

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE QUÍMICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería  
Ambiental

**“Herramientas para la evaluación de Estudios de Impacto Ambiental de tratamientos  
térmicos de residuos sólidos”**

Daniela Jiménez Escudé

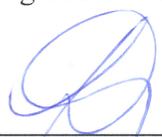
CARTAGO, abril, 2018

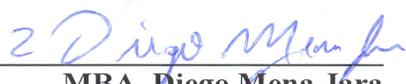
**TEC** | Tecnológico de Costa Rica  
Ingeniería Ambiental

**“Herramientas para la evaluación de Estudios de Impacto Ambiental de tratamientos térmicos de residuos sólidos”**

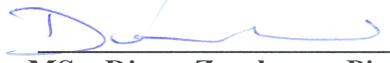
Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura

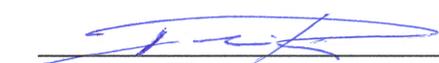
**Miembros del tribunal**

  
\_\_\_\_\_  
**Dra. Lilliana Abarca Guerrero**  
Directora

  
\_\_\_\_\_  
**MBA. Diego Mena Jara**  
Lector 1

  
\_\_\_\_\_  
**M. Sc. Oscar Umaña Fernández**  
Lector 2

  
\_\_\_\_\_  
**MSc. Diana Zambrano Piamba**  
Coordinadora COTRAFIG

  
\_\_\_\_\_  
**Dra. Floria Roa Gutiérrez**  
Directora Escuela de Química

  
\_\_\_\_\_  
**MSc. Ana Lorena Arias Zúñiga**  
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

## **AGRADECIMIENTOS**

A Lilliana por su disposición de ayuda siempre, por su entrega y entusiasmo al trabajar conmigo y por creer en mi capacidad para elaborar mi proyecto.

A mi papá por interesarse en los proyectos ambientales que realizaba en casa.

A mi mamá por el apoyo emocional que me ha brindado siempre.

A Enrique por el apoyo, tiempo, esfuerzo y estabilidad que me ha dado durante el proceso para finalizar la tesis.

A Andrea, por el ánimo que muchas veces me brindó para terminar esta etapa de mi vida.

A los y las profesionales entrevistados y entrevistadas, por compartir un poco de su tiempo y conocimiento conmigo.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
1.1 Objetivo general.....	9
1.2 Objetivos específicos .....	9
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>10</b>
2.1 Definición de tratamientos térmicos .....	10
2.1.1 <i>Ventajas y desventajas</i> .....	11
2.2 Antecedentes de los tratamientos térmicos .....	12
2.3 Situación actual de los tratamientos térmicos en el mundo .....	13
2.4 Requisitos para implementar proyectos de coincineración en costa rica.....	15
2.4.1 <i>Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA)</i> .....	15
2.4.2 <i>Estudio de Impacto Ambiental (EsIA)</i> .....	15
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
3.1 Entrevistas a expertos .....	17
3.2 Revisión de la literatura .....	17
3.3 Investigación científica .....	18
3.4 Desarrollo de la guía .....	18
3.5 Desarrollo de la Lista de chequeo .....	18
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>19</b>
4.1 Problemática de los residuos sólidos en costa rica .....	19
4.2 Tratamientos térmicos.....	21
4.2.1 <i>Incineración</i> .....	21
4.2.2 <i>Gasificación</i> .....	23
4.2.3 <i>Pirólisis</i> .....	24
4.2.4 <i>Impactos ambientales</i> .....	27
4.3 Análisis de la Legislación costarricense .....	28
4.3.1 <i>¿Hay un fortalecimiento o contradicción con la Ley 8839?</i> .....	28
4.3.2 <i>Comparación con la legislación nacional</i> .....	29
4.3.3 <i>Comparación con la legislación internacional</i> .....	30
4.4 Proyectos de tratamientos térmicos en el país .....	32
4.5 Herramienta para la Evaluación de los Impactos Ambientales de Proyectos de Tratamientos Térmicos para Residuos Sólidos.....	35
4.5.1 <i>Herramienta para la evaluación de EsIAs</i> .....	35
4.5.2 <i>Lista de chequeo para la evaluación de EsIAs</i> .....	35
4.6 Comparación del impacto ambiental de rellenos sanitarios y tratamientos térmicos mediante el Análisis de ciclo de vida (ACV).....	36
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>39</b>

5.1 Conclusiones .....	39
5.2 Recomendaciones .....	40
<b>6. REFERENCIAS .....</b>	<b>41</b>
<b>APÉNDICES .....</b>	<b>46</b>
<b>Apéndice 1: Herramienta para la Evaluación de los Impactos Ambientales de Proyectos de Tratamientos Térmicos para Residuos Sólidos .....</b>	<b>47</b>
<b>Apéndice 2: Lista de chequeo.....</b>	<b>117</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>123</b>
<b>Anexo 1: ENTREVISTA .....</b>	<b>124</b>

## **LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 4.1. Porcentaje de métodos de disposición de residuos sólidos en Costa Rica..</b>	<b>20</b>
<b>Figura 4.2.Diagrama del proceso de incineración.....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 4.3. Diagrama del proceso de gasificación.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 4.4.Diagrama del proceso de pirólisis .....</b>	<b>25</b>

## **LISTA DE CUADROS**

<b>Cuadro 4.2. Resumen de los posibles impactos ambientales de los proyectos de tratamientos térmicos. ....</b>	<b>27</b>
<b>Cuadro 4.3. Comparación de los límites máximos de emisión entre el reglamento de coincineración, el de hornos cementerios y el de hornos crematorios. ....</b>	<b>30</b>
<b>Cuadro 4.4. Comparación de los límites máximos de emisión entre Costa Rica, Estados Unidos, la Unión Europea y México. ....</b>	<b>31</b>
<b>Cuadro 4.5. Proyectos de tratamientos térmicos propuestos en Costa Rica. ....</b>	<b>33</b>

## LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ACV	Análisis de Ciclo de Vida
ARESEP	Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos
BA	Cenizas de Fondo (del inglés <i>Bottom Ashes</i> )
CDR	Combustible Derivado de Residuos
EIA	Evaluación de Impacto Ambiental
EsIA	Estudio de Impacto Ambiental
FA	Cenizas Volantes (del inglés <i>Fly Ashes</i> )
GEI	Gases de Efecto Invernadero
RSM	Residuos Sólidos Municipales
SETENA	Secretaría Técnica Nacional Ambiental

## RESUMEN

La gestión de los residuos en Costa Rica se ha trabajado intensamente en los últimos años; no obstante, la baja cantidad de residuos que están siendo separados y valorizados y la falta de sitios para su disposición final, ocasionó que el gobierno buscara soluciones para esta problemática y permitiera los tratamientos térmicos para tratar los residuos sólidos en el 2015 mediante el Decreto N°39136-S-MINAE (Steinvorth, 2014).

Dicha legislación define como “coincineración” a los tratamientos térmicos de residuos con recuperación del calor producido por la combustión, incluida la incineración por oxidación de residuos, así como la pirolisis, la gasificación u otros procesos de tratamientos térmicos. A su vez, el decreto estableció que, para aceptar dichos proyectos, la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA) debía elaborar guías y procedimientos para la revisión de los Estudios de Impacto Ambiental (EsIA) de los mismos (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).

Debido a la limitación de conocimiento esta investigación contribuye con los documentos necesarios para la revisión de los EsIA. Se investigó sobre los procesos, condiciones ideales y productos finales de los tratamientos térmicos; a su vez, se analizó la legislación correspondiente y los proyectos que se han planteado en el país y finalmente, se analizó cuál opción de tratamiento de los residuos genera menor impacto en el ambiente.

Se generaron dos herramientas: la guía para analizar los impactos ambientales generados por proyectos de incineración, gasificación y pirólisis de los residuos sólidos municipales y una lista de chequeo que facilite el proceso de revisión. La guía contiene la descripción de los posibles impactos ambientales que se pueden generar por la construcción y operación de estos proyectos, las medidas obligatorias por la legislación costarricense y medidas recomendadas para cada etapa del proyecto. De esta manera, se espera que la SETENA posea la capacidad de decidir si un proyecto de tratamientos térmicos obtendrá o no la viabilidad ambiental según lo escrito en el EsIA.

**Palabras clave:** Incineración, gasificación, pirolisis, impactos ambientales, EsIA.

## **ABSTRACT**

Waste management in Costa Rica has been extensively worked in recent years; however, the high amount of waste that is not being separated and recycled has lead the government to find solutions and allow thermal treatments in 2015 through Decree No. 39136- S-MINAE (Steinvorth, 2014).

The current legislation defines "co-incineration" as the thermal treatments of waste with heat recovery produced by combustion, including the incineration by oxidation, as well as pyrolysis, gasification or other processes of thermal treatments. At the same time, the decree establishes that, in order to accept such projects, the SETENA (Secretaría Técnica Nacional Ambiental) should prepare guidelines and procedures for reviewing the Environmental Impact Studies (EIS) of said projects (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).

Due to the limited knowledge that SETENA has about thermal treatments, the Tecnológico de Costa Rica (TEC) was tasked to elaborate the necessary documents for the revision of the EIS, through this Graduation Project. Therefore, this project is aimed to investigate the processes, the ideal conditions and the final products of incineration, gasification and pyrolysis. It will also show the respective legislation and different projects that have been tried to be established in the country and finally, analyze which thermal treatment generates less impact on the environment.

At the end of the project, two tools were generated: First, the guide to analyze the environmental impacts generated by incineration, gasification and pyrolysis projects for municipal solid waste and a checklist to facilitate the reviewing process. The guide contains the description of the possible environmental impacts that can be generated by the construction and operation of these projects, the mandatory measures by the Costa Rican legislation and recommended measures for each stage of the project. In this way, SETENA is expected to have the capacity to decide whether or not a thermal treatment project will obtain environmental viability.

**Key words:** Incineration, gasification, pyrolysis, environmental impact, EIS.

# 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales desafíos para los países desarrollados y en desarrollo es la recolección, el tratamiento, la disposición final, el reúso y reciclaje de grandes cantidades de residuos, producidos por el aumento de la población y la urbanización. Esto genera la búsqueda de soluciones y tecnologías para el tratamiento de los residuos y una demanda de nuevos sitios para su disposición final (Barradas, 2009; Cherubini, Bargigli, & Ulgiati, 2009; Greenpeace, 2011; Steinvorth, 2014).

La gestión integral de residuos en Costa Rica es un tema en el cual se ha venido trabajando intensamente en los últimos años debido a que no solamente generamos una mayor cantidad de residuos, sino que también se está agotando la vida útil de la mayoría de los rellenos sanitarios y sitios de disposición final del país. La Ley de Gestión Integral de Residuos creó un marco de acción para valorizar los residuos; no obstante, la falta de conocimiento técnico, la inadecuada gestión ambiental, intereses económicos parcializados, falta de infraestructura o una limitada educación ambiental, entre otras posibles razones, hacen que la solución a este problema se siga viendo como una meta inalcanzable (Steinvorth, 2014; Ambientico, 2017).

En los últimos años, la incineración, la gasificación y la pirólisis de residuos sólidos ordinarios ha despertado un interés de varias municipalidades, empresas, e instituciones. Sin embargo, durante varios años la actividad estuvo restringida por falta de legislación y una moratoria establecida mediante Decreto Ejecutivo 38500-S-MINAE. Posteriormente, en el 2015 el Decreto Ejecutivo No. 39136- S-MINAE terminó con dicha moratoria y estableció la posibilidad de “coincinerar” o tratar mediante cualquier tratamiento térmico los residuos sólidos municipales siempre y cuando se genere energía y se cumpla con la legislación ambiental y sanitaria vigente. A su vez, obliga a la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA) en su transitorio tercero a que en un plazo de nueve meses después de ser publicada oficialmente, elabore las guías y procedimientos correspondientes para la revisión de los Estudios de Impacto Ambiental (EsIA). El problema consiste en que SETENA no posee, en este momento, las herramientas para analizar esos EsIA, y cuenta con poco personal especializado para elaborarlas (Greenpeace, 2011; SETENA, 2016; Ambientico, 2017).

Esta investigación ha tenido el objetivo de obtener dos herramientas. La primera le permite a la SETENA analizar los impactos ambientales generados por proyectos de incineración, gasificación y pirólisis de los residuos sólidos municipales, la cual incluye además las medidas obligatorias y recomendadas que se deben tomar en cuenta para revisar los Estudios de Impacto Ambiental. La segunda es una lista de chequeo que facilita el proceso de revisión del apartado de los impactos ambientales de los EsIA para los proyectos mencionados.

# OBJETIVOS

## 1.1 OBJETIVO GENERAL

Crear dos herramientas que permitan la revisión crítica de los impactos ambientales y las medidas propuestas en los Estudios de Impacto Ambiental de proyectos de tratamiento de residuos sólidos mediante la gasificación, incineración y pirólisis.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los tratamientos de residuos sólidos mediante la gasificación, incineración y pirólisis.
- Analizar la legislación nacional e internacional sobre los tratamientos térmicos de los residuos sólidos.
- Mostrar las propuestas de proyectos de tratamientos térmicos que se han planteado en el país.
- Elaborar una guía para analizar el impacto ambiental de la construcción y operación de plantas de tratamientos térmicos.
- Comparar de manera teórica el impacto que generan los rellenos sanitarios y tratamientos térmicos.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

La problemática alrededor de la búsqueda de tratamientos adecuados, aprovechamiento y una correcta disposición final de los residuos es un gran reto para todos los países (Abarca-Guerrero, 2013). Los tratamientos térmicos han brindado una variedad de posibilidades de tecnologías y procesos que han llamado la atención de muchos gobiernos en el mundo. Varias municipalidades e instituciones de Costa Rica también se vieron interesadas en implementar este tipo de tratamientos, por lo tanto, el gobierno comenzó a gestionar procesos para hacerlo posible (Vargas, 2017).

En esta sección del trabajo, se definen los tratamientos térmicos, se describen las ventajas y desventajas de éstos y se identifican los impactos ambientales que generan. Posteriormente, se describe el estado del arte de los tratamientos térmicos y se finaliza con la explicación del ente y la metodología para implementar esta clase de proyectos en Costa Rica.

### 2.1 DEFINICIÓN DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS

En el manejo integral de los residuos sólidos municipales existen diversos tipos de tratamientos. Algunos de ellos tienen el potencial para generar energía a partir de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los residuos sólidos. Estas tecnologías se dividen en: tratamientos físicos-químicos, biológicos y termo-químicos. Este trabajo se enfoca en el análisis de los tratamientos termo-químicos o térmicos (Huizar, 2011).

Barradas (2009) indica que los tratamientos térmicos son aquellos que convierten los residuos sólidos en gases, líquidos y otros sólidos con la simultánea emisión de energía en forma de calor. Por otro lado, el Consulado de Investigación y Tecnología de Residuos a Energía (Waste-to-Energy Research and Technology Council) (2009) define los tratamientos térmicos como la solución al tratamiento de los residuos que no se pueden reutilizar ni reciclar de manera amigable con el ambiente y la economía. Este tipo de tratamiento reduce el volumen, la masa y los componentes peligrosos de los residuos, mientras que al mismo tiempo poseen la capacidad de generar energía térmica y eléctrica.

En Costa Rica, el Decreto Ejecutivo N° 39136-S-MINAE (2015) llama coíncineración a los tratamientos térmicos de residuos con recuperación del calor producido por la combustión, incluida la incineración por oxidación de residuos, así como la pirólisis, la gasificación u otros procesos de tratamientos térmicos.

Numerosos autores consideran que los tratamientos térmicos son una parte inseparable de cada sistema integrado de manejo de residuos sólidos (Arena, 2012; Lombardi, Carnevale, & Corti, 2015). Estos han demostrado en la mayoría de los casos una operación exitosa debido a que logran mayores tasas de conversión que otros tipos de tratamientos, por lo que permiten el tratamiento eficiente de diversos tipos de residuos; especialmente los que no se pueden separar o reciclar (Arena, 2012).

El tipo de tratamiento térmico más utilizado es la incineración asociada con la recuperación de energía. Otros tipos comunes son la gasificación, la pirólisis y la gasificación con plasma; los últimos dos han sido menos estudiados, pero han presentado similares o menores niveles

de eficiencia en la producción energética. Los distintos tratamientos térmicos son analizados con más detalle en el apartado de tratamientos térmicos de la discusión, mientras que sus ventajas y desventajas se presentan a continuación (Lombardi, Carnevale, & Corti, 2015).

### 2.1.1 Ventajas y desventajas

Arena (2011) y Lombardi *et al.* (2015) resaltan que las principales ventajas de este tipo de tratamientos son:

- Gran reducción de la masa y el volumen.
- Drástico ahorro de tierra destinada para rellenos sanitarios. Se ha estimado que una tonelada de residuos sólidos municipales (RSM) ocupa 30 veces más el espacio necesario para los residuos provenientes de una planta térmica.
- Se destruyen contaminantes orgánicos, tales como los hidrocarburos halogenados.
- Se obtiene la concentración e inmovilización de los contaminantes inorgánicos, los cuales pueden ser aprovechados o correctamente dispuestos.
- Menor emisión de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente que otros tratamientos anaerobios.
- Aprovechamiento de los metales ferrosos y no ferrosos a partir de las cenizas.
- En los tratamientos térmicos, los residuos son una fuente renovable de energía; por lo tanto, dejan de ser vistos como un problema para considerarse un combustible.

Las principales desventajas que presentan este tipo de tratamientos son (Sáurez, 2011):

- No elimina totalmente los residuos, por lo que se necesita un sitio de disposición final para depositar los residuos generados del tratamiento.
- Emiten contaminantes atmosféricos y partículas que deben ser tratadas.
- En algunos casos, necesitan un aporte de energía y de combustible auxiliar para el funcionamiento o mejoramiento del proceso de combustión.
- Su eficiencia depende del poder calórico de los residuos sólidos por tratar.
- Posee una alta inversión inicial, y también, los costos de operación y mantenimiento son muy altos.
- Limitada aceptación pública.
- Necesita mano de obra especializada para un buen funcionamiento.

## 2.2 ANTECEDENTES DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Para entender cómo los tratamientos térmicos llegaron a posicionarse en la actualidad, es necesario saber cómo surgieron y cuál ha sido el proceso que han llevado hasta llegar a las tecnologías que se conocen hoy en día.

La incineración de los desechos sólidos urbanos es una práctica muy antigua; el primer incinerador diseñado para el tratamiento de los residuos sólidos de recolección municipal fue construido en Inglaterra por Alfred Fryer en 1874. Doce años después se construyó la primera planta industrial en Hamburgo, Alemania, la cual mejoró el diseño del inglés. Posteriormente, en 1885, Estados Unidos desarrolló el primer horno incinerador; mientras que en Canadá apareció hasta 1906 (SEDESOL, 2001; United States Environmental Protection Agency, s.f.).

Con el inicio del siglo XX, este proceso fue cada vez más utilizado para el tratamiento de los desechos sólidos urbanos, principalmente los residuos peligrosos. Al final de los años veinte, Inglaterra disponía de más de 200 plantas incineradoras, en otros países de Europa había otras 100 y en los Estados Unidos de América operaban alrededor de 200 plantas más (SEDESOL, 2001).

Con respecto a la gasificación, el proceso fue descubierto en 1699 por Dean Clayton; cien años después, en el siglo XIX, se comenzó a gasificar carbón en fábricas para utilizarlo con fines de iluminación, por lo que se llamó "el gas de la ciudad". Posteriormente, en 1812 se estableció la primera planta gasificadora en Londres, y durante la Segunda Guerra Mundial los gasificadores fueron mejorados en Alemania para la producción de combustible. En los años setenta y ochenta, la crisis de los precios del petróleo fomentó el desarrollo de las tecnologías de gasificación del carbón como combustible para sustituir los productos derivados del petróleo. Actualmente, la gasificación se utiliza para la conversión de carbón en gas de síntesis para uso como materia prima química o producción de energía. No obstante, la gasificación de la biomasa y los desechos están adquiriendo un interés significativo como tecnologías emergentes para la energía sostenible (Astrup & Bilitewski, 2010; Fabry, Rehm, Rohani, & Fulcheri, 2013).

En los años 2000, la gasificación se utilizó principalmente en Japón, mientras que en Europa y Norteamérica el éxito ha sido limitado. Sin embargo, se prevé que la pirólisis y la gasificación de los residuos se utilizarán ampliamente en el futuro (Astrup & Bilitewski, 2010).

En relación con la pirólisis, un estudio realizado por Kaiser y Friedman en la Universidad de Nueva York en 1967, utilizaron muestras homogéneas de residuos orgánicos. El propósito fue determinar si los gases producidos podían ser utilizados como una fuente de combustible para generar vapor y demostrar si el sistema era capaz de mantenerse a sí mismo sin la adición de otro combustible. Los resultados fueron positivos, por consiguiente, Kaiser y Friedman sugirieron que el carbón producido por la pirólisis podía ser gasificado a través de la adición de oxígeno para convertirse en combustible; por lo tanto, esto haría el sistema autosuficiente energéticamente (SEDESOL, 2001).

## 2.3 SITUACIÓN ACTUAL DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN EL MUNDO

Los desechos sólidos municipales se han vuelto uno de los mayores problemas ambientales ya que la producción de desechos aumenta continuamente. A pesar de este incremento, la cantidad de rellenos sanitarios ha disminuido por consecuencia de la cantidad de residuos incinerados, reciclados y composteados. En la Unión Europea, el porcentaje de incineración pasó de un 15% en 1995 a un 24% en el 2012. Este aumento se ha dado ya que las municipalidades tienen como objetivo la reducción de la masa de los residuos que permita la recuperación de la energía (Margallo, Massoli, Hernandez-Pellon, Adalco, & Irabien, 2015).

Lombardi et al. (2015) realizaron una revisión a nivel internacional sobre la situación de las plantas que utilizan los residuos para producir energía, en donde se reportaron más de 650 plantas que procesan alrededor de 180 000 000 toneladas de residuos sólidos municipales en la Unión Europea, Estados Unidos, Japón, Canadá, China y otros 30 países.

En la Unión Europea, existe una directiva (Directive 2008/98/EC) que define el criterio para determinar si la planta va a operar para recuperar energía o solamente para disponer los residuos. Adicionalmente, Holanda, Austria y Suiza utilizan otros criterios para evaluar la eficiencia energética con el propósito de definir subsidios. La CEWEP (Confederation of European Waste-to-Energy Plants) publicó en un Reporte de Energía que de las 314 plantas que operan (85,5% del total en Europa) 83 solamente producen electricidad, 47 generan solamente calor y 184 produce ambas (Reimann, 2012; Lombardi, Carnevale, & Corti, 2015).

En Francia, Beylot y Villeneuve (2013) analizaron 110 incineradores, para los cuales, reportaron que el 37% de las plantas generan electricidad con un 14% de eficiencia en promedio; el 21% de las plantas generan calor con una eficiencia del 43% y el 26% de las plantas generan ambos con una eficiencia del 33%.

El Reino Unido posee 25 plantas térmicas operando que recuperan energía, la tecnología más utilizada es la incineración de parrilla móvil (23 plantas) y el consumo anual de residuos varía entre 56000 y 500000 toneladas con una eficiencia energética promedio entre 21 y 24% para la generación de energía (Nixon, Wright, Dey, Ghosh, & Davies, 2013).

En China, se observó un aumento en la generación de residuos entre un 8 y 10% en el 2010. La tecnología más utilizada es la incineración con horno de rejillas, con la cual se genera como promedio una eficiencia del 17% en la conversión a energía. Además, los residuos producidos en este país poseen un menor poder calorífico que los reportados para Europa y Norteamérica, ocasionando inestabilidad de la llama y dificultades para conseguir la combustión completa en los incineradores. A su vez, aumenta la formación de contaminantes y crea la necesidad de utilizar combustible suplementario y por consiguiente se aumentaron los costos y los impactos al ambiente (Yang, Zhang, Chen, Shao, & He, 2012; Lombardi, Carnevale, & Corti, 2015).

En Japón, alrededor de 40 millones ton/año de residuos sólidos municipales son tratados mediante procesos térmicos (80% del total), siendo el país que realiza el mayor uso de esta tecnología debido a la falta de espacio para disponer sus residuos. De la totalidad de sus plantas, solamente el 24,5% aplican la recuperación de la energía, las cuales tienen una baja

eficiencia; por lo tanto, se genera poco calor. Este país posee estrictas regulaciones sobre el manejo de los residuos, y uno de los requisitos que existen es que los residuos se deben fundir antes de ser dispuestos en el relleno sanitario (Lombardi, Carnevale, & Corti, 2015).

En Estados Unidos, existen plantas de tratamientos térmicos que recuperan energía en 25 estados, las cuales se alimentan con 26,3 millones de toneladas de residuos sólidos municipales por año (7,4% del total). El aprovechamiento energético de los residuos es muy importante en este país ya que el DOE (Department of Energy) considera los residuos como un recurso inagotable y, por lo tanto, la energía producida a partir de los mismos es renovable. Esta consideración le suma al país un 8% de sus energías renovables y le ayuda a disminuir su dependencia de los combustibles fósiles para generar electricidad (Lombardi, Carnevale, & Corti, 2015).

## 2.4 REQUISITOS PARA IMPLEMENTAR PROYECTOS DE COINCINERACIÓN EN COSTA RICA

Para lograr implementar proyectos de coincineración o tratamientos térmicos, se debe cumplir con el Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, este especifica en su artículo 7° que toda instalación de coincineración requiere de un Estudio de Impacto Ambiental completado y aprobado por la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA) de previo al inicio de actividades del proyecto, obra o actividad. Y que, para esto, el desarrollador deberá presentar ante la SETENA, la documentación y requisitos indicados en el Decreto Ejecutivo N° 31849-MINAE-S-MOPT-MAG-MEIC (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).

El objetivo del presente documento consiste en elaborar una herramienta que ayude a SETENA en la revisión de Estudios de Impacto Ambiental. Inicialmente, se explica qué es SETENA, su origen, objetivos, en qué consiste la Evaluación de Impacto Ambiental y el Estudio de Impacto Ambiental.

### 2.4.1 Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA)

SETENA es la institución responsable de realizar la administración del proceso de evaluación de impacto ambiental y fiscalizar que los proyectos o actividades que se desarrollan en el país cumplan con la normativa ambiental vigente y las mejores prácticas ambientales (SETENA, s.f.). Fue creada en la Ley Orgánica del Ambiente N° 7554, publicada el 13 de noviembre de 1995 como un órgano de desconcentración máxima del Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE), cuyo propósito fundamental es armonizar el impacto ambiental con los procesos productivos. Entonces, su finalidad primordial es procurar que los proyectos de obras civiles se construyan y operen en armonía con la naturaleza, o al menos, le causen el menor daño posible, consiguiendo con esto la satisfacción de las necesidades humanas y la preservación de la naturaleza misma (SETENA, s.f.; Porras, 2012).

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) que realiza la SETENA consiste en un procedimiento administrativo científico-técnico que permite identificar y predecir cuáles efectos ejercerá sobre el ambiente, una actividad, obra o proyecto, cuantificándolos y ponderándolos para conducir a la toma de decisiones. De forma general, la Evaluación de Impacto Ambiental, abarca tres fases: a) la Evaluación Ambiental Inicial, b) la confección del Estudio de Impacto Ambiental o de otros instrumentos de evaluación ambiental que corresponda, y c) el Control y Seguimiento ambiental de la actividad, obra o proyecto a través de los compromisos ambientales establecidos (Decreto Ejecutivo N° 31849, 2004).

### 2.4.2 Estudio de Impacto Ambiental (EsIA)

El Decreto Ejecutivo N° 31849 (2004) define al Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) como un documento de naturaleza u orden técnico y de carácter interdisciplinario, que constituye un instrumento de evaluación ambiental, que debe presentar el desarrollador de una actividad, obra o proyecto, de previo a su realización. Está destinado a predecir, identificar, valorar, y corregir los impactos ambientales que determinadas acciones puedan causar sobre el

ambiente y a definir la viabilidad (licencia) ambiental del proyecto, obra o actividad objeto del estudio.

SETENA cuenta con una Guía Ambiental la cual es un documento orientador básico, ordenado, que presenta el resumen del contenido de un Estudio de Impacto Ambiental de una actividad, obra o proyecto, que incluye como mínimo una descripción y sus alternativas, su marco jurídico y de caracterización, así como la caracterización ambiental del espacio geográfico de localización, el pronóstico de los impactos ambientales, su valoración y las medidas correctivas a aplicar (Decreto Ejecutivo N° 31849, 2004). En el caso de los EsIA para los tratamientos térmicos, SETENA emitió el 4 de octubre del 2016 la Guía para la Elaboración de Estudio de Impacto Ambiental para Instalaciones de Coincineración de Residuos Sólidos Ordinarios mediante la Resolución N° 1843-2016-SETENA.

A su vez, SETENA indica que las obras o proyectos para los cuales existe una ley específica que ordena la elaboración y aprobación de un Estudio de Impacto Ambiental (como en el caso de la coincineración), podrán cumplir alternativamente cualquiera de los siguientes dos procedimientos (Decreto Ejecutivo N° 31849, 2004):

1. Cumplimiento del trámite de Evaluación Ambiental Inicial, presentando a la SETENA el Documento de Evaluación Ambiental (D1) con el fin de obtener la viabilidad ambiental potencial y los términos de referencia para la elaboración del EsIA.
2. Presentación a la SETENA, de forma directa, bajo su responsabilidad, de un Estudio de Impacto Ambiental, elaborado en concordancia con las guías ambientales que la SETENA pondrá a su disposición en el Manual de EIA y de conformidad con lo establecido en el Capítulo III del reglamento. En este caso, la actividad, obra o proyecto no gozará de una viabilidad ambiental potencial, hasta tanto la SETENA así lo indique en la resolución administrativa sobre el EsIA.

Se debe tomar en cuenta que los EsIA deben permitir la realización de ajustes al diseño con el fin de lograr su mejor y más efectiva inserción en el ambiente, dentro de un marco de equilibrio ecológico. Todos estos ajustes deberán ser registrados y resumidos en el EsIA en el apartado del análisis de las alternativas de selección de sitio y diseño (Decreto Ejecutivo N° 31849, 2004)

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología para la recolección de datos se basó en tres fuentes de información: las entrevistas a expertos, la revisión de literatura y la investigación científica.

#### 3.1 ENTREVISTAS A EXPERTOS

Se realizaron 9 entrevistas semiestructuradas (Anexo 1) a profesionales universitarios, SETENA, Ministerio de Salud, laboratorios de análisis químicos y empresas privadas con conocimiento del tema. El objetivo fue identificar el nivel de experiencia de los consultados, el conocimiento del Decreto Ejecutivo sobre condiciones de operación y control de las emisiones de instalaciones para coincineración de residuos sólidos ordinarios, los posibles impactos ambientales de los tratamientos térmicos y medidas de mitigación, entre otros. Además, en el caso del Ministerio de Salud las preguntas fueron orientadas a aspectos técnicos y de fiscalización de las normas.

#### 3.2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

La revisión bibliográfica se basó en documentación proveniente de legislación nacional e internacional, artículos científicos, libros, artículos de periódicos en línea, revistas nacionales e internacionales, reportes de empresas públicas y privadas, páginas oficiales de instituciones públicas y páginas de internet.

Se buscó en el Sistema Costarricense de Información Jurídica la legislación relacionada con el tema de residuos sólidos, coincineración o tratamientos térmicos, hornos cementeros, hornos crematorios, estudios de impacto ambiental y cada uno de los posibles impactos ambientales que podían tener los proyectos de tratamientos térmicos durante su construcción y operación. Además, se buscó en la legislación relacionada con los tratamientos térmicos de Estados Unidos, la Unión Europea y México para su comparación con la nacional.

También, se investigó en artículos científicos y libros sobre las tecnologías existentes de tratamientos térmicos, con énfasis en la incineración, la gasificación y la pirólisis. Para esto, se buscó en numerosas bases de datos, revistas y libros que tuvieran información actualizada sobre las características de cada uno, su proceso, ventajas, desventajas, características, temperaturas y productos que generan.

Posteriormente, se examinó información sobre la situación actual de Costa Rica en revistas nacionales, artículos de periódicos en línea y documentos emitidos por instituciones nacionales. Se indagó en cuáles ciudades se han intentado instalar proyectos, la tecnología escogida, los eventos más importantes, los expedientes en SETENA y los estudios de impacto ambiental en algunos casos.

### 3.3 INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Se trabajó en un proyecto de investigación con la tecnología de pirólisis lenta durante tres meses en la Universidad Federal de Lavras en Lavras de Minas Gerais, Brasil. El trabajo realizado ayudó a entender de manera práctica el proceso de la pirólisis, sus características, las características y el posible aprovechamiento de los subproductos de la tecnología y los impactos ambientales que podrían generar a gran escala.

### 3.4 DESARROLLO DE LA GUÍA

Para la elaboración de la guía, se siguieron cuatro pasos claves:

1. Se identificaron los impactos de la construcción y de la operación de los tratamientos térmicos con ayuda de la literatura y las entrevistas.
2. Se investigaron las maneras en las cuales la tecnología podía generar dichos impactos, sus efectos en el ambiente y en la salud de los seres humanos.
3. Se determinaron las normas nacionales que aplicaban a la construcción de mega proyectos, a la operación de los proyectos de co-incineración y la relacionada con la prevención de impactos ambientales que se identificaron en el paso anterior.
4. Se indagó sobre tecnologías y buenas prácticas para prevenir, mitigar y remediar los impactos que se podían generar en el proyecto a partir de otros Estudios de Impacto Ambiental, libros y guías y reportes de la Unión Europea así recomendar buenas prácticas de operación, entre otros.

### 3.5 DESARROLLO DE LA LISTA DE CHEQUEO

La lista de chequeo se realizó en Excel a partir de las medidas obligatorias identificadas y algunas recomendadas que se consideraron indispensables para la construcción y operación responsable con el ambiente.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este apartado inicia comentando la problemática de los residuos sólidos municipales en el país. Se describen de manera detallada los procesos que se llevan a cabo durante cada uno de los tratamientos térmicos de estudio y sus impactos ambientales. Se presenta posteriormente la historia del país con respecto a la co-incineración y los proyectos que se han intentado realizar en Costa Rica. Se analiza la legislación de la co-incineración contra la de los hornos cementeros, los hornos crematorios y la legislación estadounidense, europea y mexicana sobre los tratamientos térmicos. Y finalmente, se compara de manera teórica el desempeño ambiental de los rellenos sanitarios contra los tratamientos térmicos mediante Análisis de Ciclo de Vida (ACV) que se han realizado en el extranjero.

### 4.1 PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN COSTA RICA

El manejo de los residuos sólidos en Costa Rica en los últimos veinte años se ha convertido en un serio problema ambiental, que amenaza con volverse incontrolable y cuyos planteamientos de solución han carecido de una correcta conformación de instrumentos técnicos y de acertadas políticas públicas (Bermúdez, 2017).

Durante el año pasado, las consecuencias del inadecuado manejo de residuos sólidos y líquidos, que terminan en los cuerpos de agua y en las vías públicas detonó graves inundaciones urbanas en la capital. La Municipalidad de San José extrae de las alcantarillas entre 3000 y 4000 kilogramos diarios de residuos; y en el 2015 recolectó cerca de 1102 toneladas métricas de residuos sólidos del sistema pluvial (Programa Estado de la Nación, 2018).

En Costa Rica, la tecnología más aceptada por la población para disponer los residuos sólidos son los rellenos sanitarios (Sáurez, 2011). En la Gran Área Metropolitana (GAM), casi el 100% de los residuos son recolectados mediante un camión; sin embargo, en ciudades más rurales, el servicio de recolección no es tan eficiente. Esto genera botaderos a cielo abierto, quema de residuos sin control, contaminación de ríos con residuos, entre otras maneras de disposición final que impactan al ambiente. En la figura 4.1 se puede observar que en Costa Rica existe por lo menos un 20% de los residuos que no llegan a ser dispuestos en rellenos sanitarios (Programa Estado de la Nación 2017, 2018)

Además, se debe tener en cuenta que este modo de disponer residuos tiene aún inconvenientes como generación de malos olores, contaminación de aguas subterráneas y toxicidad (Bermúdez, 2017).

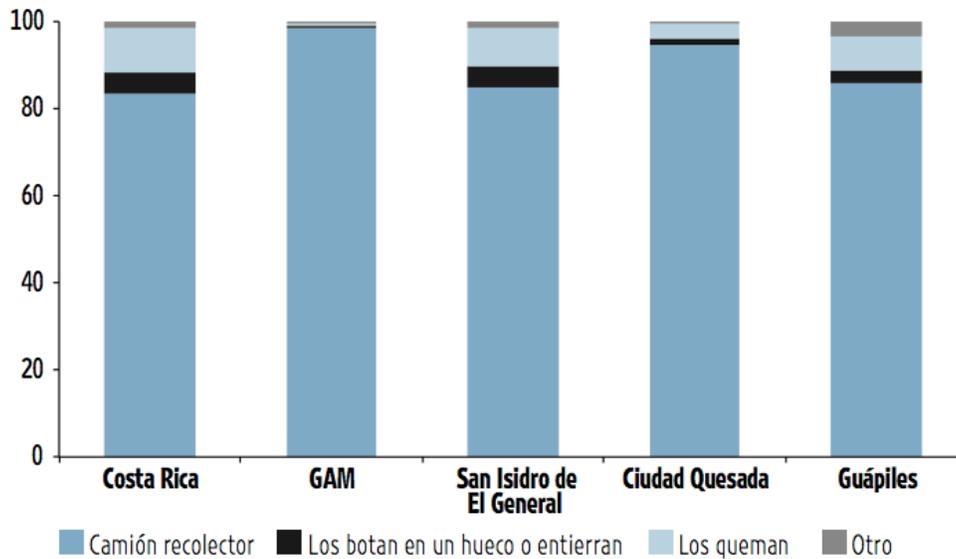


Figura 4.1. Porcentaje de métodos de disposición de residuos sólidos en Costa Rica.  
Fuente: Programa Estado de la Nación (2018).

Actualmente, las municipalidades de San José están en la búsqueda de un lugar para disponer sus residuos, pues el relleno sanitario de La Carpio, quien recibe 1000 toneladas diarias de residuos, deberá cesar operaciones en el 2021. Aparte de ese relleno, en la GAM operan El Huaso en Aserrí, que recibe 1200 toneladas diarias, y Los Pinos, en Dulce Nombre de Cartago, donde se procesan cerca de 500 toneladas de residuos cada día (Chinchilla, 2017).

Las opciones fuera de la Gran Área Metropolitana son los rellenos de Orotina, en Alajuela; Garabito y Montes de Oro, en Puntarenas; y el Tomatal, en Limón. No obstante, ninguno tiene la capacidad de absorber la totalidad de los residuos producidos por la población del centro del país (Bosque, 2014).

Vargas (2017) comentó que deben promoverse procesos de gestión novedosos en el país que hayan sido comprobados a nivel internacional. También, expuso que las mejores prácticas que se han planificado en los países desarrollados son relacionadas la diversificación de procesos técnicos. Con respecto a estos, algunos autores de esos países afirman que esta diversificación les ayudó a mejorar su participación en el mercado de las materias primas y las energías alternativas, limpias y sostenibles. Algunas de las técnicas que han usado han sido el reciclaje, el compostaje, la producción de combustible sólido, líquido y gaseoso a través de diversas técnicas, como biodigestión, gasificación, pirolisis e incineración.

En conclusión, se deben buscar estrategias para que las municipalidades presten un servicio de recolección optimizado, de calidad, con un costo accesible y promoviendo el máximo aprovechamiento de los residuos sólidos. Y además, que dichas estrategias involucren tratamientos que generen oportunidades de trabajo, ingresos al país y una mejor calidad ambiental.

## 4.2 TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Para esta investigación, los tratamientos térmicos estudiados son: incineración, gasificación y pirólisis. Además, los procesos, las condiciones ideales y los subproductos de cada tecnología son descritos con más detalle a continuación.

### 4.2.1 Incineración

La incineración es uno de los procesamientos térmicos de los residuos sólidos mediante oxidación química con cantidades estequiométricas o en exceso de oxígeno. Está compuesta por procesos de evaporación, descomposición térmica, fundición, evaporación y reacciones químicas. La incineración puede dividirse en tres grandes procesos: el secado, la descomposición térmica y la combustión (Barradas, 2009; Youcai, 2017).

Según Barradas (2009), existen tres tipos predominantes de incineradores:

- Los de combustión en masa, en donde se realiza un procesamiento mínimo antes de la incineración rechazando los residuos no aptos para el proceso.
- Los incineradores alimentados por Combustible Derivados de Residuos (CDR), el cual utiliza la materia orgánica que cumpla con contenidos de humedad y de energía, complementándose con carbón en caso necesario.
- Los de recuperación de energía, los cuales están siendo más utilizados ya que ayudan a recuperar los costos de operación y reducir los de financiamiento. La energía puede ser recuperada en los combustibles sólidos o los gases de la chimenea que pueden reutilizarse para calefacción o para la generación de electricidad.

Según Huízar (2011) y Youcai (2017), existen cuatro condiciones fundamentales dentro de la cámara de combustión para que la incineración se lleve a cabo de una manera adecuada. Estas condiciones son las siguientes:

1. Temperatura de operación: La temperatura debe ser lo suficientemente alta para producir los gases combustibles. Generalmente se encuentran en el rango de 1000 °C a 1600 °C.
2. Turbulencia: El aire y el vapor deben estar eficientemente mezclados.
3. Tiempo de residencia: La mezcla vapor-aire debe mantenerse a una temperatura suficientemente alta durante 1,5 o 2 segundos.
4. Exceso de aire: Debe haber suficiente oxidante (aire) para que se realice la oxidación completa.

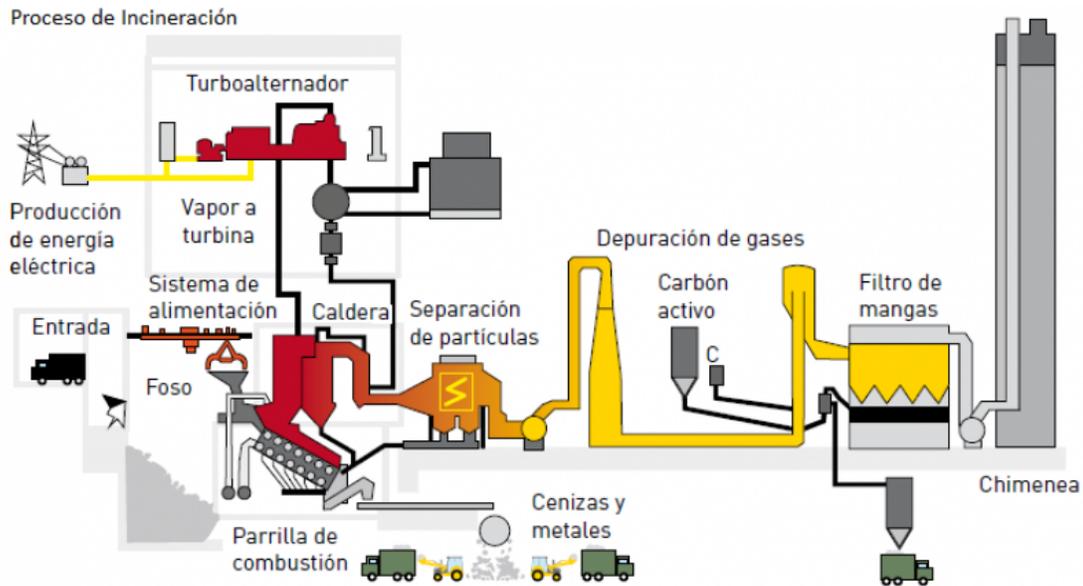


Figura 4.2. Diagrama del proceso de incineración.  
Fuente: (Alonso, 2015)

En la figura 4.2 se puede observar un diagrama del proceso de incineración que incluye la generación de la energía eléctrica y el tratamiento de los gases. La elección del tipo de cámara de combustión depende de la forma física del residuo y su contenido de cenizas. Algunos tipos son los siguientes (Huízar, 2011):

1. Horno rotatorio
2. Incinerador de rejilla fija
3. Incinerador de lecho móvil
4. Incinerador de lecho fluidizado
5. Incinerador de sales fundidas
6. Incinerador de desechos líquidos
7. Incinerador catalítico
8. Incineradores de oxidación húmeda
9. Incinerador de horno múltiple hogar
10. Incinerador de cámara múltiple

Después de que se da la combustión a temperaturas mayores de 850 °C, el volumen se reduce en un 90%, el peso en un 75% y se generan los siguientes productos finales: los gases de combustión (compuestos generalmente por N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, HCl, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, gases ácidos y otros componentes orgánicos) y cenizas (generalmente restos de metales y vidrio) (Barradas, 2009; Huízar, 2011; Youcai, 2017).

## 4.2.2 Gasificación

La gasificación o combustión indirecta es la conversión de los residuos sólidos en combustible o un gas de síntesis a través de reacciones y la oxidación parcial de los residuos en presencia de un oxidante (aire, oxígeno o vapor) en cantidades menores a las estequiométricas. En unos casos, parte del combustible entra en el proceso para proveer el calor necesario para gasificar el resto y en otros, la energía en forma de calor proviene de una fuente externa. La temperatura se encuentra en un rango de 800 °C a 1200 °C al utilizar el aire como agente oxidante, mientras que con oxígeno puede llegar hasta los 1500 °C (Astrup y Bilitewski, 2011).

Según el WtERT (2009), la planta de gasificación y generación de energía se compone básicamente de cuatro módulos:

1. Una unidad de pretratamiento de residuos.
2. Las cámaras de gasificación/oxidación.
3. La sección de recuperación de energía.
4. El módulo de limpieza de gases de combustión.

En el módulo de pretratamiento, los residuos se clasifican, trituran, almacenan y secan con el fin de obtener un material de alimentación adecuado para la gasificación, sin metales, botellas de vidrio y plástico. El segundo módulo consta de dos cámaras, en la primera se da el proceso de gasificación de los residuos sólidos. En ésta, la relación de CO/CO<sub>2</sub> se determina por la reacción de Boudouard a temperaturas inferiores a 700 °C; el producto predominante será el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), mientras que a temperaturas más altas el producto predominante será el monóxido de carbono (CO). En la unidad de oxidación a alta temperatura, es decir, la cámara secundaria, se facilita una oxidación escalonada del gas de síntesis mediante múltiples inyecciones de aire y gas de combustión reciclado. Al final de la rejilla de gasificación, la ceniza inferior es descargada (Waste-to-Energy Research and Technology Council (WtERT), 2009).

En la figura 4.3 se puede observar el diagrama de un proceso de gasificación. En él, se puede identificar la producción del gas de síntesis o *syngas* y su tratamiento antes de ser aprovechado por sus características energéticas.

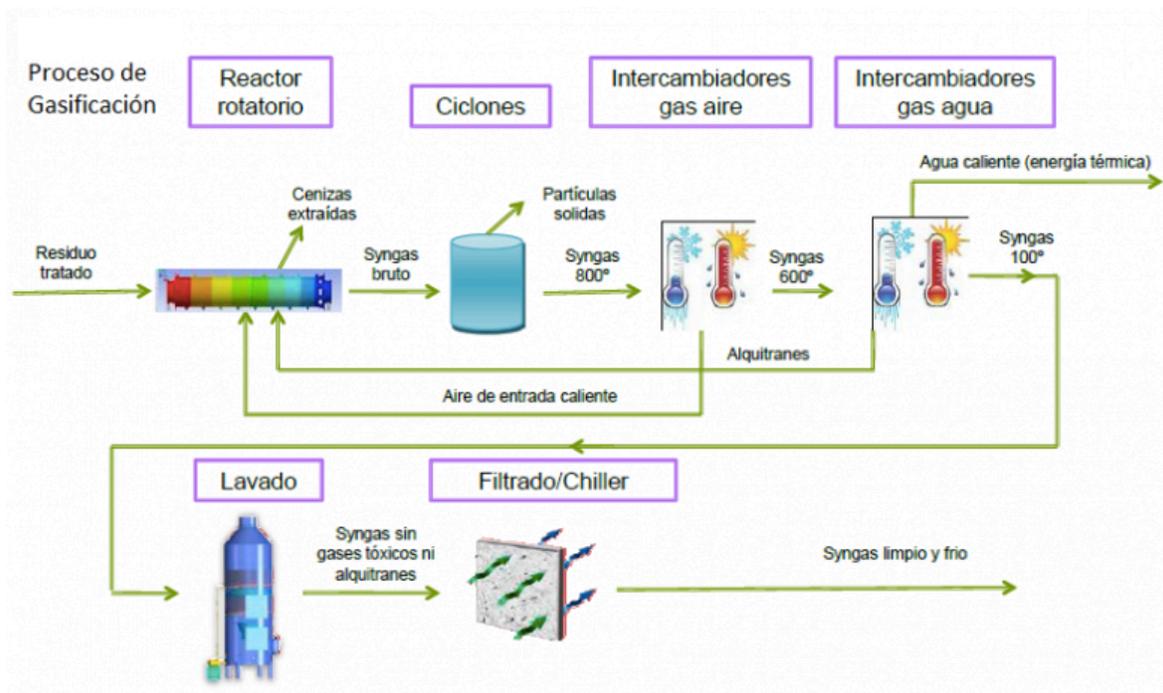


Figura 4.3. Diagrama del proceso de gasificación.  
Fuente: (Alonso, 2015).

La gasificación tiene la ventaja de poder combinar condiciones de operación, en especial la temperatura, el radio de equivalencia y las características de los reactores para obtener una corriente de gas adecuada para diferentes aplicaciones. Existe una gran variedad de reactores, entre ellos resaltan el de lecho fijo, de lecho fluidizado, de lecho arrastrado, eje vertical, horno de rejilla móvil, horno rotativo y reactor de plasma (Arena, 2012; Lombardi, Carnevale, & Corti, 2015).

Los productos finales de la gasificación son: char, cenizas con metales no volátiles y otros compuestos inorgánicos, una pequeña cantidad de líquido (alquitrán y aceite) y una corriente caliente de gas de síntesis (formado en su mayoría por  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  y  $\text{H}_2$ ) que contiene una gran cantidad de productos oxidados con un alto poder calorífico y con potencial para usarse en otros equipos en diferente tiempo y sitios (Arena, 2012; Astrup & Bilitewski, 2011).

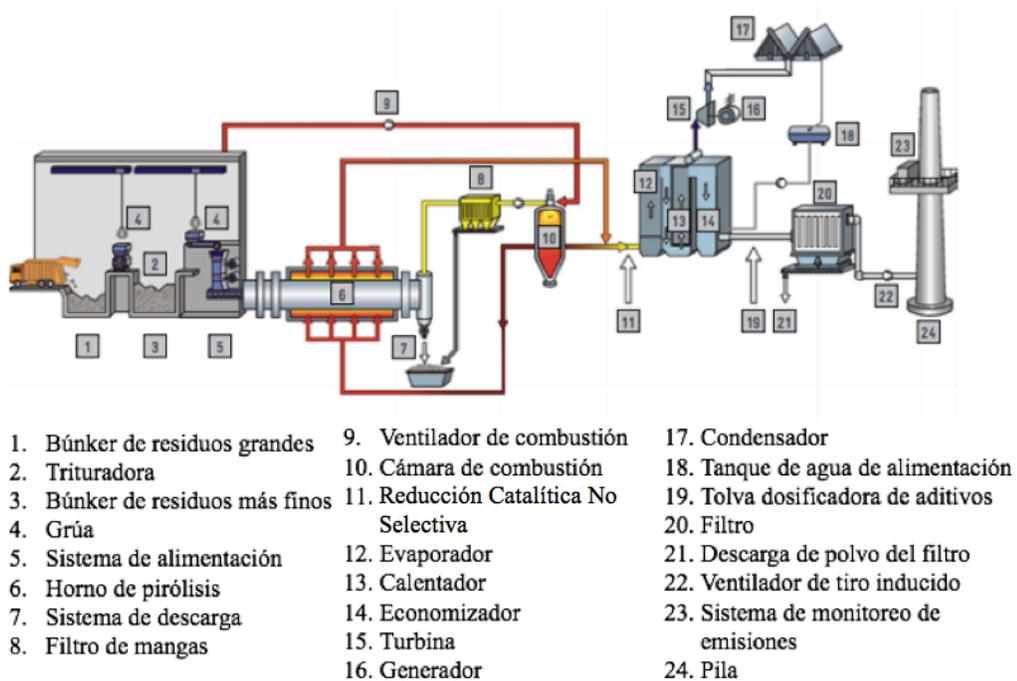
### 4.2.3 Pirólisis

La pirólisis es el proceso térmico que se lleva a cabo en ausencia total de oxígeno, en donde se calienta la alimentación mediante una fuente externa de calor a temperaturas entre los 300 °C y 800 °C. Debido a la ausencia de oxígeno, no ocurre ninguna oxidación sino una degradación térmica asistida algunas veces por procesos de catálisis. La salida se caracteriza por presentar componentes con características de combustibles; entre mayor sea la temperatura del proceso, se va a obtener una mayor corriente de gas, mientras que se puede obtener más aceite al aplicar temperaturas menores en tiempos cortos (Astrup & Bilitewski, 2010; Chen, Yin, Wang, & He, 2015; Lombardi, Carnevale, & Corti, 2015).

En el proceso de pirólisis se pueden advertir varias etapas de la descomposición térmica de la materia (Huizar, 2011):

- Hasta los 200 °C se produce una pérdida de agua y de otros productos volátiles.
- Entre los 200 °C y los 250 °C los constituyentes menos estables de la biomasa se descomponen y desprenden agua y óxidos de carbono, formándose hidrocarburos líquidos oxigenados (alcoholes y ácidos).
- Hacia los 275 °C se genera la mayor parte de los hidrocarburos líquidos mediante una reacción exotérmica que recalienta la masa hasta 300 °C - 350 °C.
- Por encima de los 300 °C comienza la formación de productos carbonosos de alto peso molecular como los alquitranes y coque. La naturaleza y composición de los productos finales dependen de las propiedades de la biomasa tratada, de la temperatura y de la presión de operación, y de los tiempos de retención.

En la figura 4.4 se puede observar un diagrama del proceso de pirólisis. Este incluye pasos específicos que siguen los residuos, empezando desde que ingresan a la planta, el pretratamiento, la pirólisis, el tratamiento de gases, la generación de la electricidad y la chimenea.



*Figura 4.4. Diagrama del proceso de pirólisis.*

*Fuente: (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), 2017)*

Los productos finales dependen en gran medida de los residuos con los que se alimenta, no obstante, los productos de reacción generalmente se clasifican en tres grandes grupos (Huizar, 2011; World Energy Council, 2016):

- a. Un gas compuesto por hidrógeno, metano, monóxido de carbono, dióxido de carbono y otros hidrocarburos gaseosos. Este gas puede ser utilizado posteriormente como combustible en otras partes del proceso.
- b. Un líquido que, a la temperatura ambiente contiene compuestos hidrocarbonados complejos, entre los que destacan los de carácter oxigenado (alcoholes).
- c. Un residuo sólido carbonoso llamado char que contiene carbones y alquitranes, así como cenizas, metales y vidrio.

#### 4.2.4 Impactos ambientales

Los tratamientos térmicos pueden generar numerosos impactos en el ambiente tanto en la etapa de la construcción como en la operación. A partir de la literatura se identificaron 21 posibles impactos que se encuentran resumidos en el cuadro 4.2. y que se profundizan en la Herramienta para la Evaluación de los Impactos Ambientales de Proyectos de Tratamientos Térmicos para Residuos Sólidos (Apéndice 1).

*Cuadro 4.1. Resumen de los posibles impactos ambientales de los proyectos de tratamientos térmicos.*

<b>Etapa</b>	<b>Elemento del ambiente</b>	<b>Posible impacto</b>
Construcción	Aguas superficiales	Generación de aguas residuales
		Generación de sedimentos
	Suelo	Degradación de la calidad del suelo
		Generación de residuos sólidos
	Aire	Contaminación del aire con partículas
	Recursos naturales	Consumo de recursos naturales
	Flora	Alteración de la cobertura vegetal
	Fauna	Alteración de la fauna
Paisaje	Intrusión visual	
Vialidad	Aumento de tránsito	
Operación	Aguas superficiales	Contaminación del agua
	Aguas subterráneas	Consumo de agua
	Suelo	Contaminación del suelo
		Generación de residuos sólidos
	Aire	Generación de emisiones atmosféricas
		Generación de cenizas
		Emanación de olores
		Generación de ruidos
	Recursos naturales	Consumo de combustibles fósiles
Fauna	Proliferación de agentes patógenos, moscas, insectos y aves	
Vialidad	Aumento de tráfico	

*Fuente: (Alonzo & González, 2010; Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011; Arena, 2012; Martínez, y otros, 2012; Department of Environment Food and Rural Affairs, 2013; Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015; Organización Mundial de la Salud, 2016; SETENA, 2016; Herrera-Murillo, Rojas-Marín, & Anchía-Leitón, 2016).*

La realización del proyecto en sí no implica la aparición de un impacto, sino que dependiendo de las medidas de prevención y mitigación se logran evitar o disminuir los efectos negativos en el ambiente y la salud humana. La importancia de los EsIA consiste en ellos se plasman todas estas medidas ambientales que van a realizar para que SETENA tenga criterio para otorgar o rechazar la viabilidad ambiental.

### 4.3 ANÁLISIS DE LA LEGISLACIÓN COSTARRICENSE

La incineración de los residuos sólidos ya había sido planteada desde el siglo pasado en el país. En el año 1989 se promulgó el Reglamento sobre el manejo de basuras N°19094 (no vigente), el cual indica en su artículo 75 que se prohíbe la quema de basuras bajo ninguna circunstancia, pero se permite la incineración de residuos sólidos según las normas que establece el reglamento. Algunas de estas normas eran: el correcto manejo de los residuos, el almacenamiento adecuado y la municipalidad como ente encargado de la recolección y la incineración de los residuos especiales con su debido permiso del Ministerio de Salud y su respectivo Estudio de Impacto Ambiental (Reglamento N° 19094, 1989).

El tema de la incineración volvió a presentarse en reglamentos hasta el 15 de junio de 2015; momento en el que se decretó el Reglamento sobre condiciones de operación y control de emisiones de instalaciones para coincineración de residuos sólidos ordinarios mediante el Decreto Ejecutivo N° 39136-S-MINAE. Este tiene como objetivo establecer los requisitos de operación y límites máximos de emisión para las instalaciones de coincineración de residuos sólidos ordinarios y eliminar los impactos negativos a la salud de las personas y al ambiente (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).

Dicho reglamento prohíbe la instalación de equipos de incineración y coincineración móviles, la utilización de sistemas de tratamiento térmico de residuos sólidos ordinarios que no generen energía eléctrica y presenta una lista de los residuos que no se permiten coincinerar (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).

El reglamento también considera los requisitos para el establecimiento de una instalación, los cuales contemplan un Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) aprobado por SETENA, las características y condiciones que todos los coincineradores deben cumplir para su operación, las características de los combustibles, consideraciones sobre el control de emisiones y vertido de aguas residuales y sus límites. Además, menciona la obligación de contar con un Programa de Manejo Integral de Residuos Sólidos Peligrosos generados por la operación, el manejo de situaciones anómalas de operación y su respectivo registro. También, menciona aspectos del monitoreo de las emisiones, los laboratorios, métodos que se deben usar, los reportes operacionales, su frecuencia, los incumplimientos y las sanciones (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).

#### 4.3.1 ¿Hay un fortalecimiento o contradicción con la Ley 8839?

La Ley para la Gestión Integral de Residuos N°8839 presenta la siguiente jerarquía para la gestión de los residuos:

1. Evitar la generación de residuos en su origen como un medio para prevenir la proliferación de vectores relacionados con las enfermedades infecciosas y la contaminación ambiental.
2. Reducir al máximo la generación de residuos en su origen.
3. Reutilizar los residuos generados ya sea en la misma cadena de producción o en otros procesos.

4. Valorizar los residuos por medio del reciclaje, el co-procesamiento, el resamblaje u otro procedimiento técnico que permita la recuperación del material y su aprovechamiento energético. Se debe dar prioridad a la recuperación de materiales sobre el aprovechamiento energético, según criterios de técnicos.
5. Tratar los residuos generados antes de enviarlos a disposición final.
6. Disponer la menor cantidad de residuos, de manera sanitaria, así como ecológicamente adecuada.

El tema de los tratamientos térmicos generó una gran polémica sobre el fortalecimiento o la contradicción con la jerarquía que establece la Ley 8839, por lo tanto se decidió preguntar durante las entrevistas la opinión sobre este tema. Entre las personas entrevistadas que respondieron la pregunta, solamente una persona respondió afirmativamente. Otro experto opinó que si incineraban, era imposible cumplirla, mientras que si se gasificaban, era factible. Por otro lado, tres expertos opinaron que no la contradecía; entre sus razones se encuentran que la ley establece una pirámide clara en donde le da prioridad al reciclaje y define cuáles son los residuos valorizables. Y también, un experto comentó que es económicamente más rentable reciclar el plástico que procesarlo, y que el vidrio no mejora el proceso, entonces es más fácil valorizarlo a través del reciclaje. Esto quiere decir que algunas veces el aspecto económico concuerda con lo establecido en la jerarquía, por lo que potencializa su cumplimiento.

Por lo tanto, se considera que la ley es clara con respecto a la preferencia de la recuperación de los materiales sobre su aprovechamiento energético. Pero al mismo tiempo, establece que se les debe dar un tratamiento antes de ser dispuestos correctamente, por lo que depositar los residuos valorizables y no valorizables en vertederos o rellenos sanitarios sin tratamiento alguno, incumple la jerarquía establecida por la legislación. En la teoría ya están establecidos los pasos para aprovechar al máximo los residuos generados, por ende, es responsabilidad de las autoridades respectivas hacer cumplir dicha Ley.

#### **4.3.2 Comparación con la legislación nacional**

El reglamento de co-incineración aplica solamente para las instalaciones fijas de co-incineración de residuos sólidos ordinarios y excluye su aplicación para el coprocesamiento de residuos en hornos cementeros ya que se regula mediante el Reglamento de requisitos, condiciones y controles para la utilización de combustibles alternos en los hornos cementeros con el Decreto N° 31837-S. También, se excluye para la operación de los hornos crematorios dado que en el mismo mes y año se promulgó el Reglamento para la operación de Hornos Crematorios mediante el Decreto Ejecutivo N° 39087. Los tres decretos establecen los límites máximos de emisiones de contaminantes, no obstante, los del Decreto N° 39136-S-MINAE (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).

Al comparar los límites máximos de emisión provenientes de los tres reglamentos mencionados anteriormente (cuadro 4.3), se puede observar que no difieren en absoluto sobre las emisiones de dioxinas y furanos. A su vez, poseen el límites máximos similares para las partículas en suspensión, mientras que la co-incineración es más estricta en la emisión de SO<sub>2</sub>

y NO<sub>x</sub>. En general, el reglamento de coincineración posee límites más estrictos que el de los otros hornos, las pocas similitudes que existen entre los límites puede basarse en la diferencia de la materia prima que ingresa en el proceso.

*Cuadro 4.2. Comparación de los límites máximos de emisión entre el reglamento de coincineración, el de hornos cementerios y el de hornos crematorios.*

Contaminante	Límite máximo de emisión		
	Coincineración	Hornos cementerios	Hornos crematorios
Partículas totales en suspensión (mg/m <sup>3</sup> )	30	30	40
Dioxinas y furanos (ng/m <sup>3</sup> )	0,1	0,1	0,1
SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	200	400	200
NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	400	800	N.A.
HCl (mg/m <sup>3</sup> )	60	10	60
CO (mg/m <sup>3</sup> )	100	630	15

N.A.: No aplica.

*Fuentes: Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE (2015), Reglamento N° 39087-S (2015) y Reglamento N° 40557-S (2017).*

### 4.3.3 Comparación con la legislación internacional

Con respecto a la legislación internacional, se comparó con dos de las legislaciones más citadas dentro de la investigación científica, las cuales son la de la Unión Europea y la de los Estados Unidos de América. También, se decidió comparar con la legislación de un país latinoamericano, correspondiendo a la norma mexicana. A partir de la legislación se realizó un cuadro comparativo (cuadro 4.4) en donde se puede observar que los límites máximos de emisión de contaminantes en Costa Rica, son iguales a los establecidos por la Unión Europea. Esto se puede deber a que, para la elaboración del reglamento se basaron en la legislación europea por ser tan estricta.

Además, el cuadro también muestra que Estados Unidos presenta límites parecidos a la legislación costarricense y europea a excepción de las dioxinas y furanos, el cual es por mucho más permisiva la legislación estadounidense. Y también, a partir del cuadro 4.4 se puede concluir que en términos generales México presenta límites menos rigurosos, especialmente con la emisión de partículas y SO<sub>2</sub>.

Cuadro 4.3. Comparación de los límites máximos de emisión entre Costa Rica, Estados Unidos, la Unión Europea y México.

Contaminante	Límite máximo de emisión			
	Costa Rica	Estados Unidos	Unión Europea	México
Partículas totales en suspensión (mg/m <sup>3</sup> )	10	20	10	50
Dioxinas y furanos (ng/m <sup>3</sup> )	0,1	9,3	0,1	0,2
SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	50	55,9	50	80
NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	200	241	200	300
HCl (mg/m <sup>3</sup> )	10	26,2	10	15

Fuentes: Directive 2000/76/EC (2000), Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE (2015), NOM-098-SEMARNAT-2002 (2004) y Environmental Protection Agency (EPA) (2006).

#### 4.4 PROYECTOS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN EL PAÍS

A nivel nacional no se han implementado los tratamientos térmicos para tratar los residuos sólidos municipales. Sin embargo, se han realizado investigaciones para la incineración de los residuos hospitalarios. Lo más similar a los tratamientos térmicos que se realiza en el país es en hornos cementeros de Holcim y Cemex, los cuales utilizan algunos residuos sólidos para llevarlos a combustión a temperaturas de hasta 2000 °C y generar el Clinker (Sáurez, 2011).

El Tratamiento Térmico de Residuos e Incineración en el país se inicia a finales del 2014 a pesar de distintas críticas por parte de varios especialistas en materia de residuos, universidades y municipalidades. Durante la campaña electoral y el inicio del gobierno de Luis Guillermo Solís se propuso, discutió y firmó con el sector ecologista el “Pacto Ambiental” donde se comprometían a: “Desestimar cualquier forma de transformación térmica de residuos en el país hasta tanto no se demuestre su inocuidad para la salud pública y no se haya logrado establecer a nivel nacional, casa por casa, urbanización por urbanización, cantón por cantón, una cultura hacia el rechazo en el consumo, reducción, reutilización y separación de residuos valorizables como hábito social” (Álvarez, 2017).

Como parte de la promesa del gobierno, en junio de 2014 se publicó el Decreto Ejecutivo 38500-S-MINAE, donde se estableció una Moratoria Nacional de las actividades de transformación térmica de residuos ordinarios sólidos hasta que no exista certeza científica de sus consecuencias por parte de las autoridades gubernamentales competentes. Después de un año de vigencia, la moratoria fue derogada, con el Ejecutivo N°39136-S-MINAE. Posteriormente, la Sala Constitucional acogió para su estudio una acción de inconstitucionalidad interpuesta por la Asociación de Desarrollo Residencial Ciudad Cariari (ASOCARIARI) contra el reglamento que habilitaba la incineración de residuos. Al acoger esta acción, la Sala IV suspendió la aplicación del Decreto en cuestión en espera de la resolución final. Poco después, en marzo del 2014, dicha acción fue declarada sin lugar con la sentencia 16-17375 (Álvarez, 2017).

El 20 de febrero del año 2015 el ICE y FEMETROM ratificaron el acuerdo marco principal para la producción de energía eléctrica a partir de residuos municipales que indica que los gobiernos locales que se adhieran al modelo propuesto por FEMETROM se comprometen a aportar los residuos sólidos municipales, durante un lapso de al menos 25 años. Por su parte, el ICE manifestó su disposición de comprar la electricidad que se produzca con esta materia prima, conforme a la tarifa que estableciera la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) (Federación Metropolitana de Municipalidades, 2017).

Dos años después, específicamente en noviembre del 2017, la ARESEP publicó mediante la resolución 225 la Metodología para fijación ordinaria y extraordinaria para la determinación de tarifas de referencia para plantas de generación eléctrica con residuos sólidos municipales (RSM) (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2017).

Durante todo este proceso, varias empresas privadas y municipalidades se vieron interesadas en traer al país este tipo de tecnologías para tratar los residuos sólidos. El cuadro 4.5 presenta un resumen de los diferentes proyectos que tuvieron interés, su ubicación, la tecnología que

propusieron, el desarrollador y el número de expediente en SETENA en caso de haber presentado el D1.

*Cuadro 4.4. Proyectos de tratamientos térmicos propuestos en Costa Rica.*

<b>Año</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Tecnología</b>	<b>Desarrollador</b>	<b>Nº expediente en SETENA</b>
2011	Barranca, Puntarenas	Incineración	EnPower	6356
2011	Santo Domingo, Heredia	Incineración	Grupo-RAD	N.A.
2012	El Coyol, Alajuela	Gasificación	Wastelectric	9279
2012	León Cortés, San José	Gasificación	Agropecuaria Setenta Cuarenta y Ocho S.A.	8972
2012	San Carlos, Alajuela	Gasificación	Coopelesca	N.A.
2012	Los Mangos, Alajuela	Gasificación	Renewable Power Holdings Incorporated	N.A.
2013	La Uruca, San José	-	Jhonny Alberto Becker Bonilla	10830
2014	Belén, Guanacaste	Gasificación	Coopeguanacaste con The Hoskinson Group	12116
2014	San Ramón, Alajuela	Incineración	WRA Environmental Engineering	N.A.
2014	Parrita	Pirólisis y oxidación	Pirolíticos del Sur S. A.	N.A.
2014	Liberia, Carrillo, Nicoya, Tilarán, Bagaces y Cañas	Pirólisis	Coopeguanacaste	N.A.
2014	Río Grande de Atenas, Alajuela	Incineración	Inima Environment	N.A.

N.A.: No aplica.

*Fuentes: Augusto & Mora (2014); Cantón (2014); FECON (2014); Quesada (2015); Álvarez (2017) y Bermúdez (2017).*

Además de los proyectos mencionados en el cuadro 4.5, se investigó que en Pavas también había interés por parte de la empresa brasileña Orteng equipamentos e sistemas; en La Carpio, hubo interés de Proactiva Colombia S.A. Y además, la empresa Green Way Solutions conversó con las municipalidades de Abangares y Goicochea para desarrollar estas tecnologías (FECON, 2014; Álvarez, 2017).

De la gran cantidad de municipalidades interesadas, solamente cinco consiguieron presentar documentos en SETENA, los cuales se encuentran en custodia hasta la fecha. Por lo contrario, los otros proyectos fueron intervenidos por protestas sociales de la comunidad y Organizaciones no Gubernamentales (ONGs) nacionales. Otra de las razones por las cuales estos proyectos no avanzaron fue por la viabilidad económica: un ejemplo de estos es Coopelesca R.L. Esta realizó un convenio con la Municipalidad de San Carlos para determinar si era viable producir ocho megavatios de energía por medio de la gasificación con residuos del cantón. En el estudio de prefactibilidad se determinó que se ocupaban 150 toneladas diarias de residuos para producir ocho megavatios de energía mientras que al

vertedero sólo llegan 80 toneladas por día (Quesada, 2015), o sea de un solo cantón los residuos no son suficientes para poner a funcionar una de estas plantas.

En la GAM, solamente el 17% de los residuos sólidos son no valorizables, esto implica que ese es el total de los RSM que podrían ser tratados térmicamente para cumplir con la ley 8839. Es por esto que, para contar con la cantidad de residuos (no valorizables) que se necesitan para generar energía eléctrica de manera rentable, se necesitan convenios entre varias municipalidades para lograr llevar a la planta la cantidad de residuos necesaria (Herrera-Murillo, Rojas-Marín, & Anchía-Leitón, 2016; Alonzo & González, 2010). Además, también se debe tomar en cuenta que dichas empresas podrían hacer convenios con industrias que generen residuos no valorizables de alto contenido energético, que estén contaminados con agroquímicos o que económicamente no sea factible reciclarlos (Mena, 2017).

## 4.5 HERRAMIENTA PARA LA EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE PROYECTOS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS PARA RESIDUOS SÓLIDOS

La herramienta consiste en dos documentos que permiten la revisión de Estudios de Impacto Ambiental (EsIA) para proyectos de incineración, gasificación y pirólisis. El primer documento (apéndice 1) consiste en una guía que brinda información teórica y detallada sobre los impactos ambientales de estos tratamientos y las medidas que se pueden realizar; y el segundo documento (apéndice 2) consiste en una lista de chequeo en Excel en donde se enlistan las medidas obligatorias que debe seguir el decreto según la legislación costarricense para obtener la viabilidad ambiental.

### 4.5.1 Herramienta para la evaluación de EsIAs

La herramienta muestra las tres etapas que existen en los proyectos de coincineración o tratamientos: construcción, operación y cierre. Para la etapa de construcción y operación, se identificaron y definieron los posibles impactos ambientales que se pueden generar. También, se presentan las medidas obligatorias tomadas de la legislación costarricense y las medidas recomendadas obtenidas a partir de la literatura y otros EsIAs.

Dicha herramienta sirve como consulta para verificar que los EsIAs contemplen todos los impactos ambientales que les corresponda según su tecnología y ubicación. Además, se presentan medidas recomendadas que pueden ser tomadas en cuenta en la construcción y operación del proyecto para disminuir el impacto ambiental que puede generar.

### 4.5.2 Lista de chequeo para la evaluación de EsIAs

Para elaborar la lista de chequeo, se tomó todas las medidas obligatorias de la herramienta y se pasaron a un Excel en donde se subdividieron por etapa y clase de impacto. Esta tiene el objetivo de agilizar la revisión del EsIA mediante un macro que permite hacer un “check” al identificar que la medida que se encuentra en el Excel fue tomada en cuenta en el Estudio de Impacto Ambiental.

#### 4.6 COMPARACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE RELLENOS SANITARIOS Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS MEDIANTE EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV)

En la mayoría de los países desarrollados y en desarrollo que poseen un aumento de población, prosperidad y urbanización, uno de los principales desafíos para los municipios es recolectar, tratar, eliminar y reciclar cantidades crecientes de residuos sólidos y aguas residuales (Cherubini, Bargigli, & Ulgiati, 2009). Por lo tanto, la decisión de cuál tratamiento darles a los residuos sólidos municipales se debe basar no sólo en la opción económicamente más viable, sino en la ambientalmente más correcta.

Para brindar un panorama sobre cuál tratamiento es más conveniente, se buscaron artículos científicos de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Esta es una herramienta que apoya en la toma de decisiones a través de la cuantificación de los impactos ambientales; al mismo tiempo, ha demostrado que puede proporcionar aportes valiosos para identificar soluciones para el manejo de los residuos sólidos. La limitante que tienen los ACV es que las condiciones climáticas y la matriz energética utilizada en el lugar del estudio varían con las de Costa Rica (Laurent, y otros, 2014).

Cherubini, Bargigli, y Ulgiati (2009) realizaron un estudio en Roma en donde comparó el relleno sanitario sin y con explotación de biogás, una planta de clasificación de residuos para producir electricidad y biogás a través de la digestión anaeróbica, y finalmente incineración de residuos. Los resultados mostraron que los rellenos sanitarios (tanto con o sin recuperación de biogás) son la peor opción de gestión de residuos y que el aprovechamiento energético genera un ahorro significativo de impacto ambiental. Consecuentemente, el estudio también demostró que la mejor opción para la gestión de residuos era la planta de clasificación a pesar de generar emisiones locales y que la incineración, a pesar de tener mayores emisiones, seguía siendo una alternativa que genera menos impacto en comparación al relleno sanitario.

Otro estudio realizado en el 2015 por Panepinto, Blengini y Genon resaltó la importancia ambiental de aprovechar todos los residuos antes de ser tratados mediante un tratamiento térmico. Para esto, se plantearon dos escenarios: el primero prevé la gasificación del residuo después de una recolección separada y la utilización energética del gas de síntesis producido; mientras que el segundo se basa en una separación mecánica de los residuos en tres flujos: un flujo orgánico húmedo que se enviará a la digestión anaeróbica para generar biogás, un flujo que se utilizará como combustible derivado de residuos (CDR) mediante coprocesamiento u otro tratamiento térmico, y un flujo residual esencialmente mineral que será enviado al relleno sanitario. El resultado del estudio demostró que es económicamente más viable gasificar los residuos que la opción de la separación mecánica, no obstante, es más viable ambientalmente la segunda opción.

También, se realizó otro estudio en Estados Unidos en donde se evaluaron cuatro escenarios: relleno sanitario sin recuperación de energía, relleno sanitario con recuperación de energía, tratamientos térmicos con recuperación de materiales reciclables y gasificación con aprovechamiento de todos sus subproductos. Esta última superó a los otros tres escenarios debido a la generación de electricidad en el sitio y al aprovechamiento de los subproductos

al terminar el proceso. El bajo rendimiento del escenario de tratamientos térmicos con recuperación de materiales reciclables es atribuible a las emisiones de óxidos de nitrógeno que se simularon en la chimenea, las cuales podrían reducirse mediante el tratamiento de la corriente de aire. Y también, el bajo desempeño del relleno se debe a las emisiones controladas y fugitivas de biogás (Coventry, Tize, & Karunanithi, 2016).

La recuperación de materiales reciclables y el aprovechamiento energético de los residuos sólidos genera un enorme impacto en los resultados del ACV. Los autores afirman que a pesar de que la gasificación mostró los mejores resultados, los datos de las emisiones provenían de un modelo escala, por lo que no se puede afirmar que la gasificación es indisputablemente la mejor opción en cuanto al impacto ambiental (Coventry, Tize, & Karunanithi, 2016).

Finalmente, Zaman (2013) realizó un estudio para comparar la incineración con una planta de pirólisis-gasificación. De acuerdo con los resultados, esta última refleja una menor carga ambiental en comparación con la incineración. Las áreas más problemáticas que el autor destacó sobre el tratamiento mediante pirólisis-gasificación de residuos sólidos fueron las emisiones y la disposición final de los productos del proceso. Mientras que dos ventajas identificadas fueron el uso controlado del aire durante la combustión y la mayor cantidad de calor y electricidad que es capaz de generar esta combinación de tecnologías (Zaman, 2013).

Todos los estudios revisados que utilizan la herramienta tanto del ACV como el Proceso Analítico Jerárquico (AHP por sus siglas en inglés) demostraron que los tratamientos térmicos son una opción más amigable con el ambiente en comparación con los rellenos sanitarios. A su vez, también establecían que el relleno sanitario, a pesar de no ser un óptimo tratamiento de residuos, es necesario para la disposición final de los productos finales de los tratamientos; por lo tanto, los diversos tipos de tratamientos de residuos no hacen prescindible al relleno sanitario (Cherubini, Bargigli, & Ulgiati, 2009; Panepinto, Blengini, & Genon, 2015; Coventry, Tize, & Karunanithi, 2016; Behrend & Krishnamoorthy, 2017).

En la mayoría de los artículos mencionados anteriormente establecen que el aprovechamiento energético de los residuos ayuda a disminuir el impacto ambiental. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que la producción de energía eléctrica de los países en donde se realizaron las investigaciones (Estados Unidos e Italia) aún dependen en gran medida de los combustibles fósiles. Por lo contrario, la matriz energética nacional depende un 78,26% de la hidroeléctrica, 10,29% eólica, 10,23% geotérmica y 0,84% de la biomasa y el sol y apenas un 0,38 a partir de combustibles fósiles. (European Environment Agency, 2017; Grupo ICE, 2017; U.S. Energy Information Administration, 2017).

Finalmente, cabe la pena rescatar la importancia de la recuperación de materiales para mejorar el desempeño del país en relación con la gestión de los residuos sólidos municipales. El tratamiento térmico es preferible después del reciclaje y del aprovechamiento de los residuos orgánicos; por lo que es necesario el cumplimiento de la jerarquía para lograr que la gestión de los RSM posea un desempeño ambiental tan bueno como el de la producción de energía renovable.



## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

Los productos finales de los tratamientos térmicos dependen de la tecnología utilizada, de la composición de los residuos que fueron tratados y de las condiciones de operación de la planta.

El Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE no contradice la Ley 8839 debido a que ambas establecen que los únicos residuos que se pueden coincinerar son los que no se pueden valorizar.

Para cumplir con la Ley 8839, se necesitan convenios entre varias municipalidades para lograr llevar a la planta la cantidad de residuos necesaria para producir energía solamente a partir de los residuos no valorizables.

En Costa Rica, los tratamientos térmicos también pueden ser utilizados para tratar residuos industriales y peligrosos.

El reglamento de coincineración posee límites de emisión de contaminantes a la atmósfera más estrictos que el de los hornos cementeros y crematorios. Las pocas similitudes que existen entre los límites pueden basarse en la diferencia de la materia prima que ingresa en cada proceso.

Los límites máximos de emisión de contaminantes atmosféricos en Costa Rica, son iguales a los establecidos por la Unión Europea, y a su vez son más estrictos que los dictados por la legislación estadounidense y la mexicana.

Se determinó que existieron 16 ideas de proyectos de incineración, gasificación y pirólisis en el país. De los cuales, solamente 5 consiguieron presentar documentos en SETENA y ninguno ha sido aprobado hasta el momento.

Se elaboró una guía que muestra las tres etapas que existen en los proyectos de coincineración o tratamientos térmicos (específicamente para incineración, gasificación y pirólisis): construcción, operación y cierre. Para la etapa de construcción y operación, se identificaron y definieron los posibles impactos ambientales que se pueden generar. También, se presentan las medidas obligatorias tomadas de la legislación costarricense y las medidas recomendadas obtenidas a partir de la literatura y otros EsIAs.

En la guía (apéndice 1) se identificaron 21 impactos ambientales que podrían generarse durante el proyecto, 10 de ellos durante la fase de la construcción y 11 durante la fase de operación.

La realización del proyecto en sí no implica la aparición de un impacto, sino que dependiendo de las medidas de prevención y mitigación se logran evitar o disminuir los efectos negativos en el ambiente y la salud humana.

Se confeccionó una lista de chequeo que permite una revisión de las medidas obligatorias por la legislación costarricense, que deben estar plasmadas en el Estudio de Impacto Ambiental para ser aprobado.

Todos los artículos científicos revisados demostraron que los tratamientos térmicos con valorización de residuos son una opción más amigable con el ambiente en comparación con el relleno sanitario.

Se deben buscar estrategias para que las municipalidades presten un servicio de recolección optimizado, de calidad, con un costo accesible y promoviendo el máximo aprovechamiento de los residuos sólidos. Y además, que dichas estrategias involucren tratamientos que generen oportunidades de trabajo, ingresos al país y una mejor calidad ambiental.

## 5.2 RECOMENDACIONES

Se deben buscar maneras de garantizar la separación de los residuos sólidos dentro de la planta para el cumplimiento de la Ley 8839.

Se recomienda para futuros estudios de prefactibilidad tomar en cuenta únicamente los residuos no valorizables (máximo un 20% del total) para los cálculos correspondientes, y buscar que los proyectos se realicen entre varias municipalidades cercanas.

Para futuros Estudios de Impacto Ambiental, se recomienda la revisión de la “Herramienta para la Evaluación de los Impactos Ambientales de Proyectos de Tratamientos Térmicos para Residuos Sólidos” con el fin que el EsIA cumpla los requisitos mínimos con respecto a los impactos ambientales.

Realizar un estudio de impacto social de este tipo de tratamientos de parte de profesionales competentes o como parte de un trabajo final de graduación.

Se les recomienda a las municipalidades que al tomar la decisión de cuál tratamiento darles a los residuos sólidos municipales se basen no sólo en la opción económicamente más viable, sino en la ambientalmente más correcta.

Para lograr concluir que los tratamientos térmicos generan menos impacto que los rellenos sanitarios en Costa Rica, es necesario realizar un ACV con datos propios del país. Por lo tanto, se recomienda realizar dicho análisis como una investigación científica o un trabajo final de graduación.

## 6. REFERENCIAS

- Álvarez, M. (Febrero de 2017). Conflictos socioambientales por la incineración en Costa Rica. *Ambientico*, 17-23.
- Abarca-Guerrero, L. (2013). Solid Waste Management Challenges for Cities in Developing Countries. *Waste Management*, 33, 220-232.
- Alonso, D. (05 de Marzo de 2015). *Greene*. Recuperado el 13 de Agosto de 2017, de Actualidad e investigación: Incineración y gasificación, diferencias y similitudes: [http://greene.es/blog/incineracion-y-gasificacion-diferencias-y-similitudes\\_38.html](http://greene.es/blog/incineracion-y-gasificacion-diferencias-y-similitudes_38.html)
- Alonzo, L., & González, M. (2010). Pérdida de Cobertura Vegetal como Efecto de la Urbanización en Chetumal, Quintana Roo. *Quivera*, 1-19.
- Ambientico. (2017). Recuperación energética de residuos: ¿Oportunidad o amenaza? *Ambientico*, 2-3.
- Arena, U. (2012). Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review. *Waste Management*, 625-639.
- Astrup, T., & Bilitewski, B. (2010). Pyrolysis and Gasification. En T. H. Christensen, *Solid Waste Technology & Management, Volume 1 & 2*. Chichester, Reino Unido: John Wiley & Sons.
- Augusto, C., & Mora, S. (27 de Abril de 2014). Firma estadounidense Wastelectric invertirá \$390 millones en Costa Rica para convertir desechos sólidos en electricidad. *El Financiero*.
- Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos . (Noviembre de 2017). Metodología para la fijación ordinaria y extraordinaria para la determinación de tarifas de referencia para plantas de generación eléctrica con residuo sólidos municipales (RSM). Costa Rica.
- Barradas, A. (2009). *Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales: Estado del Arte*. Veracruz.
- Behrend, P., & Krishnamoorthy , B. (2017). Considerations for waste gasification as an alternative to landfilling in Washington state using decision analysis and optimization. *Sustainable Production and Consumption*, 12, 170-179.
- Bermúdez, F. (Febrero de 2017). Caminar de espaldas hacia un laberinto. *Ambientico*, 24-30.
- Beylot, A., & Villeneuve, J. (2013). Environmental impacts of residual Municipal Solid Waste incineration: A comparison of 110 French incinerators using a life cycle approach. *Waste Management*, 33, 2781-2788.
- Bosque, D. (13 de Julio de 2014). GAM se queda sin sitios para depositar mitad de su basura. *La Nación*.
- Cantón, E. (20 de Junio de 2014). *Setena suspende construcción de Planta de Desechos Sólidos que pretendía construir Coopeguanacaste RL*. Recuperado el 11 de Setiembre de 2017, de <https://primeroennoticias.com/2014/06/20/setena-suspende->

construccion-de-planta-de-desechos-solidos-que-pretendia-construir-coopeguancaste-rl/

- Chen, D., Yin, L., Wang, H., & He, P. (2015). Reprint of: Pyrolysis technologies for municipal solid waste: A review . *Waste Management*, 116-136.
- Cherubini, F., Bargigli, S., & Ulgiati, S. (2009). Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. *Energy*, 2116-2123.
- Chinchilla, S. (2 de Mayo de 2017). Cierre del relleno sanitario de La Carpio está previsto para 2021. *La Nación*.
- Coventry, Z., Tize, R., & Karunanithi, A. (2016). Comparative life cycle assessment of solid waste management strategies. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18, 1515-1524.
- Decreto Ejecutivo N° 31849. (28 de Junio de 2004). Reglamento General sobre los procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). Costa Rica.
- Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE. (01 de 09 de 2015). Reglamento sobre Condiciones de operación y control de emisiones de instalaciones para coincineración de residuos sólidos ordinarios. Costa Rica.
- Department of Environment Food and Rural Affairs. (2013). *Advanced Thermal Treatment of Municipal Solid Waste*. Reino Unido.
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). (2017). *Waste-to-Energy Options in Municipal Solid Waste Management* . Recuperado el 21 de Febrero de 2018, de [https://www.giz.de/en/downloads/GIZ\\_WasteToEnergy\\_Guidelines\\_2017.pdf](https://www.giz.de/en/downloads/GIZ_WasteToEnergy_Guidelines_2017.pdf)
- Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación. (2011). Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea para Incineración de Residuos. Madrid.
- Directive 2000/76/EC. (4 de Diciembre de 2000). Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste. Unión Europea.
- Environmental Protection Agency (EPA). . (10 de Mayo de 2006). *Federal Register*. Obtenido de <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2006-05-10/pdf/06-4197.pdf>
- European Environment Agency. (2017). *Renewable energy in Europe 2017 Recent growth and knock-on effects*. Luxemburgo.
- Fabry, F., Rehmert, C., Rohani, V., & Fulcheri, L. (Febrero de 2013). Waste Gasification by Thermal Plasma: A Review. *Waste Biomass Valor*.
- FECON. (Junio de 2014). *Panorama de incineración-gasificación en Costa Rica*. Recuperado el 11 de Setiembre de 2018, de <http://feconcr.org/doc/incineracion/panoramaincineracion.pdf>
- Federación Metropolitana de Municipalidades. (15 de Mayo de 2017). *Contratación del servicio de valorización de los residuos sólidos responsabilidad de los gobiernos locales*. Obtenido de Sistema Costarricense de Información Jurídica:

- [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=84017&nValor3=108202&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=84017&nValor3=108202&strTipM=TC)
- Greenpeace. (2011). *Gasificación, pirólisis y plasma. Nuevas tecnologías para el tratamiento de residuos urbanos: viejos riesgos y ninguna solución*. Recuperado el 27 de febrero de 2017, de <http://ipcena.org/ipcena/wp-content/uploads/2016/09/Riesgos-tecnologias-residuos-urbanos%20gasificacion.pdf>
- Grupo ICE. (18 de Noviembre de 2017). *Costa Rica alcanza 300 días de generación eléctrica 100% renovable en 2017*. Recuperado el 10 de Marzo de 2018, de <http://grupoice.ticoblogger.com/2017/11/18/costa-rica-alcanza-300-dias-de-generacion-electrica-100-renovable-en-2017/>
- Herrera-Murillo, J., Rojas-Marín, J., & Anchía-Leitón, D. (2016). Tasas de Generación y Caracterización de Residuos Sólidos Ordinarios en Cuatro Municipios del Área Metropolitana. *Revista Geográfica de América Central, N° 57*, 235-260.
- Huizar, E. (2011). *Herramienta Cuantitativa para la Evaluación de Tratamientos Térmicos de Residuos Sólidos Urbanos con Potencial Energético* (Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México) .
- Laurent, A., Bakas, I., Clavreul, J., Bernstrad, A., Niero, M., Gentil, E., . . . Christensen, T. (2014). Review of LCA studies of solid waste management systems – Part I: Lessons learned and perspectives . *Waste Management, 34*(3), 573-588.
- Ley N° 8839. (24 de Junio de 2010). Ley para la Gestión Integral de Residuos. Costa Rica.
- Lombardi, L., Carnevale, E., & Corti, A. (2015). A review of technologies and performances of thermal treatment systems for energy recovery from waste. *Waste Management, 26*-44.
- Margallo, M., Massoli, M., Hernandez-Pellon, A., Adalco, R., & Irabien, A. (28 de Abril de 2015). Environmental sustainability assessment of the management of municipal solid waste incineration residues: a review of the current situation. *Clean Techn Environ Policy, 13*33-1353.
- Martínez, R., Araya, J., Mora, J., Cartín, M., Sjöbohm, L., Brenes, E., . . . Murillo, Y. (2012). *Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a Base de Residuos Sólidos Central Coyol*. Garita, Alajuela.
- Mena, D. (30 de Agosto de 2017). Entrevista sobre impactos ambientales de los tratamientos térmicos. (D. Jiménez, Entrevistador) Barrio Escalante, San José, Costa Rica.
- Nixon, J., Wright, D., Dey, P., Ghosh, S., & Davies, P. (2013). A comparative assessment of waste incinerators in the UK. *Waste Management, 22*34-2244.
- NOM-098-SEMARNAT-2002. (1 de Octubre de 2004). Protección ambiental-Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes,. México.
- Organización Mundial de la Salud. (Setiembre de 2016). *Calidad del aire ambiente (exterior) y salud*. Recuperado el 28 de Setiembre de 2017, de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>

- Panepinto, D., Blengini, G., & Genon, G. (2015). Economic and environmental comparison between two scenarios of waste management: MBT vs thermal treatment. *Resources, Conservation and Recycling*, 97, 16-23.
- Panepinto, D., Tedesco, V., Brizio, E., & Genon, G. (2014). Environmental Performances and Energy Efficiency for MSW Gasification Treatment. *Waste Biomass Valor.*
- Porras, E. (Agosto de 2012). SETENA: Historia de una Enfermedad Congénita (Tesis de licenciatura, Universidad de Vosta Rica). San José, Costa Rica.
- Programa Estado de la Nación 2017. (2018). *Informe Estado de la Nación 2017: Armonía con la Naturaleza*. Recuperado el 2 de Marzo de 2018, de <https://www.estadonacion.or.cr/2017/assets/en-23-cap-42.pdf>
- Programa Estado de la Nación. (2018). *Informe Estado de la Nación 2017: Armonía con la Naturaleza*. Recuperado el 2 de Marzo de 2018, de <https://www.estadonacion.or.cr/2017/assets/en-23-cap-42.pdf>
- Quesada, G. (4 de Abril de 2015). *COOPELESCA ya no producirá energía de la basura municipal*. Recuperado el 11 de Setiembre de 2017, de Periódico San Carlos al Día: <https://scaldiacr.wordpress.com/2015/04/22/coopelesca-ya-no-producira-energia-de-la-basura-municipal/>
- Reglamento N° 19094. (20 de Junio de 1989). Reglamento sobre el manejo de basuras. Costa Rica.
- Reglamento N° 39087-S . (24 de Junio de 2015). Reglamento para la operación de Hornos Crematorios. Costa Rica.
- Reglamento N° 40557-S. (8 de Junio de 2017). Reglamento para el co-procesamiento y gestión de residuos en hornos cementeros. Costa Rica.
- Reimann, D. O. (2012). *CEWEP Energy Report III*. Confederation of European Waste-to-Energy Plants, Bamberg. Obtenido de [http://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2017/09/13\\_01\\_15\\_executive\\_summary\\_cewep\\_energy\\_report\\_iii.pdf](http://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2017/09/13_01_15_executive_summary_cewep_energy_report_iii.pdf)
- Rueda, A. (05 de Junio de 2014). *Posible contratación de empresa para manejar basura en San Ramón preocupa a vecinos*. Recuperado el 11 de Setiembre de 2017, de <https://www.ameliarueda.com/nota/posible-contratacion-empresa-para-manejar-basura-san-ramon-preocupa-vecinos>
- Sáurez, L. (2011). Evaluación del uso de la incineración como solución para el tratamiento de los desechos sólidos en Costa Rica (Tesis de pregrado). Universidad de Costa Rica.
- SEDESOL. (2001). *Manual Técnico – Administrativo para el Servicio de Limpia Municipal*. Secretaría de Desarrollo Social, México.
- SETENA. (04 de octubre de 2016). Resolución N° 1843-2016-SETENA. *Acuerdo de la comisión plenaria coincineración de los residuos sólidos*. San José, San José.
- SETENA. (22 de Setiembre de s.f.). *Secretaría Técnica Nacional Ambiental Gobierno de Costa Rica*. Obtenido de <https://www.setena.go.cr/institucion/>

- Steinvorth, A. (2014). *Aprovechamiento energético de residuos sólidos municipales mediante el uso de tratamientos térmicos de avanzada*. Recuperado el 27 de Febrero de 2017, de CEGESTI Éxito Empresarial:  
[http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion\\_253\\_240314\\_es.pdf](http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion_253_240314_es.pdf)
- U.S. Energy Information Administration. (Diciembre de 2017). *Total Energy*. Recuperado el 10 de Marzo de 2018, de  
<https://www.eia.gov/totalenergy/data/browser/index.php?tbl=T01.01#/?f=M&start=201406&end=201711&charted=4-6-7-14>
- United States Environmental Protection Agency. (s.f.). *Energy Recovery from the Combustion of Municipal Solid Waste (MSW)*. Recuperado el 20 de Mayo de 2017, de <https://www.epa.gov/smm/energy-recovery-combustion-municipal-solid-waste-msw>
- Vargas, J. A. (Febrero de 2017). Hacia una efectiva valorización de los residuos metropolitanos. *Ambientico*, 10-16.
- Waste-to-Energy Research and Technology Council (WtERT). (2009). *WtERT*. Recuperado el 20 de Mayo de 2017, de  
<http://www.wtert.eu/default.asp?Menu=12&ShowDok=15>
- World Energy Council. (2016). *World Energy Resources Waste to Energy | 2016*. Recuperado el 21 de Febrero de 2018, de [https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources\\_Waste\\_to\\_Energy\\_2016.pdf](https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources_Waste_to_Energy_2016.pdf)
- Yang, N., Zhang, H., Chen, M., Shao, L.-M., & He, P.-J. (2012). Greenhouse gas emissions from MSW incineration in China: Impacts of waste characteristics and energy recovery. *Waste Management*, 2552-2560.
- Youcai, Z. (2017). *Pollution Control and Resource Recovery: Municipal Solid Wastes Incineration*. Shanghai, China: Elsevier Inc.
- Zaman, A. U. (2013). Life cycle assessment of pyrolysis–gasification as an emerging municipal solid waste treatment technology. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 10, 1029-1038.

## **APÉNDICES**

# APÉNDICE 1: HERRAMIENTA PARA LA EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE PROYECTOS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS PARA RESIDUOS SÓLIDOS

## Herramienta para la Evaluación de los Impactos Ambientales de Proyectos de Tratamientos Térmicos para Residuos Sólidos

---

### ÍNDICE

#### Índice 47

#### Índice de cuadros 49

#### Aspectos generales 50

#### Etapa I: Construcción 53

1.	Aguas superficiales .....	53
1.1.	Generación de aguas residuales .....	53
1.2.	Generación de sedimentos .....	54
2.	Suelo .....	56
2.1.	Degradación de la calidad del suelo .....	56
2.2.	Generación de residuos .....	58
3.	Aire .....	60
3.1.	Contaminación del aire con partículas .....	60
4.	Recursos naturales .....	62
4.1.	Consumo de recursos naturales .....	62
5.	Flora .....	63
5.1.	Alteración de la cobertura vegetal .....	63
6.	Fauna .....	65
6.1.	Alteración de la fauna .....	65
7.	Paisaje .....	67
7.1.	Intrusión visual .....	67
8.	Vialidad .....	69
8.1.	Aumento de tránsito .....	69

#### Etapa II: Operación 70

9.	Aguas superficiales .....	70
----	---------------------------	----

9.1.	Contaminación de agua.....	70
10.	Aguas subterráneas .....	74
10.1.	Consumo de agua.....	74
11.	Suelo .....	76
11.1.	Contaminación del suelo.....	76
11.2.	Generación de residuos sólidos.....	78
12.	Aire .....	81
12.1.	Generación de emisiones atmosféricas .....	81
12.2.	Generación de cenizas .....	92
12.3.	Emanación de olores.....	100
12.4.	Generación de ruidos .....	102
13.	Recursos naturales .....	104
13.1.	Consumo de combustibles fósiles.....	104
14.	Fauna.....	106
14.1.	Proliferación de agentes patógenos, moscas, insectos y aves.....	106
15.	Vialidad.....	107
15.1.	Aumento de tráfico .....	107

**Etapa III: Cierre 108**

**Bibliografía 109**

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Impactos en la salud y el ambiente de los principales contaminantes gaseosos. ....	83
Cuadro 2. Posibles tratamientos para las cenizas volantes (FA) y las cenizas de fondo (BA).....	96
Cuadro 3. Posibles aplicaciones para las cenizas volantes y las cenizas de fondo. ....	99

## ASPECTOS GENERALES

La Herramienta para la Evaluación de los Impactos Ambientales de Proyectos de Tratamientos Térmicos para Residuos Sólidos consiste en un documento que permite orientar la revisión de Estudios de Impacto Ambiental (EsIA) para proyectos de incineración, gasificación y pirólisis.

El presente documento muestra las tres etapas que existen en los proyectos de co-incineración o tratamientos térmicos (específicamente para incineración, gasificación y pirólisis): construcción, operación y cierre. Para la etapa de construcción y operación, se identificaron y definieron los posibles impactos ambientales que se pueden generar. También, se presentan las medidas obligatorias tomadas de la legislación costarricense y las medidas recomendadas obtenidas a partir de la literatura y otros EsIAs.

Definiciones importantes:

- Condiciones de referencia: Son los valores de temperatura y presión sobre los cuales están fijados los límites máximos de emisión. Corresponden a 0° Celsius (273,15 K) y 101,325 kPa en base seca, referidos a 11 % de oxígeno (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Promedio diario: Suma de valores semihorarios de las mediciones obtenidas del sistema de monitoreo continuo promedio divididos entre el número de valores semihorarios promedio obtenidos en un día (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Promedio semihorario: Suma de los valores cada media hora dividida entre el número de mediciones realizadas en dicha media hora (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Impacto ambiental: cambios espaciales y temporales de un parámetro ambiental como resultado de la interacción de una acción humana en particular, en comparación con lo que hubiese ocurrido si la situación no se hubiese dado. También, se puede definir como las alteraciones significativas, de carácter negativo o beneficioso, que se producen en el ambiente como resultado de una actividad humana (Espinoza, 2002).

Cualquier tratamiento térmico para los residuos sólidos en el país se clasifica conforme al INEC con la denominación CIU "Tratamiento y eliminación de desechos no peligrosos," la que se debe considerar de riesgo A (Alto). Es por esto que el Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE (2015) estableció que el estudio debe contemplar:

1. Todo el ciclo de vida de la materia prima.
2. El certificado de Uso de Suelo Municipal vigente.
3. Aprobación para el Proyecto otorgado por el Concejo Municipal de la Municipalidad donde se instale el proyecto.
4. El Permiso de Ubicación vigente, otorgado por la Dirección de Protección al Ambiente Humano (DPAH) del Ministerio de Salud.

5. Refrendo del Colegio de Ingenieros Químicos y Profesionales Afines para los diagramas y planos establecidos en las distintas etapas de desarrollo (artículo 219 del Decreto Ejecutivo N° 35695-MINAET).
6. Planos de equipos, tuberías e instrumentación del equipo de control de emisiones revisado por el Ministerio de Salud (Decreto Ejecutivo N° 36550-MP-MIVAH-S-MEIC).
7. El diseño debe tomar en cuenta que el suministro de aire para la incineración de los residuos debe ser graduable e independiente del suministro de aire para la combustión del combustible. Se excluye de este requisito los incineradores en los que el proceso de incineración se lleve a cabo en ausencia o limitación de oxígeno.
8. El diseño debe contar como mínimo con dos cámaras: Una primaria de ignición y conversión térmica de los residuos donde se volatiliza la fracción orgánica y una secundaria donde se oxidan totalmente los gases de combustión derivados de la vaporización de los componentes orgánicos de los residuos. Se excluye de este requisito el proceso de tratamiento térmico utilizando plasma.
9. Manual de Operación y Mantenimiento.
10. Certificado de la integridad mecánica vigente del equipo, elaborada por un profesional nacional en Ingeniería Mecánica o Electromecánica, Ingeniería Química, o Ingeniería en Metalurgia o Materiales agremiado al colegio profesional respectivo. Dicho certificado deberá renovarse anualmente durante la fase de operación.
11. Estudios, parámetros de diseño y memorias de cálculo correspondientes que demuestren que los equipos deben estar diseñados, equipados y construidos acorde con las características de los residuos nacionales en términos de composición, humedad y poder calorífico.

Además, se recomienda que el Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) incorpore:

- Una lista de los materiales que serán tratados, preferiblemente clasificados según su origen; ya sea industrial, comercial, residencial, entre otros.
- Poder calórico inferior de los residuos a coincinerar.
- Capacidad de tratamiento térmico de residuos en kilogramos por hora de las instalaciones.
- Descripción detallada del proceso de descarga y separación de los residuos; información sobre los equipos automáticos y las operaciones manuales que se utilizarán para el proceso de inspección del contenido de las bolsas y la detección de los residuos prohibidos de coincinerar (Álvarez L. , 2013).
- Cantidad de horas al año que funcionará la planta.

Otros aspectos que se deben tomar en cuenta sobre el proyecto son:

1. Los equipos de coincineración no deben tener una antigüedad de fabricación mayor a los tres (3) años (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
2. Es recomendable que el cálculo de residuos con los que trabajará no supere los 2 kg/persona/día, multiplicados por la población a la que servirá.
3. El incinerador debe ser operado por personal calificado en el manejo seguro del equipo. Los registros de capacitación provistos por la empresa operadora o fabricante, deberán ser verificados por el Ministerio de Salud cuando se realicen inspecciones (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).

4. Se recomienda la contratación de profesionales de ingeniería ambiental e ingeniería química en planta (Sáurez, 2011).
5. El artículo 45 del Decreto Ejecutivo 31849 (2004) otorga la posibilidad de ordenar la conformación de una Comisión Mixta de Monitoreo y Control Ambiental (COMIMA) para los proyectos tipo A en los que SETENA lo considere necesario. Por lo tanto, se recomienda la orden de conformación de la comisión.

El artículo 5 del Decreto Ejecutivo N°39136-S (2015) prohíbe la incineración y coincineración de los siguientes residuos:

- a) Residuos radiactivos o nucleares.
- b) Residuos eléctricos y electrónicos.
- c) Baterías y acumuladores enteros o sus partes que contengan metales pesados.
- d) Residuos corrosivos, incluidos los ácidos minerales.
- e) Explosivos.
- f) Residuos que contengan cianuro.
- g) Residuos que contengan amianto.
- h) Armas químicas o biológicas destinadas a su destrucción.
- i) Residuos que contengan metales pesados o estén contaminados con éstos.
- j) Residuos de composición desconocida o impredecible.
- k) Compuestos Orgánicos Persistentes (COPs).
- l) Residuos de Polivinil Cloruro (PVC).
- m) Residuos peligrosos provenientes de los servicios de atención de la salud humana, así como sus establecimientos de enseñanza y laboratorios.

## ETAPA I: CONSTRUCCIÓN

### 1. AGUAS SUPERFICIALES

#### 1.1. GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

*a. Descripción:*

Durante la etapa de la construcción, se da la generación de aguas residuales propias del proceso de construcción, así como de las provenientes de los trabajadores. La descarga de aguas residuales en cuerpos de aguas superficiales implica una degradación en su calidad; por lo que afecta factores bióticos y abióticos. La disminución del oxígeno disuelto y la formación de depósitos de lodo pueden considerarse la perturbación ambiental más importante que puede afectar el medio acuático. La disminución del oxígeno disuelto limita la cantidad y variedad de seres vivos capaces de vivir en ese medio; mientras que el aumento de elementos tales como nitrógeno y fósforo causan la eutrofización. Ésta es un tipo de contaminación del agua que rompe el equilibrio del ecosistema y también colabora con el envejecimiento de lagos (Ramalho, 1996).

*b. Medidas obligatorias:*

- Presentar un Plan de Manejo de aguas residuales y pluviales debidamente aprobado por la Municipalidad (SETENA, 2016).

*c. Medidas recomendadas:*

- Disponer cabinas sanitarias para el manejo de las aguas residuales ordinales con plan de mantenimiento o con contrato de mantenimiento (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Para las aguas residuales resultantes de labores de construcción fuera de las aguas residuales ordinarias se recomienda colocar un filtro artesanal con drenaje (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Realizar un estudio previo de la calidad de los cuerpos de agua superficiales para monitorear que la misma se mantenga o mejore.

## 1.2. GENERACIÓN DE SEDIMENTOS

### *a. Descripción:*

El sedimento es un material natural de la tierra. Consiste en partículas de suelo de todos los tamaños que sucumbieron ante las fuerzas de la erosión del agua, el viento y las presiones causadas por fuerzas de expansión y contracción. Una corriente contiene una cierta variedad de sedimentos en función de su geología, topografía, las tasas de precipitación y otros factores en la cuenca (Department of Environmental Protection, s.f.).

La mayoría de los incrementos de sedimentos son graduales y son causados por cambios tales como el manejo de la tierra, alteraciones en la corriente de agua o eventos climáticos de corto plazo. Las corrientes, lagos y estuarios son susceptibles a los problemas de sedimentación y erosión. Cada sistema responde de una manera diferente a la sedimentación acelerada, por lo que deben evaluarse independientemente, pero reconociendo que hidrológicamente estos sistemas pueden estar estrechamente conectados. No todas las corrientes responden a la sedimentación de la misma manera. Al conocer las características básicas de ciertos tipos de flujos a través de un sistema de clasificación, se pueden hacer algunas generalizaciones y predicciones sobre la respuesta del cuerpo de agua (Castro & Reckendorf, 1995).

A pesar de que algunos sistemas acuáticos pueden funcionar con altos niveles de sedimentos finos en el fondo, generalmente se tiene una connotación negativa de los sedimentos porque se asocia con la degradación de una población de peces. Cuando las partículas de mayor tamaño como grava se rodean de otras menores como limos y arcillas, causan una disminución de espacio disponible para la vida animal y vegetal; y también, algunos animales pueden sofocarse o tener interferencias con su ingesta de alimentos. En casos más extremos como con el agua fangosa, se reduce la penetración de luz disminuyendo la capacidad de fotosíntesis de las plantas, proceso básico e indispensable debido a que muchas especies acuáticas dependen de él. Cuando el sistema se degrada a un ritmo acelerado el sedimento suele ser un problema, y generalmente es causado por actividades antropogénicas (Castro & Reckendorf, 1995; Department of Environmental Protection, s.f.)

La manera más efectiva de lidiar con la acumulación de sedimentos finos en los hábitats acuáticos es detener el exceso en su origen. Esto es factible solo para el sedimento derivado de la erosión acelerada. Si el grado de erosión ha progresado demasiado la erosión acelerada requiere estabilización y revegetación de taludes y otras medidas que dependerán de la geografía del lugar (Castro & Reckendorf, 1995).

### *b. Medidas obligatorias:*

- El artículo 33 de la Ley Forestal establece áreas de protección para evitar la contaminación de cuerpos de agua. Es por esto que se deben respetar las siguientes distancias (Ley N° 7575, 1996):
  - o Un radio de cien metros medidos de modo horizontal para las áreas que bordeen nacientes permanentes.

- Una franja de quince metros en zona rural y de diez metros en zona urbana, medidas horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, si el terreno es plano, y de cincuenta metros horizontales, si el terreno es quebrado.
- Una zona de cincuenta metros medida horizontalmente en las riberas de los lagos y embalses naturales y en los lagos o embalses artificiales construidos por el Estado y sus instituciones. Se exceptúan los lagos y embalses artificiales privados.

*c. Medidas recomendadas:*

- Implementar piletas de sedimentación, que permitan el asentamiento del material acarreado por las aguas de escorrentía (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Ejecutar solamente la remoción de la cobertura vegetal que sea estrictamente necesaria y de forma progresiva para evitar la permanencia extendida de suelo desnudo (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Colocar trampas de retención de sedimentos a contrapendiente en zonas propensas a la erosión hidráulica (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Colocar o sembrar plantas de pequeño tamaño como aráceas (tipo anturios, calas, filodendros), areáceas (palmeras) y similares, para capturar sedimentos generados por erosión eólica (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).

## 2. SUELO

### 2.1. DEGRADACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO

#### *a. Descripción:*

Sin excepción, la deforestación y la sustitución de los bosques por construcciones, cultivos o prados han llevado a un aumento dramático en la erosión del suelo, lo que resulta en deslizamientos de tierra poco profundos, en el aumento de la carga de sedimentos en los ríos y, en última instancia, contribuyó a la formación de nuevas estructuras sedimentarias (García-Ruiz, 2010).

Las mayores tasas de erosión que presentan los proyectos son producidas en la fase de la construcción, en donde se tiene una gran cantidad de suelo expuesto, movimiento de vehículos y excavaciones. Con respecto al tema de la degradación de los suelos, se demostró que durante un año de construcción con áreas sin vegetación (suelo expuesto) equivale al impacto de varias décadas de erosión natural e inclusive al impacto que genera la agricultura (Goudie, 2013).

Durante la fase de la construcción, la contaminación del suelo también se puede dar por derrames de combustibles fósiles o por otras sustancias químicas que se mantengan almacenadas durante el proceso (Amén, 2017). Dependiendo del tipo de sustancia y su concentración, se tendrán efectos diferentes en el suelo. Un estudio en Shengli Oilfield de China, con hidrocarburos totales de petróleo, cuantificó algunos de los impactos que tendrían estos derrames en los suelos. Dicho análisis se basó en la toxicidad aguda de lombrices de tierra, el experimento de crecimiento de plantas y la prueba de bacterias luminiscentes. A partir de los resultados, se concluyó que la contaminación con estas sustancias inhibe el crecimiento de las plantas de trigo y maíz, la vida de la lombriz de tierra y el afectará la actividad de las bacterias luminiscentes (Tang, Wang, Wang, Sun, & Zhou, 2011).

#### *b. Medidas obligatorias:*

- El artículo 53 de la Ley Orgánica del Ambiente establece que para proteger y aprovechar el suelo se deben realizar prácticas que eviten la erosión, otras formas de degradación y que prevengan el deterioro del suelo.
- En el caso del manejo y almacenamiento de combustibles éste se debe hacer de acuerdo a lo establecido en el Capítulo XII - Requisitos Específicos para las Instalaciones de Tanques de Almacenamiento de Combustible Industrial- (Autoconsumo)- del Decreto Ejecutivo N° 30131-MINAE-S del 20 de diciembre del 2001 "Reglamento para la Regulación del Sistema de Almacenamiento y Comercialización de Hidrocarburos", publicado en La Gaceta No. 43 del 1° de marzo del 2002 y sus reformas.

*c. Medidas recomendadas:*

- Las áreas de almacenamiento de combustible, aceite y aceite usado estarán en contenedores de 110% capacidad porcentual del material almacenado (Solair Direct Southern Africa (Pty) Ltd, 2014).
- Colectar, regular, controlar y percolar las aguas de escorrentía que discurren por efectos del proyecto, de forma tal que no se promuevan fenómenos erosivos, mediante canalización, reducción de energía, amortiguamiento y retención (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Adecuar el diseño de sitio, contemplando las condiciones topográficas del terreno para favorecer el flujo de escorrentía hacia los canales de trasiego proyectados (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Ubicar los equipos, maquinaria, instalaciones temporales y permanentes y obras auxiliares del proyecto, sobre sitios geotécnicamente estables y firmes, de topografía preferentemente llana, de forma tal que induzca una reducción del riesgo ante fenómenos de inestabilidad de suelos y taludes (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Estabilizar el terreno con el fin de evitar los deslizamientos, erosión y estancamiento de agua; de manera que la pendiente de los taludes en la zona afectada sea estable y permita la revegetación (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Depositar sobre la superficie nivelada al momento de la restauración, el suelo orgánico, recuperado de los trabajos de construcción o de otra fuente, para que se facilite el crecimiento de la vegetación (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Separar la capa fértil o con materia orgánica del suelo, a fin de que pueda ser utilizada en labores de restauración de suelos (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Aprovechar la tierra removida para nivelar áreas aledañas al área del proyecto (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).

## 2.2. GENERACIÓN DE RESIDUOS

### *a. Descripción:*

Una investigación de Abarca-Guerrero, Scheublin y van Egmond (2008) reveló que por cada metro cuadrado de construcción en Costa Rica, se generan aproximadamente 170 kg de residuos. Hay varias fuentes de generación de residuos, entre ellas se encuentran la demolición de estructuras, exceso de producción, defectos en los productos, tamaños estándar de materiales incompatibles con la construcción, procesamiento innecesario, accidentes, condiciones de trabajo deficientes (Li, Zhu, & Zhang, 2009; Rojas, 2015).

Algunos de los residuos más generados son madera, acero, hormigón, suelo, materiales de tubería, hojas de techo corrugado, alambres, materiales de embalaje (papel, plástico y cartón), cemento, concreto, cerámica, latón, materiales de soldadura, piedra caliza, bloques, vidrio, PVC, pinturas, ácidos, disolventes, detergentes, lubricantes, contenedores de aceite, textiles con solventes, sistemas de iluminación y escombros. Se desconocen las cantidades (en volumen o en peso) de estas secuencias ya que la mayoría de las empresas no realizan un seguimiento de estos datos. Una parte considerable consistía en materiales reciclables; por lo tanto, el reciclaje puede contribuir a disminuir la necesidad de vertederos o eliminación sitios, disminuyendo la presión ambiental y aumentando los ingresos (Abarca-Guerrero, Scheublin, & van Egmond, 2008).

### *b. Medidas obligatorias:*

- Explicar con detalle si el proyecto requiere la habilitación de sitios de escombreras para la ubicación del material removido en la fase constructiva; en caso de que se necesiten, se deben ubicar en la hoja cartográfica, describir detalladamente las características de los sitios donde se ubicarán (topografía, cobertura vegetal, acceso, presencia de cuerpos de agua, propietario, etc.) y se deben detallar todas las medidas ambientales que se tomarán en cuenta (SETENA, 2016).
- El Reglamento General para la Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos (2013) indica que se debe realizar un plan de gestión integral de residuos y desechos peligrosos, de salud ocupacional y atención a emergencias. Además, los residuos se deben gestionar únicamente con los gestores con permiso de funcionamiento.

### *c. Medidas recomendadas:*

- Emplear materiales de construcción de características reutilizables (plástico, metal, etc.) (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).

- Disponer los escombros conforme lo establece la legislación vigente en el país, en materia de residuos sólidos ordinarios y peligrosos (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Reciclar los residuos que lo permitan, tales como algunos aceros, concretos y otros (Li, Zhu, & Zhang, 2009).
- Diseñar un lugar para el almacenamiento y bodega de materiales ubicado en lugares planos para que se disminuya la probabilidad de que se dañen (Abarca & Leandro, 2016).
- Solicitar el embalaje de los materiales para facilitar el transporte y prevenir daños (Abarca & Leandro, 2016).
- Planificar los accesos y los métodos de transporte interno de los materiales durante la construcción (Abarca & Leandro, 2016).
- Evitar realizar modificaciones en el diseño que genere importantes cantidades de residuos de materiales de construcción (Abarca & Leandro, 2016).
- Verificar las especificaciones técnicas, cantidades y fecha de expiración de los productos (Abarca & Leandro, 2016).
- Capacitar a los operarios sobre los materiales a utilizar (Abarca & Leandro, 2016).
- Comprar material de origen local mientras sea posible (Abarca & Leandro, 2016).
- Establecer controles de calidad para recibir los materiales (Abarca & Leandro, 2016).
- Convenir con los proveedores la devolución de materiales sobrantes (Abarca & Leandro, 2016).
- Reutilizar el escombros como lastre (Abarca & Leandro, 2016).

### 3. AIRE

#### 3.1. CONTAMINACIÓN DEL AIRE CON PARTÍCULAS

##### *a. Descripción*

La contaminación del aire durante la época de construcción se debe principalmente al polvo producido al eliminar la cobertura vegetal, al paso de camiones y maquinaria en el terreno y a la práctica de quemar los residuos combustibles para reducir su volumen (Abarca-Guerrero, Scheublin, & van Egmond, 2008).

Se determinó que la contaminación del aire con partículas se asocia directamente con síntomas graves de las enfermedades en el tracto respiratorio, la afectación la función pulmonar y aumento de la morbilidad y la mortalidad de las enfermedades cardiopulmonares (Analitis, y otros, 2006; Li, Zhu, & Zhang, 2009; Organización Mundial de la Salud, 2016). Al mismo tiempo, ya se han estudiado los mecanismos de los efectos dañinos de las PM<sub>2.5</sub> en el sistema respiratorio, incluyendo la lesión por peroxidación de radicales libres, desequilibrio en la homeostasis del calcio intracelular y también se relaciona con citoquinas inflamatorias que estimulan la sobreexpresión de una serie de genes del factor de transcripción y la inflamación relacionados con los genes de citoquinas que causan lesiones inflamatorias (Xing, Xu, Shi, & Lian, 2016).

Con respecto a los daños en el ambiente, la EPA (2016) determinó que las partículas en el aire generan deterioro de la visibilidad debido a la formación de una bruma, también, dichas partículas pueden ser transportadas a largas distancias por el viento y luego asentarse sobre el suelo o el agua. Dependiendo de su composición química, las cenizas pueden acidificar ríos y lagos, cambiar el equilibrio de nutrientes en aguas costeras y grandes cuencas hidrográficas, dañar bosques sensibles y cultivos agrícolas, contribuir a los efectos de la lluvia ácida y daños a materiales como piedras, estatuas y monumentos. Por lo que reducir el polvo de construcción es la forma más efectiva de aliviar la carga ambiental para la limpieza del sitio, la excavación y relleno (Li, Zhu, & Zhang, 2009; United States Environmental Protection Agency, 2017).

##### *b. Medidas obligatorias:*

- El artículo 49 de la Ley Orgánica del Ambiente (2012) indica que el aire es patrimonio común y debe utilizarse sin lesionar el interés general de los habitantes de la Nación. Para tal fin:
  1. La calidad del aire, en todo el territorio nacional, debe satisfacer, por lo menos, los niveles permisibles de contaminación fijados por las normas correspondientes.
  2. Las emisiones directas o indirectas, visibles o invisibles, de contaminantes atmosféricos, particularmente los gases de efecto invernadero y los que afecten la capa de ozono, deben reducirse y controlarse, de manera que se asegure la buena calidad del aire.

##### *c. Medidas recomendadas:*

- Humedecer la superficie de trabajo, a fin de evitar que se levanten nubes de polvo durante los

períodos de época seca o de ausencia de lluvias (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).

- Cubrir los apilamientos de material fino y las vagonetas para su transporte, con lonas de protección para evitar el levantamiento de partículas (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).

## 4. RECURSOS NATURALES

### 4.1. CONSUMO DE RECURSOS NATURALES

#### a. Descripción:

En la etapa de la construcción, se utiliza una gran cantidad de recursos naturales. Uno de ellos es la madera, ya que se usa como material de revestimiento, lo que resulta en una presión adicional sobre los bosques. Además, la construcción del soporte contribuye con más de la mitad del impacto ambiental de la construcción debido a su alto consumo de acero y concreto. La fabricación del acero representa una cantidad significativa de recursos y consumo de energía y descarga de contaminantes. Por lo tanto, reducir el consumo de acero, aplicar nuevos materiales, diseños o tecnología como alternativa del acero para el soporte puede disminuir de manera importante los impactos ambientales (Abarca-Guerrero, Scheublin, & van Egmond, 2008; Li, Zhu, & Zhang, 2009).

#### b. Medidas obligatorias:

- No existen medidas obligatorias con respecto a la viabilidad de las obras o proyectos.

#### c. Medidas recomendadas:

- Reciclar los residuos que lo permitan, tales como algunos aceros, concretos y otros (Li, Zhu, & Zhang, 2009).
- Reducir en lo posible el consumo del acero (Li, Zhu, & Zhang, 2009).
- Buscar materiales con menor impacto ambiental para ser utilizados en vez del acero (Li, Zhu, & Zhang, 2009).
- Verificar las especificaciones técnicas, cantidades y fecha de expiración de los productos (Abarca & Leandro, 2016).

## 5. FLORA

### 5.1. ALTERACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL

#### *a. Descripción:*

El desarrollo, crecimiento, mejoramiento e incluso el desarrollo urbano involucran forzosamente la ocupación y modificación del suelo debido a que la mayoría de las actividades que desarrolla el hombre se realizan en él. La construcción implica una modificación o adaptación de las condiciones iniciales existentes en la zona, por lo que el medio ambiente siempre estará involucrado directamente (Alonzo & González, Pérdida de la cobertura vegetal como efecto de la urbanización en Chetumal, Quintana Roo, 2010).

Durante la etapa de la construcción, una de las actividades más impactantes es la remoción de capa superficial del suelo para adecuación de sitios como talleres, accesos temporales, bodegas, espacios de maniobras de la maquinaria y demás obras constructivas, pues estos terrenos quedan irreversibles y sus efectos son irreversibles, acumulativos y persistentes en el tiempo. El impacto del proyecto sobre la vegetación generalmente se clasifica como alto por la remoción de especies vegetales y la pérdida de diversidad (Mosco & Montealegre, 2013; Amén, 2017).

La pérdida de cobertura vegetal natural tiene implicaciones con la vulnerabilidad a desastres. En las zonas costeras, la vulnerabilidad aumenta cuando un sitio es naturalmente peligroso y se modifica para instalar infraestructura urbana poniendo en riesgo a la población que lo habita (Alonzo & González, Pérdida de la cobertura vegetal como efecto de la urbanización en Chetumal, Quintana Roo, 2010).

#### *b. Medidas obligatorias:*

- Es prohibido invadir un área de conservación o protección, cualquiera que sea su categoría de manejo, u otras áreas de bosques o terrenos sometidos al régimen forestal, cualquiera que sea el área ocupada; independientemente de que se trate de terrenos privados del Estado u otros organismos de la Administración Pública o de terrenos de dominio particular (Ley N° 7575, 1996).
- El artículo 56 de la Ley de la Biodiversidad (2008) indica que para la conservación in situ es prioritario la conservación de:
  1. Especies, poblaciones, razas o variedades, con poblaciones reducidas o en peligro de extinción.
  2. Especies cuyas poblaciones se encuentran altamente fragmentadas.
  3. Especies, razas, variedades o poblaciones de singular valor estratégico, científico, económico, actual o potencial.
  4. Especies, poblaciones, razas o variedades de vegetales con particular significado religioso, cultural o cosmogónico.
  5. Especies de flores dioicas cuya floración no siempre es sincrónica.
  6. Especies silvestres relacionadas con especies o estirpes cultivadas o domesticadas, que puedan utilizarse para el mejoramiento genético.

*c. Medidas recomendadas:*

- Desarrollar las actividades de desmonte únicamente en aquellos sitios estrictamente necesarios (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Resguardar las especies de flora y fauna que estén bajo alguna categoría de protección (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Proteger los ecosistemas boscosos naturales identificados dentro del área del proyecto (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Delimitar con señales visibles la zona de remoción de la cobertura vegetal, que permitan una verificación de los límites en cualquier momento y restringir la circulación de maquinaria fuera de ese espacio (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Las áreas despejadas que no se estén usando serán revegetadas usando plantas o semilla de especies locales (Solaire Direct Southern Africa (Pty) Ltd, 2014).
- Documentar la cobertura vegetal previa y posterior a la construcción y la recuperación de la capa de tierra (Solaire Direct Southern Africa (Pty) Ltd, 2014).
- Contemplar la introducción de especies que contribuyan a interceptar partículas suspendidas y mejorar la calidad del aire en el sitio (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).

## 6. FAUNA

### 6.1. ALTERACIÓN DE LA FAUNA

#### *a. Descripción:*

Los elementos de la biodiversidad son bienes meritorios; tienen importancia decisiva y estratégica para el desarrollo del país y son indispensables para el uso doméstico, económico, social, cultural y estético de sus habitantes. La biodiversidad no es un elemento que impida el desarrollo de un país, sino que debe impulsar el desarrollo sostenible para garantizar la existencia de recursos para las futuras generaciones (Ley N° 7788, 2008).

En el caso de la construcción el impacto al hábitat depende de la diversidad biológica que existe en la zona. Dicho hábitat se ve directamente afectado por la pérdida de la cobertura vegetal y puede causar la migración de especies. Asimismo, existe un potencial de perturbación causado por la invasión de especies que no son autóctonas, por el ruido y movimiento de construcción, equipo y personal (Solaire Direct Southern Africa (Pty) Ltd, 2014).

#### *b. Medidas obligatorias:*

- El artículo 56 de la Ley de la Biodiversidad (2008) indica que para la conservación in situ es prioritario la conservación de:
  1. Especies, poblaciones, razas o variedades, con poblaciones reducidas o en peligro de extinción.
  2. Especies cuyas poblaciones se encuentran altamente fragmentadas.
  3. Especies, razas, variedades o poblaciones de singular valor estratégico, científico, económico, actual o potencial.
  4. Especies, poblaciones, razas o variedades de animales con particular significado religioso, cultural o cosmogónico.

#### *c. Medidas recomendadas:*

- Procurar la protección y traslado de nichos y sus poblaciones hacia otro medio en caso de encontrarse (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Resguardar las especies de fauna que estén bajo alguna categoría de protección (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Procurar la protección y traslado hacia otro medio natural de nichos y sus poblaciones (mamíferos, reptiles o aves), en caso de encontrarse (Martínez, y otros, Estudio de Impacto

Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).

- Emplear iluminación que no genere afectación hacia el entorno de la fauna silvestre (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Regular el acceso y velocidad de vehículos al área del proyecto, para minimizar la incidencia de sus efectos adversos en la fauna (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).

## 7. PAISAJE

### 7.1. INTRUSIÓN VISUAL

#### a. Descripción:

Todas las construcciones tienen un efecto en el paisaje visual del área. Desde la remoción de elementos naturales tales como árboles o zonas verdes, como obras de movimiento de tierra. Los problemas de intrusión visual deben ser tratados mediante un diseño que analice las características del lugar y la existencia de otras estructuras (Department of Environment Food and Rural Affairs, 2013).

Durante la fase de construcción se originan los mayores impactos paisajísticos, los movimientos de tierra, la demolición de estructuras, la presencia de la propia estructura, y aquellas otras acciones que producen un cambio en la vegetación y morfología del lugar. Igualmente, se generarán impactos visuales por la intrusión de nuevos elementos como obras de ingeniería que son vitales para el control de procesos erosivos (Rivas & Méndez, 2004).

#### b. Medidas obligatorias:

- El artículo 71 de la Ley Orgánica del Ambiente (2012) que trata sobre contaminación visual, establece que se considerará contaminación visual, las acciones, obras o instalaciones que sobrepasen, en perjuicio temporal o permanente del paisaje, los límites máximos admisibles por las normas técnicas establecidas o que se emitan en el futuro.
- El artículo 72 indica que cuando se necesite afectar el paisaje, el producto final deberá ser, por lo menos, de calidad igual que el anterior (Ley 7554, 2012).
- El Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE (2015) establece en el artículo 8 que los lugares propuestos para las instalaciones de coíncineración deben estar acorde con el Ordenamiento Territorial aprobado, o en su defecto con un Uso de Suelo Conforme emitido por la Municipalidad.
- Además, el artículo 9 del mismo decreto, indica que dichas instalaciones deberán guardar una distancia de localización de mil metros a instalaciones de centros oficiales de la Red Nacional de Cuido y Desarrollo Infantil (CEN-CINAI, CECUDI y centros de atención integral públicos, privados y mixtos para personas hasta de doce años de edad), centros educativos públicos y privados, establecimientos de salud públicos y privados (hospitales y clínicas), almacenamiento y distribución de gas licuado de petróleo o gas natural e industrias químicas que almacenen en forma superficial productos combustibles o inflamables en cantidades superiores a los 1000 m<sup>3</sup>, actividades agrícolas e industrias de procesamiento de alimentos, todo esto georreferenciado mediante un proceso topográfico y reportado en sistema CRTM05 en un radio de 1000 metros (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).

c. Medidas recomendadas:

- Mejorar el establecimiento de la instalación por medio del uso adecuado de las características del paisajismo (árboles, setos, bancos, etc.) (Department of Environment Food and Rural Affairs, 2013).
- Localizar las instalaciones en espacios utilizados previamente en actividades industriales o tierra asignada en planes de desarrollo para tales usos (Department of Environment Food and Rural Affairs, 2013).
- Contratar un arquitecto para tomar en cuenta buenos principios de diseño que combinen en lo posible con el paisaje actual y con el objetivo de tornar la estructura agradable a la vista o aceptable debido a que son estructuras grandes (Department of Environment Food and Rural Affairs, 2013).
- Diseñar la obra gris con mimetización al entorno, con ventanales de color opaco que aprovechen la luz y aireación natural, para evitar confundir a las especies con espacios abiertos (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Utilizar únicamente el área necesaria para la ejecución del proyecto, maximizando el espacio disponible y minimizando el efecto neto sobre el paisaje local y regional (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Conservar cobertura vegetal dentro del área del proyecto, y en las cercanías de sus linderos, de forma tal que la misma sirva de barrera amortiguadora de los efectos paisajísticos del proyecto (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Mantener el terreno libre de desechos, materiales o cualquier otro residuo (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).

## 8. VIALIDAD

### 8.1. AUMENTO DE TRÁNSITO

#### *a. Descripción:*

Durante la fase de construcción, se inicia un aumento de tránsito pesado para realizar labores de demolición de estructuras, remoción de cobertura vegetal, excavación de tierras, transporte y colocación de materiales, recolección, transporte y disposición de residuos y transporte de equipo y personal (Rivas & Méndez, 2004).

#### *b. Medidas obligatorias:*

- No existen medidas obligatorias con respecto a la vialidad de las obras o proyectos.

#### *c. Medidas recomendadas:*

- Evaluar el estado de las rutas de acceso al proyecto, para verificar la mitigación óptima del impacto por el tránsito generado por concepto de la operación (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyal, 2012).
- Asfaltar o mejorar las condiciones de las calles por donde transitó la maquinaria pesada.
- Las instalaciones probablemente van a requerir una buena infraestructura de transporte y, por lo tanto, deben localizarse cerca de la red primaria de carreteras (Department of Environment Food and Rural Affairs, 2013).

## ETAPA II: OPERACIÓN

### 9. AGUAS SUPERFICIALES

#### 9.1. CONTAMINACIÓN DEL AGUA

*a. Descripción:*

El nivel de uso del agua será específico de la tecnología utilizada y, por lo tanto, no es posible proporcionar detalles sobre la naturaleza del efluente que se podría generar y cómo se debe manejar para minimizar el impacto en el ambiente. Sin embargo, como parte de los requisitos de permisos para una instalación se requeriría un plan de manejo para el efluente (Department of Environment Food and Rural Affairs, 2013).

Los vertidos pueden originarse de aguas de tipo ordinario provenientes de uso del personal operario y de tipo especial proveniente de las zonas de lavado de vehículos de transporte, zonas de recibo y almacenaje de residuos, aguas de lavado de la planta procesadora y de los sistemas de tratamiento de emisiones. Estas deben ser canalizadas al Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (SETENA, 2016). Mena (2017) indica que también se debe tomar en cuenta la generación de aguas residuales a partir de los lixiviados que se producen de los residuos durante el almacenamiento, y también en la parte del lavado de las instalaciones y la maquinaria para evitar la proliferación de vectores.

Otro aspecto que se debe tomar en cuenta cuando se trabaja con la gasificación es que se producen cantidades significativas de alquitrán que deben ser tratadas junto con las aguas residuales. La cantidad y composición del alquitrán depende del combustible, la condición de operación y las reacciones de fase secundarias del gas. Generalmente, se utilizan procesos húmedos físicos vía condensación del alquitrán, los cuales contienen la desventaja de transferir el alquitrán al agua residual, por lo que su valor calórico se pierde y el agua debe ser tratada para ser vertida (Panepinto, Tedesco, Brizio, & Genon, 2014).

*b. Medidas obligatorias:*

- Citar los nombres de los cuerpos de aguas superficiales y subterráneas, permanentes o intermitentes, que atraviesan, limitan o circundan el inmueble e indicación de las distancias existentes, sus características y el destino de los vertidos (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Presentar el balance de masa y energía para el sistema de tratamiento de aguas residuales (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Describir el sistema de recolección, conducción y tratamiento de aguas residuales, que incluye los procedimientos del tratamiento de las partículas y los gases de residuo de los equipos de

coincineración, con sus detalles constructivos. El sistema de tratamiento de aguas residuales debe de cumplir con los requerimientos del Decreto Ejecutivo N° 31545-S-MINAE del 9 de octubre del 2003 "Reglamento de aprobación y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales", publicado en La Gaceta No. 246 del 22 de diciembre del 2003 (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).

- Mostrar el sistema de recolección periférica e interna, conducción y disposición de las aguas pluviales, con sus detalles constructivos (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- El Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE (2015) indica que las aguas residuales procedentes del tratamiento de las partículas y los gases de residuo del proceso de coincineración podrán reinyectarse al proceso nuevamente.
- Las aguas residuales procedentes del lavado de gases de residuo y partículas, una vez tratadas en un sistema de tratamiento de aguas, y que se viertan a un alcantarillado sanitario o cuerpo receptor, deben cumplir con los siguientes requisitos (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015):
  1. Presentar reportes operacionales mensualmente ajustándose a los formatos establecidos en el Decreto Ejecutivo N° 33601-MINAE-S del 9 de agosto del 2006 "Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales", publicado en el Alcance 8 a La Gaceta No. 55 del 19 de marzo del 2007.
  2. La actividad se clasificará con la denominación CIU "Tratamiento y eliminación de desechos no peligrosos" la que se debe considerar de riesgo A (alto), según clasificación del Ministerio de Salud y SETENA.
  3. Independientemente del caudal de descarga, se debe realizar una muestra compuesta correspondiente a muestras proporcionales de veinticuatro (24) horas de muestreo continuo de aguas residuales cada mes. Se debe utilizar un muestreador continuo automatizado con sistema de seguridad para evitar alteraciones de la muestra. El procedimiento analítico debe ser el método 1613 de EPA o un método normalizado equivalente. La equivalencia del método debe ser determinado previamente por el Colegio de Químicos de Costa Rica.
  4. El vertido de aguas residuales procedentes de la depuración de los gases residuales, ya sea a alcantarillado sanitario o cuerpo receptor, debe cumplir con valores por debajo de los límites de emisión establecidos en el Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE.
- Describir el manejo de los lodos de la planta de tratamiento (SETENA, 2016).
- En caso de utilizar tanque séptico, presentar las pruebas de velocidad de tránsito de contaminantes, además el nombre del responsable de manejo y mantenimiento de dicha planta, así como el permiso de ubicación emitido por el Ministerio de Salud (SETENA, 2016).

- Efectuar pruebas para establecer las características físicas y químicas, el potencial contaminante y la peligrosidad de los lodos de conformidad con el Decreto Ejecutivo N° 27002-MINAE del 29 de abril de 1998 "Reglamento sobre el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar constituyentes que hacen un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente", publicado en La Gaceta No. 101 del 27 de mayo de 1998 (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).

*c. Medidas recomendadas:*

- En el caso de poseer sistemas de tratamiento de gases húmedos, se recomienda realizar los siguientes pasos para un tratamiento fisicoquímico (Department of Environment Food and Rural Affairs, 2013):
  1. Neutralización del pH: normalmente se usa la cal para obtener la precipitación de sulfitos y sulfatos.
  2. Floculación y precipitación de metales pesados y fluoruros: esta se puede llevar a cabo mediante floculantes y  $\text{FeCl}_3$ ; se pueden agregar otros aglutinantes más complejos o sulfuros para la eliminación de mercurio en caso de presentarse.
  3. Precipitación del lodo: este proceso tiene lugar en tanques de sedimentación o en separadores laminares.
  4. Deshidratación de lodo: normalmente se logra a través de lechos de secado de lodos, filtros de prensas, de banda o centrifugado.
  5. Filtración final del efluente a través de filtros de arena y/o filtros de carbón activado, removiendo sólidos en suspensión y orgánicos tales como dioxinas/furanos (si se usa carbón activado).
- Otra opción para el tratamiento de las aguas de tratamientos húmedos consiste en neutralizar las sales solubles en el agua (se puede combinar con floculación) e inyectarla en la corriente de gases de combustión. Por lo tanto, el agua se evaporará y las sales y otros componentes del agua se tratarán junto con los gases (Department of Environment Food and Rural Affairs, 2013).
- Realizar el tratamiento por separado de las corrientes de aguas residuales ácidas y alcalinas que surgen de las etapas de depuración de gases cuando hay interés de recuperar el ácido clorhídrico o el gypsum (Department of Environment Food and Rural Affairs, 2013; Amón, 2017)
- Las aguas residuales resultantes del mantenimiento y lavado de equipos, se pueden sedimentar o tratar dependiendo del contenido de grasas, aceites o compuestos orgánicos persistentes que contengan (Sáurez, 2011).
- En el caso de la incineración, las aguas residuales utilizadas para fabricar calor en un sistema de turbina de vapor se pueden tratar mediante ablandamiento, intercambio iónico, precipitación y ósmosis inversa (Sáurez, 2011).
- Regular el desfogue de aguas pluviales según la capacidad hidráulica disponible, mediante lagunas de retención y tanques de amortiguamiento de caudal, cuyo diseño contemple un

dimensionamiento de capacidad extra adicional (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).

- Muestrear bimensualmente la calidad del agua de las fuentes de agua cercanas, mediante ensayos de laboratorios certificados (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).

## 10. AGUAS SUBTERRÁNEAS

### 10.1. CONSUMO DE AGUA

#### *a. Descripción:*

La Ley Orgánica del Ambiente indica en su artículo 50 que el agua es de dominio público, por lo que su conservación y uso sostenible son de interés social (Ley 7554, 2012). Estas instalaciones no se caracterizan por consumir grandes cantidades de agua, no obstante, el consumo de agua depende de la tecnología que se vaya a usar (incineración, gasificación, pirolisis, entre otras), el tratamiento de los gases de combustión (en el caso de la incineración), refrigeración y funcionamiento de la caldera, del aprovechamiento de la lluvia y del uso de tecnologías de ahorro o bajo consumo en dispositivos que dispensen agua (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011).

Existen varias opciones para el tratamiento de los gases: lavadores húmeros, semi-húmedos y secos o semi-secos; siendo el primero el que consume más agua, pero no consume reactivos y tiene mejor eficiencia. También, se debe tomar en cuenta que, al poseer un lavador de gases húmedo, la etapa en donde se consume más agua es al inicio ya que el agua se puede recircular (Stantec Consulting Ltd, 2011).

#### *b. Medidas obligatorias:*

- Proponer medidas para proteger y conservar los ecosistemas acuáticos y los elementos que intervienen en el ciclo hidrológico en el área del proyecto (Ley 7554, 2012).
- Indicar la fuente de abastecimiento, el certificado de disponibilidad de agua por parte de la autoridad correspondiente y el uso específico que se le dará (SETENA, 2016).
- Si la fuente de agua a utilizar corresponde a un pozo, se debe adjuntar la documentación correspondiente del mismo: permiso de perforación y prueba de bombeo (SETENA, 2016).
- Se debe realizar un inventario de pozos y captaciones que existan en los alrededores y analizar la posible influencia del proyecto en la calidad y cantidad de agua (SETENA, 2016).

#### *c. Medidas recomendadas:*

- Implementar un programa permanente de optimización de uso del agua y de ahorro para la actividad (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyoil, 2012).

- Instalar grifería y servicios sanitarios de bajo consumo de agua (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Suministrar mantenimiento preventivo y correctivo constante a los accesorios y tuberías de agua potable (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Plantar una zona de protección dentro de la propiedad que se encuentre en el área potencial de recarga de la cuenca local (en caso de concordar) (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Reusar las aguas pluviales colectadas y el efluente depurado proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales para necesidades operativas de la actividad (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Participar y/o financiar campañas de siembra de árboles.
- Recircular el agua del efluente del depurador húmedo o de la caldera para que entre de nuevo en el sistema de tratamiento de gases (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011; Department of Environment Food and Rural Affairs, 2013).

## 11. SUELO

### 11.1. CONTAMINACIÓN DEL SUELO

#### *a. Descripción:*

La contaminación del suelo durante la fase de la operación se puede dar por derrames de combustibles fósiles, cuyos impactos fueron mencionados en el apartado de degradación de la calidad del suelo y por las emanaciones de gases y cenizas volantes que se generan en las instalaciones y que son afines a su acumulación en el suelo. Uno de los elementos que cumple esta característica y es altamente tóxico es el cadmio. (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011).

Sin embargo, existen varios estudios que revelaron que al incorporar pequeñas cantidades de las cenizas volantes en el suelo se modificaba su calidad nutricional, biológica y fisicoquímica. No obstante, en grandes cantidades genera contaminación por metales pesados y dificulta la actividad microbiana (Chandra & Singh, 2010).

#### *b. Medidas obligatorias:*

- Si se van a realizar fosas de almacenamiento para cenizas o rellenos sanitarios para depositarlas, se recomienda ubicar la planta en suelos arcillosos, impermeabilizar el suelo y seguir el Reglamento sobre Rellenos Sanitarios (N°38928-S).
- En el caso del manejo y almacenamiento de combustibles éste se debe hacer de acuerdo a lo establecido en el Capítulo XII - Requisitos Específicos para las Instalaciones de Tanques de Almacenamiento de Combustible Industrial- (Autoconsumo)- del Decreto Ejecutivo N° 30131-MINAE-S del 20 de diciembre del 2001 "Reglamento para la Regulación del Sistema de Almacenamiento y Comercialización de Hidrocarburos", publicado en La Gaceta No. 43 del 1° de marzo del 2002 y sus reformas.

#### *c. Medidas recomendadas:*

- Instalar contenedores de combustible y aceite que posean el 110% capacidad porcentual del material almacenado como factor de seguridad y evitar derrames. (Solair Direct Southern Africa (Pty) Ltd, 2014).
- Ejecutar prácticas efectivas de uso, manejo y conservaciones de suelos, para aquellos sectores del terreno donde no se instalen obras (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).

- Impermeabilizar las zonas de trabajo para evitar percolación de sustancias (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Transportar y manipular los residuos sólidos en unidades cerradas y acondicionadas para impedir la fuga de flujos sólidos o lixiviados hacia el entorno (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Realizar un informe con los resultados de las muestras de plomo y cadmio ambientales tomadas en el aire y el suelo en el límite de la propiedad (Stantec Consulting Ltd, 2011).

## 11.2. GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

### *a. Descripción:*

El tratamiento térmico de residuos produce a su vez diversos tipos de residuos sólidos, algunos de los cuales tienen numerosas aplicaciones. Cabe hacer una distinción entre los residuos derivados directamente del tratamiento térmico y los derivados del sistema de tratamiento de gases y de agua (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011; Margallo, Massoli, Hernandez-Pellon, Adalco, & Irabien, 2015).

A partir del tratamiento térmico, se obtienen dos tipos de residuos sólidos que son las cenizas volantes y las cenizas de fondo. Para ambas existen varias aplicaciones que son discutidas en la sección llamada Generación de cenizas. Además, si se utiliza la tecnología de incineración en horno rotatorio, la escoria es un residuo común que generalmente se debe descargar en rellenos sanitarios (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011).

A su vez, el sistema de depuración de gases seco y semi-húmedo generan una mezcla de sales de calcio y/o sodio, principalmente cloruros y sulfitos/sulfatos; también, hay algunos fluoruros y reactivos químicos sin reaccionar tal como la cal. Esta mezcla también puede incluir algo de ceniza volante que no ha sido eliminada por ningún paso precedente de eliminación de polvo. Por consiguiente, puede también incluir metales pesados contaminantes. Los residuos derivados del proceso seco con bicarbonato sódico pueden purificarse y reciclarse en un proceso industrial (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011).

En el caso de la incineración, también se presentan residuos de la limpieza del gas de combustión. Las opciones para su uso dependen del adsorbente utilizado (carbón activado, coque, cal, bicarbonato sódico, zeolita). A veces se permite la incineración del residuo de carbón o coque dentro de las mismas instalaciones (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011).

Al tratar las aguas residuales provenientes de tratamiento húmedo de gases, se genera un residuo llamado “torta de filtro”. Este material se caracteriza por un contenido muy elevado de metales pesados, aunque también puede incluir sales de solubilidad limitada, como yeso. La forma normal de disponerlo es en relleno sanitario y considerado como residuo peligroso (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011).

### *b. Medidas obligatorias:*

- Presentar las características energéticas de los residuos: estudios de poder calórico de los residuos, mediante estudios teóricos o experimentales, basados en la composición promedio de los residuos municipales y de los residuos a incinerar (cuando sean distintos de los primeros) (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).

- Mostrar estudios de composición de los residuos a utilizar como combustible, indicando el contenido de humedad (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Deben poseer instalaciones de separación, clasificación y recuperación de residuos valorizables que no se deben incinerar (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Describir los métodos de separación, acondicionamiento y pretratamiento de los residuos ordinarios para su coincineración, sistema y tecnologías de coincineración propuestos y los métodos empleados hasta la disposición final para los residuos que se generen del proceso (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- La instalación de coincineración debe contar con un área de almacenamiento para los residuos de conformidad con el Decreto Ejecutivo N° 35906-S del 27 de enero del 2010 "Reglamento de Centros de Recuperación de Residuos Valorizables" publicado en La Gaceta N° 86 del 5 de mayo del 2010. Debe poseer además, con un sistema de pesaje para registrar la masa de los residuos recibidos. Dicha zona de almacenamiento debe contar con los sistemas para el control de olores, así como los sistemas de recuperación de residuos y conducción de lixiviados hasta los sistemas de tratamiento de agua residual (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Describir el proceso de pretratamiento (clasificación y homogenización) antes de ser alimentados al incinerador (áreas de almacenamiento, pesaje, control de olores, sistemas de recuperación de residuos, conducción de lixiviados hasta los sistemas de tratamiento), manejo de envases con residuos de agroquímicos, manejo de residuos producto del proceso de clasificación y separación (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Presentar el balance de masa y energía para cada uno de los componentes de la instalación de coincineración, así como para la totalidad de la misma, incluyendo los sistemas de tratamiento propuestos (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Detallar las características y el destino de los residuos sólidos de la coincineración (SETENA, 2016).
- Efectuar pruebas para establecer las características físicas y químicas, el potencial contaminante y la peligrosidad de los residuos de la incineración de conformidad con el Decreto Ejecutivo N° 27002-MINAE del 29 de abril de 1998 "Reglamento sobre el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar constituyentes que hacen un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente", publicado en La Gaceta No. 101 del 27 de mayo de 1998 (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).

*c. Medidas recomendadas:*

- Desarrollar e implementar un sistema de seguimiento integral de residuos y documentación relacionada para todos los residuos que se movilizan por concepto de la actividad (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos

Central Coyol, 2012).

- Integrar un protocolo de trasiego de materiales residuales que no permita su exposición en sitios abiertos y cuya transferencia se realice en interiores, sobre superficies impermeables y provistas de sistemas de contención de lixiviados para su conducción al tratamiento respectivo (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Almacenar los residuos peligrosos separados de los sólidos ordinarios (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Almacenar los materiales y residuos peligrosos en reservorios metálicos identificados y cerrados, dispuestos en sitio fresco, seco y bien ventilado. El punto de almacenamiento no debe tener exposición directa al sol, fuentes de calor y/o agentes oxidantes. Asimismo, el contenedor debe poseer contención de derrame en la parte inferior. En el sitio debe contar con material absorbente y extintor para contingencias (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012) .
- En caso de obtener una gran cantidad de metales ferrosos (mayor al 10%) y no ferrosos en la composición química de las cenizas de fondo, se puede adquirir un equipo para eliminar los metales ferrosos de dichas cenizas. La chatarra metálica separada se entrega a un distribuidor de chatarra o se devuelve a la industria del acero (Department of Environment Food and Rural Affairs, 2013).
- En la mayoría de los casos, la torta del filtro del tratamiento de aguas residuales está muy cargada con Hg, Zn y Cd, por lo que debe manejarse como un desecho peligroso y tratarse o desecharse en instalaciones seguras para esta clase de residuos (Department of Environment Food and Rural Affairs, 2013).
- Para las instalaciones que usan carbón activado para tratar la corriente gaseosa, se ha vuelto más común quemar el carbón activado cargado junto con los residuos (Department of Environment Food and Rural Affairs, 2013).

## 12. AIRE

### 12.1. GENERACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

#### *a. Descripción:*

Dependiendo de la naturaleza de los residuos a tratar, del diseño del proceso de combustión, la composición y fluctuación del gas de combustión, el suministro de energía, la recuperación de energía y varias otras consideraciones se debe tomar una decisión sobre el tipo de tecnología que se va a utilizar para depurar los gases resultantes del proceso (Stantec Consulting Ltd, 2011).

Los contaminantes gaseosos emitidos pueden dividirse en tres grupos importantes. El primero corresponde a los gases ácidos, éstos se deben al sistema de tratamiento del gas de combustión, a la composición del residuo de entrada y al uso de cal con el desecho. En el caso de los gases ácidos, el tipo de tratamiento térmico (gasificación, pirólisis o combustión) no es un factor significativo para determinar emisiones (Panepinto, Tedesco, Brizio, & Genon, 2014).

El segundo grupo son metales y micro-contaminantes emitidos; depende principalmente de las condiciones de gasificación, como temperatura, contenido de oxígeno, tiempo de residencia y las actividades catalizadoras de diferentes sustancias. Las plantas de gasificación y pirólisis generalmente emiten niveles bajos de dioxinas y ciertos metales comparado con plantas de combustión (Panepinto, Tedesco, Brizio, & Genon, 2014).

La formación del último grupo de contaminantes (CO y NO<sub>x</sub>) depende de las condiciones de combustión como turbulencia, tiempo, temperatura y exceso de aire. Las tecnologías térmicas basadas en generación de gas de síntesis y combustión en calderas industriales ofrecen una mejora para disminuir las emisiones de NO<sub>x</sub> y partículas. No obstante, el CO y el NO<sub>x</sub> también pueden ser tratados para evitar liberar cantidades mayores permitidas por la legislación (Panepinto, Tedesco, Brizio, & Genon, 2014).

En el cuadro 1 se presentan los impactos al ambiente, a la salud, los límites establecidos por la norma costarricense y las concentraciones a las cuales los gases más comunes de los tratamientos térmicos pueden llegar a afectar de manera crónica y aguda a las personas que se encuentran cerca de las instalaciones. A su vez, dicho cuadro tiene el propósito de facilitar la revisión de los estudios de dispersión atmosférica dado que permite analizar los estudios en conjunto con información brindada.

#### **Dioxinas y furanos**

Las dioxinas y los furanos son subproductos no deseados que se pueden formar durante procesos químicos que incluyen cloro, carbono, oxígeno y altas temperaturas. Las dioxinas comprenden dos familias principales, las policlorodibenzo-para-dioxinas (PCDD) y los policlorodibenzofuranos (PCDF). Dichas sustancias se encuentran presentes en todos los compartimentos del ecosistema (aire, suelo, sedimentos de agua dulce y salada, animales). Debido a su solubilidad en los lípidos y la estabilidad química, se concentran a lo largo de la cadena alimentaria, y los alimentos se han convertido en la principal vía de exposición para los seres humanos, especialmente en los organismos que concentran tejidos adiposos como en el

caso de la carne bovina. Su capacidad de eliminación es baja y varía de una especie a otra (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, 2000).

Algunos efectos tóxicos consistentes son la pérdida progresiva de peso, la reducción de la ingesta de alimentos, la atrofia del timo y la hemorragia gastrointestinal. Otras señales características de la toxicidad están presentes en el hígado, la piel y las glándulas endocrinas. Generan diversas lesiones hepáticas, en las cuales se incluyen esteatosis, hepatocitos gigantes, inflamación y necrosis. Los daños cutáneos son el cloracné, la hiperqueratinización, la involución de las glándulas sebáceas y los quistes sebáceos, en particular en los monos; y además, se han demostrado alteraciones en la actividad de proliferación y en el estado de diferenciación de células epiteliales tanto en cultivos celulares como in vivo. Además, en casos de exposición accidental ante dioxinas, los habitantes mostraron un aumento de enfermedades cardiovasculares y de aparición de tumores y aumenta el riesgo de cáncer (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, 2000).

### **Alquitrán (gasificación)**

Durante la gasificación se producen cantidades significativas de alquitrán (entre 0,1 y 10% del gas producto). La cantidad y la composición de los alquitranes dependen del combustible, las condiciones de operación y las reacciones secundarias en fase gaseosa. Si el alquitrán se condensa (entre los 200 y 600 °C), puede desactivar los sistemas de eliminación de azufre, erosionar compresores, intercambiadores de calor, filtros cerámicos y dañar las turbinas y motores de gas (Panepinto, Tedesco, Brizio, & Genon, 2014).

Cuadro 1. Impactos en la salud y el ambiente de los principales contaminantes gaseosos.

Contaminante	Límite máximo de emisión	Concentración peligrosa	Impactos en la salud	Impactos en el ambiente
SO <sub>2</sub>	50 mg/m <sup>3</sup> 19 ppm	La concentración máxima para exposiciones de 0,5 a 1 hora se considera de 50 a 100 ppm. También, se ha informado que de 400 a 500 ppm se considera peligroso incluso por períodos cortos de exposición (The National Institute for Occupational Safety and Health, 2014).	<p>La inhalación de este gas es considerada muy tóxica debido a que podría causar la muerte. Además, puede causar irritación severa de la nariz y la garganta. En altas concentraciones puede causar una acumulación de líquido potencialmente mortal en los pulmones (edema pulmonar).</p> <p>También, el gas irrita o quema la piel y los ojos, al punto de poder causar pérdida de la visión. Una exposición prolongada o crónica puede irritar e inflamar las vías respiratorias y puede dañar el sistema respiratorio (Canadian Centre for Occupational Health and Safety (CCOSH), 2017).</p>	<p>En concentraciones altas, el SO<sub>2</sub> gaseoso puede afectar árboles y plantas al dañar el follaje y disminuir el crecimiento.</p> <p>El SO<sub>2</sub> y otros óxidos de azufre contribuyen a la lluvia ácida pudiendo dañar los ecosistemas sensibles.</p> <p>El SO<sub>2</sub> y otros óxidos de azufre pueden reaccionar con otros compuestos en la atmósfera para formar partículas finas que reducen la visibilidad mediante una neblina.</p> <p>La deposición de partículas también puede manchar y dañar piedras y otros materiales, incluidos objetos de importancia cultural, como estatuas y monumentos (Environmental Protection Agency (EPA), 2016).</p>
NO <sub>x</sub>	200 mg/m <sup>3</sup>	El límite de exposición segura a corto plazo (STEL por sus siglas en inglés) es de hasta 15 minutos no más de 4 veces al día y con al menos 1 hora entre exposiciones para 5 ppm de dióxido de nitrógeno. Por encima de 20 ppm ya es considerado inmediatamente peligroso para la vida y la salud (IDLH por sus siglas en inglés) (Department of Employment, Economic Development and Innovation, 2011).	<p><u>Efectos agudos en la salud:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Irritación ocular</li> <li>• Irritación de la garganta</li> <li>• Irritación pulmonar: tos y respiración con dificultad</li> <li>• Activa el asma en los asmáticos</li> </ul> <p><u>Efectos crónicos:</u></p> <p>Una condición similar al asma llamada RADS, que consiste en el cierre de los conductos de aire a cualquier irritante (productos químicos, humo de cigarrillo, incluso aire frío) pueden causar un ataque de asma.</p> <p>Bronquiolitis obliterante: las vías respiratorias más pequeñas (bronquiolos) son seriamente dañadas, se distorsionan y bloquean.</p> <p>La persona se queda sin aliento, que puede empeorar con el tiempo (Department of Employment, Economic Development and Innovation, 2011).</p>	<p>El NO<sub>2</sub> y otros NO<sub>x</sub> interactúan con el agua, el oxígeno y otras sustancias químicas en la atmósfera para formar lluvia ácida. La lluvia ácida daña ecosistemas sensibles como lagos y bosques.</p> <p>Las partículas de nitrato que resultan de los NO<sub>x</sub> dificultan la visión.</p> <p>Los NO<sub>x</sub> en la atmósfera contribuyen a la contaminación de nutrientes en las aguas costeras (Environmental Protection Agency (EPA), 2016).</p>

Contaminante	Límite máximo de emisión	Concentración peligrosa	Impactos en la salud	Impactos en el ambiente
HCl	10 mg/m <sup>3</sup> 6,79 ppm	Una exposición corta a 5 ppm del gas puede generar irritación de garganta. A partir de 50-100 ppm durante 1 hora de exposición se considera el máximo nivel tolerable para humanos; y para una exposición corta de concentraciones entre 1000 y 2000 ppm se considera peligroso (National Research Council (US) Subcommittee on Acute Exposure Guideline Levels, 2004).	<p><u>Efectos agudos:</u> El ácido clorhídrico es corrosivo para los ojos, la piel y las membranas mucosas. La inhalación puede causar tos, ronquera, inflamación y ulceración del tracto respiratorio, dolor en el pecho y edema pulmonar en humanos.</p> <p><u>Efectos crónicos:</u> Se ha informado que la exposición laboral crónica al ácido clorhídrico causa gastritis crónica, bronquitis, dermatitis, fotosensibilización en los trabajadores, decoloración y erosión dental (Environmental Protection Agency (EPA), 2000).</p>	<p>Si se disuelven altos niveles de gas de cloruro de hidrógeno en un cuerpo de agua, los organismos acuáticos serán dañados e incluso asesinados.</p> <p>La muy alta solubilidad del gas cloruro de hidrógeno significa que las emisiones a la atmósfera se eliminan rápidamente por la lluvia y la humedad en el aire.</p> <p>Algunos suelos y lagos pueden ser sensibles a esta lluvia ácida si las cantidades caen por encima de ciertas cantidades definidas como "cargas críticas" (Environmental Protection Agency (EPA), 2000).</p>
HF	1 mg/m <sup>3</sup> 1,22 ppm	<p>Límite de exposición permisible (PEL) de OSHA es de 8 horas en promedio ponderado a 3 ppm.</p> <p>Límite de exposición recomendado (REL) de NIOSH es de 8 horas en promedio ponderado a 3 ppm (2,3 mg/m<sup>3</sup>) y a un máximo de 6 ppm (5 mg/m<sup>3</sup>) durante 15 minutos (The University of North Carolina, S.F.).</p>	<p>El contacto del HF con la piel difiere de otros ácidos próticos porque el ion fluoruro penetra fácilmente en la piel, causando la destrucción de capas de tejido profundo. Este proceso puede continuar durante días si no se trata.</p> <p>El contacto con el ojo puede causar quemaduras y destrucción de la córnea. Además, la inhalación de vapores de HF puede causar espasmos en la laringe, edema laríngeo, broncoespasmo y/o edema pulmonar. Los síntomas de la exposición son tos, ahogo, opresión en el pecho, escalofríos, fiebre y piel azul. También, se pueden presentar quemaduras graves en la boca, el esófago y el estómago al ingerir HF (The University of North Carolina, S.F.).</p>	<p>El gas de fluoruro de hidrógeno es altamente corrosivo y dañará estructuras metálicas y edificios o monumentos hechos de piedra caliza. Si se disuelven altos niveles de fluoruro de hidrógeno en un cuerpo de agua, los organismos acuáticos serán dañados e incluso morirán.</p> <p>El gas de fluoruro de hidrógeno puede adherirse a las partículas en el aire, que luego se depositan en los suelos o las plantas. Si la fauna y el ganado ingieren cantidades significativas, pueden sufrir una sobredosis de fluoruro conocida como "fluorosis". La muy alta solubilidad del gas fluoruro de hidrógeno ocasiona que las emisiones a la atmósfera se eliminen rápidamente por la lluvia y la humedad en el aire. Algunos suelos y lagos pueden ser sensibles a esta lluvia ácida si las cantidades caen por encima de ciertas cantidades definidas como "cargas críticas". Esto hace que la contaminación por fluoruro de hidrógeno sea un problema ambiental tanto mundial como local (Scottish Environment Protection Agency (SEPA), S.F.).</p>

Contaminante	Límite máximo de emisión	Concentración peligrosa	Impactos en la salud	Impactos en el ambiente
CO	50 mg/m <sup>3</sup> 43,66 ppm	<p>El límite permitido de exposición (PEL por sus siglas en inglés) de OSHA es de 50 partes por millón (ppm). Las normas de OSHA prohíben la exposición de los trabajadores a más de 50 partes del gas por millón de partes de aire promediadas durante un período de 8 horas.</p> <p>El PEL de 8 horas para CO en operaciones marítimas también es de 50 ppm. Los trabajadores marítimos, sin embargo, deben ser retirados de la exposición si la concentración de CO en la atmósfera excede 100 ppm. El nivel máximo de CO para los empleados que participan en operaciones Ro-Ro (operaciones roll-on roll-on durante la carga y descarga de la carga) es de 200 ppm. (OSHA, 2002)</p>	<p>La inhalación de monóxido de carbono en altas concentraciones puede ser fatal, ya que impide el transporte de oxígeno (en la sangre) alrededor del cuerpo.</p> <p>La exposición a largo plazo a concentraciones más bajas (por ejemplo, al fumar) podría dañar a bebés por nacer o causar daño neurológico. (Scottish Environment Protection Agency (SEPA), S.F.)</p>	<p>El monóxido de carbono reacciona con otros contaminantes en el aire para formar ozono potencialmente dañino a nivel del suelo. Esto ocurre cerca del sitio de emisión. No tiene ningún efecto ambiental significativo a nivel mundial (Scottish Environment Protection Agency (SEPA), S.F.)</p>

b. *Medidas obligatorias:*

- Presentar el balance de masa y energía para el sistema de tratamiento propuesto (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Evitar la coincineración de residuos con un contenido superior al 1% de compuestos halogenados expresados en cloro para evitar la formación de los contaminantes orgánicos como las dioxinas, furanos y bifenilos policlorados (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Realizar estudios de dispersión atmosférica con mapas de isoconcentraciones de cada contaminante determinado por medio de un modelo numérico que incluya el estudio climatológico de la zona y estudios ecotoxicológicos y de toxicidad humana del impacto de los contaminantes atmosféricos en las actividades agrícolas y de procesamiento de alimentos, considerando la eficiencia estimada de los sistemas de tratamiento de emisiones (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Realizar un monitoreo continuo de la temperatura de la cámara primaria y secundaria del incinerador y de las emisiones en chimenea(s) de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), oxígeno (O<sub>2</sub>), partículas suspendidas totales (PTS), carbono orgánico total (COT), cloruro de hidrógeno (HCl), fluoruro de hidrógeno (HF), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno expresados como NO<sub>2</sub>. Se debe llevar a cabo un registro de las mediciones a través de la bitácora y en respaldo electrónico, que deberá poder ser consultado en tiempo real por el Ministerio de Salud, Ministerio de Ambiente y Energía y las Municipalidades que tratan los residuos en la instalación.
- Calibrar el sistema de monitoreo continuo al menos dos veces al año mediante mediciones paralelas con un laboratorio (con el Permiso Sanitario de Funcionamiento vigente), según recomendación del fabricante o cuando el Ministerio de Salud o el Ministerio de Ambiente y Energía lo soliciten por dudas sobre la calibración de los equipos (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Explicar la ubicación y los detalles constructivos de la plataforma de acceso a las chimeneas y el equipo de monitoreo continuo (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Presentar la siguiente información en la solicitud de permiso de ubicación: Dirección del viento, incluyendo viento predominante, brisas diurnas y nocturnas y vientos estacionales (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Contar con dispositivos automáticos y continuos de registro de la temperatura en las cámaras, que resistan hasta 1400 °C, los que deberán activar quemadores auxiliares cuando la temperatura en la segunda cámara sea de 900 °C (que cuente con un factor de seguridad de 50 °C por encima de los 850 °C). Dichos quemadores auxiliares deben ser utilizados durante las operaciones de puesta en marcha y parada del incinerador (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Contar con un sistema de alimentación tanto para residuos líquidos como sólidos, de tipo neumático, mecánico, por gravedad u otro, con mecanismos de clausura hermética que no permitan la salida de gases por la entrada de los residuos, tanto si el proceso es por lotes (*batch*) o continuo (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Instalar analizadores de CO y O<sub>2</sub> para el control de la combustión dependiendo del tipo de tratamiento utilizado. Se deben determinar y ajustar los flujos de aire de combustión por medio de un programa de control automatizado de procesos (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).

- El diseño, equipamiento y la operación del tratamiento térmico debe permitir que la temperatura de los gases de combustión derivados del proceso de tratamiento de los residuos se eleve, tras la última inyección de aire de combustión, de manera controlada y homogénea, aun en las condiciones más desfavorables, hasta un mínimo de 900 °C en la cámara secundaria, durante un tiempo de residencia de los gases superior a dos segundos (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- En caso de tratamiento térmico de residuos homogenizados con más de 1 % de compuestos halogenados, expresados en cloro, la temperatura de los gases de combustión debe elevarse hasta 1100 °C durante un tiempo de residencia de los gases superior a dos segundos en la cámara secundaria (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Operar los hornos en el régimen de flujo turbulento (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Las instalaciones deben tener un sistema automático que impida la alimentación de residuos en las siguientes situaciones:
  1. Durante la puesta en marcha, cuando no se hayan alcanzado las condiciones normadas.
  2. Cuando no se mantengan las temperaturas establecidas.
  3. Cuando ocurra alguna perturbación o fallo en el incinerador o el equipo de control de emisiones.
- Las cámaras se deben mantener permanentemente a una presión menor con respecto a la presión atmosférica, por medio de los ventiladores de tiro inducido o sistemas equivalentes en el circuito de gases, que impida la salida de emisiones fugitivas (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Toda instalación de coincineración debe contar con un equipo de control de emisiones en el que se de tratamiento a las partículas y gases generados en el proceso, que garantice que se cumplan los límites máximos de emisión establecidos en los artículos 21, 22 y 23 del Decreto Ejecutivo N° 39136-S (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Previo a la entrada de los gases al sistema de control de emisiones, la temperatura debe reducirse rápidamente y ser inferior a 200 °C, para disminuir la posibilidad de formación de dioxinas y furanos (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Realizar al menos uno de los muestreos y análisis trimestrales de una muestra aleatoria de las instalaciones de coincineración ubicadas en el área geográfica de su jurisdicción, como parte de un proceso de control cruzado e incluyendo muestreo y análisis para dioxinas y furanos. El informe de control cruzado sustituirá al reporte operacional del período correspondiente. Los funcionarios del Ministerio de Salud que realicen el muestreo deberán emplear el documento Guía de Inspección de Muestreo de Gases de Chimeneas de Fuentes Fijas (Anexo 4) del Decreto Ejecutivo No. 36551-S-MINAE-MTSS del 27 de abril del 2011 "Reglamento sobre Emisión de Contaminantes Atmosféricos Provenientes de Calderas y Hornos de Tipo Indirecto", publicado en La Gaceta No. 140 del 20 de julio del 2011, y entregarán en el acto copia a los firmantes del documento (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- La plataforma del equipo de muestreo debe (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015):
  1. Tener más de diez (10) diámetros desde la última perturbación de flujo y al menos cuatro (4) diámetros antes de la salida final hacia la atmosfera.
  2. Tener un puerto de muestreo de acuerdo al "Reglamento sobre la configuración de los sitios de muestreo en chimeneas y ductos para la medición de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes fijas" o bien el que se le solicite por parte del laboratorio que instale el equipo de muestreo permanente.

3. Tener un techo que cubra el equipo de muestreo permanente a una altura sobre el puerto de muestreo de al menos dos (2) metros libres y desde la chimenea hacia el alero al menos de tres (3) metros y que cubra todo el alrededor donde se ubica el sistema de muestreo. Este techo no puede tener goteras ni fugas en su unión a la chimenea.
  4. Tener una fuente de corriente alterna de  $120 \pm 5$  VAC con al menos cuatro (4) tomacorrientes polarizados a tierra cada uno con capacidad de veinte (20) amperios para consumo resistivo y con protección de sobrevoltaje.
  5. Cumplir con los requerimientos de montajes electromecánicos que solicite el ente que instale el equipo de muestreo permanente.
  6. Cumplir con todas las normas de seguridad para el personal que debe acceder al equipo, durante su instalación, durante la recolección de muestras y reinstalación y acondicionamiento del sistema y todas las oportunidades de inspección u otros necesarios.
  7. Tener iluminación de seguridad y a prueba de explosión, que emane suficiente luz que permita dar servicio al sistema de muestreo aún en horario nocturno.
- Los estudios de dispersión atmosférica consisten en la estimación de las emisiones en chimenea para cada componente normado, su flujo másico y la estimación de las concentraciones de cada contaminante a distintos radios (ej. 100, 250, 500, 1000 metros.), mediante un modelo de dispersión gaussiana u otro modelo numérico, de la salida de la chimenea hacia el ambiente.

Debe incorporar la estimación de la eficiencia de los equipos de limpieza, lavado o filtrado de gases/partículas. Estos cálculos deben incorporar modelación de la pluma boyante (efectos velocidad/temperatura de salida en chimenea), para las distintas clases atmosféricas (incorporando horarios nocturnos y diurnos), con base en la distribución más probable de los vientos. La información meteorológica debe ser la suministrada por un ente oficial (Instituto Meteorológico Nacional). En caso que sea información aportada originalmente por la empresa, estas deben ser representativas de al menos un año calendario. Las concentraciones estimadas deben contrastarse con las concentraciones umbral a las que se esperarían efectos a la salud humana o al ambiente (efectos crónicos y agudos), afectación de especies de plantas comestibles y definir las concentraciones en los linderos de industrias de procesamiento de alimentos (SETENA, 2016).

Para la revisión de los estudios de dispersión atmosférica, se puede tomar en cuenta el cuadro 1 que contiene información sobre los impactos que tienen los gases de interés en la salud y en el ambiente. Basado en la ubicación, altura y concentración del gas, se puede estimar si la zona se verá ambientalmente afectada y si las personas que se encuentran trabajando o viviendo bajo las condiciones propuestas por el estudio van a sufrir consecuencias en la salud.

c. *Medidas recomendadas:*

- Someter la maquinaria y equipo auxiliar de operación a mantenimiento preventivo y correctivo para reducir la generación de emisiones (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyoil, 2012).
- Instalar sistemas de extracción de alto volumen de aire, que cree un efecto de presión negativa con el exterior, para minimizar el escape de gases y partículas (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyoil, 2012).
- Integrar un plan para el control y prevención de la contaminación del aire, que incluya la prevención de liberación excesiva de gases y partículas, por concepto del desarrollo de la actividad (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyoil, 2012).

- La chimenea debe tener el doble de la altura del edificio más alto, o un mínimo de setenta metros de altura; no obstante, otros autores consideran 15 m suficiente (Huizar, 2011; Sáurez, 2011).
- Para reducir la presencia de alquitrán en el gas de salida, se pueden realizar tratamientos fisicoquímicos. Existen procesos físicos húmedos que condensan el alquitrán del gas, lo filtran mediante gotas y separan la mezcla gas/líquido. La principal desventaja en el uso de procesos húmedos es que los alquitranes se transfieren a las aguas residuales, por lo que se pierde su valor de calentamiento y se tienen que clasificar como residuos peligrosos. Otra opción consiste en la inyección de carbón activado en la corriente de gas o en un lecho granular a través de la adsorción y la recolección con un filtro de mangas. Y por último se tiene el lavado a base de aceite (OLGA por sus siglas en inglés) que elimina los alquitranes, polvo, tiofenos y dioxinas del producto gas. El material carbonoso que contiene los alquitranes puede enviarse de nuevo al gasificador para fomentar la descomposición térmica y catalítica adicional, además que a temperaturas superiores a 1000 °C puede descomponer compuestos aromáticos (Panepinto, Tedesco, Brizio, & Genon, 2014).
- Se puede colocar una unidad de lavado con hidróxido de calcio para eliminar sustancias como el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y el cloruro de hidrógeno (HCl) (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Tratamiento para la reducción de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>):

El manejo de NO<sub>x</sub> se puede lograr a través de los sistemas de Reducción Selectiva No Catalítica (RSNC) y Reducción Catalítica Selectiva (RCS). Las emisiones de NO<sub>x</sub> más bajas se pueden lograr regularmente a través de RSC; con la RSNC se alcanza un mayor nivel de reducción de NO<sub>x</sub>, ya que se requieren cantidades mayores de inyección de amoníaco, es decir, hay mayor uso del reactivo y un aumento en los costos del tratamiento (Stantec Consulting Ltd, 2011).

Reducción Catalítica No Selectiva (RCNS): consiste en la inyección de amoníaco directamente en el horno sin ningún catalizador a temperaturas entre 850 y 1000°C. Para reducir la concentración en más de un 60-80 %, requiere una mayor adición de agente reductor. El exceso de amoníaco puede eliminarse en el lavador húmedo, recuperarse del efluente del lavador con un sistema de desorción de amoníaco, y reintroducirse en el sistema de alimentación de la RNSC (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011).

Reducción Catalítica Selectiva (RCS): es una inyección de amoníaco en los gases acompañada de un lecho catalizador por donde debe pasar el gas. Los catalizadores pueden ser a base de cobre, hierro, cromo, níquel, molibdeno, cobalto, vanadio, platino, rodio, TiO<sub>2</sub> o zeolitas. Cuando pasa a través del catalizador, el amoníaco reacciona con NO<sub>x</sub> para dar nitrógeno y vapor de agua. Para ser eficaz, el catalizador requiere normalmente una temperatura de 180- 450°C, por lo que, en ocasiones, se coloca directamente después del precipitador electrostático (PE) para reducir o eliminar la necesidad de recalentar el gas de combustión (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011).

- Tratamiento para la reducción de gases ácidos:

Los lavadores de gases o "Scrubbers" en inglés, consisten en los dispositivos de depuración de gases que utilizan la absorción tanto física como química para eliminar los contaminantes de la corriente de gases

de combustión. Los lavadores de gases, que generalmente se clasifican como "húmedos" o "secos / semisecos", se basan en una reacción química con un sorbente para eliminar los gases ácidos, incluidos el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), ácido clorhídrico (HCl) y ácido fluorhídrico (HF) de la corriente de gases de combustión. Además de los gases ácidos, los depuradores también son capaces de eliminar partículas y metales pesados como el mercurio (Stantec Consulting Ltd, 2011). El sorbente es típicamente algún tipo de suspensión alcalina de piedra caliza que reacciona con los gases ácidos para formar subproductos neutralizados. El subproducto sólido húmedo que generalmente se forma requiere un tratamiento adicional (deshidratación, precipitación de metales pesados) antes de ser liberado de la instalación (Stantec Consulting Ltd, 2011).

Alternativamente, en lugar de usar un sorbente alcalino, se puede usar agua en el depurador húmedo. Cuando se usa agua, se mezcla con los compuestos ácidos y aumenta el pH. Un depurador húmedo requiere una etapa adicional de tratamiento con sustancias alcalinas para disminuir su acidez. Este sistema también da como resultado aguas residuales que deben tratarse para eliminar los metales pesados que producen lodo y una corriente de aguas residuales que sale del sitio (Stantec Consulting Ltd, 2011).

- Tratamiento para la reducción de hidrocarburos y monóxido de carbono:

Estos gases se relacionan con la combustión incompleta de los residuos por sobrecarga del horno, insuficiencia de temperatura o alto contenido de humedad de los residuos. La incineración plantea utilizar las lecturas de CO y O<sub>2</sub>, las cuales permiten establecer la cantidad de aire en exceso con que se va a operar y evitar la combustión incompleta. De igual manera, la disminución de estos gases se puede obtener homogenizando los residuos antes de iniciar el tratamiento térmico (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011).

Las emisiones de hidrocarburos orgánicos pueden también reducirse mediante la deposición de polvo y aerosoles, dado que estos contaminantes absorben preferiblemente los polvos, así como mediante el enfriamiento forzado de los gases de combustión (condensación) (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011).

- Tratamiento para la reducción de dioxinas y furanos:

La estrategia principal para reducir estas emisiones es la separación de residuos que contengan cloro. Sin embargo, pueden formarse a partir de hidrocarburos clorados que ya se encuentran o se forman en el horno (como clorohidrobenceno o clorobenceno) y mediante síntesis *de novo* en el rango de temperaturas bajas (200 y 450°C) (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011).

Una de las opciones para reducir la cantidad de dioxinas y furanos es inyectando carbón activado en el flujo de gas. El carbón es filtrado del caudal de gas utilizando filtros de manga. A su vez, la adición de un relleno de columna en el lavador que contenga polipropileno impregnado con carbón ofrece un medio de absorción selectiva de furanos y el enfriamiento rápido (hasta menos de 100°C) de los gases de combustión con un lavador de agua han mostrado buenos resultados (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011).

- Tratamiento para la reducción de mercurio (Hg) y metales pesados:

El mercurio es un elemento muy volátil y por lo tanto pasa casi exclusivamente a la corriente de gases de combustión. La única técnica para evitar las emisiones de mercurio a la atmósfera es prevenir que ingrese en el sistema. Una vez en la corriente de gases, se puede obtener de dos maneras, las cuales poseen diferentes tratamientos. La primera es el mercurio metálico, éste puede disponerse sobre carbón activado

con azufre, coque o zeolitas. También, puede transformarse en mercurio iónico agregando altas cargas totales de cloro u oxidantes y depositándolo en lavadores húmedos para su posterior tratamiento con las aguas residuales en forma de HgS (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011).

Los otros metales pesados son convertidos principalmente en óxidos no volátiles y se depositan con la ceniza volante. Por consiguiente, se puede tratar mediante la eliminación de polvo y el uso de carbón activado para reducir las emisiones (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011).

## 12.2. GENERACIÓN DE CENIZAS

### a. Descripción:

Los tratamientos térmicos generan varios tipos de residuos sólidos, principalmente cenizas de fondo, de calderas y las volantes. Las cenizas de fondo se generan entre 200 y 300 kg/ton de residuo (aproximadamente entre 10 y 35% del peso inicial de los residuos), mientras que las cenizas volantes representan entre un 1 y 5% del peso total del residuo de entrada (Chen, Chang, Shen, Tsai, & Ko, 2012; Margallo, Massoli, Hernandez-Pellon, Adalco, & Irabien, 2015).

La composición química de las cenizas muestra que los elementos mayoritarios son Si, Al, Fe, Mg, Ca, K, Na y Cl. Además, SiO<sub>2</sub>, AlO<sub>3</sub>, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O son los óxidos más comunes encontrados en las cenizas volantes y de fondo. Asimismo, en las cenizas volantes se pueden encontrar dioxinas, furanos, cloruros, sulfatos y metales pesados, especialmente Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn. Estos metales pueden causar problemas de lixiviación y migración, por lo que son perjudiciales para el ambiente si no existe un tratamiento adecuado. Es por esto que las cenizas volantes son consideradas residuos peligrosos y las de fondo no (Alonso S. , 2015; Margallo, Massoli, Hernandez-Pellon, Adalco, & Irabien, 2015).

Una partícula es una pequeña masa discreta de materia sólida o líquida; un líquido fino o una partícula sólida que se encuentra en el aire o en las emisiones. Además, el material particulado 10 (PM<sub>10</sub>) se define como material particulado con un diámetro menor o igual a 10 micras (µm) mientras que la materia particulada 2.5 (PM<sub>2.5</sub>) es material particulado con un diámetro menor que o igual a 2.5 micrómetros (µm) (Theodore, 2008). Un estudio demostró que en el proceso de incineración la cantidad de partículas PM<sub>2.5</sub> estaba directamente relacionada con el tipo de residuo que se incineraba. La generación de estas partículas se debe principalmente al plástico, posteriormente a la tela, a los residuos de cocina, luego al papel, el aserrín y finalmente al vidrio. También, se obtuvo que, al mezclar todos los residuos, la producción de las partículas PM<sub>2.5</sub> disminuía (Yan, Zhu, Wang, & Xiong, 2016).

Los impactos en la salud y en el ambiente fueron ya comentados en el apartado de contaminación del aire con partículas en la etapa de la construcción.

### b. Medidas obligatorias:

- Presentar el balance de masa y energía del sistema de tratamiento propuesto (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Efectuar pruebas para establecer las características físicas y químicas (incluyendo el contenido de materia volátil), el potencial contaminante y la peligrosidad de las cenizas generadas de conformidad con el Decreto Ejecutivo N° 27002-MINAE del 29 de abril de 1998 "Reglamento sobre el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar constituyentes que hacen un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente", publicado en La Gaceta No. 101 del 27 de mayo de 1998 (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Caracterizar las cenizas volátiles analíticamente de forma separada a las cenizas de fondo, a fin de determinar su grado de toxicidad y necesidad de tratamiento, para determinar su destino (SETENA, 2016).

- Especificar las vías de reutilización o disposición final de cada tipo de cenizas (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Realizar un análisis mensual por un laboratorio externo con Permiso Sanitario de Funcionamiento, de las cenizas de fondo y las cenizas volantes, con base en submuestras retenidas cada día por el ente operador, para verificar que el destino pueda seguir siendo el originalmente aprobado. Asimismo, se debe llevar a cabo un registro diario de la cantidad y el destino final de las cenizas y las mismas se deben manejar según lo establecido en el Decreto Ejecutivo N° 37788-S-MINAE del 15 de febrero del 2013 "Reglamento General para la Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos", publicado en La Gaceta No. 138 del 18 de julio del 2013 (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- En caso de reutilizar las cenizas en algún proceso industrial o aplicación a materiales de construcción debe indicarse el destino específico. En principio, deben manejarse las cenizas volantes de forma separada de las escorias/cenizas del horno, pues tienen características físico-químicas distintas, salvo que se demuestre lo contrario (SETENA, 2016).

*c. Medidas recomendadas:*

- Métodos de separación de las partículas:

○ Ciclones:

Los ciclones proporcionan un método de bajo costo para eliminar las partículas de los gases de la corriente de gas. Los ciclones generalmente no son tan eficientes como los precipitadores electrostáticos, los filtros de mangas y lavadores venturi, es por esto que muchas veces se instalan como pretratamiento antes de estos dispositivos más efectivos. Las partículas entran al dispositivo con el gas y se ven obligados a girar, Sin embargo, las partículas más grandes no pueden girar, por lo que impactan, caen por la pared del ciclón y se recogen en una tolva. La corriente de gas en realidad gira varias veces en un patrón helicoidal, muy parecido al embudo de un tornado (Theodore, 2008).

○ Precipitadores electrostáticos:

Son equipos que generalmente se usan cuando se deben manejar grandes volúmenes de gas y se requieren altas eficiencias para la recolección de partículas pequeñas. El proceso de precipitación electrostática consta de tres pasos fundamentales: la carga de partículas, su colección y la eliminación del polvo recolectado. La carga de partículas en los precipitadores se realiza por medio de una corona, que produce iones que se unen a las partículas. La generación de una corona requiere el desarrollo de un campo eléctrico que acelera los electrones presentes en el gas a velocidades suficientes para provocar la ionización del gas en la región cercana al cable. Los iones producidos migran de la corona hacia el electrodo de recolección, y en el proceso colisionan y se adhieren a las partículas suspendidas en la corriente de gas. La carga sobre las partículas en presencia de un campo eléctrico da como resultado una nueva fuerza que causa la deposición de las partículas en el electrodo de recolección donde están sostenidos por una combinación de fuerzas mecánicas, eléctricas y moleculares. Las partículas pueden recolectarse por impacto periódico o golpeteo en el caso de material sólido (Theodore, 2008).

○ Filtros de manga:

Uno de los métodos más antiguos, simples y eficientes para eliminar partículas sólidas de las corrientes de gas es filtrando la corriente a través de filtros de tela. Éste es capaz de proporcionar altas eficiencias

de recolección para partículas tan pequeñas como 0,1  $\mu\text{m}$  y eliminará una cantidad sustancial de esas partículas tan pequeñas como 0,01  $\mu\text{m}$ . En su forma más simple, el filtro de tela industrial consiste en una tela a través del cual los gases cargados de polvo son forzados a pasar. Una combinación de factores genera la recolección de partículas en los filtros de tela y en la formación una torta de polvo; que, a su vez, actúa predominantemente como un mecanismo de tamizado. Las cenizas se eliminan de la tela por gravedad y/o medios mecánicos (Theodore, 2008).

- Depuradores húmedos:

Los depuradores húmedos son dispositivos que usan un líquido para eliminar partículas o gases contaminados de una corriente de gas de escape. Se puede inyectar agua en forma de aerosol en la corriente de gas; también, el gas puede ser forzado a pasar a través de películas líquidas; o, el gas puede moverse a través de capas de esferas de plástico cubiertas con líquido. La ventaja de esta tecnología es que también pueden eliminar efectivamente gases como HCl o SO<sub>2</sub> mediante condiciones de remoción correctas (Theodore, 2008).

Los depuradores húmedos están diseñados para incorporar pequeñas partículas de polvo en gotas de agua más grandes. Se producen gotas que van de 50 a 500  $\mu\text{m}$  de diámetro y se ponen en contacto con la materia particulada. Estas gotas más grandes, que contienen las partículas capturadas, se recogen luego por mecanismos simples como la gravedad, el impacto en los deflectores o por acción ciclónica. La mayoría de los colectores húmedos se pueden representar con dos zonas: una zona de contacto (captura de partículas) y una zona de separación (captura de gotas) (Theodore, 2008).

- Transporte y almacenamiento de cenizas:

- El transporte y almacenamiento temporal de los residuos secos en forma de polvo, como las cenizas y los residuos secos procedentes del tratamiento de los gases de proceso, se deben realizar de forma que se evite su dispersión en el medio ambiente, por ejemplo, en recipientes cerrados o en contenedores cubiertos y sin fugas para su transporte (Sáurez, 2011; Carranza & Monge, 2014).
- En la práctica, se suele observar (o prescribir) un periodo de envejecimiento de 6 a 20 semanas para ceniza de fondo tratada antes de su uso como material de construcción, o en algunos casos antes de su desecho en vertedero (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011).
- La ceniza de fondo fresca no es un material químicamente inerte. El envejecimiento se realiza para reducir la reactividad residual y la lixiviabilidad de metales. Los principales agentes activos son CO<sub>2</sub> de aire y agua de humedad, lluvia o rociado con agua (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011).
- El aluminio presente en la ceniza de fondo reacciona con Ca(OH)<sub>2</sub> y agua para formar hidróxido de aluminio e hidrógeno gas. El principal problema de la formación de hidróxido de aluminio es el aumento de volumen, que hincha el material. La producción de gas puede causar problemas si se utiliza directamente ceniza de fondo para su aplicación en construcción. Por lo tanto, el envejecimiento es necesario para permitir la utilización de la ceniza de fondo (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011).

- Tratamiento, reutilización y aplicaciones para las cenizas:

Una de las maneras de gestionar las cenizas consiste en depositarlas en rellenos sanitarios y en vertederos, con o sin tratamiento previo. Sin embargo, la deposición en vertedero está asociada a problemas ambientales relacionados con la lixiviación a corto y largo plazo de los contaminantes, especialmente en lo que se refiere a las sales solubles difíciles de estabilizar. Por lo tanto, ahora se recomiendan pretratamientos o técnicas de estabilización/solidificación previamente a su deposición. Los procesos de separación tienen por objeto la extracción (y en ocasiones recuperación) de las especies potencialmente contaminantes del residuo, disminuyéndose los problemas derivados de su deposición. No obstante, los procesos de separación pueden ser aplicados como etapa de preparación de las cenizas para su inclusión en otros productos. Algunos de los tratamientos más comunes se observan en el cuadro 2 (Alonso S. , 2015).

Cuadro 2. Posibles tratamientos para las cenizas volantes (FA) y las cenizas de fondo (BA).

Clase de tratamiento	Proceso	Tipo de ceniza	Descripción
Separación	Lavado con agua y con ácido	FA/BA	Este tratamiento reduce el cloruro, la sal soluble, los óxidos, hidróxidos y carbonatos de metales alcalinos y el contenido de metales pesados de las cenizas al usar una solución líquida. El lavado con agua es efectivo para la eliminación de cloruros; sin embargo, es posible la liberación de grandes cantidades de metales pesados como Pb y Zn. La adición de aditivos químicos o el control del pH pueden resolver este problema. Con respecto al uso del lavado ácido, el ácido fosfórico (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ) y el ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) han demostrado su eficacia para la eliminación de Pb, Zn y Cu. Para optimizar los procesos de lavado, las variables operativas, como la relación líquido/sólido, temperatura, tiempo de mezcla o velocidad de mezcla, tienen una gran influencia en la reducción del contenido de cloro de las cenizas volantes (Margallo, Massoli, Hernandez-Pellon, Adalco, & Irabien, 2015).
	Lixiviado	FA	Este proceso tiene como objetivo extraer los metales pesados de las cenizas y recuperarlos aún más en los lixiviados. El proceso depende del tipo de disolvente de extracción, el pH y la relación líquido/sólido. Algunos estudios han informado sobre el uso de agentes quelantes para recuperar Cr, Cu, Pb y Zn, mientras que otros autores han investigado algunos medios alternativos de lixiviación como EDTA, HCl, HClO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> Cl y ácidos minerales. Además, se puede realizar la biolixiviación, una tecnología alternativa a la lixiviación convencional que evita el uso de productos químicos debido a que utiliza el hongo <i>Aspergillus niger</i> para la remoción de los metales (Xu, Ramanathan, & Ting, 2014; Margallo, Massoli, Hernandez-Pellon, Adalco, & Irabien, 2015).
	Procesos electromecánicos	FA/BA	Implica reacciones de reducción/oxidación en la superficie del cátodo y el ánodo, inducidas por una diferencia de potencial entre los electrodos, para eliminar los metales pesados de la ceniza volante y recuperarlos. No requiere adición de sustancias químicas; sin embargo, eliminar metales cuando la concentración es baja puede ser difícil, poseen baja eficiencia y gran demanda de energía (Margallo, Massoli, Hernandez-Pellon, Adalco, & Irabien, 2015).
Estabilización solidificación	Aglutinantes orgánicos e inorgánicos	FA/BA	Este proceso mezcla los residuos con diferentes aglutinantes (orgánicos o inorgánicos) para obtener una matriz sólida, evitando así la lixiviación de contaminantes. Los aglutinantes inorgánicos pueden ser productos comerciales como el cemento de Portland, puzolanas o silicatos; los orgánicos pueden ser asfalto, betún o aglutinantes poliméricos como poliéster, resinas epoxi, poliolefinas, poliuretano y geles poliméricos (Margallo, Massoli, Hernandez-Pellon, Adalco, & Irabien, 2015).
	Geopolimerización	FA	Es la reacción entre un aluminosilicato sólido y una solución de hidróxido o silicato alcalino acuoso altamente concentrado a temperatura ambiente o baja (40-90 ° C) en donde se consiguen estabilizar las cenizas contra la lixiviación (Margallo, Massoli, Hernandez-Pellon, Adalco, & Irabien, 2015).
	Estabilización química	FA	Los reactivos utilizados en los tratamientos de estabilización química son oxidantes, reductores, adsorbentes o reactivos de precipitación, por ejemplo, agentes quelantes, fosfatos, sulfuros, sulfatos, sílice coloidal, humo de sílice, cenizas de cáscara de arroz, entre otros (Margallo, Massoli, Hernandez-Pellon, Adalco, & Irabien, 2015).

Clase de tratamiento	Proceso	Tipo de ceniza	Descripción
Tratamientos térmicos	Vitrificación	FA/BA	Las cenizas se funden con aditivos (precursores de vidrio) con el fin de fijar los contaminantes en la matriz final (alúmina-silicatos). Las temperaturas implicadas son 1100-1500 ° C y el material es enfriado para formar una sola fase sólida (amorfo y homogénea). Este proceso permite el aprovechamiento de las cenizas para otra aplicación y la destrucción de dioxinas y furanos (Alonso S. , 2015; Margallo, Massoli, Hernandez-Pellon, Adalco, & Irabien, 2015).
	Punto de fusión	FA	Técnica similar a la vitrificación con temperaturas entre 1000 y 1500 ° C, no incluye la adición de materiales de vidrio y da como resultado un producto de fases múltiples. Es posible separar las fases metálicas del producto fundido y reciclar estos metales después del refinamiento. Las características estables y no tóxicas de los residuos fundidos permiten su reutilización como recurso (Margallo, Massoli, Hernandez-Pellon, Adalco, & Irabien, 2015).
	Sintetización	FA/BA	Se aumenta la temperatura hasta que las especies químicas de interés logran una reconfiguración y forman vidrio y vitrocerámica. Por lo general, las temperaturas implicadas en este proceso están en el rango de 900 a 1000 ° C, y se obtiene el producto una densidad mayor (Zacco, y otros, 2014; Alonso S. , 2015).

Combinación de tratamientos: el uso de dos o más tratamientos mejora las características del residuo. Algunos ejemplos pueden ser un primer paso de lavado para eliminar cloruros y sulfatos y un tratamiento de solidificación.



La reutilización de los residuos está encaminada hacia cuatro vías principales de valorización: cementos y hormigones, cerámicos y vidrios, pavimentación y absorbentes, destacando entre ellos la obtención de productos cerámicos vidriados y su inclusión en matrices de cemento como principales aplicaciones. Actualmente, hay 42 más aplicaciones para las cenizas volantes y cenizas de fondo que encuentran todavía bajo investigación. En el cuadro 3 se puede observar algunas de las aplicaciones más comunes, su necesidad de pretratamiento, riesgo de lixiviación, ventajas y desventajas (Alonso S. , 2015).

*Cuadro 3. Posibles aplicaciones para las cenizas volantes y las cenizas de fondo.*

<b>Aplicación</b>	<b>Pretratamiento</b>	<b>Posibles usos</b>	<b>Riesgo lixiviación</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Producción de cemento	Recomendable	Producción de cementos aluminosilicatos	Bajo	Facilidad de implantación, menores emisiones de CO <sub>2</sub>	Posibles corrosiones por cloruros, altos tiempos de fraguado
Hormigón	Necesaria	Hormigones de baja densidad	Bajo	Ahorro de cemento y disminuye la capacidad de trabajo	Alto tiempo de fraguado, reducción de resistencia
Pavimentos y carreteras	Recomendable	Reemplazo de los materiales de la capa base y sub base del pavimento	Bajo	Método sencillo y directo de reutilizar las cenizas	En caso de presentar lixiviación de metales se contamina directamente el suelo
Cerámica y Vitrocerámica	No necesario	Ladrillos, azulejos, material decorativo	Bajo o Medio	Conservación de recursos y mantenimiento de las propiedades	Alto costo, riesgo de contaminación atmosférica
Mejoramiento de suelo	Recomendable	Fertilizante revestido del suelo	Medio o Alto	Conservación de recursos	Solo pequeñas cantidades, fitotoxicidad por salinidad
Adsorbente	No necesario para las cenizas de fondo	Tratamiento de aguas residuales y gases ácidos	Medio o Alto	Conservación de recursos	Pobre calidad del producto, líquido remanente para ser tratado

Fuente: (Alonso S. , 2015; Margallo, Massoli, Hernandez-Pellon, Adalco, & Irabien, 2015).

- Si la disposición final de las cenizas y residuos sólidos provenientes del tratamiento de los gases se realiza en rellenos sanitarios, se deben almacenar en bolsas de polietileno identificadas para tal fin. Estos residuos se pueden clasificar como inertes siempre y cuando, los análisis químicos de los lixiviados de la planta no superen los límites de la legislación (Amorín, Balbi, & Carrau, 2007).

### 12.3. EMANACIÓN DE OLORES

#### *a. Descripción:*

Cualquier operación de gestión de residuos puede generar olores debido a la descomposición de muchos de los residuos con los que se trabaja diariamente. Estos se pueden formar tanto en el transporte de los residuos como en el almacenamiento de los mismos y puede crear un impacto en las emisiones según la ubicación de la planta, su diseño y las medidas que se realicen para disminuir la generación de olores de la planta (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011; Department of Environment Food and Rural Affairs, 2013).

#### *b. Medidas obligatorias:*

- Contar con un área de almacenamiento para los residuos sólidos que posean sistemas para el control de olores, así como los sistemas de recuperación de residuos y conducción de lixiviados hasta los sistemas de tratamiento (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Establecer medidas de mitigación y de control de olores, especificar su ubicación y detalles constructivos del equipo (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).

#### *c. Medidas recomendadas:*

- Mantener el área de recepción por debajo de la temperatura ambiente y estar provista de sistemas de extracción de alto volumen para crear un efecto de presión negativa con el exterior, que impida el escape de partículas. Esta corriente de aire puede ser utilizada en el proceso de gasificación o incineración, con lo que se evita la liberación del mismo a la atmósfera. (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011; Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Colocar un sistema de mitigación de olores con aspersores (Mena, 2017).
- El ruido, los olores y otras emisiones provenientes de la trituración de residuos voluminosos en ¿?? pueden reducirse colocando la trituradora en la sala de recepción de residuos. En algunos casos, la maquinaria de trituración está instalada de modo que los residuos caigan directamente en él y queden almacenados abajo (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011).
- Establecer metodologías para que los residuos putrescibles en la instalación no superen las 24 horas almacenadas a temperatura ambiente o 72 horas a temperaturas inferiores de 10°C (Sáurez, 2011).



## 12.4. GENERACIÓN DE RUIDOS

### a. Descripción:

En este tipo de procesamiento de residuos sólidos, los principales factores que contribuyen al ruido son (Department of Environment Food and Rural Affairs, 2013):

1. Ruido de tráfico en las carreteras locales.
2. Procesamiento mecánico de preparación de residuos.
3. Ventiladores de extracción de aire y sistemas de ventilación.
4. Movimientos o maniobras de los vehículos.
5. Unidades de turbina de vapor.
6. Refrigerado por aire u otras unidades de condensador.

El efecto del funcionamiento de la trituradora, debe ser abordado desde dos perspectivas: el incremento de ruido en el entorno, que puede afectar a las personas de las viviendas próximas y el ruido en el ambiente laboral que puede afectar la salud de los operarios. Es por esto que no solo se deben tomar medidas para evitar impacto ambiental, sino que también medidas de seguridad laboral para los trabajadores (Amorín, Balbi, & Carrau, 2007).

### b. Medidas obligatorias:

- Realizar una comparación entre el ruido estimado que generará la actividad y las normas existentes para regular dicha variable. En caso de darse un incumplimiento, señalar las medidas ambientales a aplicar (SETENA, 2016).

### c. Medidas recomendadas:

- Conservar cercas vivas perimetrales en el proyecto, con árboles de copa ancha para que actúen como pantalla contra el ruido y el viento excesivo (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Ejecutar la operación dentro de módulos diseñados específicamente para el control de ruidos y vibraciones. Su construcción se realiza con materiales aislantes idóneos para el cerramiento de las áreas de trabajo y de equipos (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Dejar una separación considerable entre los módulos de operación de la empresa y otras edificaciones vecinas para disminuir la posibilidad de alteración de las actividades aledañas (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).

- Realizar monitoreo periódico automático continuo de las condiciones de calidad ambiental sobre ruido, según los parámetros establecidos en la legislación nacional vigente (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).

## 13. RECURSOS NATURALES

### 13.1. CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES

#### *a. Descripción:*

Las emisiones de CO<sub>2</sub> inherente a la combustión del carbono fósil en los residuos sólidos municipales fueron el principal contribuyente a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) durante un estudio de incineración. Al alterar el contenido de carbono fósil y el valor calorífico inferior de los residuos, se identificó que los contenidos de plástico y desperdicios de alimentos son dos factores críticos que afectan las emisiones de gases de efecto invernadero. Algunos de los contaminantes resultantes del uso de combustibles fósiles para el tratamiento térmico de residuos sólidos municipales son SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HCl, furanos y material particulado (Arena, 2012; Yang, Zhang, Chen, Shao, & He, 2012).

#### *b. Medidas obligatorias:*

- Presentar el balance de masa y energía para cada uno de los componentes de la instalación de co-incineración, así como su totalidad, incluyendo las entradas de combustibles fósiles en todas las partes del proceso que lo necesiten (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Los quemadores del incinerador se deben alimentar con combustibles con un contenido de azufre igual o menor a lo que establece la norma nacional para la comercialización de los siguientes combustibles, y en ningún caso podrá ser mayor al 1,0 %, tales como gas natural (GLN), gas licuado de petróleo (GLP), diésel, o cualquier otro aceptado o no prohibido por la legislación vigente (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- En el caso del manejo y almacenamiento de combustibles éste se debe hacer de acuerdo a lo establecido en el Capítulo XII - Requisitos Específicos para las Instalaciones de Tanques de Almacenamiento de Combustible Industrial- (Autoconsumo)- del Decreto Ejecutivo N° 30131-MINAE-S del 20 de diciembre del 2001 "Reglamento para la Regulación del Sistema de Almacenamiento y Comercialización de Hidrocarburos", publicado en La Gaceta No. 43 del 1° de marzo del 2002 y sus reformas (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Los entes operadores que utilicen combustibles fósiles para alimentar los quemadores del incinerador deben adjuntar al reporte operacional el análisis de laboratorio original, debidamente refrendado por el Colegio de Químicos de Costa Rica, correspondiente al contenido de azufre, nitrógeno y metales pesados en éste, muestreado a la entrada de los quemadores (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).

- El proveedor del combustible (a excepción del gas licuado de petróleo y el gas natural) debe proveer al ente operador análisis original de laboratorio, debidamente refrendado por el Colegio de Químicos de Costa Rica, correspondiente al contenido de azufre, nitrógeno y metales pesados en éste, el cual deberá ser adjuntado por el ente operador al reporte operacional (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
- Describir las características técnicas y condiciones de operación del sistema de coincineración propuesto (describir tipo de combustible a utilizar, calidad, su manejo y almacenamiento) (SETENA, 2016).
- Realizar una evaluación de riesgos cuantitativa que contemple los escenarios de contingencia que podrían afectar la operación normal de la instalación, y las medidas de mitigación y control de dichos riesgos. Se deben incluir estudios de onda expansiva y distancias de seguridad a instalaciones de centros oficiales de la Red Nacional de Cuido y Desarrollo Infantil (CEN-CINAI, CECUDI y centros de atención integral públicos, privados y mixtos para personas hasta de doce años de edad), centros educativos públicos y privados, establecimientos de salud públicos y privados (hospitales y clínicas), almacenamiento y distribución de gas licuado de petróleo o gas natural e industrias químicas que almacenen en forma superficial productos combustibles o inflamables en cantidades superiores a los 1000 m<sup>3</sup>, actividades agrícolas e industrias de procesamiento de alimentos. en un radio de 1000 m, así como sus consecuencias a la salud y el ambiente (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).

*c. Medidas recomendadas:*

- Colocar sistemas contra incendios en todas las instalaciones de la planta (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011).
- Instalar dispositivos de control de explosiones en conductos, etc (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011).
- Realizar la extracción de residuos peligrosos (particularmente material inflamable/volátil) de las zonas de almacenamiento con cuidado, a fin de evitar riesgos de explosión (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011).
- En caso de incendio en el búnker, los canales de aire deben cerrarse automáticamente para evitar que el fuego se propague desde el búnker al resto de las instalaciones (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011).

## 14. FAUNA

### 14.1. PROLIFERACIÓN DE AGENTES PATÓGENOS, MOSCAS, INSECTOS Y AVES

#### *a. Descripción:*

A pesar de poseer instalaciones cerradas para limitar la atracción de moscas, insectos y aves; durante el tiempo caluroso es posible que las moscas puedan acumularse, especialmente si han llegado durante la entrega de los residuos. El manejo efectivo de las áreas de depósito y almacenaje es esencial para minimizar el riesgo de parásitos y otras plagas. En algunas operaciones, el calor residual del proceso puede pasar a través de desechos de insumos frescos para que las temperaturas excedan los niveles en los que las moscas pueden sobrevivir. Del mismo modo, el tiempo de almacenamiento de residuos en algunas plantas está diseñado para ser menor que el ciclo de cría de parásitos como las ratas (Department of Environment Food and Rural Affairs, 2013).

#### *b. Medidas obligatorias:*

- El área de pretratamiento o acondicionamiento de los residuos debe diseñarse para un máximo de cuatro (4) días de capacidad de operación de la planta (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).

#### *c. Medidas recomendadas:*

- Adecuado control y limpieza en el almacenamiento con sistemas de desinfección para evitar agentes patógenos (Mena, 2017).
- Diseñar instalaciones cerradas para limitar la atracción de insectos y las aves (Department of Environment Food and Rural Affairs, 2013).
- Procurar un manejo efectivo de las áreas de depósito y almacenaje para minimizar el riesgo de parásitos y otras plagas (Department of Environment Food and Rural Affairs, 2013).
- Pasar calor residual del proceso a través de los residuos para que las temperaturas excedan los niveles en los que las moscas pueden sobrevivir (Department of Environment Food and Rural Affairs, 2013).

## 15. VIALIDAD

### 15.1. AUMENTO DE TRÁFICO

#### *a. Descripción:*

Las instalaciones de las plantas térmicas pueden ser atendidas por un gran número de vehículos grandes y pesados que deben visitar las instalaciones regularmente para la disposición de los residuos. Esto podría generar un impacto en las carreteras locales y la comodidad de los residentes locales (Department of Environment Food and Rural Affairs, 2013).

#### *b. Medidas obligatorias:*

- Presentar estudios sobre el estado de las vías de acceso que asegure la capacidad de soporte y capacidad de tránsito de las vías debido al transporte relacionado con el proyecto.
- Realizar una caracterización de las rutas a utilizar para la movilización de equipo en la fase operativa. Preferiblemente incluir un mapa de rutas más transitadas donde se ubiquen escuelas, hospitales, parques, puentes, entre otros (SETENA, 2016).

#### *c. Medidas recomendadas:*

- Establecer y publicar un horario de movilización de los camiones recolectores de residuos sólidos, de manera que las comunidades directamente afectadas puedan conocer el horario y programar sus actividades (SETENA, 2016).
- Establecer una programación de ingreso de camiones con residuos que impida la correspondencia con los horarios de mayor tránsito vehicular por las rutas de circulación (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Facilitar el ingreso de los camiones de residuos a las áreas destinadas para la espera a descarga, evitando la presencia de filas o atascamientos en las rutas viales (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).
- Colaborar en cuanto a mejoramiento y mantenimiento de las rutas de acceso al proyecto, de forma tal que se brinde apoyo en aspectos técnicos y financieros al alcance de la empresa (Martínez, y otros, Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol, 2012).

### **ETAPA III: CIERRE**

El Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación del Impacto Ambiental (Manual de EIA)- Parte IV o Decreto 32966-MINAE establece en el apartado 5.9 del Anexo 1 que solamente las actividades, obras o proyectos cuya vida útil es menor a 10 años, deben describir las actividades y medidas a realizar en la fase de cierre; así como la legislación aplicable y los responsables.

Debido a que estos proyectos son de alta inversión, su vida útil se extiende generalmente más de 10 años. Por consiguiente, no es obligatorio incluir la fase del cierre dentro de los Estudios de Impacto Ambiental. No obstante, se recomienda que el diseño permita un desmantelamiento fácil, limpio y económico (Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, 2011).

Debido a que el desmantelamiento plantea riesgos ambientales de contaminación del suelo, del agua subterránea y genera grandes cantidades de residuos sólidos, se recomiendan las siguientes técnicas generales preventivas:

- ✓ Evitar las estructuras subterráneas.
- ✓ Incorporar elementos que faciliten el desmantelamiento
- ✓ Escoger acabados superficiales que puedan descontaminarse fácilmente.
- ✓ Diseñar unidades flexibles y autocontenidas que permitan un cierre por fases.
- ✓ Utilizar materiales biodegradables y reciclables cuando sea posible.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, L. (23 de Octubre de 2013). Expediente 9279-2012-SETENA. Alajuela, Costa Rica.
- Álvarez, M. (Febrero de 2017). Conflictos socioambientales por la incineración en Costa Rica. *Ambientico*, 17-23.
- Abarca, L., & Leandro, A. (2016). *Guía para el Manejo Eficiente de Materiales de Construcción*. Cartago. Obtenido de <http://www.kpesic.com/sites/default/files/guia%20Web%20completa%20light.pdf>
- Abarca-Guerrero, L. (2013). Solid Waste Management Challenges for Cities in Developing Countries. *Waste Management*, 33, 220-232.
- Abarca-Guerrero, L., Scheublin, F., & van Egmond, E. (2008). Sustainable Construction in Costa Rica Towards a strategic approach to construction material management for waste reduction . 452-462.
- Alonso, D. (05 de Marzo de 2015). *Greene*. Recuperado el 13 de Agosto de 2017, de Actualidad e investigación: Incineración y gasificación, diferencias y similitudes: [http://greene.es/blog/incineracion-y-gasificacion-diferencias-y-similitudes\\_38.html](http://greene.es/blog/incineracion-y-gasificacion-diferencias-y-similitudes_38.html)
- Alonso, S. (Setiembre de 2015). Valoración de Cenizas Volantes y Cenizas de Fondo procedentes de la Incineración de Residuos Sólidos Urbanos: Revisión Bibliográfica. (Tesis de licenciatura, Universidad de Cantabria) .
- Alonzo, L., & González, M. (2010). Pérdida de Cobertura Vegetal como Efecto de la Urbanización en Chetumal, Quintana Roo. *Quivera*, 1-19.
- Alonzo, L., & González, M. (2010). Pérdida de la cobertura vegetal como efecto de la urbanización en Chetumal, Quintana Roo. *Quivera*, 1-19.
- Ambientico. (2017). Recuperación energética de residuos: ¿Oportunidad o amenaza? *Ambientico*, 2-3.
- Amén, F. (22 de Agosto de 2017). Entrevista . (D. Jiménez, Entrevistador)
- Amorín, C., Balbi, G., & Carrau, M. (2007). *nforme Ambiental Resumen Proyecto: Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos Montevideo*. KRILE S.A., Montevideo.
- Amón, R. (16 de Agosto de 2017). Entrevista sobre impactos ambientales de los tratamientos térmicos. (D. Jiménez, Entrevistador) San José, Costa Rica.
- Analitis, A., Katsouyanni, K., Dimakopoulou, K., Samoli, E., Nikoloulopoulos, A., Petasakis, Y., . . . Pekkanen, J. (Marzo de 2006). Short-Term Effects of Ambient Particles on Cardiovascular and Respiratory Mortality. *Epidemiology*, 230-233.
- Arena, U. (2012). Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review. *Waste Management*, 625-639.
- Astrup, T., & Bilitewski, B. (2010). Pyrolysis and Gasification. En T. H. Christensen, *Solid Waste Technology & Management, Volume 1 & 2*. Chichester, Reino Unido: John Wiley & Sons.

- Augusto, C., & Mora, S. (27 de Abril de 2014). Firma estadounidense Wastelectric invertirá \$390 millones en Costa Rica para convertir desechos sólidos en electricidad. *El Financiero*.
- Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos . (Noviembre de 2017). Metodología para la fijación ordinaria y extraordinaria para la determinación de tarifas de referencia para plantas de generación eléctrica con residuo sólidos municipales (RSM). Costa Rica.
- Barradas, A. (2009). *Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales: Estado del Arte*. Veracruz.
- Behrend, P., & Krishnamoorthy , B. (2017). Considerations for waste gasification as an alternative to landfilling in Washington state using decision analysis and optimization. *Sustainable Production and Consumption*, 12, 170-179.
- Bermúdez, F. (Febrero de 2017). Caminar de espaldas hacia un laberinto. *Ambientico*, 24-30.
- Beylot, A., & Villeneuve, J. (2013). Environmental impacts of residual Municipal Solid Waste incineration: A comparison of 110 French incinerators using a life cycle approach. *Waste Management*, 33, 2781-2788.
- Bosque, D. (13 de Julio de 2014). GAM se queda sin sitios para depositar mitad de su basura. *La Nación*.
- Canadian Centre for Occupational Health and Safety (CCOSH). (3 de 1 de 2017). *Sulfur Dioxide*. Recuperado el 8 de 3 de 2018, de OSH Answers Fact Sheets: [http://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/chem\\_profiles/sulfurdi.html](http://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/sulfurdi.html)
- Cantón, E. (20 de Junio de 2014). *Setena suspende construcción de Planta de Desechos Sólidos que pretendía construir Coopeguanacaste RL*. Recuperado el 11 de Setiembre de 2017, de <https://primeroennoticias.com/2014/06/20/setena-suspende-construccion-de-planta-de-desechos-solidos-que-pretendia-construir-coopeguanacaste-rl/>
- Carranza, K., & Monge, M. (Febrero de 2014). Análisis tecno-económico y ambiental de una tecnología de tratamiento térmico para la generación de energía eléctrica mediante los residuos sólidos urbanos de la zona de Los Santos (Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica). San José, Costa Rica.
- Castro, J., & Reckendorf, F. (agosto de 1995). *Effects of Sediment on the Aquatic Environment: Potential NRCS Actions to Improve Aquatic Habitat - Working Paper No. 6* . Recuperado el 26 de febrero de 2018, de United States Department of Agriculture: [https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/national/technical/?cid=nrcs143\\_014201](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/national/technical/?cid=nrcs143_014201)
- Chandra, V., & Singh, N. (Febrero de 2010). Impact of fly ash incorporation in soil systems. 16-27. India: Agriculture, Ecosystems and Environment.
- Chen, D., Yin, L., Wang, H., & He, P. (2015). Reprint of: Pyrolysis technologies for municipal solid waste: A review . *Waste Management*, 116-136.

- Chen, W.-S., Chang, F.-C., Shen, Y.-H., Tsai, M.-S., & Ko, C.-H. (Octubre de 2012). Removal of chloride from MSWI fly ash. *Journal of Hazardous Materials*, 116-120.
- Cherubini, F., Bargigli, S., & Ulgiati, S. (2009). Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. *Energy*, 2116-2123.
- Chinchilla, S. (2 de Mayo de 2017). Cierre del relleno sanitario de La Carpio está previsto para 2021. *La Nación*.
- Coventry, Z., Tize, R., & Karunanithi, A. (2016). Comparative life cycle assessment of solid waste management strategies. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18, 1515-1524.
- Decreto Ejecutivo Número 31849. (28 de Junio de 2004). Reglamento General sobre los procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). San José, Costa Rica.
- Decreto Ejecutivo N° 31849. (28 de Junio de 2004). Reglamento General sobre los procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). Costa Rica.
- Decreto Ejecutivo N° 37788-S-MINAE. (15 de Febrero de 2013). Reglamento General para la Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos. Costa Rica.
- Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE. (01 de 09 de 2015). Reglamento sobre Condiciones de operación y control de emisiones de instalaciones para coincineración de residuos sólidos ordinarios. Costa Rica.
- Department of Employment, Economic Development and Innovation. (2011). *Health effects of nitrogen oxides*. Recuperado el 8 de 3 de 2018, de [https://www.dnrm.qld.gov.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0020/212483/2-health-effects-of-nitrogen-dioxide.pdf](https://www.dnrm.qld.gov.au/__data/assets/pdf_file/0020/212483/2-health-effects-of-nitrogen-dioxide.pdf)
- Department of Environment Food and Rural Affairs. (2013). *Advanced Thermal Treatment of Municipal Solid Waste*. Reino Unido.
- Department of Environmental Protection. (s.f.). *What is sediment and how does it affect aquatic animals?* Recuperado el 02 de Febrero de 2018, de [http://dep.wv.gov/WWE/getinvolved/sos/Documents/Reports/WVSOS\\_MSMSedimentation.pdf](http://dep.wv.gov/WWE/getinvolved/sos/Documents/Reports/WVSOS_MSMSedimentation.pdf)
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). (2017). *Waste-to-Energy Options in Municipal Solid Waste Management*. Recuperado el 21 de Febrero de 2018, de [https://www.giz.de/en/downloads/GIZ\\_WasteToEnergy\\_Guidelines\\_2017.pdf](https://www.giz.de/en/downloads/GIZ_WasteToEnergy_Guidelines_2017.pdf)
- Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación. (2011). *Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea para Incineración de Residuos*. Madrid.
- Directive 2000/76/EC. (4 de Diciembre de 2000). Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste. Unión Europea.
- Environmental Protection Agency (EPA). (1 de 2000). *Hydrochloric Acid (Hydrogen Chloride)*. Recuperado el 8 de 3 de 2018, de

- <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-09/documents/hydrochloric-acid.pdf>
- Environmental Protection Agency (EPA). (8 de 9 de 2016). *Basic Information about NO2*. Recuperado el 8 de 3 de 2018, de <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2#Effects>
- Environmental Protection Agency (EPA). (16 de 8 de 2016). *Sulfur Dioxide Basics*. Recuperado el 8 de 3 de 2018, de <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics#effects>
- Environmental Protection Agency (EPA). . (10 de Mayo de 2006). *Federal Register*. Obtenido de <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2006-05-10/pdf/06-4197.pdf>
- Espinoza, G. (2002). *Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental*. Santiago, Chile: ANDROS Impresores.
- European Environment Agency. (2017). *Renewable energy in Europe 2017 Recent growth and knock-on effects*. Luxemburgo.
- Fabry, F., Rehmert, C., Rohani, V., & Fulcheri, L. (Febrero de 2013). Waste Gasification by Thermal Plasma: A Review. *Waste Biomass Valor*.
- FECON. (Junio de 2014). *Panorama de incineración-gasificación en Costa Rica*. Recuperado el 11 de Setiembre de 2018, de <http://feconcr.org/doc/incineracion/panoramaincineracion.pdf>
- Federación Metropolitana de Municipalidades. (15 de Mayo de 2017). *Contratación del servicio de valorización de los residuos sólidos responsabilidad de los gobiernos locales*. Obtenido de Sistema Costarricense de Información Jurídica: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=84017&nValor3=108202&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=84017&nValor3=108202&strTipM=TC)
- García-Ruiz, J. M. (Enero de 2010). The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review. *Catena*, 1-11.
- Goudie, A. S. (2013). *The Human Impact on the Natural Environment: Past, Present and Future* (Sétima edición ed.). Chichester, West Sussex, Reino Unido: John Wiley & Sons, Ltd.
- Greenpeace. (2011). *Gasificación, pirólisis y plasma. Nuevas tecnologías para el tratamiento de residuos urbanos: viejos riesgos y ninguna solución*. Recuperado el 27 de febrero de 2017, de <http://ipcena.org/ipcena/wp-content/uploads/2016/09/Riesgos-tecnologias-residuos-urbanos%20gasificacion.pdf>
- Grupo ICE. (18 de Noviembre de 2017). *Costa Rica alcanza 300 días de generación eléctrica 100% renovable en 2017*. Recuperado el 10 de Marzo de 2018, de <http://grupoice.ticoblogger.com/2017/11/18/costa-rica-alcanza-300-dias-de-generacion-electrica-100-renovable-en-2017/>
- Herrera-Murillo, J., Rojas-Marín, J., & Anchía-Leitón, D. (2016). Tasas de Generación y Caracterización de Residuos Sólidos Ordinarios en Cuatro Municipios del Área Metropolitana. *Revista Geográfica de América Central*, N° 57, 235-260.

- Huízar, E. (2011). Herramienta Cuantitativa para la Evaluación de Tratamientos Térmicos de Residuos Sólidos Urbanos con Potencial Energético (Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México) .
- Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale. (2000). *Dioxins in the Environment: What are the health risks?* Francia.
- Laurent, A., Bakas, I., Clavreul, J., Bernstrad, A., Niero, M., Gentil, E., . . . Christensen, T. (2014). Review of LCA studies of solid waste management systems – Part I: Lessons learned and perspectives . *Waste Management*, 34(3), 573-588.
- Ley 7554. (25 de Junio de 2012). Ley Orgánica del Ambiente. 7. Costa Rica.
- Ley N° 7575. (16 de Abril de 1996). Ley Forestal. Costa Rica.
- Ley N° 7788. (21 de Noviembre de 2008). Ley de la Biodiversidad. Costa Rica.
- Ley N° 8839. (24 de Junio de 2010). Ley para la Gestión Integral de Residuos. Costa Rica.
- Li, X., Zhu, Y., & Zhang, Z. (Agosto de 2009). An LCA-based environmental impact assessment model for construction processes. *Building and Environment*, 766-775.
- Lombardi, L., Carnevale, E., & Corti, A. (2015). A review of technologies and performances of thermal treatment systems for energy recovery from waste. *Waste Management*, 26-44.
- Margallo, M., Massoli, M., Hernandez-Pellon, A., Adalco, R., & Irabien, A. (28 de Abril de 2015). Environmental sustainability assessment of the management of municipal solid waste incineration residues: a review of the current situation. *Clean Techn Environ Policy*, 1333-1353.
- Martínez, R., Araya, J., Mora, J., Cartín, M., Sjöbohm, L., Brenes, E., . . . Murillo, Y. (2012). Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a Base de Residuos Sólidos Central Coyol. Garita, Alajuela.
- Martínez, R., Araya, J., Mora, J., Cartín, M., Sjöbohm, L., Brenes, E., . . . Murillo, Y. (2012). Estudio de Impacto Ambiental Planta Generadora de Energía a partir de Residuos Sólidos Central Coyol. Garita, Alajuela.
- Mena, D. (30 de Agosto de 2017). Entrevista sobre impactos ambientales de los tratamientos térmicos. (D. Jiménez, Entrevistador) Barrio Escalante, San José, Costa Rica.
- Mosco, L., & Montealegre, J. (Julio de 2013). Impactos en la flora terrestre por la implementación de pequeñas centrales hidroeléctricas en Alejandría, Antioquia. *Producción + Limpia* , 85-93.
- National Research Council (US) Subcommittee on Acute Exposure Guideline Levels. (2004). *Hydrogen Chloride: Acute Exposure Guideline Levels*. Recuperado el 8 de 3 de 2018, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK207738/>
- Nixon, J., Wright, D., Dey, P., Ghosh, S., & Davies, P. (2013). A comparative assessment of waste incinerators in the UK. *Waste Management*, 2234-2244.
- NOM-098-SEMARNAT-2002. (1 de Octubre de 2004). Protección ambiental-Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes,. México.

- Organización Mundial de la Salud. (Setiembre de 2016). *Calidad del aire ambiente (exterior) y salud*. Recuperado el 28 de Setiembre de 2017, de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>
- OSHA. (2002). *Carbon Monoxide Poisoning*. Recuperado el 8 de 3 de 2018, de [https://www.osha.gov/OshDoc/data\\_General\\_Facts/carbonmonoxide-factsheet.pdf](https://www.osha.gov/OshDoc/data_General_Facts/carbonmonoxide-factsheet.pdf)
- Panepinto, D., Blengini, G., & Genon, G. (2015). Economic and environmental comparison between two scenarios of waste management: MBT vs thermal treatment. *Resources, Conservation and Recycling*, 97, 16-23.
- Panepinto, D., Tedesco, V., Brizio, E., & Genon, G. (2014). Environmental Performances and Energy Efficiency for MSW Gasification Treatment. *Waste Biomass Valor.*
- Porras, E. (Agosto de 2012). SETENA: Historia de una Enfermedad Congénita (Tesis de licenciatura, Universidad de Vosta Rica). San José, Costa Rica.
- Programa Estado de la Nación 2017. (2018). *Informe Estado de la Nación 2017: Armonía con la Naturaleza*. Recuperado el 2 de Marzo de 2018, de <https://www.estadonacion.or.cr/2017/assets/en-23-cap-42.pdf>
- Programa Estado de la Nación. (2018). *Informe Estado de la Nación 2017: Armonía con la Naturaleza*. Recuperado el 2 de Marzo de 2018, de <https://www.estadonacion.or.cr/2017/assets/en-23-cap-42.pdf>
- Quesada, G. (4 de Abril de 2015). *COOPELESCA ya no producirá energía de la basura municipal*. Recuperado el 11 de Setiembre de 2017, de Periódico San Carlos al Día: <https://scaldiacr.wordpress.com/2015/04/22/coopelesca-ya-no-producira-energia-de-la-basura-municipal/>
- Ramalho, R. S. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Quebec, Canadá: Editorial Reverté S.A.
- Reglamento N° 19094. (20 de Junio de 1989). Reglamento sobre el manejo de basuras. Costa Rica.
- Reglamento N° 39087-S . (24 de Junio de 2015). Reglamento para la operación de Hornos Crematorios. Costa Rica.
- Reglamento N° 40557-S. (8 de Junio de 2017). Reglamento para el co-procesamiento y gestión de residuos en hornos cementeros. Costa Rica.
- Reimann, D. O. (2012). *CEWEP Energy Report III*. Confederation of European Waste-to-Energy Plants, Bamberg. Obtenido de [http://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2017/09/13\\_01\\_15\\_executive\\_summary\\_cewep\\_energy\\_report\\_iii.pdf](http://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2017/09/13_01_15_executive_summary_cewep_energy_report_iii.pdf)
- Rivas, F., & Méndez, Z. (2004). Evaluación del impacto ambiental del proyecto de vialidad: prolongación de la avenida Casanova Godoy, estado Aragua-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 45(1), 35-66.
- Rojas, C. (2015). Buenas prácticas para optimizar la gestión de los materiales de la construcción para proyectos menores a 1000m<sup>2</sup>. tesis de grado.
- Rueda, A. (05 de Junio de 2014). *Posible contratación de empresa para manejar basura en San Ramón preocupa a vecinos*. Recuperado el 11 de Setiembre de 2017, de

- <https://www.ameliarueda.com/nota/posible-contratacion-empresa-para-manejar-basura-san-ramon-preocupa-vecinos>
- Sáurez, L. (2011). Evaluación del uso de la incineración como solución para el tratamiento de los desechos sólidos en Costa Rica (Tesis de pregrado). Universidad de Costa Rica.
- Scottish Environment Protection Agency (SEPA). (S.F.). *Carbon Monoxide*. Recuperado el 8 de 3 de 2018, de <http://apps.sepa.org.uk/spripa/pages/substanceinformation.aspx?pid=4>
- Scottish Environment Protection Agency (SEPA). (S.F.). *Hydrogen fluoride*. Recuperado el 8 de 3 de 2018, de <http://apps.sepa.org.uk/spripa/Pages/SubstanceInformation.aspx?pid=7>
- SEDESOL. (2001). *Manual Técnico – Administrativo para el Servicio de Limpia Municipal*. Secretaría de Desarrollo Social, México.
- SETENA. (04 de octubre de 2016). Resolución N° 1843-2016-SETENA. *Acuerdo de la comisión plenaria coincineración de los residuos sólidos*. San José, San José.
- SETENA. (28 de Noviembre de 2016). Resolución N° 2201-2016-SETENA . Costa Rica.
- SETENA. (22 de Setiembre de s.f.). *Secretaría Técnica Nacional Ambiental Gobierno de Costa Rica*. Obtenido de <https://www.setena.go.cr/institucion/>
- Solaire Direct Southern Africa (Pty) Ltd. (2014). *Amended Final Scoping Report:Proposed 90 MW Drennan Photovoltaic (PV) Power Facility, Eastern Cape* . Cradock.
- Stantec Consulting Ltd. (Marzo de 2011). *Waste to Energy: A Technical Review of Municipal Solid Waste Thermal Treatment Practices*. Burnaby, Canadá.
- Steinvorth, A. (2014). *Aprovechamiento energético de residuos sólidos municipales mediante el uso de tratamientos térmicos de avanzada*. Recuperado el 27 de Febrero de 2017, de CEGESTI Éxito Empresarial: [http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion\\_253\\_240314\\_es.pdf](http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion_253_240314_es.pdf)
- Tang, J., Wang, M., Wang, F., Sun, Q., & Zhou, Q. (Mayo de 2011). Eco-toxicity of petroleum hydrocarbon contaminated soil. *Journal of Environmental Science*, 845-851.
- The National Institute for Occupational Safety and Health . (4 de 12 de 2014). *Sulfur dioxide*. Recuperado el 8 de 3 de 2018, de Centers for Disease Control and Prevention: <https://www.cdc.gov/niosh/idlh/7446095.html>
- The University of North Carolina. (S.F.). *Chemical Safety Information-Hydrofluoric Acid*. Recuperado el 8 de 3 de 2018, de <https://ehs.unc.edu/chemical/hfa/chemical-safety-information-hydrofluoric-acid/>
- Theodore, L. (2008). *Air Pollution Control Equipment Calculations*. New Jersey: John Wiley & Sons, INC.
- U.S. Energy Information Administration. (Diciembre de 2017). *Total Energy*. Recuperado el 10 de Marzo de 2018, de

- <https://www.eia.gov/totalenergy/data/browser/index.php?tbl=T01.01#/?f=M&start=201406&end=201711&charted=4-6-7-14>
- United States Environmental Protection Agency. (Octubre de 2017). *Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM)*. Obtenido de <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>
- United States Environmental Protection Agency. (s.f.). *Energy Recovery from the Combustion of Municipal Solid Waste (MSW)*. Recuperado el 20 de Mayo de 2017, de <https://www.epa.gov/smm/energy-recovery-combustion-municipal-solid-waste-msw>
- Vargas, J. A. (Febrero de 2017). Hacia una efectiva valorización de los residuos metropolitanos. *Ambientico*, 10-16.
- Waste-to-Energy Research and Technology Council (WtERT). (2009). *WtERT*. Recuperado el 20 de Mayo de 2017, de <http://www.wtert.eu/default.asp?Menu=12&ShowDok=15>
- World Energy Council. (2016). *World Energy Resources Waste to Energy | 2016*. Recuperado el 21 de Febrero de 2018, de [https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources\\_Waste\\_to\\_Energy\\_2016.pdf](https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources_Waste_to_Energy_2016.pdf)
- Xing, Y.-F., Xu, Y.-H., Shi, M.-H., & Lian, Y.-X. (2016). *Journal of Thoracic Disease*, E69-E74.
- Xu, T., Ramanathan, T., & Ting, Y. (2014). Bioleaching of incineration fly ash by *Aspergillus niger* - precipitation of metallic salt crystals and morphological alteration of the fungus. *Biotechnology Reports (Amsterdam, Netherlands)*, 8-14.
- Yan, F., Zhu, F., Wang, Q., & Xiong, Y. (2016). Preliminary study of PM<sub>2.5</sub> formation during municipal solid waste incineration. *Procedia Environmental Sciences*, 475-481.
- Yang, N., Zhang, H., Chen, M., Shao, L.-M., & He, P.-J. (2012). Greenhouse gas emissions from MSW incineration in China: Impacts of waste characteristics and energy recovery. *Waste Management*, 2552-2560.
- Youcai, Z. (2017). *Pollution Control and Resource Recovery: Municipal Solid Wastes Incineration*. Shanghai, China: Elsevier Inc.
- Zacco, A., Borguense, L., Gianoncelli, A., Struis, R., Depero, L., & Bontempi, E. (2014). Review of fly ash inertisation treatments and recycling. *Environmental Chemistry Letters*, 153-175.
- Zaman, A. U. (2013). Life cycle assessment of pyrolysis–gasification as an emerging municipal solid waste treatment technology. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 10, 1029-1038.

## APÉNDICE 2: LISTA DE CHEQUEO

<b>Lista de chequeo para la revisión de Estudios de Impacto Ambiental de proyectos de Coincineración</b>	
<b>Elaborada por: Daniela Jiménez Escudé</b>	
<b>Etapa I: Construcción</b>	
<b>Aguas Superficiales</b>	
<b>Generación de aguas residuales</b>	
<input type="checkbox"/>	Presentar plan de manejo de aguas residuales y pluviales debidamente aprobado por la Municipalidad (SETENA, 2016).
<b>Generación de sedimentos</b>	
<input type="checkbox"/>	Cumplir con un radio de cien metros medidos de modo horizontal para las áreas que bordeen nacientes permanentes (Ley N° 7575, 1996).
<input type="checkbox"/>	Cumplir con una franja de quince metros en zona rural y de diez metros en zona urbana, medidas horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, si el terreno es plano, y de cincuenta metros horizontales, si el terreno es quebrado (Ley N° 7575, 1996).
<input type="checkbox"/>	Cumplir con una zona de cincuenta metros medida horizontalmente en las riberas de los lagos y embalses naturales y en los lagos o embalses artificiales construidos por el Estado y sus instituciones. Se exceptúan los lagos y embalses artificiales privados (Ley N° 7575, 1996).
<b>Suelo</b>	
<b>Degradación de la calidad del suelo</b>	
<input type="checkbox"/>	Realizar prácticas que eviten la erosión, otras formas de degradación y que prevengan el deterioro del suelo (artículo 53 de la Ley Orgánica del Ambiente).
<input type="checkbox"/>	Cumplir con el manejo y almacenamiento de combustibles de acuerdo a lo establecido en el Capítulo XII - Requisitos Específicos para las Instalaciones de Tanques de Almacenamiento de Combustible Industrial- (Autoconsumo)- del Decreto Ejecutivo N° 30131-MINAE-S del 20 de diciembre del 2001 "Reglamento para la Regulación del Sistema de Almacenamiento y Comercialización de Hidrocarburos".
<b>Generación de residuos</b>	
<input type="checkbox"/>	Explicar con detalle si el proyecto requiere la habilitación de sitios de escombreras para la ubicación del material removido en la fase constructiva; en caso de que se necesiten, se deben ubicar en la hoja cartográfica, describir detalladamente las características de los sitios donde se ubicarán (topografía, cobertura vegetal, acceso, presencia de cuerpos de agua, propietario, etc.) y se deben detallar todas las medidas ambientales que se tomarán en cuenta (SETENA, 2016).
<input type="checkbox"/>	Realizar un plan de gestión integral de residuos y desechos peligrosos, de salud ocupacional y atención a emergencias. Además, los residuos se deben gestionar únicamente con los gestores con permiso de funcionamiento según el Reglamento General para la Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos (2013).
<b>Aire</b>	
<b>Contaminación del aire con partículas</b>	
<input type="checkbox"/>	Proponer medidas para garantizar que la calidad del aire satisfagan los niveles permisibles de contaminación fijados por las normas correspondientes (artículo 49 de la Ley Orgánica del Ambiente).
<input type="checkbox"/>	Reducir y controlar las emisiones directas o indirectas, visibles o invisibles, de contaminantes atmosféricos, particularmente los gases de efecto invernadero y los que afectan la capa de ozono, de manera que se asegure la buena calidad del aire (artículo 49 de la Ley Orgánica del Ambiente).
<b>Flora</b>	
<b>Alteración de la cobertura vegetal</b>	
<input type="checkbox"/>	No invadir un área de conservación o protección, cualquiera que sea su categoría de manejo, u otras áreas de bosques o terrenos sometidos al régimen forestal, cualquiera que sea el área ocupada; independientemente de que se trate de terrenos privados del Estado u otros organismos de la Administración Pública o de terrenos de dominio particular (Ley N° 7575, 1996).
	El artículo 56 de la Ley de la Biodiversidad (2008) indica que para la conservación in situ es prioritario la conservación de:
<input type="checkbox"/>	1. Especies, poblaciones, razas o variedades, con poblaciones reducidas o en peligro de extinción.
<input type="checkbox"/>	2. Especies cuyas poblaciones se encuentran altamente fragmentadas.
<input type="checkbox"/>	3. Especies, razas, variedades o poblaciones de singular valor estratégico, científico, económico, actual o potencial.
<input type="checkbox"/>	4. Especies, poblaciones, razas o variedades de vegetales con particular significado religioso, cultural o cosmogónico.
<input type="checkbox"/>	5. Especies de flores dioicas cuya floración no siempre es sincrónica.
<input type="checkbox"/>	6. Especies silvestres relacionadas con especies o estirpes cultivadas o domesticadas, que puedan utilizarse para el mejoramiento genético.

<b>Fauna</b>	
<b>Alteración de la fauna</b>	
	El artículo 56 de la Ley de la Biodiversidad (2008) indica que para la conservación in situ es prioritario la conservación de:
<input type="checkbox"/>	1. Especies, poblaciones, razas o variedades, con poblaciones reducidas o en peligro de extinción.
<input type="checkbox"/>	2. Especies cuyas poblaciones se encuentran altamente fragmentadas.
<input type="checkbox"/>	3. Especies, razas, variedades o poblaciones de singular valor estratégico, científico, económico, actual o potencial.
<input type="checkbox"/>	4. Especies, poblaciones, razas o variedades de animales con particular significado religioso, cultural o cosmogónico.
<b>Paisaje</b>	
<b>Intrusión visual</b>	
<input type="checkbox"/>	El artículo 71 de la Ley Orgánica del Ambiente (2012) que trata sobre contaminación visual, establece que se considerará contaminación visual, las acciones, obras o instalaciones que sobrepasen, en perjuicio temporal o permanente del paisaje, los límites máximos admisibles por las normas técnicas establecidas o que se emitan en el futuro.
<input type="checkbox"/>	El artículo 72 indica que cuando se necesite afectar el paisaje, el producto final deberá ser, por lo menos, de calidad igual que el anterior (Ley 7554, 2012).
<input type="checkbox"/>	El Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE (2015) establece en el artículo 8 que los lugares propuestos para las instalaciones de coincineración deben estar acorde con el Ordenamiento Territorial aprobado, o en su defecto con un Uso de Suelo Conforme emitido por la Municipalidad.
<input type="checkbox"/>	Guardar una distancia de localización de mil metros a instalaciones de centros oficiales de la Red Nacional de Cuido y Desarrollo Infantil (CEN-CINAI, CECUDI y centros de atención integral públicos, privados y mixtos para personas hasta de doce años de edad), centros educativos públicos y privados, establecimientos de salud públicos y privados (hospitales y clínicas), almacenamiento y distribución de gas licuado de petróleo o gas natural e industrias químicas que almacenen en forma superficial productos combustibles o inflamables en cantidades superiores a los 1000 m <sup>3</sup> , actividades agrícolas e industrias de procesamiento de alimentos, todo esto georreferenciado mediante un proceso topográfico y reportado en sistema CRTM05 en un radio de 1000 metros (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<b>Etapa II: Operación</b>	
<b>Aguas Superficiales</b>	
<b>Contaminación del agua</b>	
<input type="checkbox"/>	Citar los nombres de los cuerpos de aguas superficiales y subterráneas, permanentes o intermitentes, que atraviesan, limitan o circundan el inmueble e indicación de las distancias existentes, sus características y el destino de los vertidos (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Presentar el balance de masa y energía para el sistema de tratamiento de aguas residuales (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Describir el sistema de recolección, conducción y tratamiento de aguas residuales, que incluye las procedentes del tratamiento de las partículas y los gases de residuo de los equipos de coincineración, con sus detalles constructivos. El sistema de tratamiento de aguas residuales debe de cumplir con los requerimientos del Decreto Ejecutivo N° 31545-S-MINAE del 9 de octubre del 2003 "Reglamento de aprobación y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales", publicado en La Gaceta No. 246 del 22 de diciembre del 2003 (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Mostrar el sistema de recolección periférica e interna, conducción y disposición de las aguas pluviales, con sus detalles constructivos (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	El Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE (2015) indica que las aguas residuales procedentes del tratamiento de las partículas y los gases de residuo del proceso de coincineración podrán reinyectarse al proceso nuevamente.
	Las aguas residuales procedentes del lavado de gases de residuo y partículas, una vez tratadas en un sistema de tratamiento de aguas, y que se viertan a un alcantarillado sanitario o cuerpo receptor, deben cumplir con los siguientes requisitos (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015):
<input type="checkbox"/>	1. Presentar reportes operacionales mensualmente ajustándose a los formatos establecidos en el Decreto Ejecutivo N° 33601-MINAE-S del 9 de agosto del 2006 "Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales", publicado en el Alcance 8 a La Gaceta No. 55 del 19 de marzo del 2007.
<input type="checkbox"/>	2. La actividad se clasificará con la denominación CIU "Tratamiento y eliminación de desechos no peligrosos" la que se debe considerar de riesgo A (alto), según clasificación del Ministerio de Salud y SETENA.
<input type="checkbox"/>	3. Independientemente del caudal de descarga, se debe realizar una muestra compuesta correspondiente a muestras proporcionales de veinticuatro (24) horas de muestreo continuo de aguas residuales cada mes. Se debe utilizar un muestreador continuo automatizado con sistema de seguridad para evitar alteraciones de la muestra. El procedimiento analítico debe ser el método 1613 de EPA o un método normalizado equivalente. La equivalencia del método debe ser determinado previamente por el Colegio de Químicos de Costa Rica.
<input type="checkbox"/>	4. El vertido de aguas residuales procedentes de la depuración de los gases residuales, ya sea a alcantarillado sanitario o cuerpo receptor, debe cumplir con valores por debajo de los límites de emisión establecidos en el Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE.
<input type="checkbox"/>	Describir el manejo de los lodos de la planta de tratamiento (SETENA, 2016).
<input type="checkbox"/>	En caso de utilizar tanque séptico, presentar las pruebas de velocidad de tránsito de contaminantes, además el nombre del responsable de manejo y mantenimiento de dicha planta, así como el permiso de ubicación emitido por el Ministerio de Salud (SETENA, 2016).
<input type="checkbox"/>	Efectuar pruebas para establecer las características físicas y químicas, el potencial contaminante y la peligrosidad de los lodos de conformidad con el Decreto Ejecutivo N° 27002-MINAE del 29 de abril de 1998 "Reglamento sobre el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar constituyentes que hacen un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente", publicado en La Gaceta No. 101 del 27 de mayo de 1998 (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).

<b>Aguas subterráneas</b>	
<b>Consumo de agua</b>	
<input type="checkbox"/>	Proponer medidas para proteger y conservar los ecosistemas acuáticos y los elementos que intervienen en el ciclo hidrológico en el área del proyecto (Ley 7554, 2012).
<input type="checkbox"/>	Indicar la fuente de abastecimiento, el certificado de disponibilidad de agua por parte de la autoridad correspondiente y el uso específico que se le dará (SETENA, 2016).
<input type="checkbox"/>	Si la fuente de agua a utilizar corresponde a un pozo, se debe adjuntar la documentación correspondiente del mismo: permiso de perforación y prueba de bombeo (SETENA, 2016).
<input type="checkbox"/>	Se debe realizar un inventario de pozos y captaciones que existan en los alrededores y analizar la posible influencia del proyecto en la calidad y cantidad de agua (SETENA, 2016).
<b>Suelo</b>	
<b>Contaminación del suelo</b>	
<input type="checkbox"/>	Si se van a realizar fosas de almacenamiento para cenizas o rellenos sanitarios para depositarlas, se recomienda ubicar la planta en suelos arcillosos, impermeabilizar el suelo y seguir el Reglamento sobre Rellenos Sanitarios (N°38928-S).
<input type="checkbox"/>	En el caso del manejo y almacenamiento de combustibles éste se debe hacer de acuerdo a lo establecido en el Capítulo XII - Requisitos Específicos para las Instalaciones de Tanques de Almacenamiento de Combustible Industrial- (Autoconsumo)- del Decreto Ejecutivo N° 30131-MINAE-S del 20 de diciembre del 2001 "Reglamento para la Regulación del Sistema de Almacenamiento y Comercialización de Hidrocarburos".
<b>Generación de residuos sólidos</b>	
<input type="checkbox"/>	Presentar las características energéticas de los residuos: estudios de poder calórico de los residuos, mediante estudios teóricos o experimentales, basados en la composición promedio de los residuos municipales y de los residuos a incinerar (cuando sean distintos de los primeros) (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Mostrar estudios de composición de los residuos a utilizar como combustible, indicando el contenido de humedad (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Deben poseer instalaciones de separación, clasificación y recuperación de residuos valorizables que no se deben incinerar (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Describir los métodos de separación, acondicionamiento y pretratamiento de los residuos ordinarios para su coincineración, sistema y tecnologías de coincineración propuestos y los métodos empleados hasta la disposición final para los residuos que se generen del proceso (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	La instalación de coincineración debe contar con un área de almacenamiento para los residuos de conformidad con el Decreto Ejecutivo N° 35906-S del 27 de enero del 2010 "Reglamento de Centros de Recuperación de Residuos Valorizables" publicado en La Gaceta N° 86 del 5 de mayo del 2010. Debe poseer además, con un sistema de pesaje para registrar la masa de los residuos recibidos. Dicha zona de almacenamiento debe contar con los sistemas para el control de olores, así como los sistemas de recuperación de residuos y conducción de lixiviados hasta los sistemas de tratamiento de agua residual (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Describir el proceso de pretratamiento (clasificación y homogenización) antes de ser alimentados al incinerador (áreas de almacenamiento, pesaje, control de olores, sistemas de recuperación de residuos, conducción de lixiviados hasta los sistemas de tratamiento), manejo de envases con residuos de agroquímicos, manejo de residuos producto del proceso de clasificación y separación (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Presentar el balance de masa y energía para cada uno de los componentes de la instalación de coincineración, así como para la totalidad de la misma, incluyendo los sistemas de tratamiento propuestos (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Efectuar pruebas para establecer las características físicas y químicas, el potencial contaminante y la peligrosidad de los residuos de la incineración de conformidad con el Decreto Ejecutivo N° 27002-MINAE del 29 de abril de 1998 "Reglamento sobre el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar constituyentes que hacen un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente".
<input type="checkbox"/>	Detallar las características y el destino de los residuos sólidos de la coincineración (SETENA, 2016).

Aire	
Generación de emisiones atmosféricas	
<input type="checkbox"/>	Presentar el balance de masa y energía para el sistema de tratamiento propuesto (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Evitar la coincineración de residuos con un contenido superior al 1% de compuestos halogenados expresados en cloro para evitar la formación de los contaminantes orgánicos como las dioxinas, furanos y bifenilos policlorados (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Realizar estudios de dispersión atmosférica con mapas de isoconcentraciones de cada contaminante determinado por medio de un modelo numérico que incluya el estudio climatológico de la zona y estudios ecotoxicológicos y de toxicidad humana del impacto de los contaminantes atmosféricos en las actividades agrícolas y de procesamiento de alimentos, considerando la eficiencia estimada de los sistemas de tratamiento de emisiones (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Realizar un monitoreo continuo de la temperatura de la cámara primaria y secundaria del incinerador y de las emisiones en chimenea(s) de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), oxígeno (O <sub>2</sub> ), partículas suspendidas totales (PTS), carbono orgánico total (COT), cloruro de hidrógeno (HCl), fluoruro de hidrógeno (HF), dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) y óxidos de nitrógeno expresados como NO <sub>x</sub> . Se debe llevar a cabo un registro de las mediciones a través de la bitácora y en respaldo electrónico, que deberá poder ser consultado en tiempo real por el Ministerio de Salud, Ministerio de Ambiente y Energía y las Municipalidades que tratan los residuos en la instalación.
<input type="checkbox"/>	Calibrar el sistema de monitoreo continuo al menos dos veces al año mediante mediciones paralelas con un laboratorio (con el Permiso Sanitario de Funcionamiento vigente), según recomendación del fabricante o cuando el Ministerio de Salud o el Ministerio de Ambiente y Energía lo soliciten por dudas sobre la calibración de los equipos (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Presentar la siguiente información en la solicitud de permiso de ubicación: Dirección del viento, incluyendo viento predominante, brisas diurnas y nocturnas y vientos estacionales (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Contar con dispositivos automáticos y continuos de registro de la temperatura en las cámaras, que resistan hasta 1400 °C, los que deberán activar quemadores auxiliares cuando la temperatura en la segunda cámara sea de 900 °C (que cuente con un factor de seguridad de 50 °C por encima de los 850 °C). Dichos quemadores auxiliares deben ser utilizados durante las operaciones de puesta en marcha y parada del incinerador (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Contar con un sistema de alimentación tanto para residuos líquidos como sólidos, de tipo neumático, mecánico, por gravedad u otro, con mecanismos de clausura hermética que no permitan la salida de gases por la entrada de los residuos, tanto si el proceso es por lotes ( <i>batch</i> ) o continuo (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Instalar analizadores de CO y O <sub>2</sub> para el control de la combustión dependiendo del tipo de tratamiento utilizado. Se deben determinar y ajustar los flujos de aire de combustión por medio de un programa de control automatizado de procesos (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	El diseño, equipamiento y la operación del tratamiento térmico debe permitir que la temperatura de los gases de combustión derivados del proceso de tratamiento de los residuos se eleve, tras la última inyección de aire de combustión, de manera controlada y homogénea, aun en las condiciones más desfavorables, hasta un mínimo de 900 °C en la cámara secundaria, durante un tiempo de residencia de los gases superior a dos segundos (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	En caso de tratamiento térmico de residuos homogenizados con más de 1 % de compuestos halogenados, expresados en cloro, la temperatura de los gases de combustión debe elevarse hasta 1100 °C durante un tiempo de residencia de los gases superior a dos segundos en la cámara secundaria (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Operar los hornos en el régimen de flujo turbulento (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
	Las instalaciones deben tener un sistema automático que impida la alimentación de residuos en las siguientes situaciones:
<input type="checkbox"/>	1. Durante la puesta en marcha, cuando no se hayan alcanzado las condiciones normadas.
<input type="checkbox"/>	2. Cuando no se mantengan las temperaturas establecidas.
<input type="checkbox"/>	3. Cuando ocurra alguna perturbación o fallo en el incinerador o el equipo de control de emisiones.
<input type="checkbox"/>	Las cámaras se deben mantener permanentemente a una presión menor con respecto a la presión atmosférica, por medio de los ventiladores de tiro inducido o sistemas equivalentes en el circuito de gases, que impida la salida de emisiones fugitivas (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Contar con un equipo de control de emisiones en el que se de tratamiento a las partículas y gases generados en el proceso, que garantice que se cumplan los límites máximos de emisión establecidos en los artículos 21, 22 y 23 del Decreto Ejecutivo N° 39136-S (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Previo a la entrada de los gases al sistema de control de emisiones, la temperatura debe reducirse rápidamente y ser inferior a 200 °C, para disminuir la posibilidad de formación de dioxinas y furanos (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Realizar al menos uno de los muestreos y análisis trimestrales de una muestra aleatoria de las instalaciones de coincineración ubicadas en el área geográfica de su jurisdicción, como parte de un proceso de control cruzado e incluyendo muestreo y análisis para dioxinas y furanos. El informe de control cruzado sustituirá al reporte operacional del período correspondiente. Los funcionarios del Ministerio de Salud que realicen el muestreo deberán emplear el documento Guía de Inspección de Muestreo de Gases de Chimeneas de Fuentes Fijas (Anexo 4) del Decreto Ejecutivo No. 36551-S-MINAE-MTSS del 27 de abril del 2011 "Reglamento sobre Emisión de Contaminantes Atmosféricos Provenientes de Calderas y Hornos de Tipo Indirecto", publicado en La Gaceta No. 140 del 20 de julio del 2011, y entregarán en el acto copia a los firmantes del documento (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
	La plataforma del equipo de muestreo debe (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015):
<input type="checkbox"/>	1. Tener más de diez (10) diámetros desde la última perturbación de flujo y al menos cuatro (4) diámetros antes de la salida final hacia la atmósfera.
<input type="checkbox"/>	2. Tener un puerto de muestreo de acuerdo al "Reglamento sobre la configuración de los sitios de muestreo en chimeneas y ductos para la medición de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes fijas" o bien el que se le solicite por parte del laboratorio que instale el equipo de muestreo permanente.

<input type="checkbox"/>	3. Tener un techo que cubra el equipo de muestreo permanente a una altura sobre el puerto de muestreo de al menos dos (2) metros libres y desde la chimenea hacia el alero al menos de tres (3) metros y que cubra todo el alrededor donde se ubica el sistema de muestreo. Este techo no puede tener goteras ni fugas en su unión a la chimenea.
<input type="checkbox"/>	4. Tener una fuente de corriente alterna de $120 \pm 5$ VAC con al menos cuatro (4) tomacorrientes polarizados a tierra cada uno con capacidad de veinte (20) amperios para consumo resistivo y con protección de sobrevoltaje.
<input type="checkbox"/>	5. Cumplir con los requerimientos de montajes electromecánicos que solicite el ente que instale el equipo de muestreo permanente.
<input type="checkbox"/>	6. Cumplir con todas las normas de seguridad para el personal que debe acceder al equipo, durante su instalación, durante la recolección de muestras y reinstalación y acondicionamiento del sistema y todas las oportunidades de inspección u otros necesarios.
<input type="checkbox"/>	7. Tener iluminación de seguridad y a prueba de explosión, que emane suficiente luz que permita dar servicio al sistema de muestreo aún en horario nocturno.
<b>Generación de cenizas</b>	
<input type="checkbox"/>	Presentar el balance de masa y energía del sistema de tratamiento propuesto (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Efectuar pruebas para establecer las características físicas y químicas (incluyendo el contenido de materia volátil), el potencial contaminante y la peligrosidad de las cenizas generadas de conformidad con el Decreto Ejecutivo N° 27002-MINAE del 29 de abril de 1998 "Reglamento sobre el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar constituyentes que hacen un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente", publicado en La Gaceta No. 101 del 27 de mayo de 1998 (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Caracterizar las cenizas volátiles analíticamente de forma separada a las cenizas de fondo, a fin de determinar su grado de toxicidad y necesidad de tratamiento, para determinar su destino (SETENA, 2016).
<input type="checkbox"/>	Especificar las vías de reutilización o disposición final de cada tipo de cenizas (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Realizar un análisis mensual por un laboratorio externo con Permiso Sanitario de Funcionamiento, de las cenizas de fondo y las cenizas volantes, con base en submuestras retenidas cada día por el ente operador, para verificar que el destino pueda seguir siendo el originalmente aprobado. Asimismo, se debe llevar a cabo un registro diario de la cantidad y el destino final de las cenizas y las mismas se deben manejar según lo establecido en el Decreto Ejecutivo N° 37788-S-MINAE del 15 de febrero del 2013 "Reglamento General para la Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos", publicado en La Gaceta No. 138 del 18 de julio del 2013 (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	En caso de reutilizar las cenizas en algún proceso industrial o aplicación a materiales de construcción debe indicarse el destino específico. En principio, deben manejarse las cenizas volantes de forma separada de las escorias/cenizas del horno, pues tienen características físico-químicas distintas, salvo que se demuestre lo contrario (SETENA, 2016).
<b>Emanación de olores</b>	
<input type="checkbox"/>	Contar con un área de almacenamiento para los residuos sólidos que posean sistemas para el control de olores, así como los sistemas de recuperación de residuos y conducción de lixiviados hasta los sistemas de tratamiento (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Establecer medidas de mitigación y de control de olores, especificar su ubicación y detalles constructivos del equipo (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<b>Generación de ruidos</b>	
<input type="checkbox"/>	Realizar una comparación entre el ruido estimado que generará la actividad y las normas existentes para regular dicha variable. En caso de darse un incumplimiento, señalar las medidas ambientales a aplicar (SETENA, 2016).
<b>Recursos naturales</b>	
<b>Consumo de combustibles fósiles</b>	
<input type="checkbox"/>	Presentar el balance de masa y energía para cada uno de los componentes de la instalación de coque, así como su totalidad, incluyendo las entradas de combustibles fósiles en todas las partes del proceso que lo necesiten (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Los quemadores del incinerador se deben alimentar con combustibles con un contenido de azufre igual o menor a lo que establece la norma nacional para la comercialización de los siguientes combustibles, y en ningún caso podrá ser mayor al 1,0 %, tales como gas natural (GLN), gas licuado de petróleo (GLP), diésel, o cualquier otro aceptado o no prohibido por la legislación vigente (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	En el caso del manejo y almacenamiento de combustibles éste se debe hacer de acuerdo a lo establecido en el Capítulo XII - Requisitos Específicos para las Instalaciones de Tanques de Almacenamiento de Combustible Industrial- (Autoconsumo)- del Decreto Ejecutivo N° 30131-MINAE-S del 20 de diciembre del 2001 "Reglamento para la Regulación del Sistema de Almacenamiento y Comercialización de Hidrocarburos".
<input type="checkbox"/>	Los entes operadores que utilicen combustibles fósiles para alimentar los quemadores del incinerador deben adjuntar al reporte operacional el análisis de laboratorio original, debidamente refrendado por el Colegio de Químicos de Costa Rica, correspondiente al contenido de azufre, nitrógeno y metales pesados en éste, muestreado a la entrada de los quemadores (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	El proveedor del combustible (a excepción del gas licuado de petróleo y el gas natural) debe proveer al ente operador análisis original de laboratorio, debidamente refrendado por el Colegio de Químicos de Costa Rica, correspondiente al contenido de azufre, nitrógeno y metales pesados en éste, el cual deberá ser adjuntado por el ente operador al reporte operacional (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<input type="checkbox"/>	Describir las características técnicas y condiciones de operación del sistema de coque propuesto (describir tipo de combustible a utilizar, calidad, su manejo y almacenamiento) (SETENA, 2016).
<input type="checkbox"/>	Realizar una evaluación de riesgos cuantitativa que contemple los escenarios de contingencia que podrían afectar la operación normal de la instalación, y las medidas de mitigación y control de dichos riesgos. Se deben incluir estudios de onda expansiva y distancias de seguridad a instalaciones de centros oficiales de la Red Nacional de Cuido y Desarrollo Infantil (CEN-CINAI, CECUDI) y centros de atención integral públicos, privados y mixtos para personas hasta de doce años de edad), centros educativos públicos y privados, establecimientos de salud públicos y privados (hospitales y clínicas), almacenamiento y distribución de gas licuado de petróleo o gas natural e industrias químicas que almacenen en forma superficial productos combustibles o inflamables en cantidades superiores a los 1000 m <sup>3</sup> , actividades agrícolas e industrias de procesamiento de alimentos, en un radio de 1000 m, así como sus consecuencias a la salud y el ambiente (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).

<b>Fauna</b>	
<b>Proliferación de agentes patógenos, moscas, insectos y aves</b>	
<input type="checkbox"/>	El área de pretratamiento o acondicionamiento de los residuos debe diseñarse para un máximo de cuatro (4) días de capacidad de operación de la planta (Decreto Ejecutivo N°39136-S-MINAE, 2015).
<b>Vialidad</b>	
<b>Aumento de tráfico</b>	
<input type="checkbox"/>	Presentar estudios sobre el estado de las vías de acceso que asegure la capacidad de soporte y capacidad de tránsito de las vías debido al transporte relacionado con el proyecto.
<input type="checkbox"/>	Realizar una caracterización de las rutas a utilizar para la movilización de equipo en la fase operativa. Preferiblemente incluir un mapa de rutas más transitadas donde se ubiquen escuelas, hospitales, parques, puentes, entre otros (SETENA, 2016).

## **ANEXOS**

# ANEXO 1: ENTREVISTA

## Entrevista

### Antes de las preguntas:

- Preguntar por el tiempo que hay para la entrevista.
- Introducirme y explicar el tema del Trabajo Final de Graduación.
- Preguntar si puedo grabar.

### Preguntas:

1. ¿Posee experiencia en temas de gasificación e incineración de residuos?
2. ¿Conoce el Decreto Ejecutivo N° 39136-S-MINAE o el Reglamento sobre condiciones de operación y control de emisiones de instalaciones para coincineración de residuos sólidos ordinarios?  
  
Extra: ¿sabe quién la escribió?
3. ¿Considera que este decreto contradice la jerarquía propuesta por la ley 8839?
4. ¿Cuáles impactos ambientales considera que generan estos tratamientos?
5. Actividad de acomodarlos en grupos según si son impactos o consecuencias y luego destacar los tres más importantes.
6. ¿Cuáles son algunas medidas que considera indispensables de aplicar para los tres impactos que considera más importantes (en el que tenga más experiencia)?
7. ¿Considera que el gobierno cuenta con personal capacitado para fiscalizar el cumplimiento de las normas que debe seguir esta tecnología?

### Para los del Ministerio de Salud:

8. ¿Quién va a revisar los planos, las tuberías y la instrumentación del equipo de control de las emisiones?
9. ¿Cuál departamento es el encargado de fiscalizar el cumplimiento de las normas?