destacan residuos alimenticios (41,55%), papeles y cartones (16,64%), plásticos (18,54%), vidrios (3,09%), materiales textiles (4,59%), y residuos de poda y jardín (6,03%)

Porcentaje de residuos potencialmente reciclables, del cual se obtiene que solo un 19,8% del total de RSUs son reciclables. El resto son rechazos, un 81,2%, del cual hay un gran porcentaje que puede ser incinerable

El porcentaje de RSU potencialmente incinerables resultó ser de 73,4%, dentro de los cuales se encuentran papeles y cartones, plásticos, materiales textiles, madera, pañales y apósitos descartables, desechos alimenticios y residuos de jardín. El resto, un 26,6% son residuos sólidos no incinerables.

Los resultados de la información analizada se muestran a continuación/;

Componentes y subcomponentes

Las tablas siguientes muestran un listado de componentes y subcomponentes a ser clasificados:

Listado de Componentes y Subcomponentes a Ser Clasificados	
Componentes	Subcomponentes
Papeles y Cartones	Diarios y revistas
	Papel de Oficina (alta calidad)
	Papel Mezclado
	Cartones
	Envases Tetrabrick
Plásticos	Polietileno Tereftalato – PET (1) ¹²
	Polietileno de Alta Densidad – PEAD (2)
	Policloruro de Vinilo – PVC (3)
	Polietileno de Baja Densidad PEBD (4)
	Polipropileno – PP (5)
	Poliestireno – PS (6)
	Otros: ABS, acrílico, Poliuretánica (7)
Vidrio	Blanco
	Verde
	Ámbar
	Plano
Metales Ferrosos	
Metales no Ferrosos	Latas de Aluminio
	Aluminio (films)
	Cobre
	Plomo
	Bronce
	Estaño
Componentes	Subcomponentes
Materiales textiles	
Madera	
Goma, Cuero, Corcho	
Pañales descartables y apósitos	
Residuos de poda y jardinería	
Materiales de demolición y construcción	
Residuos Peligrosos¹³	
Residuos Patógenos	
Medicamentos	Envases de medicamentos que incluye blisters, Frascos, etc., y su contenido.
Desechos alimenticios	
Residuos Misceláneos	(mezcla de elementos orgánicos e inorgánicos, no identificables de tamaño menor a ½ pulgada).
Aerosoles	
Pilas	Pilas y baterías de todo tipo
Materiales Electrónicos (e-waste)	Incluyen restos de computadoras, teléfonos celulares, etc.

Tabla 5. Componentes y subcomponentes a ser clasificados⁴⁵

Resultados:

Los resultados fueron los siguientes:

⁴⁵ CEAMSE, 2011. "ESTUDIO DE CALIDAD DE RSU AMBA (2010/2011) – TERCER INFORME". <http://www.ceamse.gov.ar/wp-content/uploads/2012/06/Tercer-Informe-ECRSU-AMBA.pdf>. Página vigente al 31/5/2015.

Tabla de composición RSU CABA

Componentes	COMPOSICION TOTAL
Papeles y Cartones	16,64%
Diarios y Revistas	4,58%
Papel de Oficina (Alta Calidad)	0,39%
Papel Mezclado	7,60%
Cartón	3,60%
Envases Tetrabrick	0,46%
Plásticos	18,54%
PET (1)	2,22%
PEAD (2)	2,71%
PVC (3)	0,00%
PEBD (4)	8,10%
PP (5)	3,63%
PS (6)	1,79%
Otros (7)	0,07%
Vidrio	3,09%
Verde	1,75%
Ambar	0,36%
Blanco	0,97%
Plano	0,01%
Metales Ferrosos	1,16%
Metales No Ferrosos	0,25%
Materiales Textiles	4,59%
Madera	0,67%
Goma, cuero, corcho	0,54%
Pañales Descartables y Apositos	4,44%
Materiales de Construcción y Demolición	1,81%
Residuos de Poda y Jardín	6,03%
Residuos Peligrosos	0,00%
Residuos Patógenos	0,00%
Medicamentos	0,01%
Desechos Alimenticios	41,55%
Miscelaneos Menores a 25,4 mm	0,42%
Aerosoles	0,06%
Pilas	0,00%
Material Electronico	0,12%
Otros	0,10%
TOTAL	100%
Peso Volumetrico (Tn/m3)	0,255

Tabla 6. Composición física de los RSU en la CABA - 2010/2011. Datos aportados por CEAMSE.

Composición física promedio RSU CABA

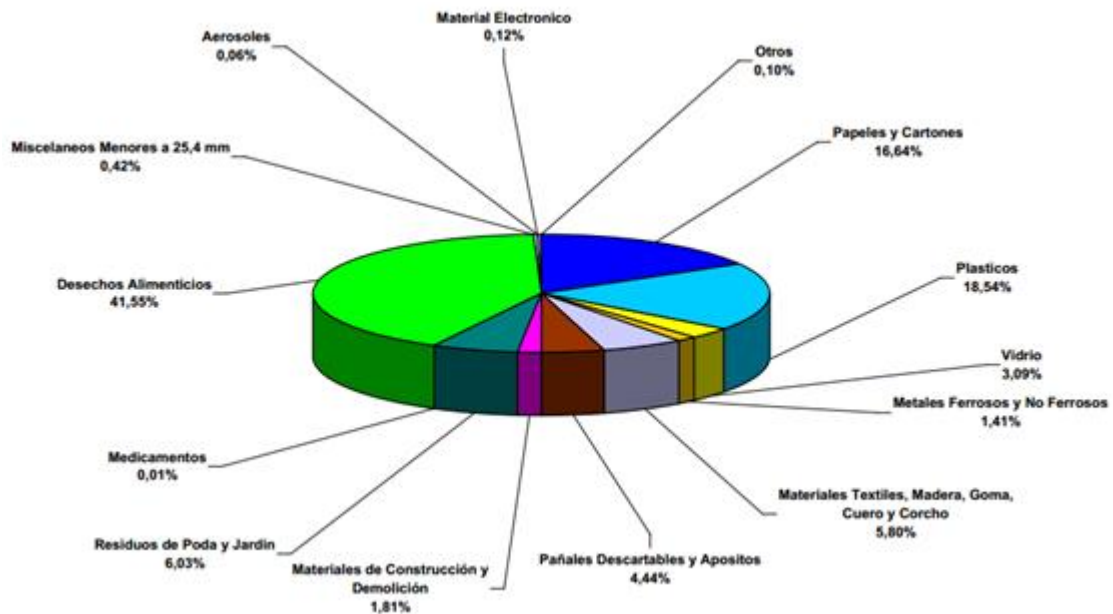


Figura 31. Composición física promedio de los RSU en CABA - Año 2011. Datos aportados por CEAMSE.

Análisis porcentaje RSU potencialmente reciclables

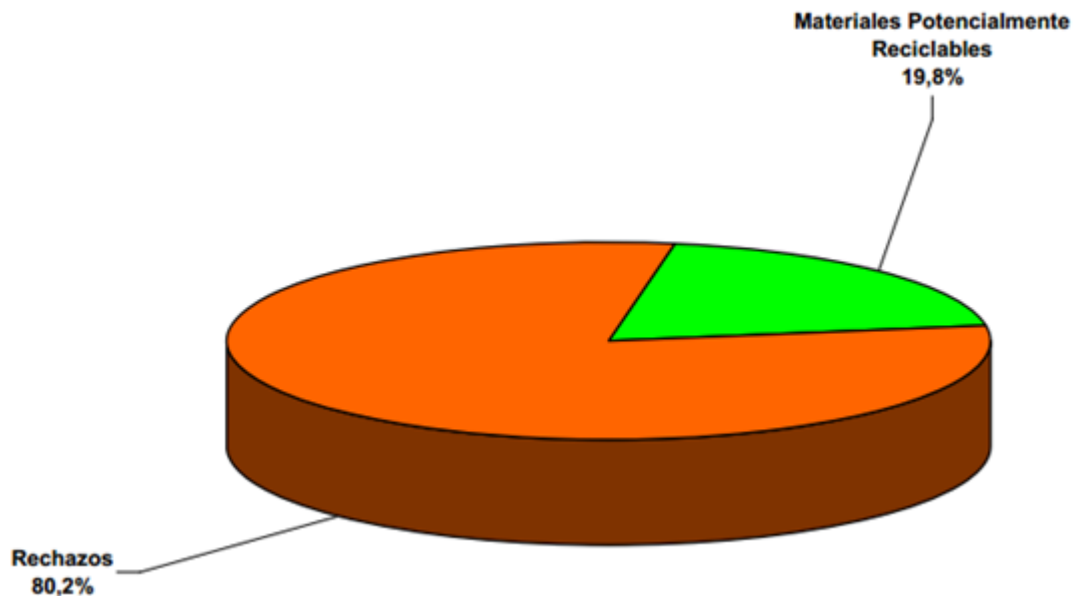


Figura 32. Materiales potencialmente reciclables de la CABA – 2011. Datos aportados por CEAMSE.

Generación de componentes potencialmente incinerables

Se llevó a cabo una estimación de generación de los materiales presentes en los residuos que son potencialmente incinerables sobre la base de los datos del Estudio de Calidad desarrollados y tomando en cuenta su poder calorífico y contenido de humedad. Los componentes analizados fueron los siguientes:

- PAPELES Y CARTONES
- PLASTICOS
- MATERIALES TEXTILES
- MADERA
- PAÑALES Y APOSITOS DESCARTABLES
- DESECHOS ALIMENTICIOS
- RESIDUOS DE JARDIN Y PODA

Se tomaron en cuenta la presencia porcentual de estos componentes, así como la presencia de contaminantes presentes en el flujo de los residuos, con su grado de afectación particular a cada uno de ellos, según lo establecido en la bibliografía.

Del total de residuos generados y recolectados se estima que el 73 % sería material potencialmente incinerable, que representan aproximadamente más de 194 Toneladas por día.

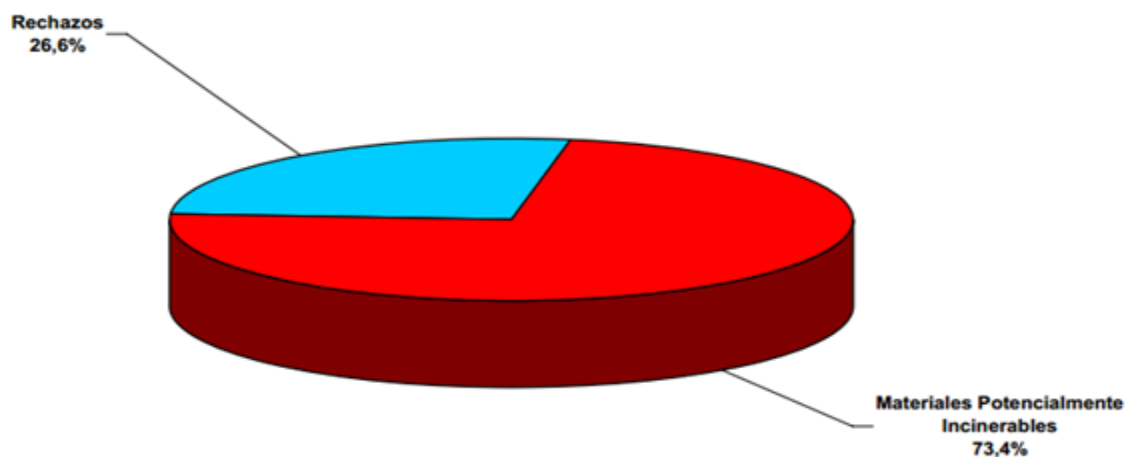


Figura 33. Materiales potencialmente incinerables en los RSD de la CABA – 2011. Datos aportados por CEAMSE.

Conclusiones del estudio:

Dadas las características que poseen los RSU de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, encontramos atractivo que el 73,4% de los residuos sean potencialmente incinerables.

La determinación del poder calorífico de los RSU a partir de la fórmula de Dulong⁴⁶ muestra que:

Para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires	[kcal/kg]	[kJ/kg]
Poder Calorífico Superior en Base Húmeda	3.118	13.046
Poder Calorífico Superior en Base Seca	6.776	28.351
Para el AMBA		
Poder Calorífico Superior en Base Húmeda	2.874	12.025
Poder Calorífico Superior en Base Seca	6.544	27.380

Tabla 7. Valores de poder calorífico para CABA y AMBA

De acuerdo a los cálculos realizados para determinar el poder calorífico necesario para operar la planta bajo las condiciones requeridas, los resultados fueron los siguientes⁴⁷:

Cálculo PCI [Kj/Kg]	
Energía útil [Kj]	4.320.000.000
Energía suministrada [Kj]	PCI*masa RSU
RSU a incinerar [kg]	2.000.000
Rendimiento	0,3
$\eta = \frac{E_{\text{útil}}}{E_{\text{suministrada}}} = \frac{E_u}{PCI * m}$	
PCI [Kj/Kg]	8.000

Tabla 8. Cálculo del poder calorífico acorde a especificaciones de planta

Se arrojó para las especificaciones de planta propuestas, que el poder calorífico mínimo e indispensable para trabajar en régimen fue de 8 MJ/kg.

También es importante destacar que para este tipo de plantas el poder calorífico mínimo de operación es de 6 MJ/kg⁴⁸.

Teniendo en cuenta lo analizado, se puede concluir que:

- El poder calorífico característico de los residuos en base húmeda de Ciudad Autónoma de Buenos Aires resulta suficiente para los requerimientos de planta.
- El poder calorífico obtenido de los requerimientos de planta supera la cota mínima de operación (6 MJ/kg).

⁴⁶ Fórmula de Dulong (kcal/kg) = 80,6 x % C + 338,89 x (% H - % O/8) + 22,22 x % S + 5,56 x % N. Esta fórmula es la propuesta en el libro "Gestión Integral de los Residuos Sólidos" de Tchobanoglous como la correcta para determinar el poder calorífico de los residuos.

⁴⁷ Se tomaron energía entregada, energía requerida y residuos a incinerar diarios.

⁴⁸ Dato aportado por la cátedra "Residuos Sólidos Urbanos". ITBA, 2do cuatrimestre 2013.

ESTUDIO DE MACRO-LOCALIZACIÓN

ANÁLISIS DE FACTORES DE LOCALIZACIÓN

Cercanía a la fuente de insumos y al mercado y costos de transporte

La planta tiene como objetivo reducir el uso de combustibles importados para generar electricidad a través del uso de residuos como combustible. Siendo que el uso de combustibles importados y la generación de residuos se dan en el AMBA en cantidades mucho mayores que en el resto del país, se eligió esta región como mercado.

A la hora de definir la cercanía al mercado y a la fuente de insumos, habría que determinar los costos de transporte de electricidad y de acople a la red eléctrica y contrastarlos con los costos de transporte de residuos a ser incinerados. Si bien la planta generará electricidad, no forma parte del proyecto la distribución de energía eléctrica, ya que esta será vendida a CAMMESA, quien se encargará de estas cuestiones. Por lo tanto, se priorizará localizar la planta cerca de alguna planta separadora de residuos para poder minimizar los costos de transporte.

Consideraciones legales y políticas

Dado que, en un primer momento, todo tipo de incineración industrial de residuos está prohibida en la CABA⁴⁹ -independientemente de si se recupera o no energía con el proceso- y que se apunta a entrar al mercado de generación de energía para el AMBA, la planta debe estar localizada entre los límites de la Capital Federal y del 3er cordón del AMBA⁵⁰.

Factores ambientales y sociales

Debido a la naturaleza de los inputs y outputs del proceso (residuos y gases que luego son tratados), la planta no puede estar ubicada próxima a poblaciones. A esto se suman los criterios de “*not in my backyard*”, es decir, que si bien la gente podría estar a favor de la aplicación de estas tecnologías, no está dispuesta a que la misma se aplique cerca de sus hogares. Dado lo anterior, la planta debería estar ubicada en zonas de baja densidad poblacional, es decir, *alejada* de grandes centros urbanos.

Disponibilidad y costo de personal calificado

Si bien la planta en sí debe estar ubicada en una zona de baja densidad poblacional, debe ubicarse relativamente cerca de zonas de mayor densidad poblacional

⁴⁹ La Ley de Basura Cero estipula en el artículo 7 la prohibición de todo tipo de combustión de residuos. Sin embargo el artículo 54 de la misma ley establece que se tendrán en cuenta tecnologías alternativas, inclusive la incineración de residuos –siempre que no perjudique a los ciudadanos ni al ambiente- en pos de alcanzar las metas de reducción de residuos enterrados.

⁵⁰ El tercer cordón del AMBA es que el queda limitado por Pilar/Escoibar por el norte, Marcos Paz en el oeste y Berazategui/Florencio Varela en el sur.

para poder tomar personal de ellas. El personal no necesita estar previamente capacitado en las tareas a llevar a cabo en la planta, por lo que es indistinta la fuente de la que se tomen empleados.

ESTUDIO DE MICRO-LOCALIZACIÓN

Como se explicó previamente, la cercanía a alguna planta de separación de residuos sólidos urbanos es crítica, dados los altos costos de transporte que implicaría transportar el gran tonelaje con el que se trabaja. La cercanía al "Reciparque" del Complejo Ambiental Norte III asegura el ingreso de la cantidad necesaria de RSUs ya separados a la planta de incineración, ya que el 80% de lo generado en el AMBA se dirige allí.

También se expresó como deseable la cercanía a fuentes abundantes de agua de refrigeración para el conjunto de procesos de generación de vapor, ya que, de otra manera, se debería agregar al proyecto la construcción y mantenimiento de torres de enfriamiento para trabajar con un circuito cerrado de refrigeración.

Por otro lado, se estimaron necesarias 2 hectáreas para poder distribuir la planta con el formato de lay-out diseñado.

Dadas estas consideraciones, se identificaron dos terrenos cercanos a la planta separadora mencionada previamente que, además, se encuentran muy cercanas al río de la Reconquista, cuyo caudal varía entre 70.000 y 1.700.000 metros cúbicos por día. Uno de estos terrenos está ubicado en Autopista Camino del Buen Ayre km 1,2 mientras que el otro está ubicado sobre la misma autopista pero sobre el km 4,5 y los llamaremos "Terreno A" y "Terreno B" respectivamente.

A continuación, se muestra tabulada información relevante para el proyecto para cada terreno a modo de comparación:

	Terreno A	Terreno B
Ubicación	Au. C. del Buen Ayre km 1,2	Au. C. del Buen Ayre km 4,5
Distancia a planta separadora (en km)	4,72	1,53
Distancia a fuente de agua (en km)	0,35	0,5
Costo del terreno (en USD)	10.200.000	3.300.000
Área (en hectáreas)	17	6,82
Aprobado para logística	Sí	Sí
Cercanía a accesos	Sí	Sí
Acceso a gas	Sí	Sí
Acceso a energía eléctrica	Sí	Sí

Tabla 9. Comparación entre dos posibles terrenos

Se puede observar que, si bien ambos cumplen los requisitos, el Terreno B resulta mucho más conveniente que el Terreno A en cuanto al costo del terreno y en cuanto a cercanía a la planta separadora. Si bien la inversión inicial en un sistema de refrigeración con agua proveniente del río de la Reconquista resulta mayor si se compra el Terreno B, la inversión total resulta menor dada la gran diferencia en el precio del terreno.

Estudio de factibilidad: generación de energía eléctrica a partir de la incineración controlada de RSU



Terreno A



Terreno B

Figura 34. Vista aérea de los alrededores del Complejo Ambiental Norte III y de los posibles terrenos a adquirir. Google Maps.

MARCO REGULATORIO

Para poder realizar un correcto análisis sobre la posible instalación de este tipo de tecnologías en la Argentina, más precisamente, en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires o en la Provincia de Buenos Aires, es necesario analizar cuál es el marco regulatorio – leyes, decretos, regulaciones provinciales y municipales, etc. – al cual estará sujeto el proyecto.

Dicho análisis abarcará dos espectros distintos, por un lado el marco regulatorio referido a la gestión de residuos -eso incluye generación, tratamiento, manejo, disposición final, etc.-, y por otro lo referido a las políticas y resoluciones respecto a tecnologías de incineración.

Es importante remarcar que dicho marco regulatorio no es un factor que afecte de manera negativa al proyecto, sino todo lo contrario. La sanción de leyes como “Basura Cero” para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, y la ley 13.592 de la Provincia de Buenos Aires apalancan de manera positiva.

Ley 1.854 de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Ley de Basura Cero

En Ciudad Autónoma de Buenos Aires, esta desde 2005 en vigencia la ley 1.854, también conocida como *Ley Basura Cero*. La Ley 1.854 de gestión integral de residuos sólidos urbanos define criterios de gestión de los residuos generados en la Ciudad de Buenos Aires y brinda las herramientas para generar la transformación que el actual sistema necesita con urgencia.

El plan propuesto por la Ley es la progresiva reducción de la cantidad de basura que se entierra mediante el crecimiento de las industrias asociadas al reciclado y recuperación de materiales y la reducción en la generación de residuos

Los objetivos principales que se están llevando a cabo son:

- Concientizar a los vecinos y a los grandes generadores acerca de la necesidad de la separación en origen de residuos, diferenciando entre reciclables y basura.
- Minimización de los residuos a enterrar mediante la consolidación de práctica de separación de materiales reciclables en origen.
- Formalización e integración de los Recuperadores Urbanos en el circuito del servicio público de recolección diferenciada.
- Garantizar los espacios necesarios para la disposición final, incorporando nuevas tecnologías.
- Proyectos ambientales que contemplan la puesta en marcha de sistemas de recuperación y reciclado de residuos sólidos urbanos.
- Aumento de los materiales que regresan como materia prima post consumo a la industria.
- Contribuir al ordenamiento de la cadena de valor del reciclado.

Metas de Reducción Progresiva

Tomando como línea base la cantidad de 1.497.656 toneladas de residuos enviados a relleno sanitario durante el año 2004, se establece el requerimiento de reducir en:

- 30% para el año 2010
- 50% para el año 2012
- 75% para el año 2017
- Se prohíbe la disposición final de materiales tanto reciclables como aprovechables para el año 2020

La cantidad de toneladas máximas a ser dispuestas en rellenos sanitarios, son las detalladas a continuación:

Reducción	BASE	-30%	-50%	-75%	-100%
Año	2004	2010	2012	2017	2020
Toneladas	1.497.656	1.048.359	748.828	374.414	-

Tabla 10. Cantidad máxima de RSU a ser dispuestas año a año

Incumplimiento

Actualmente, las cifras de generación de basura, y las derivadas a relleno sanitario, distan considerablemente de las postuladas en la Ley 1.854 “Basura Cero”. Las cantidades enviadas efectivamente a los rellenos muestran una realidad completamente divorciada de los postulados y el espíritu de la ley 1854.

La cantidad de toneladas que efectivamente fue dispuesta en rellenos sanitarios fue la siguiente:

Año	2010	2012	2017 ⁵¹
Toneladas	2.110.122	2.010.000	2.790.000

Tabla 11. Cantidad de RSU efectivamente dispuestos a relleno sanitario

Resulta claro que la brecha entre las metas dispuestas por la ley y lo cumplido por el GCBA se ha agrandado considerablemente para 2012 respecto a 2010, por lo que de no mediar un cambio sustancial en las modalidades de gestión arribaremos a 2017 en una situación crítica.

⁵¹ La cantidad de residuos enviados a rellenos sanitarios para 2017 resulta de la proyección en función del crecimiento poblacional, así como también de la evolución del índice de kg de residuos generados por habitante.

El siguiente gráfico muestra la clara divergencia entre los valores metas y los valores reales

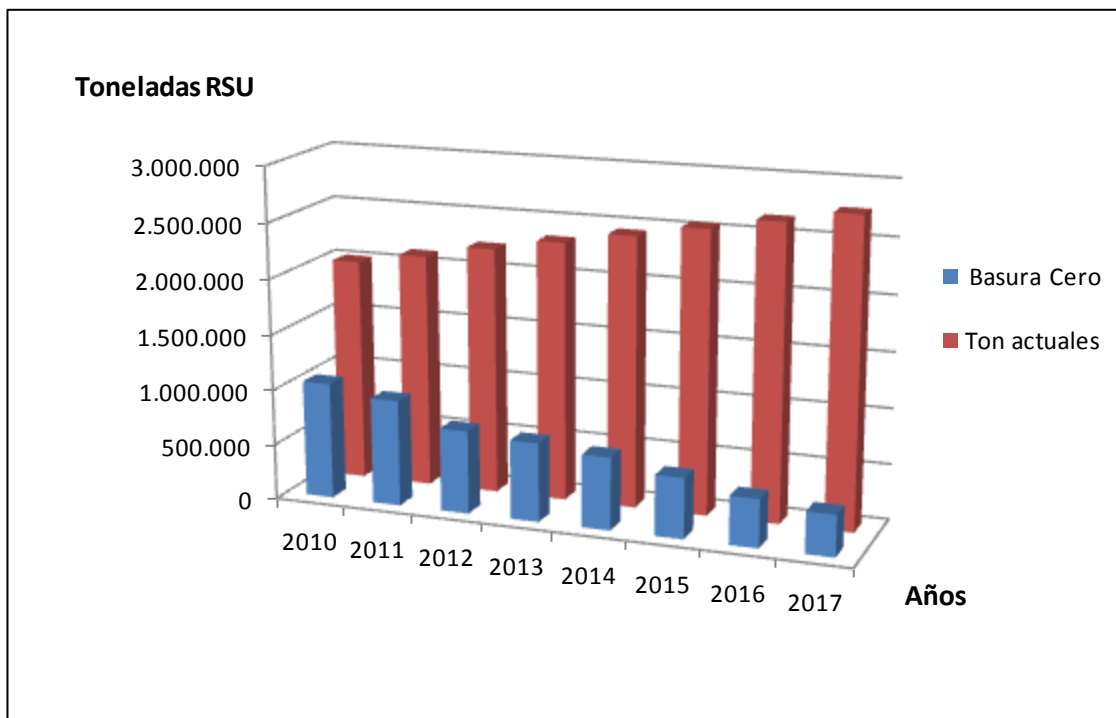


Figura 35. Toneladas de RSU a ser dispuestas proyectadas vs propuestas por la ley Basura Cero. Datos aportados por el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires.

Por último la Ley de Basura Cero, presenta dos artículos de clave importancia para el proyecto:

- Artículo 7: Prohíbe la combustión de residuos en cualquiera de sus formas, con o sin recupero de energía, en consonancia con lo establecido por el Artículo 54.
- Artículo 54: Para alcanzar las metas propuestas se evaluará la incorporación de otros métodos y tecnologías, como la incineración, siempre y cuando se garantice la protección de la salud de las personas y el ambiente.

De esta manera, un proyecto como el propuesto en este trabajo sí sería factible de llevarse a cabo en el ámbito de la ciudad de Buenos Aires. De todas formas, de realizar el proyecto fuera de la CABA, y de resultar exitoso, podría sentar un precedente para una futura aplicación dentro de la ciudad.

Ley 13.592 de la Provincia de Buenos Aires - Ley de Gestión Integral de RSU

De la misma forma que la CABA, la Provincia de Buenos Aires sancionó una ley equivalente para la gestión de RSU.

Los objetivos que se presentan en dicha ley son los siguientes:

- Incorporar paulatinamente en la disposición inicial la separación en origen, la valorización, la reutilización y el reciclaje en la gestión integral por parte de todos los Municipios de la Provincia de Buenos Aires.
- Minimizar la generación de residuos, de acuerdo con las metas que se establezcan en la presente Ley y en su reglamentación.
- Diseñar e instrumentar campañas de educación ambiental y divulgación a fin de sensibilizar a la población respecto de las conductas positivas para el ambiente y las posibles soluciones para los residuos sólidos urbanos, garantizando una amplia y efectiva participación social que finalmente será obligatoria.
- Incorporar tecnologías y procesos ambientalmente aptos y adecuados a la realidad local y regional.

Además, en el Artículo 15 de la ley se establece la creación del Registro de Tecnologías, para la inscripción de proyectos aplicados al tratamiento y/o disposición final de los residuos que no comprometan la salud de la población, trabajadores y el ambiente. De esta forma, se abre formalmente la puerta para un proyecto de estas características.

Ley Nacional 26.190 – Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica

Esta ley establece en su Artículo 2 que antes de fines del año 2016, el 8% de la energía consumida a nivel nacional, debe provenir de fuentes renovables de energía.

Si bien el Artículo 4 de esta ley, en donde se definen cuáles son las energías renovables⁵², no se menciona a la combustión controlada de RSU, define que para ser renovable, su origen no debe ser fósil. De esta forma, la composición de los RSU juega un papel importante. Sin embargo, se puede estimar que este tipo de proyecto es factible de recibir los beneficios de esta ley.

La ley establece, en su Artículo 14⁵³, que el Fondo Fiduciario de Energías Renovables, remunerará al beneficiario con sumas de dinero en función de distintos criterios, por cada kWh que éste genere. Además, en el Artículo 9, se establecen beneficios tributarios⁵⁴ desde la aprobación del proyecto y durante 10 años.

⁵² Fuentes de Energía Renovables: son las fuentes de energía renovables no fósiles: energía eólica, solar, geotérmica, mareomotriz, hidráulica, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás, con excepción de los usos previstos en la Ley 26.093.

⁵³ Los valores presentes en dicho artículo han sido actualizados en leyes posteriores.

⁵⁴ Los beneficios que se establecen son respecto al Impuesto al Valor Agregado, al Impuesto a las Ganancias, y al Impuesto a la Ganancia Mínima Presunta.

Programa “GENREN” ENARSA – *Licitación de generación eléctrica a partir de fuentes renovables*

El programa “GENREN” fue lanzado en conjunto entre Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, la sociedad del estado Energía Argentina S.A. y CAMMESA. Representa un medio para cumplir con la ley 26.190 y alcanzar el 8% del consumo eléctrico del país abastecido por fuentes de energías renovables, en un plazo de 10 años (2017). Se pretende la diversificación de la matriz de energía argentina.

El Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios (MinPlan), instruyó a ENARSA para que suscriba contratos de abastecimiento para el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM). De esta forma, se compromete a comprar y entregar a CAMMESA toda la energía que se genere a partir de las fuentes incorporadas a través de esta iniciativa. El Estado se comprometió a garantizar las operaciones entre los generadores y el MEM a un precio constante en dólares por un lapso de quince años.

El programa establece que las tarifas que se le reconocen a los generadores son fijas y en dólares. Sólo se pueden alterar frente a variaciones de PPAs (Power Purchase Agreements) entre CAMMESA y ENARSA. En promedio, se retribuirá a los oferentes con un costo de 127 U\$S/MWh (garantizado durante quince años). Además el programa establece que los módulos ofertados debían estar comprendidos entre 1 MW y 50 MW⁵⁵.

Otras legislaciones aplicables

1. Ley 15.636/60. Ley federal de energía eléctrica. Régimen de energía eléctrica. Modificada por Ley 24.065/91.
2. Ley 17.711. Modifica el artículo 2618 del Código Civil. Dispone que las molestias que ocasionen el humo, calor, olores, luminosidad, ruido, vibraciones y daños similares por ejercicio de actividades en inmuebles vecinos no deben exceder la normal tolerancia teniendo en cuenta las condiciones del lugar y aunque medien autorizaciones para aquellas.
3. Ley 20.026. Establece los parámetros en la determinación de residuos en productos de origen animal, en elementos a usarse en fábricas, etc.
4. Ley 22.284/73. Ley de preservación de los recursos del aire.
5. Ley 23.614/88. Ley de Promoción Industrial.
6. Ley 23.724/89. Ratifica el Convenio de Viena del 22/03/85 para la protección de la capa de ozono.
7. Ley 24.065. Marco regulatorio de la Energía eléctrica.
8. Ley 24.105/91. Aprueba el tratado sobre protección, preservación, conservación y saneamiento del ambiente y de utilización racional y equilibrada de los recursos naturales entre Argentina y Chile. Decreto Reglamentario 1317.

⁵⁵ Esto resultará en un factor de suma criticidad para la determinación de las características técnicas del proyecto.

9. Ley 24.197/93. Protección del ambiente humano y de los recursos naturales. Estudio de factibilidad ambiental de proyectos de ingeniería y obras públicas. Vetada en su totalidad por el Decreto 1096/93.
10. Ley 25.438/01. Aprueba del Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
11. Ley 25.675/02. Ley General del Ambiente. Establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable. La política ambiental estará sujeta al cumplimiento de los siguientes principios: de congruencia, de prevención. Precautorio, de equidad intergeneracional, de progresividad, de responsabilidad, de subsidiariedad, de sustentabilidad, de solidaridad y de cooperación. Reglamentada por el Decreto 2.413/02.
12. Ley 19.587/72. Decreto Reglamentario 351/79. Ley de Higiene y seguridad en el trabajo. Contiene un capítulo titulado “Contaminación ambiental”.
13. Ley 21.353/76. Ratifica el Convenio Internacional de Prevención de la Contaminación de Aguas del mar por Hidrocarburos, abierto a la firma en Londres el 12/05/54 con las enmiendas adoptadas por la Conferencia Internacional de Londres (1962) y las adoptadas por Resolución A/175 (1969) de la Asamblea de la Organización Consultiva Marítima Intergubernamental.
14. Resolución 233/86. Aprueba reglamento general para el transporte de material peligroso por carretera. Secretaría de Transporte de la Nación. Resolución 720/87. Listado de materiales peligrosos. Tabla de incompatibilidades de materiales peligrosos. Guías de emergencia. Elementos identificatorios, vehículos y embalajes. Subsecretaría de transporte de la Nación.

CAPÍTULO 6: ESTUDIO DE INGENIERÍA

INTRODUCCIÓN

Para determinar los aspectos técnicos e ingenieriles de una posible planta en la región del AMBA se tienen en cuenta no solo factores técnicos puros –ej. Cantidad de residuos disponibles, volumen de agua disponible, capacidad de generación de vapor, etc.-, sino también factores económicos, financieros, sociales y ambientales.

Se realizó un análisis en donde se compararon las características técnicas de diversas plantas WTE del mundo – cantidad de RSU procesados y capacidad de generación eléctrica-. A partir de esto se trató de determinar cuál es la proporción ideal entre ambos y cuáles son los rendimientos esperados de una planta promedio. Dicho análisis sirvió también, para evaluar cuáles fueron los costos incurridos en la construcción de las distintas plantas, así también como cuánto se demoró en la construcción y puesta en marcha.

Por otro lado, se analizaron distintos *papers*, estudios y publicaciones sobre proyectos similares, tanto porque proponen soluciones similares, o porque el lugar de aplicación es el AMBA.

Es importante mencionar que para la construcción de este tipo de plantas, en rasgos generales, se trabaja con distintas compañías en simultáneo, formando un “*joint-venture*” o *unión transitoria de empresas “UTE”*. Por un lado se busca una empresa constructora para la parte referida a la ingeniería civil, y por otro, se busca una empresa especialista en plantas WTE para la instalación e ingeniería de detalle de los equipos. Si bien no se encontró que existe una modalidad de contrato preferida para la parte civil, con las empresas especializadas generalmente se hacen acuerdos “*llave en mano*”. Es decir, se negocia previo al inicio de las obras cuál será el monto final de toda la instalación.

Luego de analizar los puntos mencionados previamente es que se llega a la determinación de las características técnicas para una posible planta en la región del AMBA, así también a una posible estimación de los costos y tiempos de construcción.

Análisis de diferentes plantas WTE en el mundo

Como se mencionó previamente, se realizó un relevamiento de la potencia generada y la cantidad de residuos diarios tratados de distintas plantas incineradoras de RSU a nivel mundial.

El objetivo de esto fue determinar una posible relación entre cantidad de RSU procesados y potencia entregada.

A continuación se muestra una tabla que compara, para distintas plantas en el mundo, las toneladas anuales a incinerar y la potencia generada.

PLANTAS WTE	RSU (TON/día)	POTENCIA (MW)	COSTO (M\$)
Spokane, EEUU	720	16	80
Keppel Seghers, Singapur	800	22	90
Maishima, Japon	900	32	100
Chuo, Japon	600	15	80
Essex, EEUU	2800	65	185
Teeside, UK	1100	30	125
Maryland, EEUU	2250	56	155
Koivulahti, Finland	2050	45	165
Spittelau, Austria	2500	62	170
Hongmiaoling, China	2950	68	185
Dava, Sweden	1800	45	130
Filbornaverket, Sweden	1200	28	100
Nya Garstad, Sweden	900	14	75
Skovde, Sweden	1700	35	95
Korkeakoski, Finland	1400	47	110
Langmosseber, Finland	1300	38	115
Mustasaari, Finland	2000	50	150
Doucy les Mines, France	1600	40	140
Pontex les Forges, France	1400	45	145
Noidan le Ferroux, France	1700	55	155
St Ouen, France	1200	45	150
Promedio	1565,24	40,62	128,57

Tabla 12. Capacidad, potencia y costo de plantas WTE alrededor del mundo

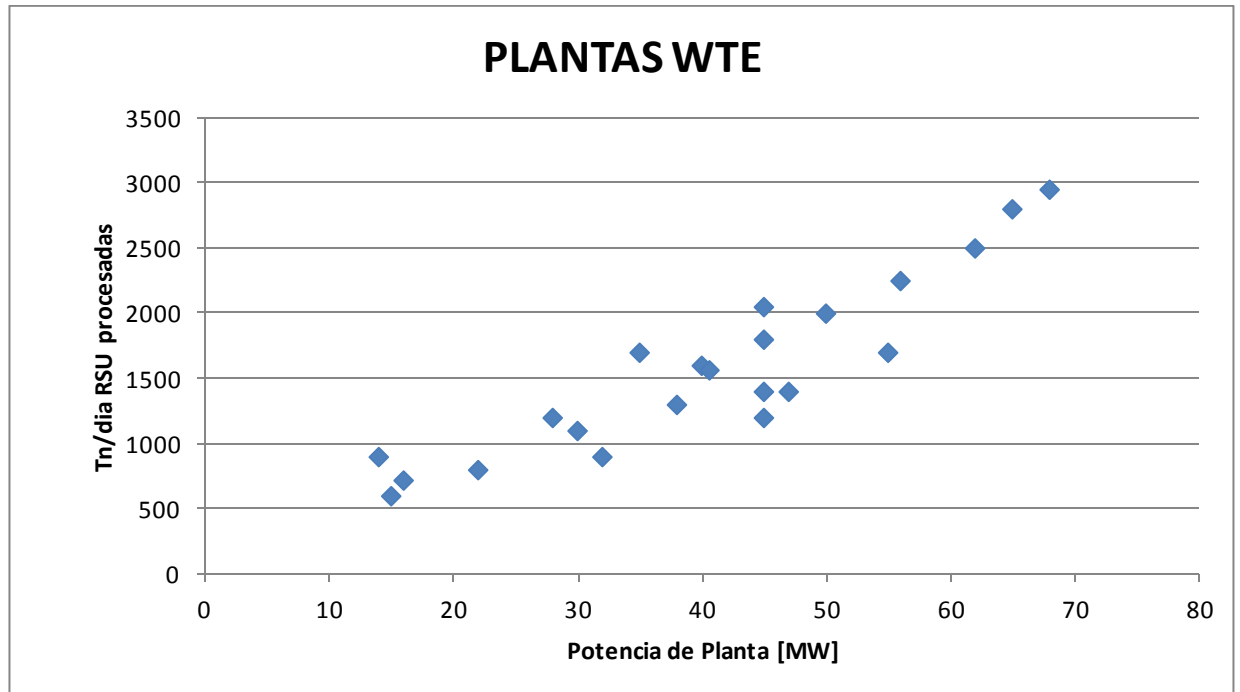


Figura 36. Capacidad de procesamiento de RSU vs Potencia de planta

Es posible observar en el gráfico anterior una relación casi lineal entre las toneladas de RSU procesadas y la potencia entregada. Esto significa que los valores de rendimientos esperados para este tipo de plantas son casi constantes, inclusive entre plantas de diferentes continentes.

Otros casos de estudio

Además se analizaron distintos proyectos relevantes y sus características técnicas, para evaluar distintos diseños, sus ventajas y desventajas.

Un primer ejemplo, es el proyecto presentado en el programa “GENREN” de una planta de combustión de RSU provenientes de la Cuenca Matanza-Riachuelo⁵⁶. Dicho proyecto también busca emplazarse cercano al Complejo Ambiental Norte III, en el Partido General San Martín, Provincia de Buenos Aires. Busca aprovechar sinergias con el CEAMSE. Las características técnicas de esta propuesta son de una planta con una capacidad de 50MW, y procesando entre 2400 y 3600 toneladas de RSU por día.

Otro ejemplo analizado, es el caso de estudio⁵⁷ propuesto por el Banco Interamericano de Desarrollo, en conjunto con el *Earth Engineering Center* de la Universidad de Columbia, EEUU. Aquí la solución propuesta consiste en una planta de procesamiento de 3000 toneladas de RSU por día, y una capacidad eléctrica de 75MW.

⁵⁶ Desargado de la página web de ENARSA al 12/12/14. <http://www.enarsa.com.ar/index.php/es/areas-de-negocios/92-energiasrenovables/397-genren?showall=1&limitstart=>.

⁵⁷ N. Themelis, M.E. Díaz Barriaga, P. Estevez, et al., “Guidebook for the application of waste to energy technologies in Latin America and the Caribbean”, WTE Guidebook, EEC/IDB, Julio 2013.

Al igual que otros estudios, se plantea localizar la planta en el Complejo Ambiental Norte III, en un terreno de 11,5 hectáreas.

Primeras definiciones técnicas

Luego de analizado todo lo previamente expuesto es que se llegan a las primeras definiciones técnicas para este proyecto.

Como se analizó en el estudio de macro y de micro-localización, y también como se propone en los casos de estudio mencionados previamente, el lugar elegido para este proyecto es un terreno aledaño al Complejo Ambiental Norte III en el Partido de San Martín, Provincia de Buenos Aires.

En cuanto a la potencia entregada, se define que lo ideal para esta planta es de 50MW. A pesar de que técnicamente es viable que la planta WTE tenga una potencia mayor, tal como lo propone el *paper* del Banco Interamericano de Desarrollo, ofertas de potencia mayores a 50MW no podrían aplicar a los beneficios del programa “GENREN”⁵⁸.

Por otro lado, se consideró que la capacidad de tratamiento de residuos de la planta debería ser de aproximadamente 2000 toneladas diarias. Si bien en el mundo existen plantas con capacidades mayores, e incluso los proyectos presentados para la región metropolitana de Buenos Aires proponen plantas con capacidades de hasta 3600 toneladas diarias⁵⁹, se tuvieron en consideración factores sociales y ambientales importantes. Por un lado, resulta indispensable para el éxito de un proyecto de estas características, la continua disponibilidad de los RSU y en las cantidades justas, según las condiciones de diseño. Si bien la cantidad de residuos que se entierran en rellenos sanitarios por día, solamente provenientes de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires superan las 4500 toneladas, desde el año 2013 esa cantidad se redujo en 1720 toneladas por día⁶⁰. Además, se considera que si se procesase toda la basura que se manda a enterrar, se estaría desalentando el reciclaje, y tal como se mencionó en el capítulo inicial, el reciclaje y la reutilización son las soluciones más eficientes en la gestión de los RSU.

Además, una planta con capacidad de procesamiento de 2000 toneladas diarias de residuos y una potencia de 50MW se encuentra dentro de la recta de regresión calculada para las distintas plantas del mundo. Esto pareciera mostrar que se trata de una solución robusta, y con rendimientos totalmente alcanzables y probados.

⁵⁸ Las licitaciones abiertas en la actualidad son para el programa “GENREN II”, de características similares al primer programa lanzado en 2009.

⁵⁹ Proyecto presentado para licitación en el programa GENREN I.

⁶⁰ Ver noticia: “En tres meses se dejaron de enterrar 1720T de basura”, Diario La Nación, 10 de Marzo 2013. <http://www.lanacion.com.ar/1561765-en-tres-meses-se-dejaron-de-enterrar-1720-t-de-basura>.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

En el diagrama siguiente se puede observar el proceso. Dicho proceso está subdividido en estaciones, las cuales representan las transformaciones más importantes.

La materia prima ingresa, se recibe en la fosa de alimentación, para luego pasar a la cámara de combustión. Luego de la incineración completa de los residuos, los gases se dirigen a la caldera, donde se realiza la transferencia de calor.

Allí, el flujo se divide en 2:

- El flujo de los gases de combustión (en rojo) atraviesan la estación de limpieza de gases para finalizar expulsados por la chimenea.
- El flujo del vapor de agua (en verde) que se dirige hacia la turbina, para luego generar la energía eléctrica que se distribuirá en la red

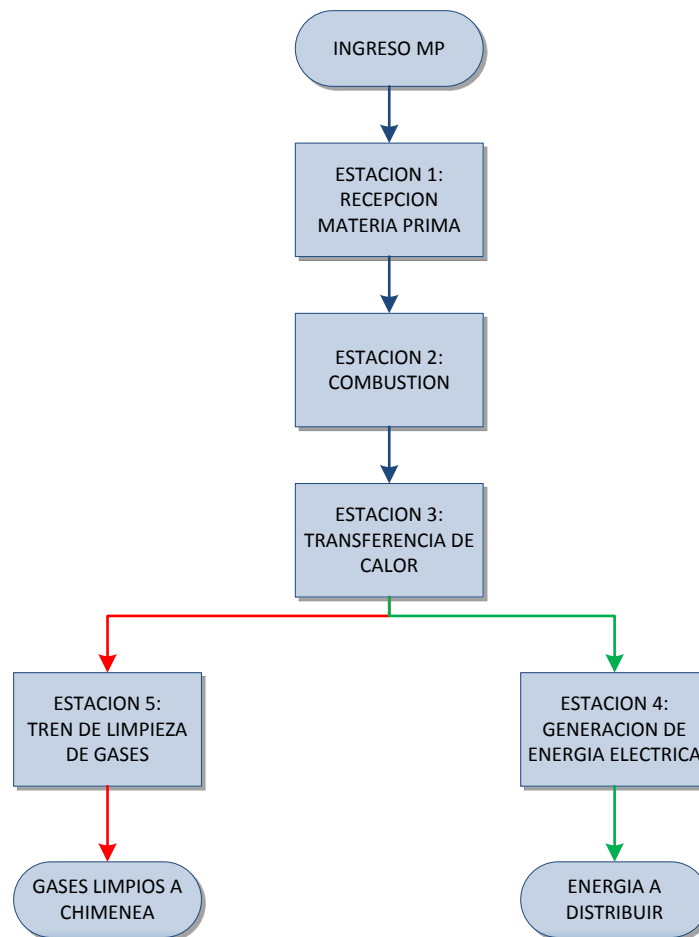


Figura 37. Diagrama de bloques del proceso

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA PLANTA

Para organizar la construcción de la planta, se procedió a dividir en estaciones que reflejen las principales transformaciones del proceso. Se consideran a la recepción de materia prima, combustión, transferencia de calor, generación eléctrica y limpieza de gases como las principales estaciones que definen el seguimiento del proceso. A continuación se puede observar un esquema que refleja lo mencionado.

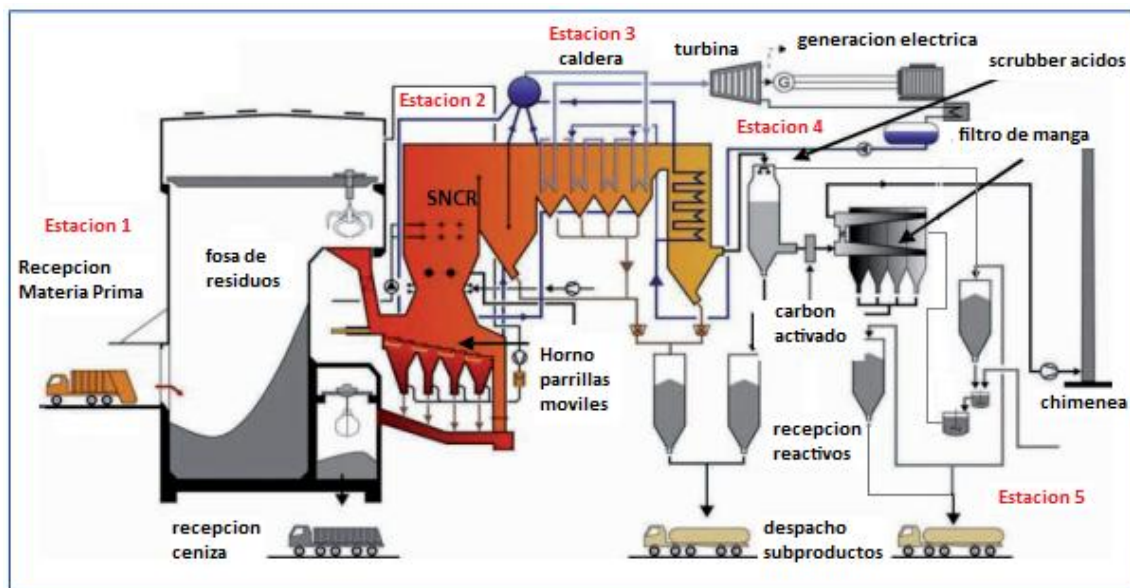


Figura 38. Esquema de la planta propuesta ⁶¹

Estación 1: Recepción de MP

Este es el comienzo del proceso de transformación de los residuos sólidos urbanos en energía en la planta de Waste to Energy. Aquí, los RSU ingresan a la planta, se reciben y luego se disponen en la fosa de almacenamiento para luego dirigirse a la estación de combustión.

Los RSU ingresan por medio de camiones. Dichos camiones son recibidos en una sala de control, donde se los hace pasar por una báscula y se los pesa, para luego documentar y registrar la cantidad de materia prima que ingresó. Luego del control, los camiones se aproximan hacia la fosa de alimentación, donde depositan los residuos recolectados ⁶².

⁶¹ IEA Bioenergy, 2014. "Summary and conclusions from the IEA Bioenergy ExCo71 Workshop". <http://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2014/03/ExCo71-Waste-to-Energy-Summary-and-Conclusions-28.03.14.pdf>. Página vigente al 31/5/2015.

⁶² Onondaga County resource recovery agency. *Waste to energy process and benefits* <https://ocrra.org/resource-pages/resource-page-category/waste-to-energy-process-and-benefits> Página vigente al 23/02/15

Fosa de alimentación

Dicha fosa de alimentación recibe los RSU que luego pasan a la estación de combustión. Con una capacidad de stock de 15 días de almacenamiento, está equipada con un puente grúa y una tolva de alimentación. El puente grúa, manejado por un operador, volcara los RSU en la tolva, dirigiéndolos hacia la cámara de combustión.

Sistema de alimentación de residuos

El sistema de alimentación de residuos al incinerador consta de las siguientes partes:

- Tolva de carga: Construida con chapas de acero de 6 mm de espesor con refuerzos y apoyos en perfiles de acero. La zona de carga contará con un recubrimiento de placas de desgaste.
- Conducto de carga: Comunica la tolva de carga con el alimentador del horno, y a través del mismo descenderán los residuos, impidiendo la entrada de aire falso al horno.

Además, el sistema de alimentación constará de una estación hidráulica situada en las proximidades preparada para la realización de las siguientes funciones:

- Accionamiento de la trampa de bloqueo para el conducto de carga de residuos
- Activación del empujador de alimentación de residuos

A continuación se presentan las características técnicas del área de recepción de MP

CARACTERISTICAS FOSA ALIMENTACION	
Densidad promedio RSU (Ton/m3)	0,15
Capacidad (días)	15
Capacidad (Ton)	33000
Capacidad (m3)	220000

Tabla 13. Datos técnicos de la fosa de alimentación

A continuación se muestra el diagrama del proceso en Estación 1

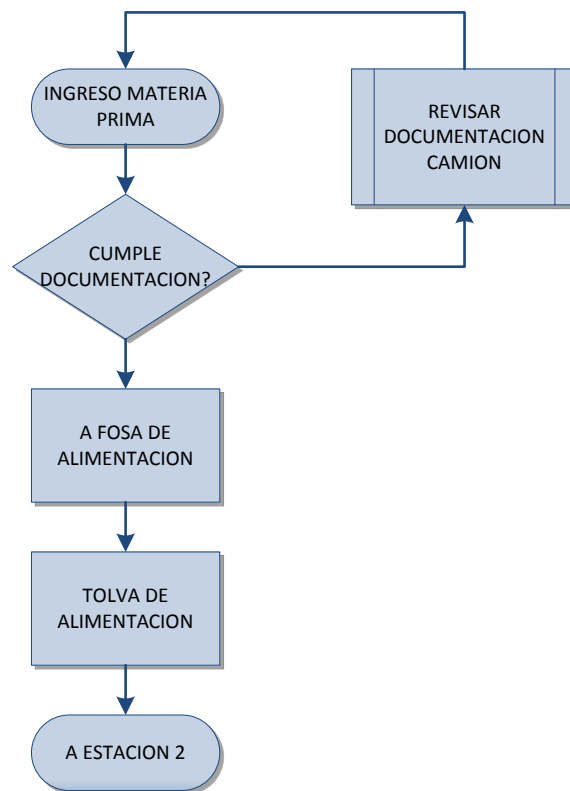


Figura 39. Diagrama de operaciones de la Estación 1

Estación 2: Incineración y combustión

Luego de la recepción de RSU, por medio de la tolva de alimentación, dichos residuos ingresan al horno de incineración, donde se lograra la combustión completa de estos, con la transformación de la materia prima sólida en gases de combustión y cenizas residuales.

Luego de la combustión completa, por diferencia de densidad y peso, los gases se dirigirán hacia arriba donde por medio de un conducto ingresaran a la estación de transferencia de calor, y las cenizas precipitaran hacia abajo, donde serán volcadas en una tolva y se dirigirán hacia el sistema de extracción de cenizas, donde se acondicionaran y luego se derivaran a disposición final

Parámetros de control

Para conseguir una incineración correcta de los residuos y una minimización de los gases contaminantes, se deben controlar, además del tipo de residuos, los siguientes parámetros:

- El tiempo de residencia de los residuos en contacto con el oxígeno dentro de la cámara de incineración (tiempo de retención). Para lograr una combustión completa, los tiempos de residencia dentro de la cámara de combustión no deben ser menores a 2 segundos. Con estos tiempos de residencia se evita la formación de dioxinas y furanos

- La relación entre las cantidades de oxígeno y de residuos que se mezclan. Para una combustión completa se debe lograr exceso de aire, por lo que se colocan sistemas de inyección de aire en la cámara
- La temperatura. Para una correcta y completa combustión, y así evitar la formación de compuestos cancerígenos como lo son las dioxinas y furanos, las temperaturas deben estar dentro de intervalos de 1000° a 1300° C.

El control de estos tres parámetros es imprescindible para una correcta incineración, y además están relacionados, de modo que si variamos uno, tendremos que variar los otros en su justa medida para no perder la efectividad en la combustión.

Horno

Será del tipo de parrillas móviles. Dichas parrillas se dispondrán una al lado de la otra en sentido decreciente. Esto permitirá el avance de los residuos a incinerar. Luego de la completa combustión de los residuos, por medio de un sistema de extracción se colectarán las cenizas, para su posterior tratado.

Dicho horno también dispondrá de 3 quemadores, de baja, media y alta potencia, dependiendo de los requerimientos de la caldera. Dispondrá además de sistemas de inyección de aire primario y secundario

A continuación se muestra un esquema del horno de tipo parrillas móviles, con los sistemas de inyección de aire primario y secundario; y el sistema de extracción de escorias

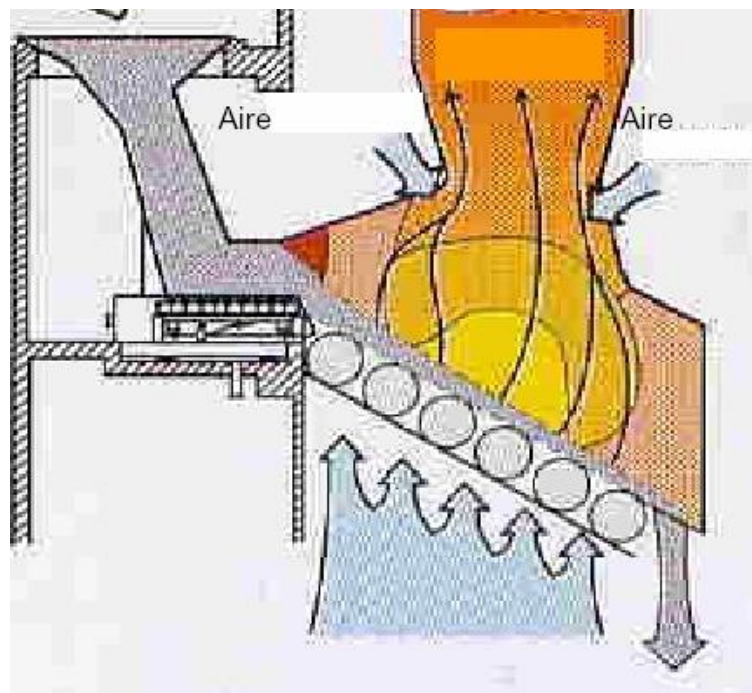


Figura 40. Horno de parrillas móviles. Se indican la incidencia del aire primario y secundario en el proceso

Control de combustión

Para lograr una combustión completa, se deben controlar los parámetros mencionados anteriormente. Las maneras de lograr una completa combustión, y así evitar la formación de dioxinas y furanos, y minimizar la cantidad de gases ácidos es:

- Inyección de Amoníaco en la cámara de combustión: este proceso es conocido como Reducción Catalítica No Selectiva (NSRC) y consiste en inyectar amoníaco a temperatura de 950⁰ para lograr reducir los gases NOx, generando gas N2.
- Recirculación de gases de combustión: por medio de la recirculación de gases, se logra minimizar la cantidad de elementos nocivos y gases ácidos que se generan. Además, se logra aumentar la eficiencia de la caldera por medio de sobrecalentadores y recalentadores

Sistema de extracción de cenizas

Dicho sistema consiste en una serie de tolvas dispuestas debajo de las parrillas (entre parrilla y parrilla) con el objetivo de recolectar la ceniza remanente del proceso de combustión. Las cenizas caen en las tolvas de extracción, y por medio de cintas se dirigen hacia un depósito de recepción. Una vez dispuestas en el depósito de recepción, se extraen los metales que no han sido quemados por medio de un electroimán.

Una vez extraídos los metales, se los acondiciona para una posterior venta. Se estima que un 3% del total de las cenizas se puede extraer como metal (1% ferroso + 2% no ferroso)

Sistemas de inyección de aire

Sistema de aire primario: El aire primario suministra la alimentación de oxígeno necesario para el proceso de combustión, así mismo constituye una fuente de refrigeración para las piezas que componen la parrilla.

El aire primario se succiona del foso de residuos con el fin de mantener éste en estado de depresión reduciendo de esta forma la posibilidad de emisiones de olores o partículas a la atmósfera. Posteriormente es inyectado en el horno desde la parte inferior de los rodillos de la parrilla, circulando a través de éstos y del lecho de residuos. Este proceso permite refrigerar las barras de la parrilla y aportar el oxígeno necesario al lecho y al hogar.

Sistema de aire secundario: Parte de los gases de combustión una vez han pasado a través del separador ciclónico para el filtrado de partículas, son recirculados e inyectados en diferentes puntos del hogar como aire secundario, para asegurar una turbulencia óptima en la zona de combustión.

A continuación se muestra un resumen de las características técnicas de la estación de combustión:

CARACTERISTICAS HORNO COMBUSTION	
Tipo	parrillas móviles
Cantidad Parrillas	6
Capacidad térmica (MW)	60
Capacidad mecánica (Ton/h)	100
Poder Calorífico (MJ/kg)	9
Tolvas extracción cenizas	6
Sist extracción de aire	primario y secundario

Figura 41. Datos técnicos del horno de combustión

A continuación se muestra el diagrama del proceso en Estación 2

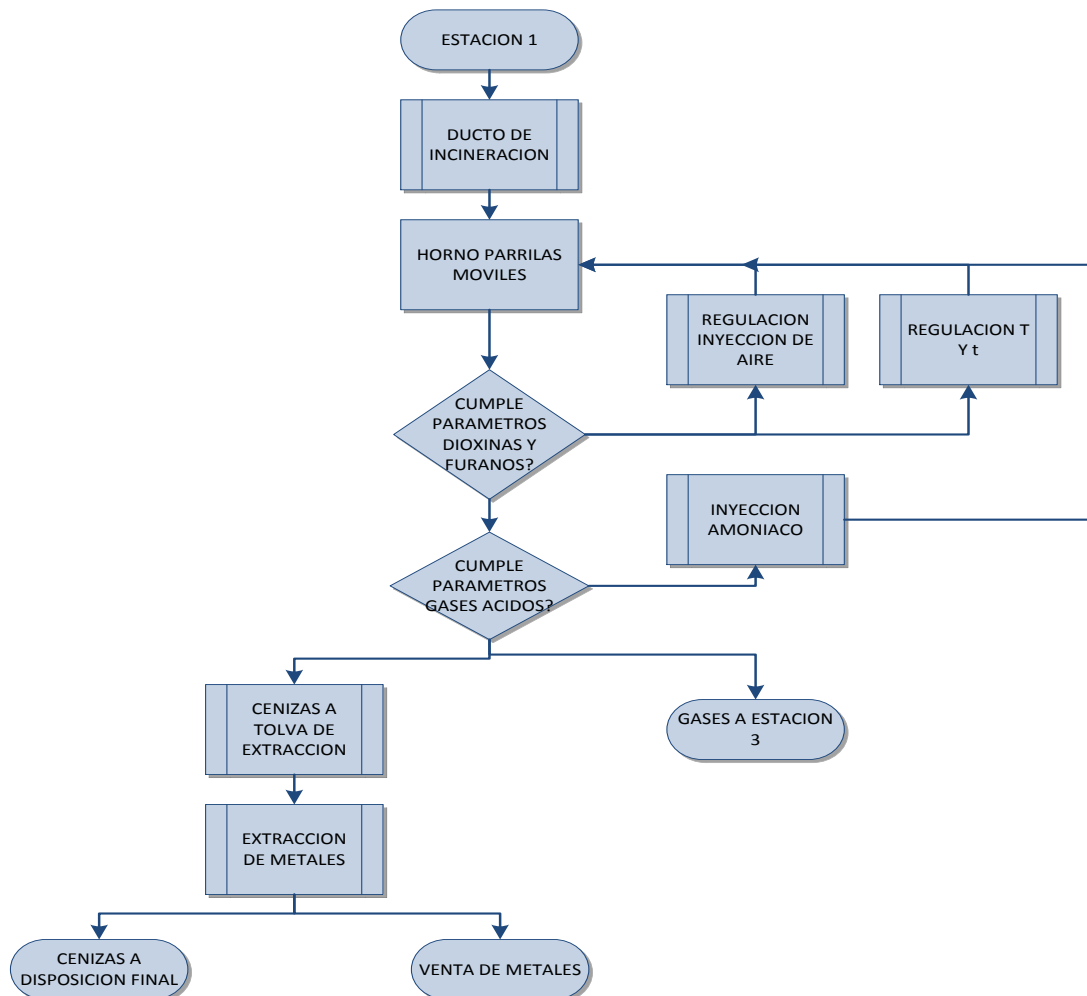


Figura 42. Diagrama de procesos en Estación 2

Estación 3: transferencia de calor

En esta estación los gases de combustión provenientes de la combustión interactúan con los haces radiantes y convectivos, y se realiza la transferencia de calor, provocando que se genere vapor de agua, el cual luego se dirigirá hacia la turbina para generar la energía eléctrica.

Caldera

La caldera elegida, integrada con el horno parrilla, es de circulación natural, con una primera parte radiante de tiro vertical y una segunda parte convectiva de tiro horizontal.

El hogar está configurado de manera que los gases de combustión se mantengan a más de 850°C durante al menos dos segundos, lo cual favorece una combustión completa para evitar la formación de CO, dioxinas y furanos. La temperatura de los gases a la salida oscilará entre los 200-240°C, dándose la última temperatura tras unas 6.000 horas de servicio sin limpieza manual.

Para que se dé un ciclo Rankine con sobrecalentamiento, se deberá contar con un sobrecalentadores primarios, secundarios y terciarios, economizadores y precalentadores de aire. Dada esta configuración, las condiciones nominales de recuperación de calor en forma de vapor sobrecalentado son de 420°C y 40 bar, que se dan a la salida del sobrecalentador terciario.

En cuanto a detalles constructivos, la caldera está hecha de acero y puede dilatarse en todas las direcciones a partir de un punto fijo. Dispone de plataformas y escaleras para facilitar el acceso a puntos de mando y control, como las cámaras y las miras.

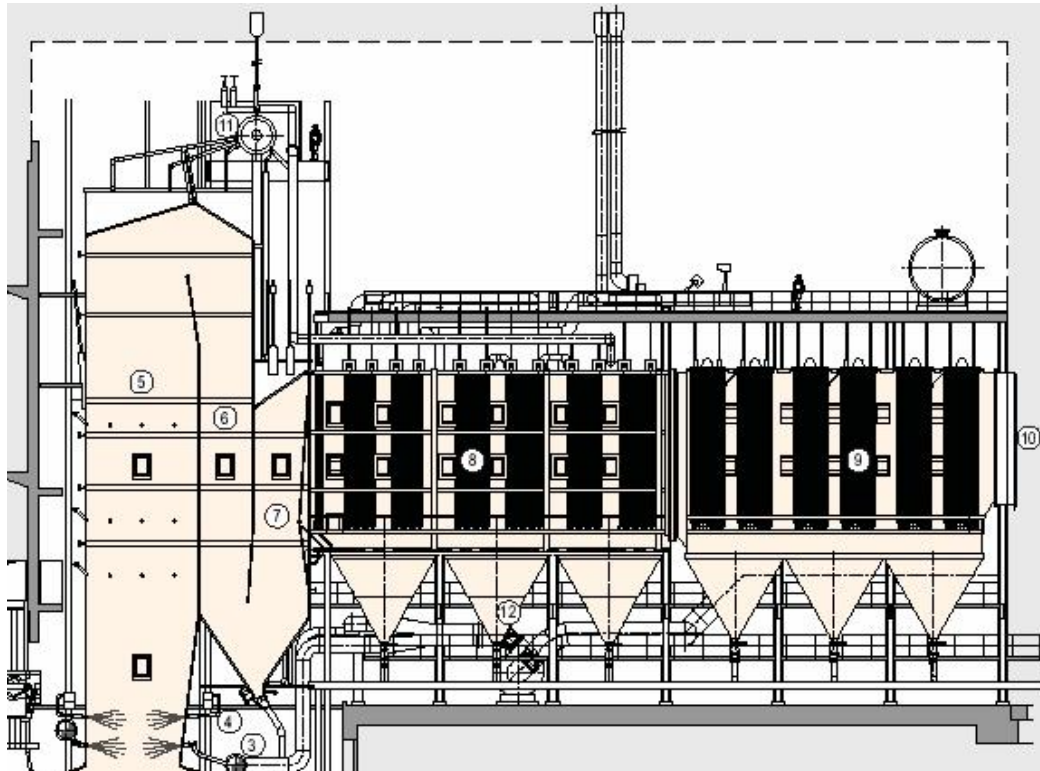


Figura 43. Caldera de tiro horizontal

CARACTERÍSTICAS CALDERA	
Tipo	Circulación natural
Presión de vapor de trabajo (bar)	40
Temperatura de vapor de trabajo (°C)	420
Temperatura en el hogar (°C)	950
Temperatura de agua de alimentación (°C)	130
Temperatura de salida de gases (°C)	200-240
Accesorios	Sobrecalentador (I, II, III) Economizador Precalentador de aire

Tabla 14. Datos técnicos de la caldera

A continuación se muestra el diagrama del proceso en estación 3:

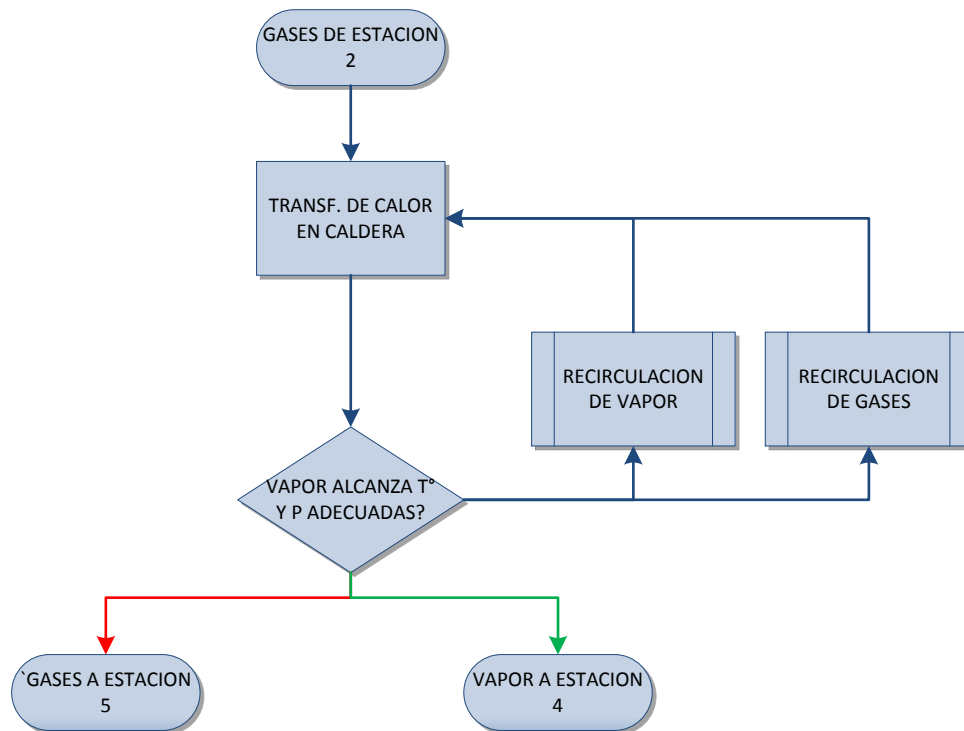


Figura 44. Diagrama de procesos de la Estación 3

Estación 4: generación de energía eléctrica

Turbinas

La planta contará con dos turbinas para la generación de energía, del tipo multietapa de condensación y contarán con dos extracciones para servicios de desgasificación y precalentamiento, mejorando así el rendimiento global de la instalación.

En pos de buscar una solución robusta, se buscará trabajar con dos turbinas de 30 MW de capacidad máxima en paralelo. Uno de los motivos que avala esta decisión es el hecho de obtener mayor flexibilidad a la hora de reaccionar ante inconvenientes técnicos en cualquiera de las líneas.

Ambas turbinas estarán dimensionadas de manera que sean capaces de admitir la totalidad del vapor generado en ambas líneas de producción de vapor. En estas condiciones, el caudal de vapor admitido será de 90 t/h a unos 38 bar y 415°C.

CARACTERÍSTICAS TURBINAS	
Unidades	2
Tipo	Condensación multi-etapa
Presión de vapor de admisión (bar)	38
Temperatura de vapor de admisión (°C)	415
Presión de vapor de descarga (bar)	0,2
Número de extracciones de turbina	2
Potencia de cada turbina (MW)	30

Tabla 15. Datos técnicos de las turbinas

Alternadores

La planta contará con un generador de energía eléctrica que consistirá en un alternador trifásico, de dos pares de polos

CARACTERÍSTICAS ALTERNADOR	
Potencia nominal (KVA)	50.000
Tensión nominal (KV)	10
Factor de potencia	0,8
Intensidad nominal (A)	1625
Frecuencia (Hz)	50
Pares de polos	2
Velocidad (rpm)	1500

Tabla 16. Datos técnicos del alternador

A continuación se muestra el esquema del proceso tipo Rankine con sobrecalentamiento y recalentamiento de la planta en cuestión

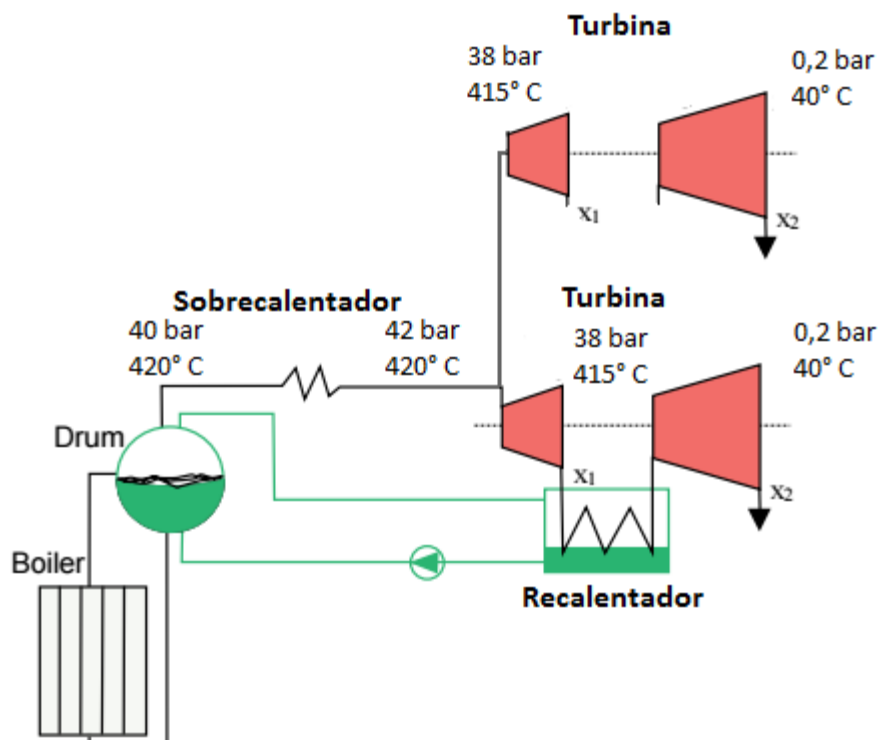


Figura 45. Esquema del proceso tipo Rankine con sobrecalentamiento y recalentamiento

Suministro de agua

Se necesitara de la cercanía de una fuente de agua para 2 funciones principales:

- Reponer agua en la caldera por pérdidas en la línea: el agua en la instalación se pierde por purgas, perdidas en tuberías y venteos entre otras cosas. Teniendo en cuenta que las pérdidas en instalaciones de este tipo son de alrededor del 5%⁶³, se necesitara disponer de caudal de reposición del 5% del caudal del agua necesario. Esto equivale a 4,5 Ton/ h. Para ello se dispondrá de un tanque de alimentación con capacidad de reposición para contrarrestar las perdidas.
- Condensar el vapor de agua proveniente de la turbina: para aprovechar al máximo el salto entálpico, y lograr que se generen en las turbinas los 50MW efectivamente es necesario que descarguen a la menor presión posible. Para ello, se instala a la salida de la turbina un condensador por el cual circula una corriente de agua externa que enfría la mezcla agua-vapor que sale de la turbina. Sin embargo, no se requiere un caudal importante de agua ya que la presión necesaria no debe ser tan baja, para no sub-enfriar el agua que luego ingresará a la caldera.

⁶³ Compendio de Vapor y Maquinas Térmicas. 2009. Molanes, C. Capítulo 3: distribución de vapor.

En la tabla siguiente se muestra una comparación entre los requerimientos de agua debido a pérdidas y condensador vs los caudales mínimos y máximos del río Reconquista.

Requerimiento [Ton/h]		Caudal del río [Ton/h]	
Reposición de pérdidas	Condensador	Mínimo	Máximo
5	90	3000	70000

Tabla 17. Requerimiento de agua vs disponibilidad de agua.

Se observa que los requerimientos de agua correspondientes a las pérdidas y el condensador⁶⁴ son suficientes con analizar el peor escenario en lo que respecta al nivel de agua del Río Reconquista (caudal mínimo). Con esto quedan descartados potenciales problemas de suministro de agua.

A continuación se muestra el esquema del proceso en Estación 4

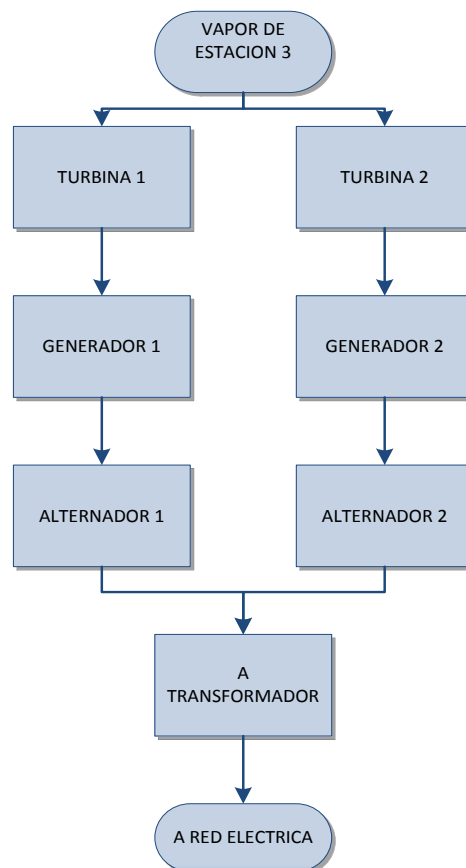


Figura 46. Diagrama de procesos de la Estación 5

⁶⁴ Para el cálculo del requerimiento de agua del condensador se recurrió al libro Compendio de Vapor y Maquinas Térmicas de Claudio Molanes.

Estación 5: Sistema de limpieza de gases

Luego de la transferencia de calor por parte de los gases de combustión a la caldera, donde se genera el vapor que luego impulsara la turbina para la generación de energía eléctrica, dichos gases necesitan una extracción de sus elementos nocivos, previo a su salida por la chimenea.

Dicha extracción se lleva adelante en lo que se denomina “tren de limpieza de gases”. Estos sistemas de limpieza suelen ser uno de los componentes más caros de la planta, debido a la complejidad de los equipos que requieren, y a los reactivos necesarios para realizar las extracciones antes mencionadas.

Previo al estudio de los distintos tipos de sistemas de tratamiento de gases es necesario estudiar de qué manera está constituido el caudal másico de gas que necesita ser limpiado. De acuerdo a distintos *papers* y estudios se llegó a determinar que para un caudal másico de 1 Ton/h, la constitución es la siguiente:

GAS	COMPONENTE	PORCENTAJE [%]
AGUA	H ₂ O	40
GASES DERIVADOS DEL CARBONO	CO ₂	30
	CO	6
GASES ACIDOS EN SUSPENSION	HCl	3
	HF	3
	SO ₂	6
	Nox	5
METALES PARTICULADOS	Hg	2
	Ni	0,5
	Mn	0,5
	Pb	0,4
	Cu	0,5
	Cr	0,4
	Cd	0,5
	As	0,7
	Co	0,2
	V	0,3
	Al	0,6
ORGANICOS	Dioxinas	0,2
	Furanos	0,2

Tabla 18. Composición promedio de 1 tonelada de gases de combustión

Se puede observar que, por cuestiones de composición de los residuos sólidos urbanos propios de la zona a analizar, si bien el 70% de la composición de la masa gaseosa es vapor de agua y dióxido de carbono, se debe prestar mucha atención al 30%

restante, considerada la porción de mayor peligro en cuestiones de toxicidad, y la primera a eliminar.

Dicha porción se subdivide a su vez en gases ácidos, sulfuros, compuestos orgánicos y metales particulados.

Gases ácidos: HCl, HF y NOx.

- **Cloruro de Hidrogeno (HCl):** gas muy reactivo, irritante y corrosivo. Su aspiración puede provocar cáncer de pulmón, entre otras enfermedades.
 - Objetivo: eliminación del gas HCl.
 - Equipo a utilizar: scrubber semi-húmedo. Eficiencia: 98%
 - Reactivo a inyectar: hidróxido de calcio
 - Producto obtenido: Sales de Cloruro de Calcio .Potencialmente comercializable debido a su uso en industria química, entre otras cosas, para producción de plásticos y regulación de PH en procesos químicos.
- **Fluoruro de hidrogeno (HF):** compuesto químico en estado gaseoso altamente peligroso debido a su potente toxicidad. Es el ácido más corrosivo de todos, cuyo contacto puede provocar irritación y quemaduras instantáneamente.
 - Objetivo: eliminación del gas HF.
 - Equipo a utilizar: scrubber semi-húmedo. Eficiencia: 97%
 - Reactivo a inyectar: hidróxido de calcio.
 - Producto obtenido: Sales de Fluoruro de Calcio y Agua. Potencialmente comercializable debido a su uso en fabricación de materiales semiconductores artificiales.
- **NOx:** Nitruros, o óxidos de Nitrógeno (NO₂). Gas potencialmente toxico e irritante. Afecta principalmente el sistema respiratorio, causando serios daños en células pulmonares. Parte de este gas se reduce de forma no catalítica en la cámara de combustión por medio de la inyección de Amoniac, y parte se reduce en los reactores SRC.
 - Objetivo: eliminación de los óxidos de Nitrógeno.
 - Equipo a utilizar: reactor SCR (reducción catalítica selectiva). Eficiencia: 98%
 - Reactivo a inyectar: Amoniac y catalizador (Oxido de Vanadio)
 - Producto obtenido: gas Nitrógeno (N₂) y agua. El gas Nitrógeno es potencialmente comercializable debido a que se utiliza para producir Amoniac (NH₃)

Sulfuros

También conocido como dióxido de Azufre. El dióxido de azufre es el principal causante de la lluvia ácida ya que en la atmósfera es transformado en ácido sulfúrico.

Es liberado en muchos procesos de combustión ya que los combustibles como el carbón, el petróleo, el diesel, el gas natural o los mismos residuos sólidos urbanos contienen ciertas cantidades de compuestos azufrados. Por estas razones se intenta eliminar estos compuestos antes de su combustión.

El dióxido de azufre es un gas irritante y tóxico. Afecta sobre todo las mucosidades y los pulmones provocando ataques de tos. Si bien éste es absorbido principalmente por el sistema nasal, la exposición de altas concentraciones por cortos períodos de tiempo puede irritar el tracto respiratorio, causar bronquitis y congestionar los conductos bronquiales de los asmáticos.

- Objetivo: eliminación de los sulfuros.
- Equipo a utilizar: scrubber semi-húmedo. Eficiencia: 98%
- Reactivo a inyectar: Carbonato cálcico (CaCO_3) o también conocido como piedra caliza.
- Producto obtenido: Sulfato de calcio y agua. El sulfato de calcio es potencialmente comercializable debido a que se utiliza en la industria química.

Metales particulados

Entre los metales particulados se encuentran elementos potencialmente peligrosos, como Mercurio, Plomo y Cromo, por lo tanto es necesaria su extracción. Teniendo en cuenta que se encuentran en forma de particular, el tipo de extracción será del tipo física, utilizando precipitadores y filtros de manga.

- Objetivo: extracción de los metales particulados
- Equipo a utilizar: precipitador electrostático y filtros de manga. La combinación de ambos equipos logra una eficiencia del 99%

Compuestos orgánicos

Los compuestos orgánicos a eliminar son las dioxinas y furanos. Ambos compuestos son extremadamente tóxicos, cuya interacción con el ser humano puede provocar cáncer. El principal método de control para evitar la formación de dioxinas y furanos es regular que el tiempo de residencia sea mayor a 2 segundos, y que las temperaturas de combustión no sean inferiores a 850 grados. Sin embargo, por cuestiones de extrema peligrosidad, también se utilizan equipos de retención de partículas

- Objetivo: eliminación de dioxinas y furanos.
- Equipo a utilizar: precipitador electrostático y filtro de manga. Eficiencia 99,5%

Selección de la tecnología

Si bien existe una amplia gama de equipos cuya función es extraer los elementos nocivos de los gases de combustión, hoy por hoy existen 3 distintos tipos de sistemas de tratamiento de gases, estandarizados de acuerdo a su complejidad: sistema de extracción

húmedo simple, sistema de extracción seco o intermedio, y por último el sistema de extracción semi húmedo avanzado

- 1) Sistema de extracción húmedo simple: constituido por un scrubber húmedo, precipitador electrostático, filtro de mangas y chimenea.
- 2) Sistema de extracción seco: constituido por un scrubber seco, precipitador electrostático, filtro de mangas y chimenea.
- 3) Sistema de extracción semi húmedo avanzado: constituido por un scrubber para la reacción de gases ácidos, scrubber para reacción de sulfuros, precipitador electrostático, filtros de manga, sistema de inyección de amoníaco en cámara de combustión, y reactor de SRC (reacción catalítica selectiva) para la reducción de óxidos de nitrógenos.

Por cuestiones de normativas a cumplir, para evitar la formación de los compuestos tóxicos, se opta por el último sistema de extracción, debido a que posee mayor cantidad de equipos, logrando cumplir con los estándares de emisiones regulados por la comunidad europea.

A continuación se muestran las diferencias, ventajas y desventajas que poseen

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
SISTEMA DE EXTRACCION BASICO (HUMEDO)	Bajo consumo de químicos. Poca formación de residuos sólidos.	Elevado consumo de agua. Riesgo de corrosión. No contempla eliminar todos los elementos.
SISTEMA DE EXTRACCION INTERMEDIO (SECO)	No consume agua. Menos propenso a corrosión.	Alto consumo de químicos. Elimina más elementos que el básico, pero no todos.
SISTEMA DE EXTRACCION AVANZADO (SEMI HUMEDO + SRC + NSRC)	Destrucción de dioxinas y furanos. Reducción de gases ácidos. Reducción de sulfuros. Precipitados comercializables.	Elevados costos de inversión. Necesario tratamiento de aguas residuales.

Tabla 19. Comparación entre sistemas de limpieza de gases

Control de emisiones

Para lograr que la planta funcione correctamente, sin ningún tipo de inconveniente del tipo ambiental (principal punto de criticidad), se ha adoptado seguir las normativas europeas de límites y controles de emisiones. Los límites de emisiones a la atmósfera están fijados por la directiva 2000/76/CE de la comunidad europea⁶⁵. El control de emisión se expresa en la siguiente tabla

⁶⁵ Parlamento Europeo, 2000. "Directiva 2000/76/Control de Emisiones".
http://www.sghn.org/Normativa_ambiental/Residuos/Directiva_2000_76_CE_Incineracion_residuos.pdf.
 Página vigente al 31/5/2015

		SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES			
		BASICO [mg/m ³]	MEDIO [mg/m ³]	AVANZADO [mg/m ³]	
AGUA	H ₂ O (g)	1500	1200	800	
GASES DERIVADOS DEL CARBONO	CO ₂	500	400	100	
	CO	100	50	10	
GASES ACIDOS EN SUSPENSION	HCl	No contempla	50	10	
	HF		2	1	
	SO ₂	No contempla	300	50	
	Nox	No contempla	No contempla	200	
METALES PARTICULADOS	Hg	2	0,1	0,01	
	Ni	3	0,2	0,02	
	Mn	3	0,2	0,05	
	Pb	2	0,1	0,01	
	Cu	No contempla	0,1	0,01	
	Cr		0,1	0,01	
	Cd		0,1	0,01	
	As		0,1	0,01	
	Co		0,1	0,01	
	V		0,1	0,01	
	Al		0,1	0,03	
ORGANICOS	Dioxinas		No contempla	0,02	0,001
	Furanos			0,02	0,001

Tabla 20. Esquema de control de emisiones

Sistema de tratamiento de aguas residuales

El agua utilizada en los reactores o scrubbers para el proceso de reacción y eliminación de gases ácidos y sulfuros debe ser tratada. Se dispondrá de un sistema de tratamiento de aguas residuales en el cual se dispondrá de tanques, bombas y filtros. El tipo de tratamiento será del tipo anaeróbico, y el agua tratada se reinyectara al circuito de los scrubbers, volviendo a combinarse con los reactivos para la eliminación de los elementos nocivos presentes.

El agua proveniente tanto del scrubber ácido como del scrubber de sulfúricos, será canalizada y derivada a un circuito paralelo de limpieza con el objetivo de acondicionarla para su posterior reinyección. Por medio de cañerías de conducción será impulsada con una bomba hacia un filtro de partículas, para extraer el remanente de productos originados en las reacciones de los scrubbers.

Luego del filtrado principal, el agua residual se dirigirá a un tanque sedimentador, donde se realizara un tratamiento de tipo anaeróbico. El dicho tanque ocurre una reacción, donde el accionar de compuestos orgánicos y oxígeno completan la limpieza del agua, obteniéndose biomasa y dióxido de carbono.

El agua finalmente por medio de conductos se reinyectara a los reactores, para continuar con el proceso de extracción de partículas nocivas de los gases de combustión.

A continuación se muestra el esquema del proceso en Estación 5:

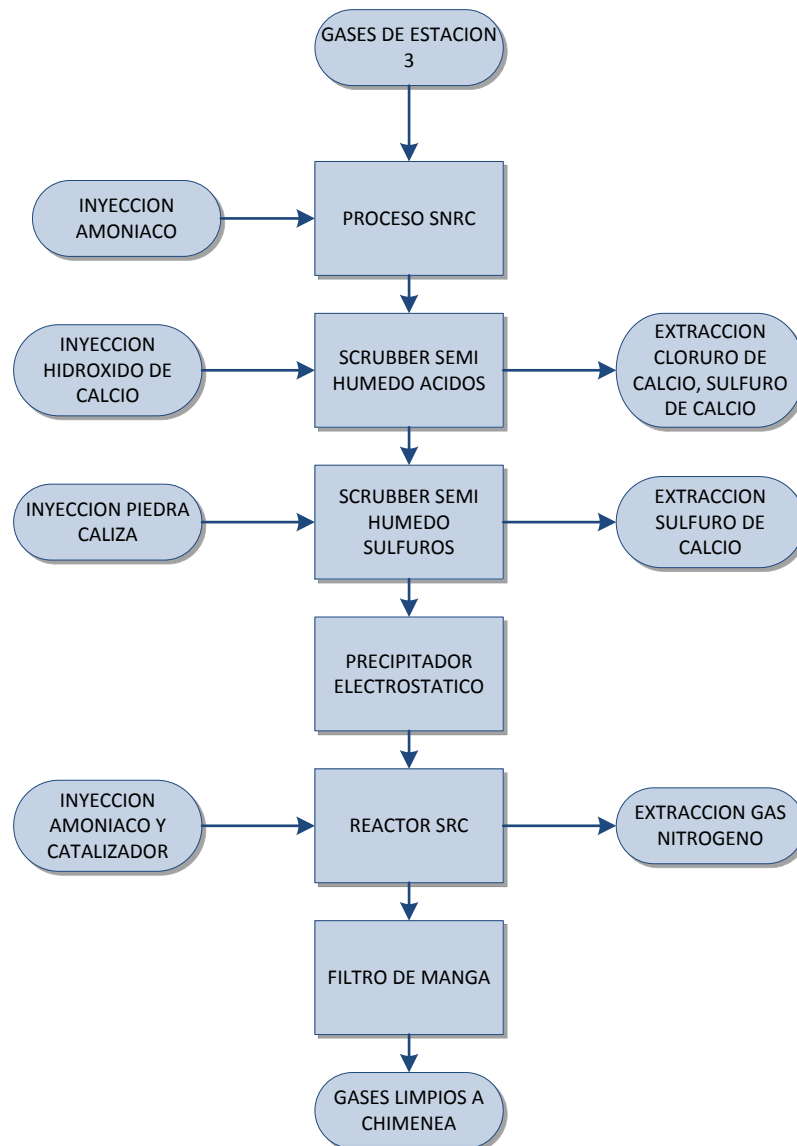


Figura 47. Diagrama de procesos de la Estación 5

Resumen del sistema de tratamiento de gases

A continuación se muestra una tabla que resume cada uno de los tratamientos que se le realizarán a cada uno de los elementos nocivos a extraer.

Compuesto	T tratamiento	Equipo	Reactivo	Producto	Eficiencia (%)
Cloruro de Hidrógeno	Reducción del compuesto por medio de inyección de reactivo en solución acuosa	Scrubber semi húmedo	Hidróxido de Calcio	Cloruro de Calcio, Agua	98
Fluoruro de Hidrógeno			Piedra caliza (carbonato cálcico)	Fluoruro de Calcio, Agua	97
Dióxido de Azufre	Reducción catalítica selectiva y reducción catalítica no selectiva (SRC y NSRC)	Reactor SRC	Amoníaco	Gas Nitrogeno, Dióxido de Carbono, Agua	98
Dióxido de Nitrogeno					
Metales particulados	Extracción física por medio de precipitadores y filtros de manga	Precipitador electrostático, Filtro de mangas	-	-	99
Dioxinas y furanos			-	-	99

Tabla 21. Descripción de tratamientos a elementos nocivos

También se presenta a continuación las características y manejos de los productos de cada una de las reacciones

Producto	Alternativa de venta	Uso
Sales de Cloruro de Calcio.	Comercializable en industria química.	Aditivo en plásticos.
	Comercializable en industria de la construcción.	Aditivo en mezcla de hormigón.
Sales de Fluoruro de Calcio.	Comercializable en industria electrónica.	Aditivo en fabricación de semiconductores
Sales de Sulfato de Calcio.	Comercializable en industria química.	Desecador, Coagulante.
Gas Nitrogeno.	Comercializable en industria química.	Producción de amoníaco.

Tabla 22. Oportunidades de venta para cada producto de las reacciones de limpieza

Balance de masas

Para el cálculo del balance de masas se procedió a buscar e investigar en distintas fuentes. De acuerdo a los distintos papers analizados⁶⁶, los cuales mostraban las relaciones porcentuales correspondientes a cuanto se obtiene de gases de combustión y ceniza incinerando 1 tonelada de RSU, se armó la siguiente tabla.

Dicha tabla pretende mostrar el proceso desde que ingresan las 2200 toneladas de RSU hasta que sale de la chimenea dióxido de carbono y vapor de agua. Para el cálculo del balance de masas se procedió a utilizar el calor específico calculado en la Tabla 7.

En el medio, y en el centro de la tabla, aparecen los distintos procesos que van transformando las toneladas ingresadas (combustión), y los que van reduciendo el porcentaje de caudal másico nocivo (tren de limpiezas de gases) hasta lograr las especificaciones deseadas.

Como es un continuo de conductos compuesto por subestaciones donde los gases se someterán a una intervención física o química con el fin de extraer los elementos nocivos, el output del proceso anterior es el input de la estación siguiente.

En las estaciones donde la extracción es por medio de una reacción química, se cumple el balance de masas entre los inputs y los outputs.

En las estaciones donde la extracción es por medio de filtros, el output se reduce debido al accionar del equipo implementado

⁶⁶ "The National Certification for Renewable Energy managers". Thomas, F. *Material and energy balance* <http://www.em-ea.org/Guide%20Books/Book-1/1.4%20MATERIAL%20%20AND%20ENERGY%20BALANCE.pdf>. Pagina vigente al 22/02/15.

Consonni, S.; Vigano, F. *Material and energy recovery in integrated waste management systems: The potencial of energy recovery*. http://www.hia21.eu/dwnld/20131229_Material%20and%20energy%20recovery%20in%20integrated%20waste%20management%20systems.pdf. Pagina vigente al 22/02/15 .

BALANCE DE MASAS				
INPUT	CANTIDAD [Ton/día]	PROCESO	OUTPUT	CANTIDAD [Ton/día]
RSU	2200	RECEPCION MATERIA PRIMA	RSU directo a incinerar	2000
			RSU reciclable	200
RSU	2000	COMBUSTION	Cenizas de combustión	600
			Gases de combustión	1072
			Material particulado	268
Gases de combustión	1072	PROCESO SNRC	Gases de combustión	1082
Material particulado	60		Material particulado	201
UREA o AMONIACO	67		Gas N ₂	60
Gases de combustión	1082	SCRUBBER SEMI HUMEDO ACIDO	H ₂ O	34
Material particulado	201		Gases de combustión	91
Gas N ₂	60		Gases de combustión	1082
Ca(OH) ₂	76,98		Material particulado	124
H ₂ O	90,5	SCRUBBER SEMI HUMEDO SULFUROS	Material particulado	60
Gases de combustión	1082		Gas N ₂	34
Material particulado	124		Precipitados CaCl ₂ Y CaF ₂	76,98
Gas N ₂	60		H ₂ O	167
H ₂ O	167	PRECIPITADOR ELECTROSTATICO	Gases de combustión	1082
CaCO ₃	72,4		Material particulado	52
Gases de combustión	1082		Gas N ₂	34
Material particulado	52		Material particulado	2
Gas N ₂	34	REACTOR SRC	Gases de combustión	1082
Material particulado	60		Material particulado	0
UREA o AMONIACO	56,7		H ₂ O	2
Catalizador	56,7		Gas N ₂	108
Gases de combustión	1082	BAG HOUSE FILTER	Gases de combustión	1082
Material particulado	0		Material particulado	0
H ₂ O	2		H ₂ O	108
Gases de combustión	1082	CHIMENEA	Gases de combustión	1082
H ₂ O	108,3		H ₂ O	0
			H ₂ O	108

Tabla 21. Balance de masas del proceso completo de tratamiento de gases

Referencias

	SE INYECTA
	SE EXTRAE
	CAUDAL MASICO GASES NOCIVOS
	TRATAMIENTO QUIMICO
	TRATAMIENTO FISICO

En la tabla se puede observar el balance de masas. Se puede observar como las toneladas de RSU ingresadas se transforman en caudal másico de gases de combustión, y como estos gases inician su trayecto desde la cámara de combustión hasta la chimenea, pasando por la caldera (no representada en el balance) y por cada una de las subestaciones del tren de limpieza de gases.

Para lograr una mayor explicación de que es lo que ocurre en cada una de las estaciones, se decidió establecer una nomenclatura, poniendo en azul los reactivos a inyectar para disminuir los elementos nocivos, en verde los productos obtenidos de cada una de las reacciones, y en amarillo el caudal másico de los gases nocivos.

Es importante observar como el caudal másico de los gases nocivos va disminuyendo a medida que atraviesa cada subestación, hasta expulsar por la chimenea solo dióxido de carbono y vapor de agua.

Lay-out de Planta

A continuación se muestra la disposición final de la planta de incineración controlada de RSU.

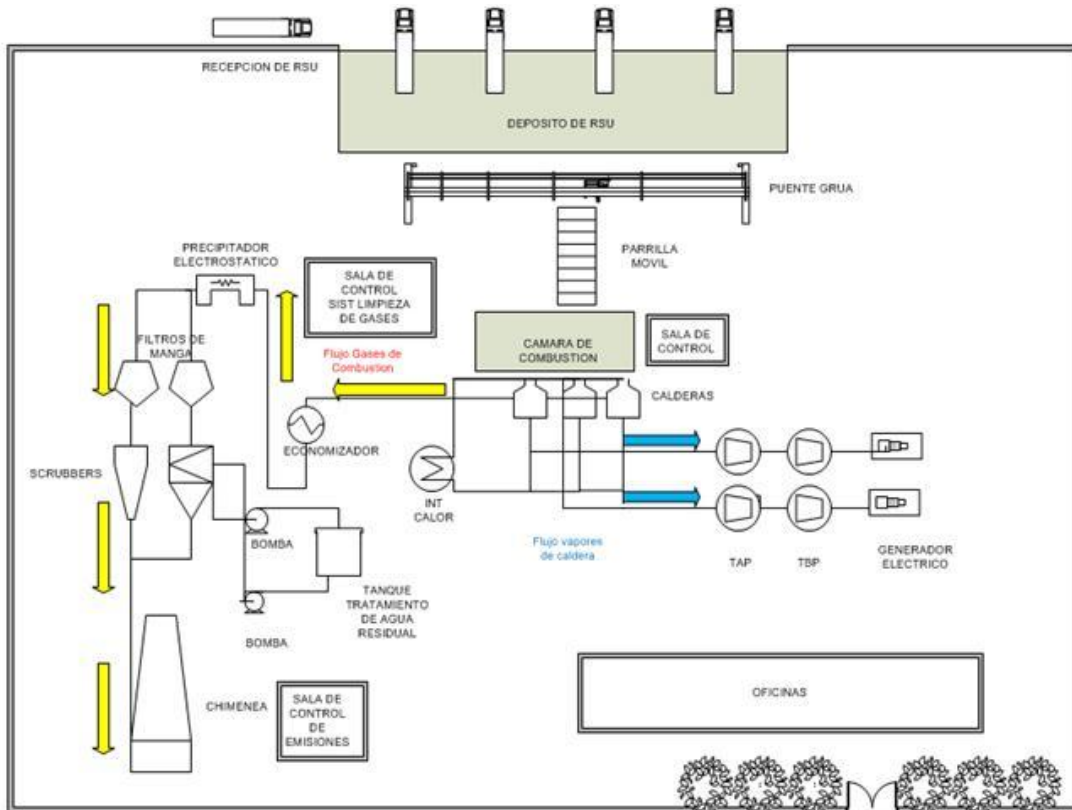


Tabla 22. Esquema de la planta

Se pueden observar las distintas estaciones, comenzando por la estación 1, donde se recibe la materia prima traída en camiones y se deposita en la fosa de alimentación. A continuación se observa la estación 2, compuesta por el horno de incineración. Allí se

observa también la sala de control donde se regularan los parámetros de temperatura y tiempo de residencia de los materiales a incinerar.

Luego de esta estación el circuito se divide en 2. Marcado en color celeste se observa el flujo de vapor, el cual se genera en la caldera donde recibe el calor de los gases de combustión, para luego dirigirse hacia las 2 turbinas y generar la energía eléctrica. Paralelamente se puede observar en amarillo el flujo de los gases de combustión, que luego de transferir el calor en la caldera, se dirigen hacia el tren de limpieza de gases, para luego salir hacia la chimenea bajo los parámetros establecidos. Dichos parámetros serán regulados en las salas de control que se observan al costado de los equipos en cuestión.

CAPÍTULO 7: ESTUDIO ECONÓMICO-FINANCIERO

INTRODUCCIÓN

Para la realización del análisis económico y financiero del proyecto se contemplaron los estudios de ingeniería, macro y micro-localización, etc., propios, así también como otros estudios económicos para proyectos similares.

Es importante mencionar que para dicho análisis, se debieron realizar una serie de supuestos, entre ellos, los valores del “*gate-fee*” o tarifa de gestión de RSU, los valores a los cuales puede ser comercializada la energía, etc.

El objetivo del análisis económico financiero es poder demostrar que este proyecto no sólo brinda soluciones a las temáticas de la basura y el déficit energético, sino que también resulta redituable. No solo el proyecto debe cumplir los requerimientos técnicos y específicos de una planta WTE, sino también, debe ser rentable para incentivar a instituciones privadas y estatales para su aplicación.

Se tomó un horizonte temporal de 27 años para el análisis financiero, considerando dos años para la construcción de la planta y 25 años de operación.

Los ingresos considerados del proyecto se dividieron en cuatro grupos:

1. Ingresos producidos por la venta de energía eléctrica a la red
2. Ingresos producidos por la venta de Bonos o Créditos de Carbono⁶⁷
3. Ingresos por *gate-fee* o tarifa por gestión de residuos (costos de disposición)
4. Ingresos por la venta de subproductos del proceso: metales, cenizas, subproductos de reacción.

Como se demostrará luego, ingresos que a primera vista parecerían diferenciales -ingresos por *gate fee*-, tienen una importancia crítica en el proyecto, resultando definidores del éxito o fracaso del proyecto.

PROYECCIÓN DE COSTOS PARA LA PLANTA WTE

Para la proyección de los costos operativos de la planta se siguió la estructura de costos propuesta por el *Earth Engineering Center* de la Universidad de Columbia⁶⁸, ya que las características técnicas de la planta y el esquema de ingresos resultan similares.

⁶⁷ Venta de Bonos de Carbono provenientes de la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero como consecuencia del proyecto.

⁶⁸ N.J. Themelis, et al., “*Guidebook for the application of WTE technologies in the LAC*”, Universidad de Columbia, EEUU, Julio 2013

Además, este esquema se basa en los costos de plantas recientemente construidas en Europa y Estados Unidos. Cabe mencionar que se realizaron ciertos ajustes, como por ejemplo, mostrar por separado los costos del sistema de tratamiento de gases y los costos de parrillas, calderas, etc.

Costos de capital y necesidades de inversión

Una planta de doble línea, con capacidad de procesamiento de 2000 toneladas por día, tendrá una capacidad anual de 660.000 toneladas de RSU por año. La inversión necesaria se estima en alrededor de los 200 millones de dólares.

Si bien este valor es superior a lo esperado siguiendo el promedio mundial – se esperaría para una planta de estas características un costo aproximado de 170MUS\$-, se encuentra en el orden de los proyectos que actualmente existe en América Latina. Por ejemplo, en la ciudad de San Pablo, Brasil, se encuentra en fase de construcción una planta con capacidades de 30MW y 900 toneladas diarias, y su costo se estima que ronda los 150 millones de dólares⁶⁹. También se encuentra el ejemplo de un proyecto a instalar en la localidad de Puebla, México, con una planta con capacidad de tratamiento de 1400 toneladas diarias y generar 39.5MW de potencia. Aquí el costo estimado de la inversión ronda los 300 millones de dólares⁷⁰.

A continuación se muestra una descomposición de los costos iniciales de inversión requeridos

COSTO DE CAPITAL ESTIMADO	
Número de líneas	2
Preparación, acceso, zona de obra (millones US\$)	15
Edificios, chimeneas (millones US\$)	45
Parrillas, calderas, sistema de inyección de aire, manejo cenizas, sistemas eléctricos y mecánicos (millones US\$)	80
Turbinas generadoras (millones US\$)	25
Sistema de APC (millones US\$)	30
Contingencias (millones US\$)	5,5
Terreno (millones US\$)	2,5
Costo de capital total estimado (millones US\$)	208

Tabla 23. Costos de obra e Inversión

⁶⁹ Waste Management World. "WTE A Sound Long Investment in Brazil" <http://www.waste-management-world.com/articles/2013/02/waste-to-energy-a-sound-long-term-investment-in-brazil.html>. Disponible al 14/06/2015

⁷⁰ Global Infrastructure Basel. "Puebla Waste to Energy Plant" <http://www.gib-foundation.org/projects/kopuebla-waste-to-energy-plant/>. Disponible al 14/06/2015

Costos operativos de la planta

Se estima que la necesidad de personal para una planta de dos líneas de procesamiento, de 1000 toneladas diarias de RSU cada una, ronda en las sesenta personas. Se asume que los subproductos a enterrar serán dispuestos en el relleno Acceso Norte III, ladero al terreno de la planta.

De esta forma los costos operativos se descomponen de la siguiente forma:

COSTOS OPERATIVOS	
Número de líneas	2
Disposición cenizas (millones US\$; US\$3,75/ton)	2,52
Insumos químicos (millones US\$; US\$4/ton)	2,69
Limpieza gases (millones US\$; US\$8/ton)	5,37
Mantenimiento (millones US\$; US\$15,6/ton)	7,46
Misceláneos (millones US\$; US\$2/ton)	1,35
Personal, empleados (millones US\$)	0,81
Subtotal Previo Contingencias (millones US\$)	20,19
Contingencias (millones US\$; 5%)	1,01
Subtotal	21,21
Seguros (millones US\$; 0,6%)	0,13
Costo Operativo Estimado	21,33

Tabla 24. Costos operativos de la planta

PROYECCIÓN DE INGRESOS PARA LA PLANTA WTE

Como se mencionó los ingresos del proyecto provendrán de cuatro fuentes distintas: la venta de energía eléctrica, la venta de bonos de carbono, los ingresos por *gate-fee*, y la venta de subproductos del proceso -metales, etc.-

Ingresos por venta de energía eléctrica

Como ya se mencionó existen diversos incentivos para la generación eléctrica de manera renovable. La Ley Nacional 26.190 establece que para el 2020 el 8% de la matriz energética nacional debe ser renovable. Además, el programa GENREN de la empresa estatal ENARSA establece ofertas de requerimiento energético de fuentes renovables por un total de 1000MW, de los cuales 160MW pueden ser provistos a través de la

incineración controlada de RSU. Dicho incentivo económico consiste en el pago de 120USD el MWh de energía renovable.

Según las características técnicas de la planta, con una capacidad instalada de 50MW, la energía disponible para comercializar sería de 277.200MWh/año. Este número surge de considerar en promedio 330 días operativos al año, con un factor de entrega del 70% ⁷¹. De esta manera los ingresos anuales obtenidos se calculan según $277.200\text{MWh/año} * 120 \text{ USD/MWh} = 33264000 \text{ USD/año}$.

Ingresos por Gate Fee o Tarifa por gestión de residuos

El *gate fee* es una tasa que las distintas municipalidades generadoras de los residuos pagan por cada tonelada de residuos de la cual se hace cargo una planta WTE. Esta tasa puede pensarse como el equivalente al precio que se paga por cada tonelada de RSU que se entierra en un relleno sanitario. En la actualidad los valores que la Ciudad de Buenos Aires y los distintos municipios de la provincia pagan a CEAMSE difieren de manera considerable –las distintas disputas políticas entre los gobiernos municipales y de la CABA hacen que los costos que cada uno paga sean poco claros ⁷².

Para un primer análisis de ingresos se consideró un promedio de las tarifas informadas por CEAMSE ⁷³ en 15USD/ton. Sin embargo, luego se presenta un análisis de distintos escenarios posibles de diferentes valores para dicha tasa. Este análisis deja en evidencia la criticidad de esta tasa para el éxito financiero del proyecto.

De esta manera, con una planta que procesa 660.000 toneladas anuales, los ingresos obtenidos con un gate fee de 15usd/ton serían de 9.900.000 USD/año.

Ingresos por venta de metal recuperado de la ceniza

Como se demuestra en la Tabla 6, aproximadamente el 2% de los RSU son metales ferrosos y no ferrosos. De esta forma, se estima que por año se pueden recuperar de las cenizas aproximadamente 2.640.000 toneladas de metales ferrosos y no-ferrosos.

Se consideraron precios de venta de 200USD/ton para los metales ferrosos y 50USD/ton para los metales no ferrosos.

De esta manera los ingresos estimados a partir de la comercialización de los metales recuperados se estiman en 2.970.000 USD/año.

⁷¹ Para las plantas WTE los factores de carga varían desde 0,5 para las primeras plantas construidas, hasta 0,9 para las plantas más modernas, como por ejemplo la planta Brista 2 en Suecia. Ver link en <http://www.ramboll.se/Projekt/rse/brista-2>

⁷² Chequeado, La Verificación del Discurso Público. "Santilli: La Ciudad subsidia el 50% del CEAMSE" <http://chequeado.com/ultimas-noticias/santilli-la-ciudad-subsidia-el-50-del-ceamse/>. Disponible al 01/06/2015.

⁷³ CEAMSE. "Solicitud de Disposición" <http://www.ceamse.gov.ar/generadores-privados-solicitud-de-disposicion>" Disponible al 20/12/2014.

Ingreso por venta de Bonos o Créditos de Carbono

Los bonos de carbono (también llamados "Créditos de Carbono") son un mecanismo internacional de descontaminación para reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente; es uno de los tres mecanismos propuestos en el Protocolo de Kioto para la reducción de emisiones causantes del calentamiento global o efecto invernadero (GEI o gases de efecto invernadero). El sistema ofrece incentivos económicos para que empresas privadas contribuyan a la mejora del sistema operativo de WALAS de la calidad ambiental y se consiga regular la emisión generada por sus procesos productivos, considerando el derecho a emitir CO₂ como un bien canjeable y con un precio establecido en el mercado. La transacción de los bonos de carbono —un bono de carbono representa el derecho a emitir una tonelada de dióxido de carbono— permite mitigar la generación de gases invernadero, beneficiando a las empresas que no emiten o disminuyen la emisión y haciendo pagar a las que emiten más de lo permitido. Las reducciones de emisiones de GEI se miden en toneladas de CO₂ equivalente, y se traducen 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 a países Anexo I (industrializados, de acuerdo a la nomenclatura del protocolo de Kioto). Los tipos de proyecto que pueden aplicar a una certificación son, por ejemplo, generación de energía renovable, mejoramiento de eficiencia energética de procesos, reforestación, limpieza de lagos y ríos, etc.

El tratamiento de los residuos en una planta WTE tiene una ventaja de ahorro en emisiones de metano frente al relleno sanitario, teniendo en cuenta que el metano (CH₄) tiene un potencial de generación de efecto invernadero 21 veces más potente que el anhídrido carbónico (CO₂). Por lo cual, por cada tonelada de residuos que se queme en la planta en vez de ser enviada al relleno sanitario, se reduce su impacto en la generación de gases de efecto invernadero.

Para el cálculo de los ingresos provenientes de la venta de créditos de carbono se utiliza el factor de emisión, que para Argentina es de 0.481 toneladas de CO₂ por MWh⁷⁴. Este factor es luego multiplicado por la capacidad de producción energética de la planta para obtener la cantidad de créditos de carbono. Actualmente el valor del crédito de carbono se estima en 16USD.

De esta forma al considerar los MWh generados a partir de una tonelada de basura, se llega al valor de 7,70USD/ton RSU procesados en la planta. Así, los ingresos anuales obtenidos por venta de créditos de carbono se estiman en 5.082.000USD (7,70USD/ton RSU*660000 ton RSU anuales).

⁷⁴ Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios. "Cálculo del Factor de Emisión de CO₂, de la Red Argentina de Energía Eléctrica". <http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=2311>. Disponible al 01/06/2015.

Resumen costos e ingresos

A continuación se muestra una tabla resumiendo los costos, inversión e ingresos estimados para la planta.

TABLA DE COSTOS E INGRESOS		
Item	Cost	Revenue
Costo de Capital (millones US\$)	208	
Costo Operativo (millones US\$/año)	21,33	
Venta electricidad (US\$/MWh)		120
Gate fee (US\$/ton RSU)		15,00
Bonos de carbono (US\$/ton RSU)		7,70
Metales (US\$/ton)		150,00

Tabla 25. Resumen inversión, costos e ingreso

De la misma forma se presenta una tabla con los egresos e ingresos en millones de dólares, mostrando también el margen anual bruto.

Costo Operativo Total (Millones US\$)	\$ 21,33	
Ingreso Anual por Venta Electricidad (Millones US\$)		\$ 33,26
Ingreso Anual por Gate Fee (Millones US\$)		\$ 9,90
Ingreso Anual por Venta Bonos de Carbono (Millones US\$)		\$ 5,08
Ingreso Anual por Venta de Subproductos (Millones US\$)		\$ 2,97
Margen Anual Bruto (Millones US\$)	\$	29,88

Tabla 26. Resumen ingresos y egresos en MUS\$

De esta manera, el periodo de repago simple –considerando flujos al presente- es 8,5 años, descontado al 9% anual. Si bien parece ser una cantidad muy extensa de tiempo para la realidad del país, en realidad para este tipo de proyecto es un periodo de repago relativamente corto, ya que en promedio para plantas WTE el período de repago ronda en los 20 años⁷⁵. Siguiendo este análisis los valores obtenidos para el VAN (descontados al 9%) es de 25 millones de dólares.

⁷⁵ World Bank Technical Guidance Report. "Municipal Solid Waste Incineration". Chapter 6. http://www.worldbank.org/urban/solid_wm/er/m/CWG%20folder/Waste%20Incineration.pdf. Disponible al 01/05/2015.

Análisis de distintos escenarios

Se realizó un análisis de factibilidad para distintos escenarios posibles. Se plantearon cuatro situaciones distintas para la cotización del *gate fee*. Con dicho análisis queda en evidencia la influencia crucial del mismo sobre el éxito o fracaso del proyecto.

Lo que se buscó hacer es un pequeño análisis de sensibilidad sobre el proyecto en base a los valores del *gate fee*. Se demuestra que una pequeña variación en su valor genera grandes diferencias en los VAN y tasas internas de retorno. Además los valores ensayados son similares a los que se plantean en países de Latinoamérica y de la región del caribe⁷⁶.

Por otro lado, en todos los escenarios planteados se estipuló con que la energía es comercializada a través del programa de incentivos “GENREN”, obteniendo aproximadamente 120US\$/MWh. De no ser así, y comercializarse la energía al mismo valor que la electricidad generada a través de la quema de combustible fósil⁷⁷, el proyecto sería inviable.

Escenario 1				
Gate fee + IVA (US\$/Ton)	15			
	VAN al 5% (millones US\$)	VAN al 9% (millones US\$)	VAN al 12% (millones US\$)	TIR
	37	25	-19	9,7%

Escenario 2				
Gate fee + IVA (US\$/Ton)	10			
	VAN al 5% (millones US\$)	VAN al 9% (millones US\$)	VAN al 12% (millones US\$)	TIR
	2	-14	-56	5,8%

⁷⁶ N.J. Thamelesis, et al, “Guidebook for the Application of WTE technologies in LAC countries”. University of Columbia, EEUU. Julio 2013.

⁷⁷ En promedio el valor de venta son 120AR\$/MWh. Valor obtenido de CAMMESA <http://portalweb.cammesa.com/default.aspx>. Actualizado al 01/06/2015.

Escenario 3				
Gate fee + IVA (US\$/Ton)	5			
	VAN al 5% (millones US\$)	VAN al 9% (millones US\$)	VAN al 12% (millones US\$)	TIR
	0,5	-20	-95	5,2%

Escenario 4				
Gate fee + IVA (US\$/Ton)	25			
	VAN al 5% (millones US\$)	VAN al 9% (millones US\$)	VAN al 12% (millones US\$)	TIR
	44	36	-11	10,6%

Tabla 27. Análisis de distintos escenarios

Como se puede observar, la una pequeña disminución en el valor recibido del *gate fee* impacta de manera negativa al proyecto.

En el escenario 4, se plantea un *gate fee* mayor al percibido actualmente por el CEAMSE. Esto surge de que en diversos países europeos y en EEUU, se paga inclusive más, ya que el tratamiento que se le da a los residuos no afecta al medio ambiente.

CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES

POSIBILIDADES DE LA INCINERACIÓN CONTROLADA

La solución propuesta en este trabajo existe hace ya más de una década en Europa, y hace más de cinco años en América del Norte y Asia. Existen más de 6000 plantas en el mundo que utilizan la tecnología propuesta por este proyecto, y en todos los casos funcionan de manera exitosa. Gran parte de este éxito se debe a cambios tanto en las políticas como en los paradigmas sociales, en donde el envío a rellenos sanitarios de los residuos, y por consiguiente su desaprovechamiento ya no es algo aceptable.

En la Argentina existe un marco legal tendiente a favorecer estas políticas, sin embargo se necesita mayor compromiso en la aplicación de medidas concretas. Por otro lado, a nivel social hay muy poca concientización sobre el tema.

POSIBILIDADES EN ARGENTINA

La Argentina, y más particularmente el Área Metropolitana de Buenos Aires presentan dos problemáticas que requieren una solución integral urgente.

Por un lado, la situación del sistema de gestión de residuos está al borde del colapso, con rellenos sanitarios ya clausurados (Norte II, por ejemplo) y otros al borde de la saturación (Acceso Norte III). Además de esto, todo el sistema de gestión de residuos previo a la disposición final no está desarrollado, siendo el mismo casi exclusivo para la recolección y traslado de residuos hasta su disposición final. Si bien la Ciudad de Buenos Aires, a través de la Ley de Basura Cero, ha comenzado a tratar de revertir la tendencia, esto no es suficiente. El marco legal está dado para poder comenzar a implementar soluciones a largo plazo, pero la realidad indica que también son necesarias medidas en el corto y mediano plazo, para que evitar un colapso del sistema.

Por otro lado, en los últimos años en Argentina el incremento de la demanda de energía eléctrica no se vio acompañada por un incremento en la capacidad de generación. Esto se tradujo en la necesidad de importar combustibles del exterior, generando una importante fuga de divisas. Además, las plantas generadoras operan al máximo de su capacidad y ante cualquier inconveniente, grandes sectores pueden quedar sin aprovisionamiento de energía.

El proyecto planteado trata en distintas medidas de atacar estos dos problemas. Por un lado, se calcula una capacidad de tratamiento de 2000 toneladas de residuos diarios, que equivaldría a casi la mitad de lo que envía la CABA a entierro. De esta forma, la planta representaría un alivio considerable en este tema. Por otro lado, se contaría con una potencia de generación de 50MW, que si bien con respecto a la matriz energética nacional, y al déficit de generación, es un número relativamente pequeño, sería un comienzo a la búsqueda de una solución de fondo. Además se fomentarían los proyectos de generación eléctrica de manera sustentable.

Teniendo en cuenta lo planteado anteriormente, y considerando que es una propuesta jamás considerada en Argentina, su inserción puede llegar a ser exitosa. No obstante, su factibilidad se verá afectada por los siguientes condicionantes:

- Gate fee: en el análisis económico quedó evidenciada la importancia de su variabilidad para la factibilidad del proyecto. Se analizaron los 4 escenarios planteados con distintas tarifas, y se llegó a la conclusión de que la factibilidad económica del proyecto aumentaba a medida que el gate fee crecía. Esto implica que debe haber compromiso y políticas de incentivo atractivas por parte del Gobierno, quien es el encargado de pagar la tarifa. Una tasa de 15 USD/ ton lograría un rédito interesante.
- Venta de bonos de carbono: la venta del derecho a emitir dióxido de carbono lograría premiar la reducción de emisiones de gases efecto invernadero, y a su vez castigaría a los que emiten en exceso. De acuerdo al protocolo de Kioto, y siguiendo el criterio de factor de emisión, el valor de venta debe ser de 7,70 USD/ Ton.
- Venta de subproductos: la utilización de un complejo sistema de limpieza de gases logra que durante el proceso se generen subproductos de reacciones químicas y metales recuperados. Dicha venta logrará un apalancamiento aún mayor del proyecto. Se consideran valores de mercado de 200 UDS/ton (materiales ferrosos) y 50 USD/ton (materiales no ferrosos) para su venta.

Si se mantienen las condiciones mencionadas anteriormente, la factibilidad del proyecto se verá reflejada en un VAN de 25 MUSD, con período de repago de 8.5 años, descontado al 9% anual.

Sumado a estos 3 factores clave, es necesario un cambio de pensamiento a nivel social en el país. Este tipo de proyectos tienen éxito en países desarrollados con proyecciones a largo plazo. Políticas económicas claras, un marco regulatorio favorable hacia la implementación de este tipo de plantas, políticas regulatorias en materia de energía y estándares de calidad de emisión; y por último, lograr una mayor concientización acerca del potencial valor de los residuos, lograría una inserción exitosa de este tipo de tecnologías Waste to Energy, para reemplazar a la disposición final como solución de fondo.

BIBLIOGRAFIA

- M. Vhrijhed, et al., “*Health Effects of Residence Near Hazardous Waste Landfill Sites*”, EPA, New York, June 1999.
- Eileen Brettler Berenyi, PhD., “*A Compatibility Study: Recycling and Waste-to-Energy Work in Concert*”. Governmental Advisory Associates, Westport, USA. Mayo 2014.
- US Environmental Protection Agency. EEUU, 2013 “*Non-Hazardous Waste Management Hierarchy*”.
- Inter-American Development Bank. “*Guidebook for the application of WTE technologies en LAC countries*”. Columbia, EEUU. Julio 2013.
- Fabio Klitenik, Pablo Mira y Pablo Moldovan, “*El Mercado Eléctrico Argentino*”. Ministerio de Economía y Finanzas Públicas, cuarto trimestre de 2009.
- Secretaría de Energía, “*Series Históricas de Energía Eléctrica*”. Disponible en: <<http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3140>> Página vigente al 30/5/2015.
- Instituto Argentino del Petróleo y del Gas, 2014. “*Producción de gas – Anual*”. Disponible en: <<http://www.iapg.org.ar/estadisticasnew/producciongasanualpais2.htm>> Página vigente al 30/5/2015.
- Ing. Alberto Calsiano, 2013. “*La Matriz Energética Actual y Futura*”. Departamento de Infraestructura de la Unión Industrial Argentina. Disponible en: <<http://www.afcparg.org.ar/jcp2013/Presentaciones/AlbertoCalsiano.pdf>>. Página vigente al 30/5/2015.
- Brunner, C.R. 1998. *Incineration Systems: Selection & design*. Publisher Van Nostrand Reinhold, New York, NY.
- Baum, B; Parker, C. 2004. *Solid Waste Technologies .Capitulo 1: Incineration Technologies*. Editorial Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor, MI
- MH Power Systems Europe Service, “*Moving Grate Systems*”. Disponible en: <<http://www.service.eu.mhps.com/en/grate-services.html>> Página vigente al 2/3/2015
- Residuos Sólidos Peligrosos, clase n°6 “*Residuos sólidos urbanos*”, ITBA, segundo cuatrimestre 2013
- Christensen, Thomas H. 2005. *Incineration: Flue Gas Cleaning and Emissions*. Publisher SWTM.
- Wikipedia. Bag filters. Disponible en: < <http://en.wikipedia.org/wiki/Baghouse>> Página vigente al 15/01/15.
- Jeven Oy, “*How cyclone grease separators work*”. Disponible en: <http://www.jeven.com/mvhome/homepage_item_view.html?id=00001285&did=298&lang=en&page_category_id=75354> Página vigente al 2/3/2015.

- ABS. 2011. Exhaust Scrubber Systems Advisory. Principio de funcionamiento. http://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/publications/2013/Scrubber_Advisory.pdf. Página vigente al 23/04/15.
- Eagle.org, “Exhaust Gas Scrubber System Advisory”. Disponible en: http://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/publications/2013/Scrubber_Advisory.pdf.> Página vigente al 31/5/2015.
- Jefferson, M. Air Pollution Control Equipment. 2001.
- Air Pollution Training Institute. Disponible en: <http://www.epa.gov/eogapti/module6/matter/control/control.htm>.> Página vigente al 2/3/2015.
- Semrau, K.T., 1997. “Practical process design of particule scrubbers”. Chemical Engineering, 84:87-91.
- Innovative Combustion Technologies, “Common issues”. Disponible en: http://www.innovativecombustion.com/pulv_nox.html.>. Página vigente al 31/5/2015.
- Guido Busca et al, 1998, “Chemical and mechanistic aspects of the selective catalytic reduction of NOx by ammonia over oxide catalysts: A review”.
- M. Shelef, 1995. “Selective Catalytic Reduction of NOx with N-Free Reductants”,. Disponible en: http://nett21.gec.jp/jsim_data/air/air_3/html/doc_082.html >. Página vigente al 31/5/2015.
- Avfall Sverige, 2014. Swedish Waste Management. Disponible en: www.avfallsverige.se > Página vigente al 30/5/2015
- Keppel Seghers, 2014. Waste to Energy Plants. Disponible en: <http://www.keppelseghers.com/en/content.aspx?sid=3028>. Página vigente al 30/5/2015
- Hitachi Zosen, 2014. Disponible en: <http://www.hitachizosen.co.jp/english/technology/index.html> . Página vigente al 30/5/2015
- Covanta Essex Company, 2014. Facilities. Disponible en: <http://www.covanta.com/facilities/facility-by-location/essex.aspx> . Página vigente al 30/5/2015.
- Teesside EFW Facility, UK, 2014. Disponible en: <http://www.power-technology.com/projects/teesside-energy-from-waste-efw-facility> . Página vigente al 30/5/2015
- The Timarpur-Okhla Waste to Energy Plant, 2014. disponible en: <http://www.no-burn.org/downloads/Timarpur.pdf>>. Página vigente al 30/5/2015
- European Environment Agency, 2009 , “Diverting Waste from Landfill”. Disponible en: <http://www.eea.europa.eu/publications/diverting-waste-from-landfill-effectiveness-of-waste-management-policies-in-the-european-union> >. Página vigente al 31/5/2015

- CEWEP, 2012. “Landfill taxes and bans”. Disponible en: <http://www.cewep.eu/media/www.cewep.eu/org/med_557/955_2012-04-27_cewep_-_landfill_taxes_bans_website.pdf>. Página vigente al 31/5/2015
- CEAMSE, Agosto 2014. “Horarios y tarifas”. Disponible en: <<http://www.ceamse.gov.ar/generadores-privados-horarios-y-tarifas>>. Página vigente al 31/5/2015
- Ley 13592 de la Provincia de Buenos Aires
- Ley 1854 de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires
- Ley Nacional 26.190 – Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica
- Diario La Nación, noticia: “En tres meses se dejaron de enterrar 1720T de basura”, 10 de Marzo 2013. Disponible en: <<http://www.lanacion.com.ar/1561765-en-tres-meses-se-dejaron-de-enterrar-1720-t-de-basura>>. Página vigente al 31/5/2015.
- IEA Bioenergy, 2014. “Summary and conclusions from the IEA Bioenergy ExCo71 Workshop”. Disponible en: <<http://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2014/03/ExCo71-Waste-to-Energy-Summary-and-Conclusions-28.03.14.pdf>>.Página vigente al 31/5/2015.
- Onondaga County resource recovery agency. *Waste to energy process and benefits*. Disponible en: <<https://ocrra.org/resource-pages/resource-page-category/waste-to-energy-process-and-benefits>>. Pagina vigente al 23/02/15
- Compendio de Vapor y Maquinas Térmicas. 2009. Molanes, C.
- Parlamento Europeo, 2000. “Directiva 2000/76/Control de Emisiones”. Disponible en: <http://www.sghn.org/Normativa_ambiental/Residuos/Directiva_2000_76_CE_In_cineracion_residuos.pdf>. Página vigente al 31/5/2015
- “The National Certification for Renewable Energy managers”. Thomas, F. *Material and energy balance*. Disponible en: <<http://www.em-ea.org/Guide%20Books/Book-1/1.4%20MATERIAL%20AND%20ENERGY%20BALANCE.pdf>>. Página vigente al 22/02/15.
- Consonni,S.; Vigano, F. *Material and energy recovery in integrated waste management systems: The potential of energy recovery*. Disponible en:<http://www.hia21.eu/dwnld/20131229_Material%20and%20energy%20recovery%20in%20integrated%20waste%20management%20systems.pdf>. Pagina vigente al 22/02/15.
- Waste Management World. “WTE A Sound Long Investment in Brazil” . disponible en: <<http://www.waste-management-world.com/articles/2013/02/waste-to-energy-a-sound-long-term-investment-in-brazil.html>>. Pagina vigente al 14/06/2015.
- Global Infrastructure Basel. “Puebla Waste to Energy Plant”. Disponible en: <<http://www.gib-foundation.org/projects/kopuebla-waste-to-energy-plant/>>. Pagina vigente al 14/06/2015.

- CEAMSE. “Solicitud de Disposición”. Disponible en:
<<http://www.ceamse.gov.ar/generadores-privados-solicitud-de-disposicion>>.
Página vigente al 20/12/2014.
- Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios. “Cálculo del Factor de Emisión de CO₂, de la Red Argentina de Energía Eléctrica”.
Disponible en:
<<http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=2311>>.
Página vigente al 01/06/2015.
- World Bank Technical Guidance Report. “Municipal Solid Waste Incineration”.
Disponible en:
<http://www.worldbank.org/urban/solid_wm/erm/CWG%20folder/Waste%20Incineration.pdf>. Página vigente al 01/05/2015.

ANEXOS

ANEXO A: MARCO REGULATORIO

LEY 1854 – CIUDAD AUTÓNOMA DE BUENOS AIRES

De Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos

Capítulo I: Objeto y ámbito de aplicación

Artículo 1º.- La presente ley tiene por objeto establecer el conjunto de pautas, principios, obligaciones y responsabilidades para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos que se generen en el ámbito territorial de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, en forma sanitaria y ambientalmente adecuadas, a fin de proteger el ambiente, seres vivos y bienes. En este sentido la Ciudad adopta como principio para la problemática de los residuos sólidos urbanos el concepto de "Basura Cero".

Artículo 2º.- Se entiende como concepto de "Basura Cero", en el marco de esta norma, el principio de reducción progresiva de la disposición final de los residuos sólidos urbanos, con plazos y metas concretas, por medio de la adopción de un conjunto de medidas orientadas a la reducción en la generación de residuos, la separación selectiva, la recuperación y el reciclado.

Artículo 3º.- La Ciudad garantiza la gestión integral de residuos sólidos urbanos entendiéndose por ello al conjunto de actividades interdependientes y complementarias entre sí, que conforman un proceso de acciones para la administración de un sistema que comprende, generación, disposición inicial selectiva, recolección diferenciada, transporte, tratamiento y transferencia, manejo y aprovechamiento, con el objeto de garantizar la reducción progresiva de la disposición final de residuos sólidos urbanos, a través del reciclado y la minimización de la generación.

Artículo 4º.- Las operaciones de gestión integral de residuos sólidos urbanos se deben realizar sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar procedimientos ni métodos que puedan perjudicar directa o indirectamente al ambiente y promoviendo la concientización en la población conforme a la Ley N° 1.687 (B.O.C.B.A. N° 2205 del 6/6/05) "Ley de Educación Ambiental".

Artículo 6º.- A los efectos del debido cumplimiento del art. 2º de la presente ley, la autoridad de aplicación fija un cronograma de reducción progresiva de la disposición final de residuos sólidos urbanos que conllevará a una disminución de la cantidad de desechos a ser depositados en rellenos sanitarios. Estas metas a cumplir serán de un 30 % para el 2010, de un 50% para el 2012 y un 75% para el 2017, tomando como base los niveles enviados al CEAMSE durante el año 2004. Se prohíbe para el año 2020 la disposición final de materiales tanto reciclables como aprovechables.

Artículo 7º.- Quedan prohibidos, desde la publicación de la presente, la combustión, en cualquiera de sus formas, de residuos sólidos urbanos con o sin recuperación de energía, en consonancia con lo establecido en el artículo 54 de la presente ley.

Asimismo queda prohibida la contratación de servicios de tratamiento de residuos sólidos urbanos de esta ciudad, que tengan por objeto la combustión, en otras jurisdicciones.

Capítulo II

Disposiciones generales

Artículo 8°.- El Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires con el objetivo de dar cumplimiento a los artículos 4° y 6° de la presente ley, a través de programas de educación permanentes, en concordancia con la Ley N° 1.687 y cualquier otra medida pertinente, promoverá:

1. La reducción de la generación de basura y la utilización de productos más duraderos o reutilizables.
2. La separación y el reciclaje de productos susceptibles de serlo.
3. La separación y el compostaje y/o biodigestión de residuos orgánicos.
4. La promoción de medidas tendientes al reemplazo gradual de envases descartables por retornables y la separación de los embalajes y envases para ser recolectados por separado a cuenta y cargo de las empresas que los utilizan.

Capítulo III

Objetivos:

Artículo 10.-

1. Son objetivos generales de la presente ley:
 - a. Garantizar los objetivos del artículo 4° de la Ley Nacional N° 25.916 (B.O. N° 30.497 del 7/9/04) "Gestión de Residuos Domiciliarios" y el artículo 3° de la Ley N° 992 (B.O.C.B.A. N° 1619 del 29/1/03) "Programa de Recuperadores Urbanos".
 - b. Dar prioridad a las actuaciones tendientes a prevenir y reducir la cantidad de residuos generados y su peligrosidad.
 - c. Fomentar el uso de materiales biodegradables.
 - d. Disminuir los riesgos para la salud pública y el ambiente mediante la utilización de metodologías y tecnologías de tratamiento y disposición final de los residuos sólidos urbanos que minimicen su generación y optimicen los procesos de tratamiento.
 - e. Desarrollar instrumentos de planificación, inspección y control con participación efectiva de los recuperadores urbanos, que favorezcan la seguridad, eficacia, eficiencia y efectividad de las actividades de gestión de los residuos.
 - f. Asegurar la información a los ciudadanos sobre la acción pública en materia de gestión de los residuos, promoviendo su participación en el desarrollo de las acciones previstas.
2. Son objetivos específicos de la presente ley.
 - a. Promover la reducción del volumen y la cantidad total de residuos sólidos urbanos que se producen, estableciendo metas progresivas.
 - b. Desarrollar una progresiva toma de conciencia por parte de la población, respecto de los problemas ambientales que los residuos sólidos generan y posibles soluciones, como así también el desarrollo de programas de

educación ambiental formal, no formal e informal concordante con la Ley N° 1.687 de Educación Ambiental.

- c. Promover un adecuado y racional manejo de los residuos sólidos urbanos, a fin de preservar los recursos ambientales.
- d. Promover el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos, siempre que no se utilice la combustión.
- e. Disminuir los efectos negativos que los residuos sólidos urbanos puedan producir al ambiente, mediante la incorporación de nuevos procesos y tecnologías limpias.
- f. Promover la articulación con emprendimientos similares en ejecución o a ejecutarse en otras jurisdicciones.
- g. Fomentar la participación de empresas pequeñas y medianas, sin perjuicio de lo establecido en el artículo 43 de la presente y el artículo 3° inciso b) de la Ley N° 992.
- h. Proteger y racionalizar el uso de los recursos naturales a largo y mediano plazo.
- i. Incentivar e intervenir para propender a la modificación de las actividades productivas y de consumo que generen residuos difíciles o costosos de tratar, reciclar y reutilizar.
- j. Fomentar el consumo responsable, concientizando a los usuarios sobre aquellos objetos o productos que, estando en el mercado, sus materiales constructivos, envoltorios o presentaciones generen residuos voluminosos, costosos y difíciles de disponer.
- k. Promover a la industria y al mercado de insumos o productos obtenidos del reciclado.
- l. Fomentar el uso de objetos o productos en cuya fabricación se utilice material reciclado o que permita la reutilización o reciclado posterior.
- m. Promover la participación de cooperativas y organizaciones no gubernamentales en la recolección y reciclado de los residuos.
- n. Implementar gradualmente un sistema mediante el cual los productores de elementos de difícil o imposible reciclaje se harán cargo del reciclaje o la disposición final de los mismos. Los objetivos de la presente ley serán monitoreados por una comisión integrada en el marco del Consejo Asesor Permanente establecido por la Ley N° 123 (B.O.C.B.A. N° 622 del 1°/2/99) "Ley de Impacto Ambiental" y la Ley N° 452 (B.O.C.B.A. N° 1025 del 12/9/00).

Será requisito esencial la presentación de una declaración jurada conteniendo los siguientes datos:

- a. Datos identificatorios del prestador y domicilio legal del mismo.
- b. Listado de todos los vehículos y contenedores a ser utilizados, así como los equipos a ser empleados.
- c. Tipo de residuos sólidos urbanos a transportar.
- d. Prueba de conocimiento para proveer respuesta adecuada en caso de emergencia que pudiere resultar de la operación de transporte.
- e. Póliza de seguros que cubra daños, según lo establezca la autoridad de aplicación.

Capítulo IX

Tratamiento y disposición final

Artículo 32.- Denomínense sitios de tratamiento y disposición final a los fines de la presente a aquellos lugares especialmente acondicionados y habilitados por la autoridad competente para el tratamiento y la disposición permanente de los residuos sólidos urbanos por métodos ambientalmente reconocidos y de acuerdo a normas certificadas por organismos competentes.

Artículo 35.- Denomínase relleno sanitario a la técnica para la disposición final del resultante de los residuos sólidos urbanos en el suelo, sin causar perjuicio al ambiente y sin ocasionar peligros para la salud y la seguridad pública, utilizando principios de ingeniería para confinar los residuos en la menor superficie posible reduciendo su volumen al mínimo practicable.

Artículo 36.- Prohíbese la descarga de basura a cielo abierto y la creación de micro basurales. Asimismo se prohíbe el vuelco en cauces de agua o el mal enterramiento de los mismos..

Capítulo XV

Convenios interjurisdiccionales

Artículo 51.- El Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires promoverá la firma de acuerdos con otras jurisdicciones a fin de propender al mejor cumplimiento de lo dispuesto por la presente y posibilitar la implementación de estrategias regionales para el procesamiento o disposición final.

Capítulo XVII

Artículo 54.- Para el supuesto de alcanzarse la meta del 75% citada en el artículo 6° de la presente, se evaluará incorporar como métodos de disposición final, otras tecnologías, incluida la combustión, siempre y cuando se garantice la protección de la salud de las personas y el ambiente.

LEY NACIONAL 26.190

Regimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica. Objeto. Alcance. Ambito de aplicación. Autoridad de aplicación. Políticas. Régimen de inversiones. Beneficiarios. Beneficios. Sanciones. Fondo Fiduciario de Energías Renovables.

REGIMEN DE FOMENTO NACIONAL PARA EL USO DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGIA DESTINADA A LA PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA

ARTICULO 1° — Objeto - Declárase de interés nacional la generación de energía eléctrica a partir del uso de fuentes de energía renovables con destino a la prestación de servicio público como así también la investigación para el desarrollo tecnológico y fabricación de equipos con esa finalidad.

ARTICULO 2º — Alcance - Se establece como objetivo del presente régimen lograr una contribución de las fuentes de energía renovables hasta alcanzar el OCHO POR CIENTO (8%) del consumo de energía eléctrica nacional, en el plazo de DIEZ (10) años a partir de la puesta en vigencia del presente régimen.

ARTICULO 3º — Ambito de aplicación - La presente ley promueve la realización de nuevas inversiones en emprendimientos de producción de energía eléctrica, a partir del uso de fuentes renovables de energía en todo el territorio nacional, entendiéndose por tales la construcción de las obras civiles, electromecánicas y de montaje, la fabricación y/o importación de componentes para su integración a equipos fabricados localmente y la explotación comercial.

ARTICULO 5º — Autoridad de Aplicación – La autoridad de aplicación de la presente ley será determinada por el Poder Ejecutivo nacional, conforme a las respectivas competencias dispuestas por la Ley 22.520 de Ministerios y sus normas reglamentarias y complementarias.

ARTICULO 7º — Régimen de Inversiones - Institúyese, por un período de DIEZ (10) años, un Régimen de Inversiones para la construcción de obras nuevas destinadas a la producción de energía eléctrica generada a partir de fuentes de energía renovables, que regirá con los alcances y limitaciones establecidas en la presente ley.

ARTICULO 8º — Beneficiarios - Serán beneficiarios del régimen instituido por el artículo 7º, las personas físicas y/o jurídicas que sean titulares de inversiones y concesionarios de obras nuevas de producción de energía eléctrica generada a partir de fuentes de energía renovables, aprobados por la autoridad de aplicación y comprendidas dentro del alcance fijado en el artículo 2º, con radicación en el territorio nacional, cuya producción esté destinada al Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) o la prestación de servicios públicos.

ARTICULO 9º — Beneficios - Los beneficiarios mencionados en el artículo 8º que se dediquen a la realización de emprendimientos de producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables de energía en los términos de la presente ley y que cumplan las condiciones establecidas en la misma, gozarán a partir de la aprobación del proyecto respectivo y durante la vigencia establecida en el artículo 7º, de los siguientes beneficios promocionales:

1.- En lo referente al Impuesto al Valor Agregado y al Impuesto a las Ganancias, será de aplicación el tratamiento dispensado por la Ley 25.924 y sus normas reglamentarias, a la adquisición de bienes de capital y/o la realización de obras que se correspondan con los objetivos del presente régimen.

2.- Los bienes afectados por las actividades promovidas por la presente ley, no integrarán la base de imposición del Impuesto a la Ganancia Mínima Presunta establecido por la Ley 25.063, o el que en el futuro lo complemente, modifique o sustituya, hasta el tercer ejercicio cerrado, inclusive, con posterioridad a la fecha de puesta en marcha del proyecto respectivo.

ARTICULO 10. — Sanciones - El incumplimiento del emprendimiento dará lugar a la caída de los beneficios acordados por la presente y al reclamo de los tributos dejados de abonar, más sus intereses y actualizaciones.

ARTICULO 12. — Se dará especial prioridad, en el marco del presente régimen, a todos aquellos emprendimientos que favorezcan, cualitativa y cuantitativamente, la creación de empleo y a los que se integren en su totalidad con bienes de capital de origen nacional. La autoridad de aplicación podrá autorizar la integración con bienes de capital de origen extranjero, cuando se acredite fehacientemente, que no existe oferta tecnológica competitiva a nivel local.

ARTICULO 13. — Complementariedad - El presente régimen es complementario del establecido por la Ley 25.019 y sus normas reglamentarias, siendo extensivos a todas las demás fuentes definidas en la presente ley los beneficios previstos en los artículos 4° y 5° de dicha ley, con las limitaciones indicadas en el artículo 5° de la Ley 25.019.

ARTICULO 14. — Fondo Fiduciario de Energías Renovables Sustitúyese el artículo 5° de la Ley 25.019, el que quedará redactado de la siguiente forma:

Artículo 5°: La Secretaría de Energía de la Nación en virtud de lo dispuesto en el artículo 70 de la Ley 24.065 incrementará el gravamen dentro de los márgenes fijados por el mismo hasta 0,3 \$/MWh, destinado a conformar el FONDO FIDUCIARIO DE ENERGIAS RENOVABLES, que será administrado y asignado por el Consejo Federal de la Energía Eléctrica y se destinará a:

I. Remunerar en hasta UNO COMA CINCO CENTAVOS POR KILOVATIO HORA (0,015 \$/kWh) efectivamente generados por sistemas eólicos instalados y a instalarse, que vuelquen su energía en los mercados mayoristas o estén destinados a la prestación de servicios públicos.

II. Remunerar en hasta CERO COMA NUEVE PESOS POR KILOVATIO HORA (0,9 \$/kWh) puesto a disposición del usuario con generadores fotovoltaicos solares instalados y a instalarse, que estén destinados a la prestación de servicios públicos.

III. Remunerar en hasta UNO COMA CINCO CENTAVOS POR KILOVATIO HORA (0,015 \$/kWh) efectivamente generados por sistemas de energía geotérmica, mareomotriz, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás, a instalarse que vuelquen su energía en los mercados mayoristas o estén destinados a la prestación de servicios públicos. Están exceptuadas de la presente remuneración, las consideradas en la Ley 26.093.

IV. Remunerar en hasta UNO COMA CINCO CENTAVOS POR KILOVATIO HORA (0,015 \$/kWh) efectivamente generados, por sistemas hidroeléctricos a instalarse de hasta TREINTA MEGAVATIOS (30 MW) de potencia, que vuelquen su energía en los mercados mayoristas o estén destinados a la prestación de servicios públicos.

El valor del Fondo como la remuneración establecida, se adecuarán por el Coeficiente de Adecuación Trimestral (CAT) referido a los períodos estacionales y contenido en la Ley 25.957.

Los equipos a instalarse gozarán de esta remuneración por un período de QUINCE (15) años, a contarse a partir de la solicitud de inicio del período de beneficio.

Los equipos instalados correspondientes a generadores ólicos y generadores fotovoltaicos solares, gozarán de esta remuneración por un período de QUINCE (15) años a partir de la efectiva fecha de instalación.

ARTICULO 15. — Invitación - Invítase a las provincias y a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires a adherir a la presente ley y a dictar, en sus respectivas jurisdicciones, su propia legislación destinada a promover la producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables.

ARTICULO 16. — Plazo para la reglamentación – El Poder Ejecutivo nacional, dentro de los NOVENTA (90) días de promulgada la presente ley, deberá proceder a dictar su reglamentación y elaborará y pondrá en marcha el programa de desarrollo de las energías renovables, dentro de los SESENTA (60) días siguientes.

ANEXO B: CALCULO DEL PODER CALORIFICO

Al existir varias posibilidades de reciclar, reutilizar y transformar los RSU, uno de los primeros pasos para identificar la tecnología de tratamiento más apropiada es determinar sus propiedades químicas. Estas son: o Análisis inmediato o Análisis mediano o elemental o Contenido de energía En el análisis inmediato se incluye: o Contenido de humedad en porcentaje en peso o Materia volátil o Carbón fijo o Fracción no combustible (cenizas)

Cuadro 2.7: Análisis inmediato típico y contenido energético en los RSU

Tipo de Residuo	Análisis inmediato				Contenido energético (MJ/Kg)		
	Humedad	Volátiles	Carbón Fijo	No combustible (cenizas)	Según se recoge, H_u	Seco, normal, H_w	Seco, sin agua ni cenizas. H_{waf}
Alimentos mezclados	70	21	3,6	5	4,2	13,9	16,7
Grasas	2	95	2,5	0,2	37,4	38,2	39,1
Fruta	79	16	4	0,7	4	18,6	19,2
Carne	39	56	1,8	3,1	17,6	28,9	30,4
Papel mezclado	10,2	76	8,4	5,4	15,7	17,6	18,7
Periódicos	6	81	11,5	1,4	18,5	19,7	20
Cartón	5,2	77	12,3	5,0	26,2	27,1	27,4
Plásticos mezclados	0,2	96	2	2	32,7	33,4	37,1
Polietileno	0,2	98	<0,1	1,2	43,4	43,4	43,9
Poliestireno	0,2	99	0,7	0,5	38	38,1	38,1
Poliuretano	0,2	87	8,3	4,4	26	26	27,1
PVC	0,2	87	10,8	2,1	22,5	22,5	22,7
Textiles	10	66	17,5	6,5	18,3	20,4	22,7
Restos de jardín	60	30	9,5	0,5	6	15,1	15,1
Maderas mezcladas	20	68	11,3	0,6	15,4	19,3	19,3
Vidrio	2			96-99	0,2	0,2	0,15
Metales	2,5			94-99	0,7	0,7	0,7
RSU domestico	15-40				11,6	14,5	
RSU comerciales	10-30	40-60	4-15	10-30	12,8	15,0	19,3
RSU	10-30				10,7	13,4	

La nomenclatura para el contenido de energía es la siguiente: H_u : potencia calorífica inferior, es decir, de los residuos según se recogen. H_w : potencia calorífica normal, es

decir, de los residuos sin agua (secos). H_{wf} : potencia calorífica superior, es decir, de los residuos sin cenizas ni agua. Análisis mediano o elemental de los RSU: los elementos más importantes en la transformación de energía de los residuos son:

- Carbono (C)
- Hidrógeno (H)
- Oxígeno (O)
- Nitrógeno (N)
- Azufre (S)
- Cenizas

Es importante conocer la composición química y el análisis final para los procesos de transformación de residuos a energía, ya sea por combustión o por transformación biológica. Por ejemplo, un residuo muy rico en plásticos es muy adecuado para la incineración pero totalmente impropio para la transformación biológica. El contenido de energía de los RSU se puede determinar por la ecuación de Dulong:

$$H_u = 337C + 1419 (H_2 - 0.125O_2) + 93S + 23N$$

Donde C, H, O₂, S y N son los porcentajes en peso de cada elemento. El contenido energético de los RSU puede ser calculado según la siguiente ecuación:

$$E = 0.051 (F + 3.6CP) + 0.352(PLR)$$

Donde E: contenido energético, MJ/Kg F: % de alimento en peso

CP: % de cartón y papel en peso

PLR: % de plástico y goma en peso