

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL RECICLAJE DE MADERA ENTRE
TECNOLOGÍA DE COMBUSTIÓN DIRECTA Y COMPOSTAJE**

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Técnico Universitario en CONTROL
DEL MEDIO AMBIENTE

Alumna:

Valentina Messenet Villegas

Profesor guía:

Sr. Gonzalo Sepúlveda Ramírez

Profesor Co-Referente:

Sr. Andrés Navarro Carreño

Viña del Mar, 2018

Keywords: BIOMASA, MEDIO AMBIENTE, EMISIONES, COMBUSTIÓN DIRECTA, COMPOSTAJE, MADERA, RESIDUOS SÓLIDOS.

RESUMEN

Una de las principales preocupaciones a nivel mundial es la alta generación de residuos tanto industriales como urbanos, debido al nivel de consumo y a la mala gestión de estos en cuanto a su valoración o alternativas de reciclaje. Es por esto por lo que han surgido diversos tipos de tecnologías de aprovechamiento de residuos de todo tipo, dentro de los que destaca los residuos orgánicos y biomasa. Debido a sus características de biodegradables, es que el porcentaje de aprovechamiento de estos es alto, pero también se debe controlar el sistema que se escoja debido a la rápida degradación de estos.

Por otro lado debido a las diversas tecnologías de aprovechamiento que existen, es que se debe tener en cuenta los gastos de recursos y emisiones que provoca cada proceso, para así evitar crear más daño al medio ambiente en el intento de gestionar otro problema.

En este trabajo se busca encontrar respuesta a esta interrogante, mediante la comparación de dos alternativas de aprovechamiento de biomasa, como lo son la Combustión Directa y el Compostaje, analizando sus emisiones en cuanto a tipos y concentraciones. Esto se realizó por medio de la estimación de emisiones de acuerdo con la Guía Metodológica de Estimación de Emisiones publicada por los entes gubernamentales en materia medioambiental.

Los resultados obtenidos se muestran en tablas a modo de visualizar de mejor forma las emisiones de cada tecnología, obteniendo una clara mejor opción: el Compostaje, con emisiones totales de 230,180 [kg/ton], de CO₂ y N₂O, un número muy alejado del total de emisiones de la Combustión Directa con un total de 1333,042 [kg/ton], con gases mucho más dañinos los cuales incluyen CO₂, N₂O, CO, NO_x, VOC y MP.

Es así como a simple vista y sólo en cuanto a emisiones la Combustión es una mejor opción, sin embargo, hay muchos otros factores que no fueron considerados como el tiempo que toma realizar cada proceso, las ganancias económicas y las inversiones necesarias para hacerlos, el tipo de materia prima que hace ingreso y sus propiedades, por lo que finalmente la preferencia entre una tecnología u otra dependerá del objetivo principal que se busque, teniendo en cuenta gracias a este análisis la mejor opción en cuanto a emisiones.

ÍNDICE

RESUMEN

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

INTRODUCCIÓN 1

OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS 3

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES GENERALES 4

1.1. ECONOMÍA CIRCULAR Y SUSTENTABILIDAD 6

 1.1.1. SUSTENTABILIDAD 6

 1.1.1.1. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE..... 7

 1.1.2. ECONOMÍA CIRCULAR..... 9

1.2. RESIDUOS 14

 1.2.1. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS 14

 1.2.2. ESCENARIO DEL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN CHILE 16

 1.2.3. GENERACIÓN Y VALORIZACIÓN DE RESIDUOS EN CHILE..... 19

CAPITULO 2. RESIDUOS DE MADERA Y TECNOLOGÍAS DE APROVECHAMIENTO.... 22

2.1. RESIDUOS DE MADERA 24

 2.1.1. RESIDUOS DE LA INDUSTRIA DEL ASERRÍO 24

 2.1.1.1. INDUSTRIA DEL ASERRÍO EN CHILE 25

 2.1.2. RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN 29

 2.1.3. RESIDUOS DE ENVASES Y EMBALAJES 31

2.2. TECNOLOGÍAS DE APROVECHAMIENTO 34

 2.2.1. VALORIZACIÓN ENERGÉTICA 34

 2.2.1.1. GASIFICACIÓN 34

 2.2.1.2. PIRÓLISIS 35

 2.2.1.3. DIGESTIÓN ANAERÓBICA 35

 2.2.1.4. PELLETIZACIÓN 35

 2.2.1.5. COMBUSTIÓN DIRECTA 36

 2.2.2. RECICLAJE 39

 2.2.2.1. COMPOSTAJE 39

 2.2.2.2. VERMICOMPOSTAJE 40

CAPÍTULO 3. COMPARACIÓN ENTRE COMBUSTIÓN DIRECTA Y COMPOSTAJE 42

 3.1. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE COMBUSTIÓN DIRECTA 49

 3.2. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DEL COMPOSTAJE 53

 3.3. ANÁLISIS COMPARATIVO 54

DISCUSIÓN 61

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 63

BIBLIOGRAFÍA 65

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1-1. DESCRIPCIÓN POR COMPOSICIÓN DE RESIDUOS DOMICILIARIOS.. 16

TABLA 2-1. CANTIDADES EN M³ DE MADERA ASERRADA PRODUCIDA POR
LOS PRINCIPALES PRODUCTORES MUNDIALES..... 26

TABLA 2-2. DESTINO Y USOS DE LA MADERA PRODUCIDA EN CHILE QUE NO
ES EXPORTADA 27

TABLA 2-3. RELACIÓN PORCENTUAL DE ENVASES Y EMBALAJES DE
MADERA A NIVEL NACIONAL AL AÑO 2010 33

TABLA 2-4. PLANTAS DE COMBUSTIÓN DIRECTA DE BIOMASA EN CHILE
..... 37

TABLA 3-1. FE DE COMBUSTIÓN EN CALDERAS 50

TABLA 3-2. FACTORES DE EMISIÓN PARA COMBUSTIÓN EN (KG/TON) 51

TABLA 3-3. RESUMEN DE EMISIONES PARA COMBUSTIÓN DIRECTA 53

TABLA 3-4. FE DEL COMPOSTAJE POR CONTAMINANTE 53

TABLA 3-5. RESUMEN DE EMISIONES PARA COMPOSTAJE..... 54

TABLA 3-6. RESUMEN DE COMPARACIÓN DE EMISIONES PARA EL
TRATAMIENTO DE 1 [TON] DE BIOMASA POR PROCESO DE COMPOSTAJE Y
COMBUSTIÓN DIRECTA 54

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-1. TRES PILARES DE LA SUSTENTABILIDAD 7

FIGURA 1-2. REPRESENTACIÓN DE ECONOMÍA CIRCULAR 12

FIGURA 1-3. CICLO DE MEJORAMIENTO CONTINUO 13

FIGURA 1-4. JERARQUÍA DE GESTIÓN DE RESIDUOS 14

FIGURA 1-5. GENERACIÓN DE RESIDUOS TOTALES A NIVEL NACIONAL AÑO
2015..... 19

FIGURA 1-6. GESTIÓN DE LOS RESIDUOS MUNICIPALES 2013..... 20

FIGURA 2-1. ORIGEN DE LA BIOMASA 25

FIGURA 2-2. FLUJO PRODUCTIVO INDUSTRIA DEL ASERRÍO EN CHILE, 2015 ... 28

FIGURA 2-3. GENERACIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES POR SECTOR 30

FIGURA 2-4. CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN 30

FIGURA 2-5. PORCENTAJE DE COMPOSICIÓN RESIDUOS DE LA
CONSTRUCCIÓN 31

FIGURA 3-1. TIPOS DE ESTAMPAS DEPENDIENTE DEL TRATAMIENTO CONTRA PLAGAS EN MADERA. NINF 15	46
---	----

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 3-1. COMPARACIÓN DE EMISIONES DE CO	56
GRÁFICO 3-2. COMPARACIÓN DE EMISIONES DE NO _x	56
GRÁFICO 3-3. COMPARACIÓN DE EMISIONES DE CO ₂	57
GRÁFICO 3-4. COMPARACIÓN DE EMISIONES DE SO ₂	57
GRÁFICO 3-5. COMPARACIÓN DE EMISIONES DE N ₂ O	58
GRÁFICO 3-6. COMPARACIÓN DE EMISIONES DE VOC	58
GRÁFICO 3-7. COMPARACIÓN DE EMISIONES DE MP	59
GRÁFICO 3-8. COMPARACIÓN DE EMISIONES TOTALES	59

SIGLAS Y/O SIMBOLOGÍAS

ODM	: Objetivos del Milenio
ODS	: Objetivos de desarrollo sostenible
ISO	: International Organization for Standardization
DS	: Decreto Supremo
OCDE	: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
CIIU	: Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas
REAS	: Residuos de Establecimientos de Atención de Salud
Ley REP	: Ley de Responsabilidad Extendida al Productor
SUBDERE	: Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo
MMA	: Ministerio de Medio Ambiente
SINIA	: Sistema Nacional de Información Ambiental
FAO	: Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)
WPO	: World Packaging Organization (Organización mundial del envase)
INFOR	: Instituto forestal
UNED	: Universidad Nacional de Educación a Distancia
CONAMA	: Comisión Nacional del Medio Ambiente
EyE	: Envases y Embalajes
RETC	: Registros de Emisiones y Transferencia de Contaminantes
EPA	: Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental)
GEI	: Gases de Efecto Invernadero
ec.	: ecuación

Na	: Nivel de Abatimiento
RCNS	: Reducción Selectiva No Catalítica
MP	: Material Particulado
VOCs	: Volatile Organic Compounds (Compuestos Orgánicos Volátiles)
VOC	: Volatile Organic Compound (Compuesto Orgánico Volátil)
C/N	: relación Carbono/Nitrógeno
C/P	: relación Carbono/Fósforo
CICA	: Centro de Información sobre Contaminación del Aire
pH	: medida de alcalinidad o acidez

%	: porcentaje
MW	: Mega Watts
m³	: metro cúbico
kg	: kilogramo
ton	: tonelada
Btu	: British Thermal Unit
MMBtu	: Million British Thermal Unit
kcal	: kilocaloría
lb	: libra
°C	: grados Celcius
µm	: micrómetro
mm	: milimetro
CO	: monóxido de carbono
CO₂	: dióxido de carbono
N₂	: nitrógeno molecular

N₂O	: óxido nitroso
NO_x	: óxidos de nitrógeno
SO₂	: dióxido de azufre
SO_x	: óxidos de azufre
SO₃	: trióxido de azufre
O₃	: ozono
H₂	: hidrógeno
CH₄	: metano
O₂	: oxígeno molecular
COHb	: carboxihemoglobina
NO	: óxido nítrico
UV	: rayos ultravioletas
C	: carbono
N	: nitrógeno
K	: potasio
P	: fósforo
Mg	: magnesio
Fe	: hierro
S	: azufre
Zn	: zinc
Cu	: cobre
Mn	: manganeso
B	: bromo
Cr	: cromo

INTRODUCCIÓN

La masiva generación de residuos es una problemática a nivel mundial, causa de preocupación debido a los múltiples impactos que genera en distintos aspectos, dentro de las cuales se encuentra la masiva acumulación de residuos en rellenos sanitarios y vertederos, lo que genera una gran cantidad de emisiones de efecto invernadero, inversión de recursos económicos, emanación de olores desagradables, impacto al valor paisajístico, descontento de la comunidad aledaña, entre otros.

Bajo esta premisa, es que ha habido preocupación tanto a nivel internacional como nacional, por promover la toma de acciones que produzcan un cambio en cuanto a una buena gestión de residuos, promoviendo una minimización en cuanto a generación, una correcta segregación y por lo tanto una toma de conciencia en cuanto a la utilidad, que transformen a un residuo en un posible recurso, y, por otro lado, una potenciación de tecnologías de tratamiento cada vez menos dañinas y que sean viables.

En el año 2012, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, se plantearon 17 objetivos, llamados Objetivos de Desarrollo Sustentables (ODS), para cumplir al año 2030, relacionados con problemáticas ambientales, políticas y económicas.

En el año 2010, Chile hace ingreso a la OCDE, lo que refuerza aún más su compromiso ambiental, en conjunto con otros tratados de índole ambiental, para alcanzar el título de país desarrollado. Es por esto que en cuanto a manejo de residuos, se destaca dentro de los ODS, el Objetivo 11: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, donde Chile, representado por el Ministerio del Medio Ambiente, ha puesto sus esfuerzos en una Política Ambiental enfocada en la creación de Programas y Normas que potencien la minimización de los residuos y la aseguración del cumplimiento de medidas de seguridad en cuanto al tratamiento y transporte de estos.

Sin embargo, a la hora de buscar opciones de gestión de residuos o tratamientos más innovadores, se puede notar una desventaja en cuanto a tecnologías de reciclaje, en comparación a países pertenecientes a la OCDE también.

Si bien existen variadas tecnologías a gran escala para tratar biomasa, como es considerada la madera, actualmente en Chile sólo existe una, la Combustión Directa, que, si bien es la más utilizada y posee una tecnología fácil de implementar, genera un nivel de escepticismo debido a las posibles emanaciones proveniente de la quema de materiales. Y, por otro lado, una alternativa mucho más rural, pero que ha probado ser efectiva en otros países que la han implementado a gran escala, es la del Compostaje.

Pero, qué tan diferentes son realmente una de otra en cuanto a impacto en el medio ambiente, es una pregunta que no deja de sonar, y, por otro lado, que otras consideraciones deberíamos tener al momento de escoger una opción u otra.

OBJETIVO GENERAL

Realizar un levantamiento de información sobre la generación de residuos de madera, su reciclaje y posterior comparación de emisiones entre tecnologías de aprovechamiento: Combustión Directa y Compostaje.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comprender el estado del reciclaje de madera tanto en Chile como en el extranjero
- Conocer las distintas tecnologías ampliamente utilizadas para reciclar la madera
- Realizar un análisis comparativo de emisiones entre Combustión Directa y Compostaje

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

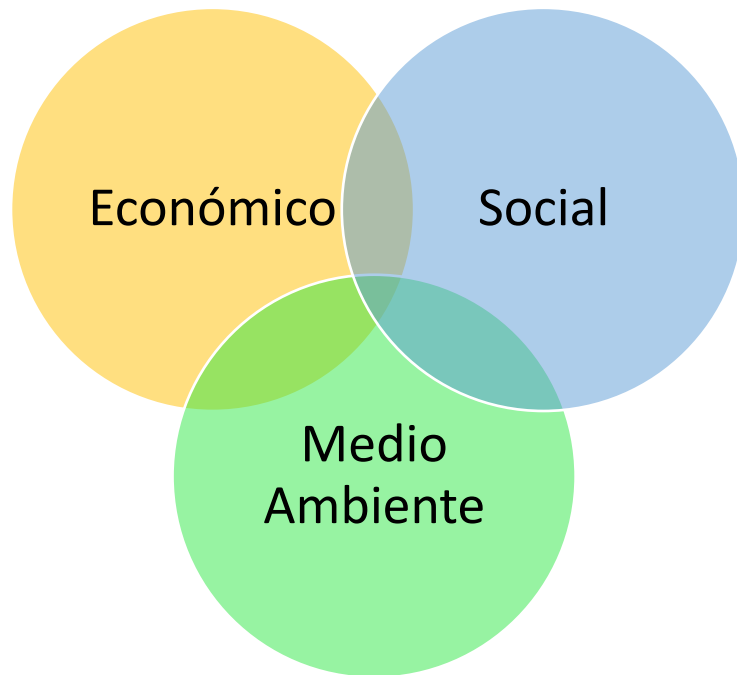
1.1. ECONOMÍA CIRCULAR Y SUSTENTABILIDAD

1.1.1. Sustentabilidad

O sostenibilidad, es un término que por sí solo no posee mucho sentido, pero desde hace un tiempo ha sido ligado con el cuidado del medio ambiente.

Se define Desarrollo Sustentable según la Ley 19300 (Bases Generales del Medio Ambiente), como “el proceso de mejoramiento sostenido y equitativo de la calidad de vida de las personas, fundado en medidas apropiadas de conservación y protección del medio ambiente, de manera de no comprometer las expectativas de las generaciones futuras”.^[1] Este término tiene su origen a partir del informe “Nuestro Futuro Común”, publicado en el año 1987, en el contexto de la preparación de temas a tratar en la Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, en donde se hace mención a la búsqueda del “desarrollo sostenible” o “desarrollo sostenido” como meta a cumplir para el año 2000.

Sin embargo, para que un desarrollo sea realmente sustentable, debe centrarse en cumplir estándares en tres aspectos: lo económico, lo ambiental y lo social. Es así, como un país, empresa, proyecto, debe centrar sus acciones en lograr el equilibrio entre esas tres áreas; preocuparse del crecimiento económico, cumplir las expectativas ambientales y procurar que la sociedad se encuentre segura y conforme.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-1. Tres pilares de la Sustentabilidad

1.1.1.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible

Con el fin de lograr un desarrollo sostenible en el mundo, es que, en el año 2000, se realizó la Cumbre del Milenio de las Naciones Unidas, en donde participaron 191 jefes de Estado y Gobierno ^[2], con el fin de discutir y llegar a algún consenso sobre cómo actuar ante las diversas problemáticas que estaban aconteciendo en el mundo. Es así como se llegó al acuerdo de fijar 8 objetivos, enfocados en las temáticas más importantes y vigentes discutidas, para así comprometerse a poner todos los esfuerzos en el cumplimiento de ellos con un plazo hasta el año 2015, mediante la firma del documento llamado Declaración del Milenio. Estos 8 objetivos eran: ^[3]

- Erradicar la pobreza extrema y el hambre;
- Lograr la enseñanza primaria universal;
- Promover la igualdad entre los sexos y el empoderamiento de la mujer;
- Reducir la mortalidad de los niños menores de 5 años;
- Mejorar la salud materna;
- Combatir el VIH/SIDA, la Malaria y otras enfermedades;
- Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente y;
- Fomentar una alianza mundial para el desarrollo.

Al llegar el año 2012, y con la experiencia adquirida luego del desarrollo del cumplimiento de los Objetivos del Milenio, es que se acordó en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, celebrada en Río de Janeiro, sustituir los 8 objetivos por 17 objetivos nuevos, llamados Objetivos de Desarrollo Sostenible, ^[4] en donde se abarcan temas en los que ya se ha trabajado en los ODM de manera más específica, y por otro lado se agregan otros que no habían sido contemplados.

Es así como en el año 2015, líderes mundiales se volvieron a reunir esta vez en la Cumbre de Desarrollo Sostenible, y aprobaron la Agenda 2030, donde firmaron su compromiso de cumplimiento de estos nuevos objetivos, los cuales buscan “ampliar los éxitos alcanzados con ellos (ODM), así como lograr aquellas metas que no fueron conseguidas”. Los 17 ODS son: ^[5]

- Fin de la pobreza;
- Hambre Cero;
- Salud y Bienestar;
- Educación de Calidad;
- Igualdad de Género;
- Agua limpia y Saneamiento;
- Energía asequible y no contaminante;
- Trabajo decente y Crecimiento económico;
- Industria, Innovación e Infraestructura;
- Reducción de las Desigualdades;
- Ciudad y Comunidades Sostenibles;
- Producción y Consumo Responsables;
- Acción por el clima;
- Vida Submarina;
- Vida de ecosistemas terrestres;
- Paz, Justicia e instituciones sólidas;
- Alianzas para lograr los objetivos.

1.1.2. Economía Circular

El modelo de producción industrial se ha desarrollado a lo largo de las últimas décadas bajo el concepto de economía lineal, donde el objetivo principal es generar la mayor producción utilizando la menor cantidad de recursos monetarios posibles. Es bajo esta premisa de “tomar, hacer, desechar” ^[6], es que el nivel de crecimiento industrial ha sido exponencial desde la década de los 50. Sin embargo, existen diversos factores que han hecho cuestionar si este sistema de producción es el más adecuado o no.

Algunas razones principales son: ^[6]

- Pérdidas económicas y residuos estructurales
Ligada al derroche en el consumo recursos, tanto económicos como de materias primas. Una mejor gestión para así optimizar el rendimiento puede significar un ahorro significativo de todo tipo de entradas. Por otro lado, significa un gasto para las empresas el tener que disponer de sus residuos de manera adecuada, por lo que una minimización de estos o una reutilización o reciclaje en el mismo proceso es una solución que aporta tanto a la economía de la empresa como al cuidado del medio ambiente.
- Riesgos de precios
Ligado a la alta volatilidad de los precios de los recursos y los riesgos asociados a la interrupción del suministro, factores que pueden disminuir el crecimiento económico de la empresa o proyecto, debido a la incertidumbre que estos provocan.
- Riesgos de Suministros
Ligado a la dependencia de ciertos rubros industriales a algunos países que poseen los recursos naturales que requieren a modo de materia prima. Se “aumenta el riesgo para la seguridad del suministro asociada a las cadenas de suministro global largas”
- Deterioro de los sistemas naturales
La constante presión sobre los sistemas naturales por parte de diversas industrias ha ido agotando estos recursos, lo que directa o indirectamente ha afectado la productividad, sin tomar en cuenta los daños medioambientales que ya están presentes: “Entre los elementos que contribuyen a estas presiones medioambientales se encuentran el cambio climático, la pérdida de biodiversidad

y el capital natural, la degradación del suelo y la contaminación de los océanos” por solo nombrar algunos.

- Evolución de la normativa

A lo largo de las últimas décadas, se ha ido tomando mayor conciencia en cuanto a los riesgos a los que está expuesta tanto la población como el medio ambiente debido al nulo control que existía en la industria bajo el modelo de economía lineal. Es por esto que han surgido diversas normativas ligadas al cumplimiento de los acuerdos que han tenido cabida a nivel mundial, por lo que una adecuación en cuanto a gestión es ahora obligatoria para el cumplimiento legal al que están sujetos todos tipos de procesos productivos.

- Nuevas Tecnologías

Los avances tecnológicos siempre permiten una mejor utilización de los recursos, por lo que se ha potenciado el uso de tecnologías menos contaminantes para llevar a cabo un proceso productivo. Por otro lado, el cambio en la manera de comunicarnos gracias a los avances en la informática y electrónica han permitido “la creación de enfoques empresariales” que antes no eran posibles, y también han facilitado un “intercambio de conocimiento más eficientes, un mejor seguimiento de las materias una mejor configuración de la logística futura e inversa, y un mayor uso de la energía renovable”.

- Urbanización

Actualmente en los países más desarrollados el nivel de urbanización es alto, por lo que más de la mitad de la población vive en zonas urbanas. Según el Reporte ciudades del mundo (2016), al año 2015 el 89,5% de la población del país vive en un área urbana.^[43] “Con este aumento continuo de la urbanización, los costes asociados de muchos de los servicios de activos compartidos y los costes de los ciclos invertidos, la recogida y el tratamiento de materias que ya no se utilicen se beneficiarán de una mayor densidad de entrega y recogida, una logística más sencilla y un atractivo y una escala mayores para los proveedores de servicios”.

Bajo este análisis, es que han surgido diversos conceptos que intentan explicar o vincular que la economía lineal no es sostenible en el tiempo, debido a los grandes y diversos impactos que hay asociado a este modelo, específicamente al medio ambiente, en cuanto

a la utilización desmedida de recursos y los daños al aire, suelo y aguas debido a residuos y emisiones tóxicas que son generados y emitidas.

El término “Economía Circular”, según la Fundación Ellen MacArthur, se puede definir como una forma de producción “restaurativa y regenerativa a propósito, y que trata de que los productos, componentes y materias mantengan su utilidad y valor máximos en todo momento”. Por otro lado, “este modelo económico trata en definitiva de desvincular el desarrollo económico global del consumo de recursos finitos” (Ver Figura 1-2).^[6]

Se pueden reconocer tres principios sobre los que se basa la economía circular:^[6]

- Preservación y mejora del capital natural

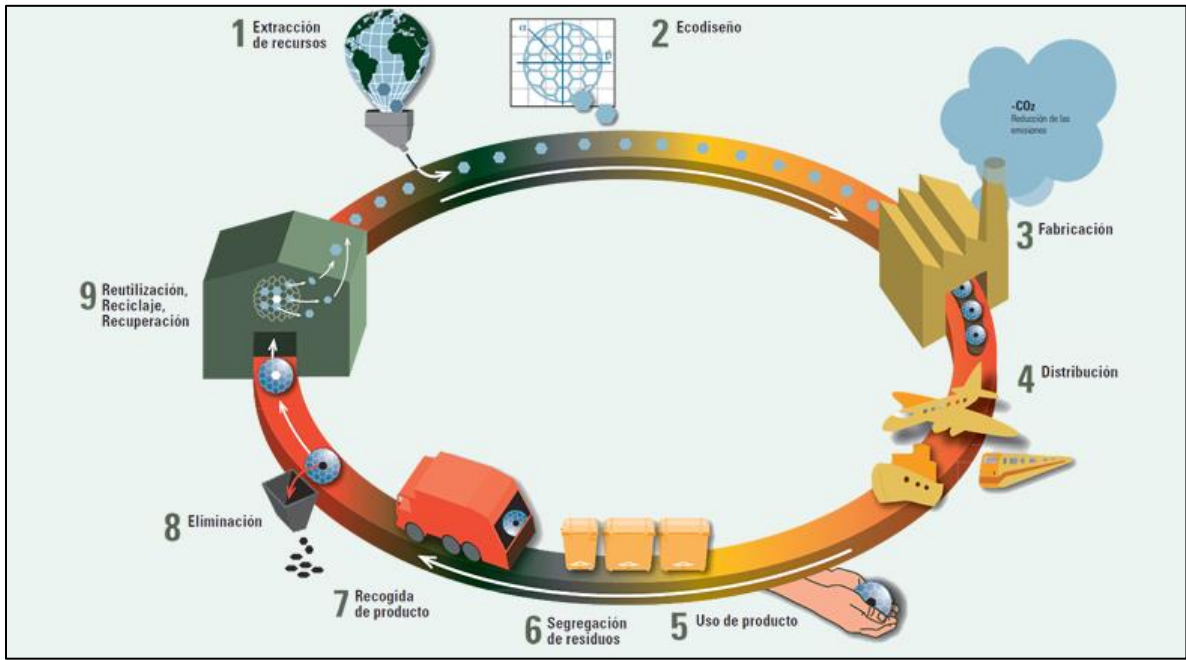
La idea de la economía circular es que la toma de decisiones se haga de la manera más consciente posible: cuando se necesiten recursos, escoger la mejor opción y utilizarlos de la manera más sensata; escoger tecnologías que posean un mayor rendimiento y que utilice una menor cantidad de recursos. Por otro lado, procurar la reinserción de estos en el ciclo, con el fin de sacarles el mayor provecho posible por el mayor tiempo posible.

- Optimizar los rendimientos de los recursos, distribuyendo productos, componentes y materias con su utilidad máxima en todo momento

Los sistemas circulares utilizan distintas acciones con el fin de recircular todos los componentes del ciclo, para así lograr el mayor aprovechamiento de estos. La idea es también mantener estos bucles de recirculación lo más cercanos posibles al ciclo de funcionamiento del proceso, para así ahorrar la mayor energía en cualquier opción que se escoja. Por ejemplo, es mejor realizar la mantención de una maquinaria o equipo, que reciclar sus partes una vez dado de baja.

- Promover la eficacia de los sistemas detectando y eliminando del diseño los factores externos negativos

Es de suma importancia identificar qué factores pueden estar afectando la economía y que no están directamente relacionados con la producción, como la movilidad, la educación, y lo más destacable, los impactos ambientales como contaminación de aire, agua, suelo y acústica.



Fuente: Ihobe,. [54]

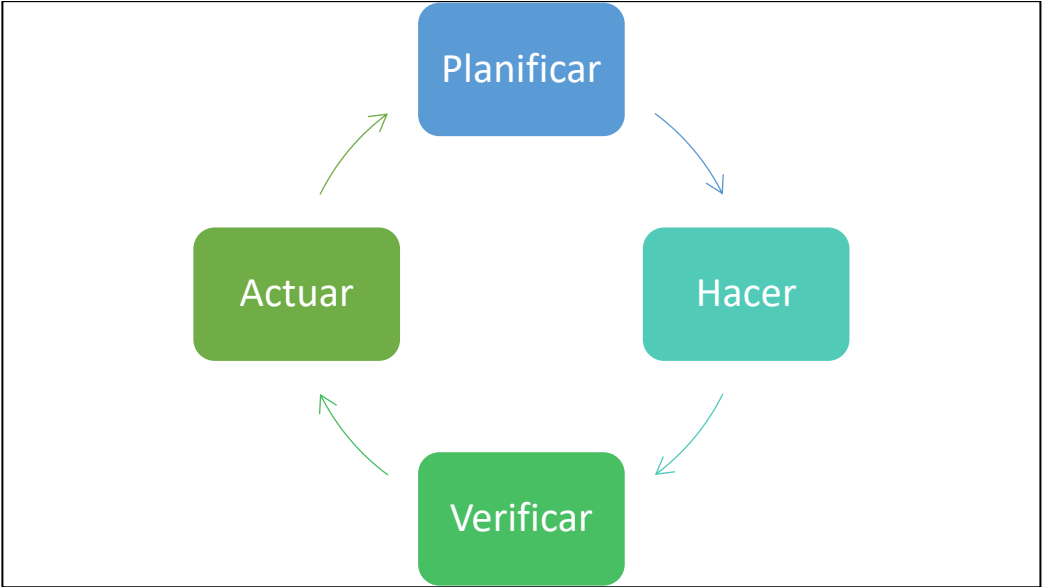
Figura 1-2. Representación de Economía Circular

Existen otros conceptos que salen a respaldar o potenciar la economía circular, como lo es el Ciclo de Mejoramiento Continuo, la Jerarquización de medidas de gestión y la propia Gestión Ambiental.

Todos estos conceptos están mencionados en la norma ISO 14001/2015, la cual es la norma de gestión ambiental mundialmente reconocida, donde fija los requisitos mínimos para implementar un sistema de gestión ambiental o bien mantener y mejorar el ya implantado.

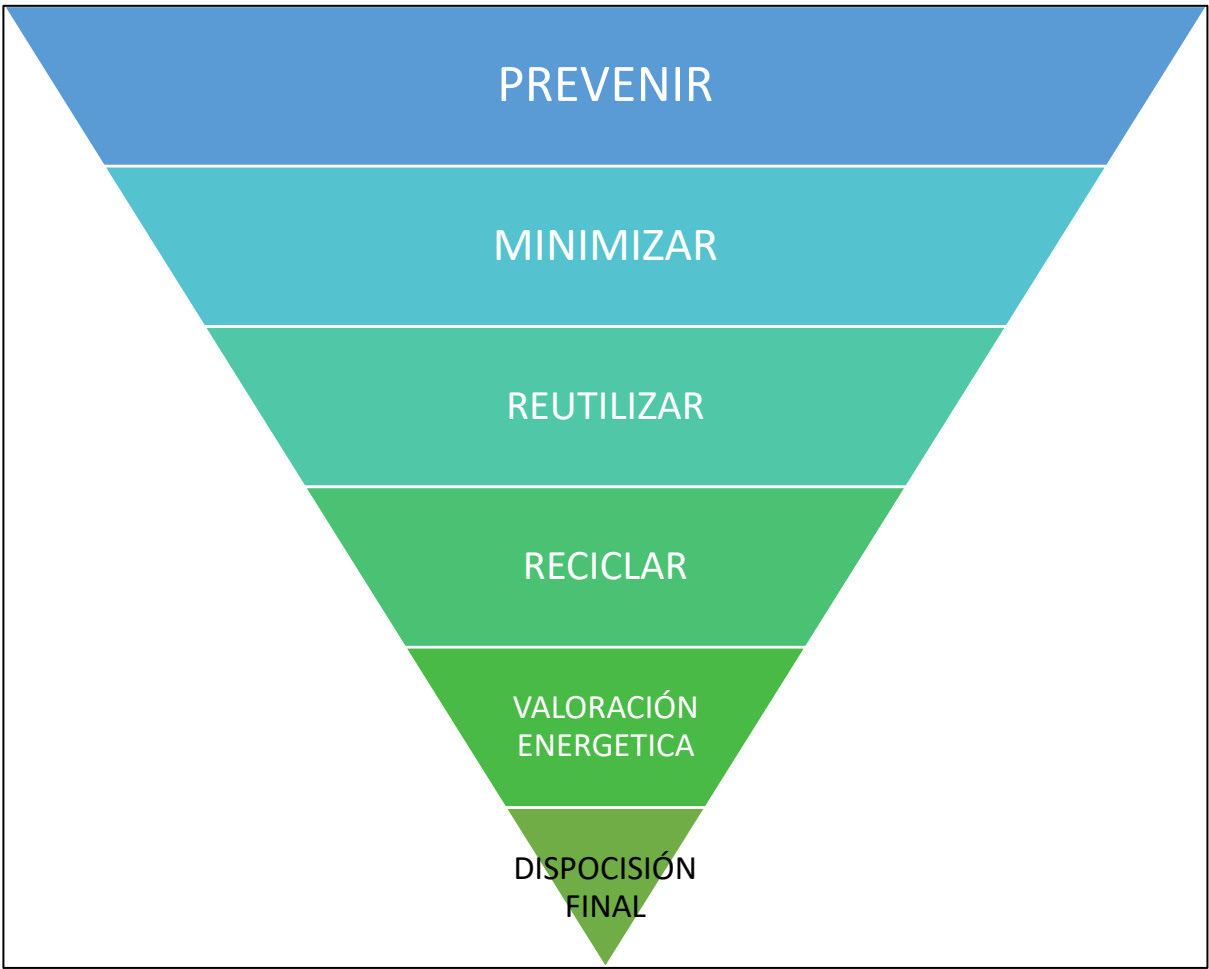
- Los Sistemas de Gestión Ambiental se pueden entender como el conjunto de diligencias que conducen al cumplimiento de la normativa ambiental aplicable en primer lugar, los objetivos ambientales que se plantee la propia empresa y por último generar una mejora en el desempeño ambiental. [7]
- Ciclo del mejoramiento continuo, cuyo objetivo es identificar factores que entorpezcan el cumplimiento de los objetivos planteados, y sean arreglados o mejorados a tiempo. Para lograr esto es de gran importancia seguir los pasos propuestos: Planificar, Hacer, Verificar, Actuar (Ver Figura 1-3). [7]
- La Jerarquización en la gestión de residuos, se representa como una manera de escoger estrategias de aprovechamiento de residuos, priorizando algunas opciones sobre otras, tomando en cuenta la energía gastada, el tiempo utilizado, y los

posibles impactos negativos que esa opción genere. Bajo esta premisa es que la estrategia propone en primer lugar la Minimización, luego la Valorización y finalmente la Disposición (Ver Figura 1-4).



Fuente: Elaboración propia a partir de ISO 14001/2015

Figura 1-3. Ciclo de mejoramiento continuo



Fuente: Elaboración propia a partir de concepto de Jerarquía, Ley 20920/2017
Figura 1-4. Jerarquía de gestión de residuos

1.2. RESIDUOS

1.2.1. Definición y Clasificación de residuos

Tanto la actividad natural como la humana contribuyen a la contaminación orgánica de las aguas naturales. La descomposición de la materia animal y vegetal origina ácidos húmicos, fúlvicos y materias colorantes. Los residuos domésticos contienen materias orgánicas en descomposición, detergentes y microorganismos. Los vertidos industriales contienen múltiples compuestos orgánicos, tales como aceites, disolventes y otros. La actividad agrícola genera residuos de herbicidas y pesticidas, etc. La concentración de estos compuestos orgánicos en el agua no es constante, sino variable por múltiples causas, y obliga a ajustes permanentes en las plantas de tratamiento. El uso de tratamientos biológicos para su eliminación implica el uso de parámetros de medida menos específicos

que los que miden radicales químicos, y que sin embargo permitan el control de las unidades de tratamiento.

Según el DS 148/2003 (Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos), el término residuo o desecho se define como “sustancia, elemento u objeto que el generador elimina, se propone a eliminar o está obligado a eliminar”^[8]. Sin embargo, un residuo no necesariamente es sinónimo de desecho, Para la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), residuo es una “sustancia u objeto que: (i) se elimina o valoriza, (ii) está destinado a ser eliminado o valorizado, o (iii) debe, por las disposiciones de la legislación nacional, ser eliminado o valorizado.”^[9]

Con el fin de dar un orden y sentido a la segregación de los residuos, y así poder evaluar de mejor forma posteriores medidas de gestión, es que se ha dado una clasificación a los residuos.

Si bien existen distintas categorías o formas de clasificar los residuos, existen dos grandes categorías: según su peligrosidad y según su origen. Para efectos de este trabajo, es importante aclarar que los residuos también se pueden separar según su estado físico, en líquidos y sólidos.

Según su peligrosidad podemos encontrar,

- Residuos peligrosos;
- Residuos no peligrosos;
- Residuos inertes.

Según su origen,

- Residuos Industriales;
- Residuos Municipales.

Según su estado físico,

- Residuos Líquidos
- Residuos Sólidos
- Residuos Gaseosos

Sin embargo, “La OCDE, como una forma de estandarizar los requerimientos, análisis y comparación de información respecto a residuos sólidos a nivel internacional, recomienda una clasificación detallada de las fuentes de generación de residuos”^[10], es por esto que dentro de los residuos industriales podemos encontrar según su clasificación CIU: sector agrícola y silvícola, sector minero y cantera, sector manufacturero, sector producción de energía, sector distribución y purificación de agua, y sector construcción. Por otro lado,

para los residuos municipales, se separarán en domiciliarios, asimilables a domiciliarios y urbanos (Ver Tabla 1-1).

Tabla 1-1. Descripción por composición de residuos domiciliarios

Residuos Municipales	Descripción
Domiciliarios	Se refiere a los residuos provenientes de los hogares, que en su composición destacan: residuos de comidas, papel, cartón, plásticos, textiles, residuos de jardín, madera, vidrio, latas y hojalata, aluminio, hojas, etc. Se puede apreciar también gran cantidad de envases y embalajes.
Asimilables a domiciliarios	Que por su composición son similares a los domiciliarios, pero no provienen de hogares, sino de otros lugares como centros comerciales, colegios, oficinas, edificios públicos, e incluso de industrias.
Urbanos	Provenientes de espacios libres a la comunidad, y de la ciudad en general, como por ejemplo podas de árboles o plazas, limpieza de calles.

Fuente: Elaboración propia a partir de [55].

1.2.2. Escenario del Manejo de Residuos Sólidos en Chile

Como se menciona anteriormente, los compromisos ambientales del país han ido en aumento en la última década. Bajo esta premisa, es que se han elaborado documentos, que permitan el orden en la información que se tiene en cuanto a temas como gestión de residuos, cuantificación de residuos producidos, cuantificación de residuos dispuestos de buena manera y de los que no poseen una disposición final adecuada; origen de los principales residuos y también clasificación.

En el año 2005 se aprobó la Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos, cuyo objetivo principal era “lograr que el manejo de residuos sólidos se realice con el mínimo riesgo para el medio ambiente, propiciando una visión integral de los residuos, que asegure un desarrollo sostenible y eficiente del sector” ^[11]. Para esto se planteó una serie de

objetivos específicos, con acciones ligadas a cada uno, que incluía medidas a corto y mediano plazo, los cuales eran: ^[11]

- Minimizar los riesgos sanitarios y ambientales producidos por el mal manejo de residuos sólidos
- Generar y promover un servicio público de manejo de residuos sólidos domiciliarios de calidad y a precio orientado a costos
- Fomentar una visión regional para el manejo de los residuos sólidos domiciliarios
- Propiciar el desarrollo de mercados eficientes y dinámicos para el manejo de los residuos, promoviendo el desarrollo de una cultura de minimización
- Promover la educación ambiental, la participación ciudadana y una mayor conciencia en relación con el manejo de los residuos
- Construir e implementar sistemas de información de residuos sólidos

Es bajo la implementación de esta política que se crean normativas como: DS N°189/2005, sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios, DS N°4/2009, sobre el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas y el DS N°6/2009 sobre el manejo de residuos generados en establecimientos de atención de salud, más conocido como REAS.

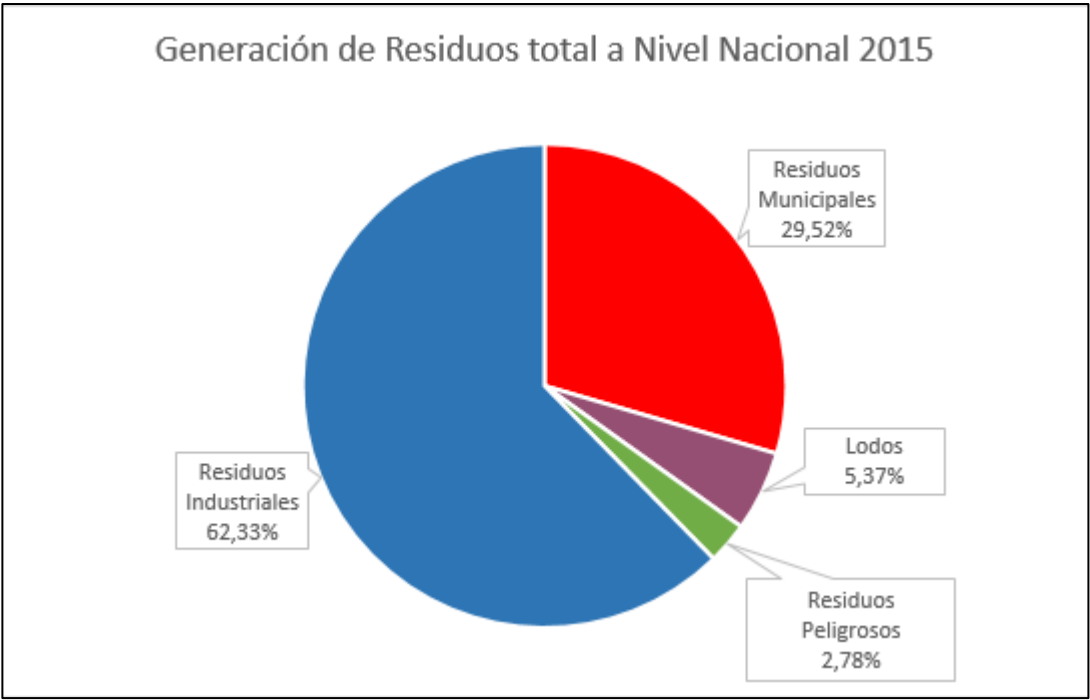
Otro marco regulatorio que surgió bajo la implementación de la Política de Gestión Integral de Residuos corresponde a la promulgación de la Ley 20920, de Responsabilidad extendida al productor, más conocida como Ley REP, cuyo objetivo es “disminuir la generación de residuos, promoviendo la reutilización y el reciclaje a través de la responsabilidad extendida al productor.” ^[8]

En el año 2017, se creó la nueva Política Nacional de Residuos, cuya implementación está proyectada desde el año 2018 al año 2030. Esta política se creó con el fin de actualizar la Política de Residuos del año 2005, bajo el contexto actual mundial sobre la importancia de la protección del medio ambiente, donde conceptos como responsabilidad medioambiental, sustentabilidad y economía circular son pilares fundamentales por cubrir con esta normativa. Este documento contempla cinco objetivos específicos; ^[12]

- Instrumentos; que potencien la jerarquía en el manejo de residuos algunos ejemplos son:
 - Ley REP.
 - Fondo del reciclaje, enfocado a municipios.
 - Impuestos de eliminación e incentivos tributarios, con el fin de desincentivar la disposición final de residuos en rellenos sanitarios.

- Modificación a la Ley de rentas 2, la cual establece pagos de parte de las poblaciones por el concepto de manejo de residuos domiciliarios, se busca la disminución de ello con el fin de darle mayores recursos a los municipios para que puedan mejorar la gestión que se les da a los residuos a nivel comunal.
- Disminución de impuestos de zonas francas, (Arica, Iquique, Magallanes), se plantea eliminar o disminuir estos impuestos, con el fin de potenciar el reciclaje o manejo en las zonas en donde se generan con el fin de evitar el traslado de residuos a otras localidades para su disposición final.
- Infraestructura
 - (SUBDERE) Se cambia el enfoque que había habido según el programa de residuos sólidos, en vez de construir lugares de disposición final, potenciar la construcción de lugares que busquen otro tipo de manejo, como la recuperación, gestión y/o almacenaje.
- Educación Ambiental
 - Cambio de conciencia, formar nuevas capacidades en la población, con el fin de fomentar prácticas sustentables.
 - Fomentar la capacitación de trabajadores públicos,
- Información Ambiental
 - Mejorar la calidad de la entrega de información por parte del estado y las entidades públicas a la población,
- Nueva Institucionalidad
 - Desarrollo de una nueva institución, bajo supervisión de MMA, que desarrolle e implemente instrumentos que gestionen residuos en el país, para mejorar y fomentar la economía circular

1.2.3. Generación y valorización de residuos en Chile



Fuente: Adaptación a partir de “Generación de Residuos total a Nivel Nacional 2015”, SINIA [13]

Figura 1-5. Generación de residuos totales a Nivel nacional año 2015

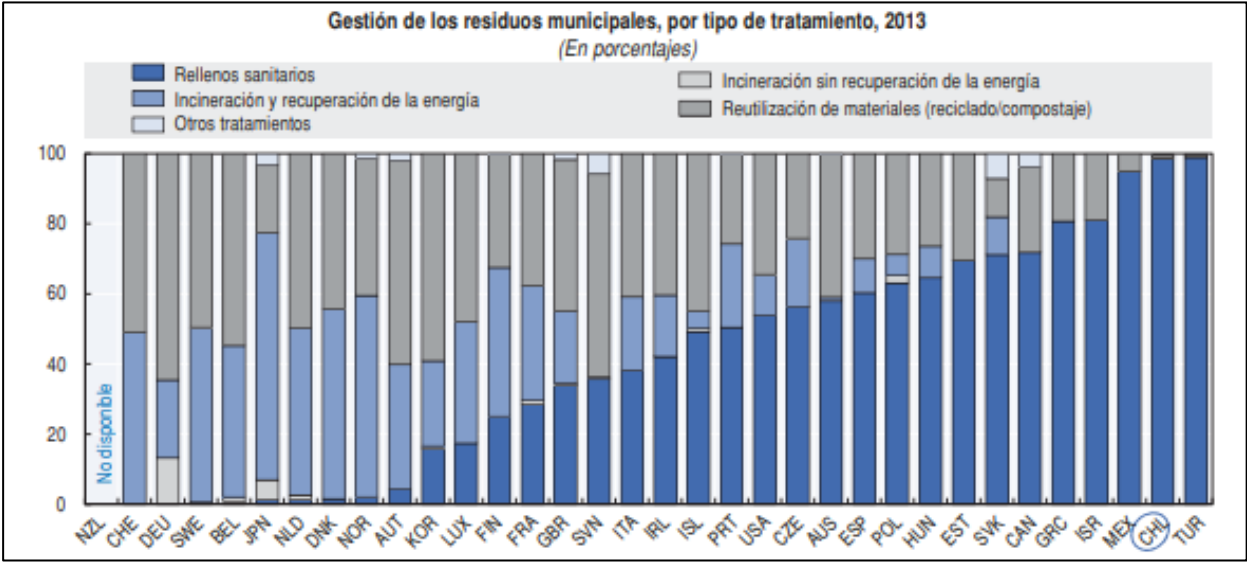
Según los datos más recientes obtenidos desde la página web del SINIA, del total de residuos sólidos anuales producidos en 2015, los Residuos Industriales y Residuos Municipales resultaron ser las dos principales categorías de generación, con un 62,33% y 29,52% respectivamente. En tercer lugar, se encuentran los Lodos obtenidos en procesos de depuración de aguas con un 5,37% y por último la generación de Residuos Peligrosos con un 2,78% ^[13]. En estos datos no se especifica si esta cantidad está expresada en toneladas, metros cúbicos u otra unidad de medida, por lo que la mejor forma de representar los datos es en porcentaje.

Por otro lado, según la página web oficial de OCDE, la generación de residuos municipales al año 2015 alcanzaba las 7.401.200 [ton/año], equivalente a 416,7 [kg/per cápita al año]. ^[14]

En cuanto a los residuos industriales, para el año 2015 la cantidad de residuos generados en las distintas industrias del país sumaba una cantidad de 35.192.000 toneladas. ^[15]

Los rellenos sanitarios, son los sectores de disposición final controlada por normativa que evalúan principalmente factores en cuanto a medidas de seguridad para los trabajadores y para la misma instalación. Las cifras de recolección para el país son alentadoras, ya que más del 96% de los residuos totales recolectados entre 2010-2011 fueron destinados a

rellenos sanitarios, mientras que el 4% se recuperó a los fines de su reutilización, reciclado y compostaje.



Fuente: INFOR, Anuario Forestal 2017

Figura 1-6. Gestión de los Residuos Municipales 2013

Como se puede apreciar (Ver Figura 1-6), en comparación a países más desarrollados como Dinamarca, Suecia y Noruega, el porcentaje de reutilización de materiales mediante reciclaje o compostaje y la incineración con recuperación de energía es ínfimo de Chile es ínfimo por no decir inexistente.

Sin embargo, se ha observado esfuerzos puestos para que esto cambie, como lo es la aprobación de la Ley 20920 - Establece el marco para la Gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al Reciclaje. Esta normativa plantea la preocupación de ciertos residuos denominados como “prioritarios”, con el objetivo de disminuir la generación de estos y al mismo tiempo potenciar su reutilización y reciclaje.

Otro ejemplo es el proyecto de Ley que espera a la fecha su promulgación, y posteriores reglamentos, sobre la eliminación del uso de bolsas plásticas no biodegradables en el país, donde, si bien en una primera instancia se dirigió a comunas costeras, ahora estaría dirigida a todo el país, tomando en consideración que la contaminación a cuerpos de agua no solamente depende la población de localidades aledañas al mar, sino a todos los posibles usuarios de bolsas plásticas.

CAPÍTULO 2: RESIDUOS DE MADERA Y TECNOLOGÍAS DE **APROVECHAMIENTO**

2.1 RESIDUOS DE MADERA

La Biomasa se puede definir como “toda la materia orgánica que viene de los árboles, plantas, residuos agrícolas como paja de trigo, arroz, maíz, raps, cáscara de almendra, avellanas etc., residuos de las industrias de aserrío, tales como aserrín, corteza, viruta, despuntes, etc.” [16]. Existen distintos tipos de orígenes, y según eso se puede clasificar “en dos grandes tipos: natural y residual, donde la primera se produce en ecosistemas naturales sin la intervención humana y la segunda corresponde a aquellos residuos o subproductos generados de forma antropogénica”. [17]

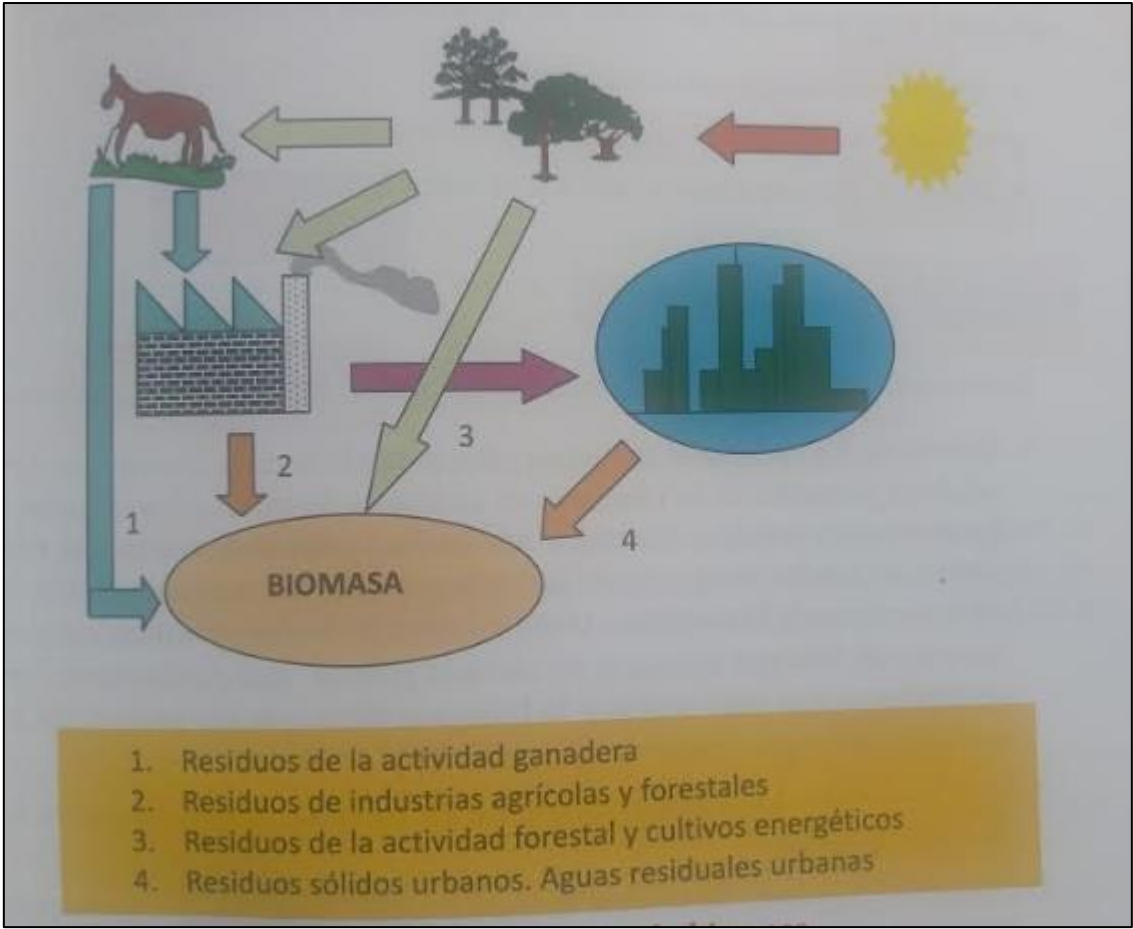
La energía contenida en la biomasa es la captada del Sol. El reino vegetal, mediante el fenómeno de la fotosíntesis, absorbe y almacena una parte de la energía solar que llega a la tierra. Por otro lado, el reino animal se encarga de incorporar, transformar y modificar dicha energía. En estos procesos mencionados de transformación de la materia orgánica se generan diversos residuos, que, si bien no tienen valor para la cadena nutritiva, pueden utilizarse como combustibles en diferentes procesos de aprovechamiento energético. (Ver Figura 2-1)

Para efectos de este trabajo, se da importancia a la madera, y se considerará tres grandes áreas de generación de residuos que correspondan a esta: los residuos provenientes de la industria forestal, específicamente del Aserrío; la madera proveniente de los residuos de la Construcción; y los residuos madereros de Envases y Embalajes.

Podemos definir recuperación de la madera como un proceso de valorización de residuos de madera, y se considera el transporte, almacenaje, clasificación, limpieza y/o reducción de volumen, para finalizar con el reciclaje o aprovechamiento energético. [55]

Dentro de las ventajas que podemos reconocer de la recuperación de la madera, en el ámbito ambiental destacan: [55]

- Disminución del porcentaje de madera virgen utilizada en la fabricación de madera aserrada;
- Aumento del carbono fijado: para formar 1 ton de madera los árboles procesan y fijan 1.85 ton de CO₂, con lo que al talar menos árboles se disminuye el efecto invernadero;
- Minimización del volumen ocupado en los rellenos sanitarios, al evitar la disposición final de este residuo;
- Utilización de la madera como fuente renovable de energía;
- Aumento de la conciencia ecológica de la sociedad;
- Posible generación de puestos de trabajo: se abre la posibilidad de nuevas empresas relacionadas con la gestión de residuos.



Fuente: UNED, Reciclado y tratamiento de residuos

Figura 2-1. Origen de la Biomasa

2.1.1 Residuos de la Industria del Aserrío

En la Industria forestal existen distintos destinos de la materia prima.

Según INFOR son los siguientes: ^[18]

- Industria de la pulpa
- Industria del Aserrío
- Industria de Astillas
- Industria de Tableros y Chapas

Dentro de estas los principales productores de madera aserrada serían Estados Unidos, China, Canadá, Rusia, Alemania, Suecia y Brasil, donde se producen las siguientes cantidades según las estadísticas de FAO. ^[37,38]

Tabla 2-1. Cantidades en m3 de madera aserrada producida por los principales productores mundiales

País	Cantidad madera aserrada producida (m³)
Estados Unidos	78.000.000
China	77.000.000
Canadá	51.480.000
Rusia	37.440.000
Alemania	23.400.000
Suecia	18.720.000
Brasil	14.040.000

Fuente: Elaboración propia a partir de estadísticas de FAO

Mientras que en el mundo según datos proporcionados por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) el total mundial de producción de madera aserrada es de 468.000.000 m³. [38]

En Costa Rica “La madera procesada en las industrias forestales se destina principalmente a los siguientes usos: embalajes 42.9%, construcción 23,2%, mueblería 11,1%, exportación en bruto y aserrado 20,5% y un 2,3% en otros usos (fabricación de tableros, carrocerías, etc.).” [39]

En España el 46% de la madera aserrada, es destinada para la elaboración de Pallets, envases y embalaje, el 21% a trituración, 13% Carpintería estructural y mueble, 11% Otros Productos, 9% Construcción. [40]

2.1.1.1. Industria del Aserrío en Chile

“Una de las biomasas de importancia en Chile son los residuos forestales, debido a que la industria maderera es un sector económico relevante en el país” [17]

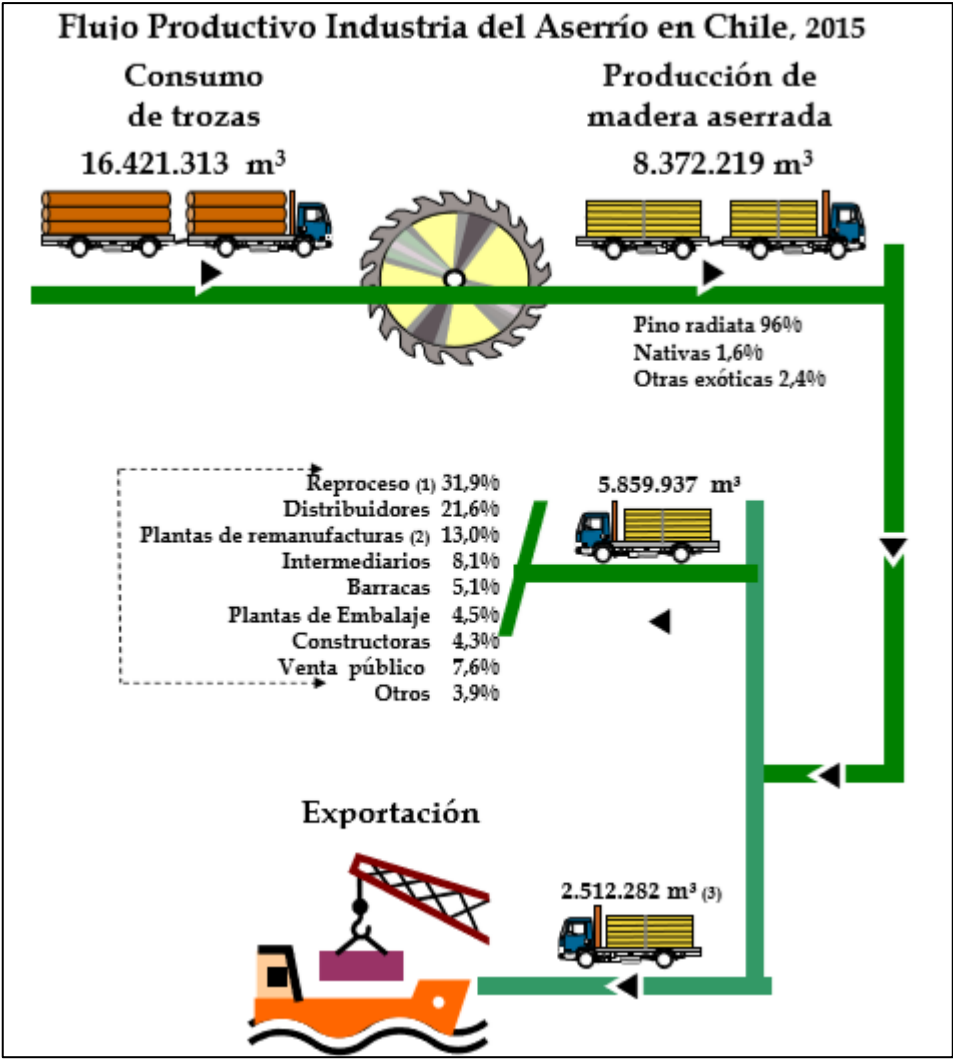
La producción anual de madera aserrada en Chile al año 2016 es de 8.455.100 m³ [41]. Dentro de la industria del aserrío, el 96% de la madera que se utiliza es pino radiata y el otro 4 % es de otras especies. [31]

30% de la madera aserrada es directamente exportada (Ver Figura 2-1), donde los principales compradores son China, Corea del Sur, México, Arabia Saudita y Japón. Dentro del porcentaje restante que queda dentro del país, los destinos se dan de la siguiente forma:

Tabla 2-2. Destino y Usos de la madera producida en Chile que no es exportada

Destino	Porcentaje
Reproceso	31,0%
Distribuidores	21,6%
Plantas de Re-manufacturas	13,0%
Intermediarios	8,10%
Barracas	5,10%
Plantas de Embalaje	4,50%
Venta al público	7,60%
Otros destinos	3,90%

Fuente: Elaboración propia a partir de Figura 2-1: INFOR, La Industria del Aserrío 2016



Fuente: INFOR. La Industria del Aserrío 2016.

Figura 3-2. Flujo productivo Industria del Aserrío en Chile, 2015

Según la FAO, de las trozas ingresadas a un proceso de aserradero, entre un 45 y 55% se transforma en residuo. ^[42] Como se observa en la Figura 2-2, en Chile del total de trozas ingresadas para producir madera aserrada, aproximadamente el 50% se aprovecha efectivamente en conseguir el producto, mientras que el otro 50% se transforma en residuos. Existen distintos tipos de residuos que se pueden obtener a partir de este, dentro de los que destacan: cortezas, aserrín, recortes, madera partida, virutas, lijaduras, tapas y cantonera. ^[16] Estos se pueden definir como: ^[16]

- Corteza: capa más externa de los árboles obtenida en aserraderos que poseen descortezadores., corresponde entre un 10-22% del volumen de éste.
- Aserrín: es el producto proveniente de las operaciones mecánicas de elaboración de madera, principalmente del aserrío.
- Recortes: trozos provenientes de la producción de madera, tableros, entre otros.
- Virutas: residuo maderero originado por el cepillado o viruteado de la madera. Corresponde a trocitos u hojuelas muy delgados de madera, que normalmente se enroscan como consecuencia de la estructura de la madera.
- Lijaduras: residuos que se producen durante el lijado abrasivo de la madera aserrada, de los tableros contrachapados y de partículas durante la fase de acabado.
- Tapa: residuo maderero originado por el primer corte de una sierra en la parte lateral de un trozo, mediante la cual se origina una pieza de madera de una cara plana y otra curva.
- Cantonera: residuo del aserrío de la madera, corresponde al corte lateral de un tablón para eliminar una arista faltante o para escuadrar una pieza de madera.

Actualmente en Chile existe un aproximado de 90 empresas con giro de aserradero, de las cuales la mayoría se encuentran ubicadas en el sur del país, desde la VII hasta la XI región. (ANEXO 1)

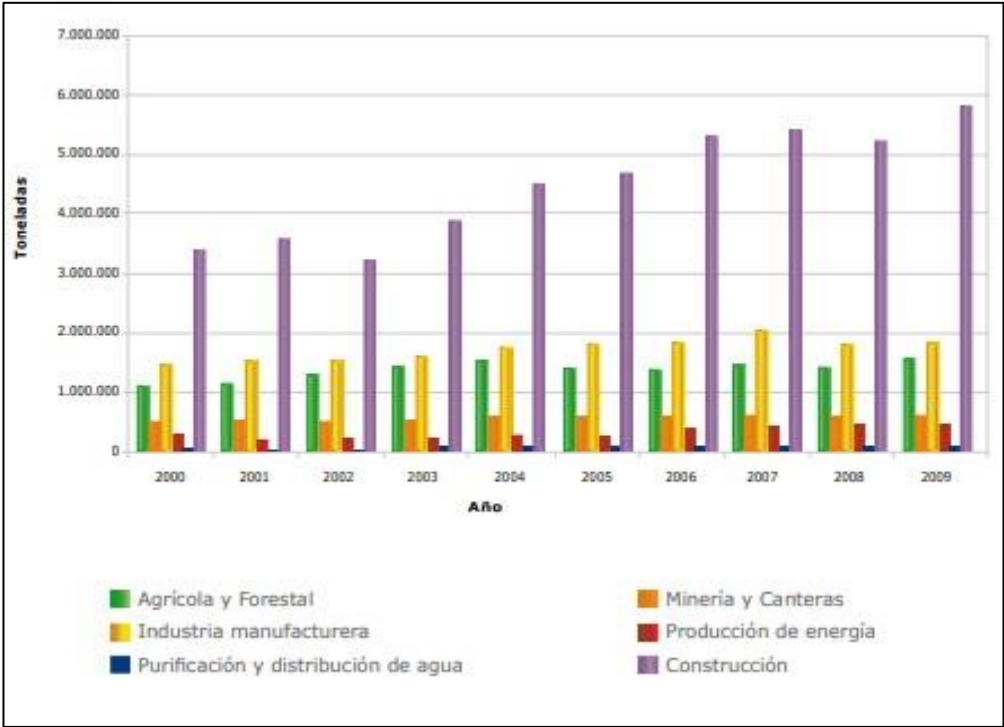
Si llevamos esta estimación a cifras, los residuos totales producidos por el aserrío corresponderían a la resta entre las trozas que ingresan al proceso y la cantidad de madera aserrada que efectivamente se produce, obteniéndose así 8.049.094 m³

2.1.2. Residuos de la Construcción

Son de importancia para este trabajo, debido al gran volumen de generación que presenta (Ver Figura 2-3). Dentro de los Residuos Sólidos Industriales, los residuos de la construcción representan un 56%, y un 34% en cuanto al total de residuos generados en el país. ^[9]

Estos residuos provienen de cuatro áreas principalmente de trabajo: Demolición de edificios e infraestructuras, Rehabilitación y restauración de edificios y estructuras existentes, Construcción de nuevos edificios y estructuras y Producción de materiales de construcción.

Bajo este análisis, es que aparte de los Residuos Peligrosos y Residuos No Peligrosos, aparece una nueva definición, los cuales son Residuos Inertes. Estos se pueden definir como aquellos que no presentan transformaciones físicas, ni químicas ni biológicas. No son solubles, ni combustibles ni biodegradables y no afectan negativamente a otras materias con las cuales entran en contacto de forma que puedan dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana. [19]



Fuente: Primer Reporte del Manejo de Residuos Sólidos (CONAMA, 2010)

Figura 2-3. Generación de residuos industriales por sector



Fuente: Vicencio C. Propuesta de Modelo de negocio para empresa asesora en gestión de residuos de la construcción

Figura 2-4. Clasificación de residuos de la construcción



Fuente: Vicencio C. Propuesta de Modelo de negocio para empresa asesora en gestión de residuos de la construcción

Figura 2-5. Porcentaje de composición residuos de la construcción

Al año 2009, la cantidad de residuos de la construcción alcanzó las 5.820.000 de toneladas de generación. Como se aprecia en la Figura 2-5, existe una clasificación “otros” en donde se incluyen los residuos de madera, los cuales representan el 0,44% de ese 2,40%. [9]

Teniendo todos estos datos, es como podemos estimar la cantidad aproximada de residuos madereros provenientes de la industria de la construcción, la cual correspondería a 2.560.800 toneladas de residuos.

2.1.3. Residuos de Envases y Embalajes

El envase y embalaje hace referencia al material que contiene el producto, para su correcta distribución y traslado, procurando la protección del producto en cuanto a estándares sanitarios principalmente, y también para mantener su integridad física y estética.

Según la Organización Mundial del Embalaje (WPO), se puede reconocer distintos materiales de empaque y embalaje:

- Papel y Cartón
- Plástico
- Metal
- Vidrio
- Madera
- Otros

En cuanto a su utilización, “El envase de plástico contabilizó el 30% de las ventas, donde los plásticos rígidos solamente tuvieron una participación del 18% del mercado, los envases de metal contabilizaron un 18% y el empaque de vidrio otro 7%. Otros productos de empaque contabilizaron el 6% restante del mercado, principalmente atribuible a pallets de madera y contenedores, pero también a textiles y otros materiales” [29]

Dentro de estas industrias el aserrío es la que se encarga de dar la materia prima para la elaboración del embalaje, en el cual se consideran los pallets y estibas. Debido a su importancia, es posible buscar maneras de estimar la cantidad de envases y embalajes de madera producida en Chile.

Dentro del 4,5 % de la madera destinada a embalajes, en Chile el 53% va dedicado a pallets y embalajes de exportación. [30]

Según el diagnóstico de envases y embalajes realizado por el MMA en el 2010, El mercado de EyE se encuentra conformado por productores, importadoras y distribuidoras.

Dentro del subsector de envases de madera se identifica:

- Caja Frutícola exportación

- Caja uso interno
- Pallets y parrillas de exportación
- Pallets y parrillas de uso interno
- Bins
- Barriles, cubas y toneles

Donde, los pallets y parrillas de exportación representan el 53% de la producción. ^[30]

Tabla 2-3. Relación porcentual de envases y embalajes de madera a nivel nacional al año 2010

Tipo de Envase o embalaje	%
Caja Frutícola exportación	14
Caja uso Interno	13
Pallets y parrillas de exportación	53
Pallets y parrillas uso interno	9
Bins	4
Barriles, cubas y toneles	7

Fuente: MMA, Diagnóstico Producción, Importación y Distribución de Envases y Embalajes y el Manejo de los Residuos de Envases y Embalajes, Informe Final (2010)

Es seguro decir que la mayoría de los embalajes de madera están hechos de madera aserrada de origen pino radiata principalmente, debido a los antecedentes del país.

Considerando que el 70% de la producción, se queda en el país y no es directamente exportada (Ver Figura 2-2):

$$8.455.100 * 0,7 = 5.018.570 \text{ m}^3$$

Como el 4,5 % de la madera aserrada se utiliza para producir embalajes ^[31], es posible estimar la cantidad de embalajes de madera que se producen anualmente en Chile.

$$5.918.570 * 0,045 = 266.336 \text{ m}^3$$

Como el 53% de los Envases y Embalajes de madera corresponden a Pallets y Parrillas de exportación:

$$266.336 * 0,53 = 141.158 \text{ m}^3$$

Se puede estimar la cantidad de pallets de exportación, asimilable a madera de estiba.

Siguiendo con la premisa de que el material es madera de pino radiata, podemos calcular la equivalencia en toneladas, con una densidad de pino radiata de $480 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ ^[51] y con $1 \text{ [ton]} = 1000 \text{ [kg]}$

$$\frac{141.158 * 480}{1000} = 67.756 \text{ [ton]}$$

Teniendo en cuenta que la proyección realizada al año 2020, en cuanto a la disponibilidad de EyE de madera en el país (89.455 ton) y del reciclaje de los envases y embalajes de madera la cual corresponderá a una cifra cercana a las 49.320 toneladas ^[30], este correspondería a un porcentaje de recuperación mayor al 50%, por lo que podemos concluir que, de la cifra estimada en este presente trabajo, en el año 2018 estaríamos reciclando alrededor de 34.000 ton de residuos de EyE de madera.

2.2. TECNOLOGÍAS DE APROVECHAMIENTO

2.2.1. Valorización energética

Puede definirse como un proceso que utiliza algún combustible con el mayor poder calorífico posible, para producir algún tipo de energía, ya sea eléctrica, mecánica, entre otras. Las energías renovables son una alternativa cuya generación no depende de recursos fósiles. Estas se pueden clasificar en convencionales, las cuales se refieren a tecnologías con mayor grado de desarrollo, y no convencionales, dentro de las que se encuentra la bioenergía, que es aquella energía térmica, eléctrica o mecánica que se obtiene a partir de la biomasa y sus derivados. La biomasa en tanto se puede clasificar en natural o residual. Existen distintas tecnologías para generar bioenergía, como la combustión directa, la gasificación, la pirolisis, la digestión anaeróbica y la pelletización.

2.2.1.1. Gasificación ^[17]

Es un proceso de oxidación parcial, donde una fuente de carbono se descompone en monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H₂), además de dióxido de carbono (CO₂) y algunos hidrocarburos como metano (CH₄). El resultado de este proceso es el gas de interés llamado “gas producto”, cuyas características dependerán del tipo de proceso, refiriéndose a los parámetros utilizados, como la temperatura y el tipo de oxidante.

2.2.1.2. Pirólisis ^[17]

Consiste en una tecnología de descomposición térmica, con elevadas temperaturas y en ausencia de oxígeno. Los productos generados son gas (syngas), líquido (bio-oil) y sólido (carbón vegetal). Este proceso se lleva a cabo en una caldera o mufla.

Dependiendo de los parámetros utilizados será la proporción en que se obtenga cada producto.

La pirolisis de baja temperatura ocurre hasta 550°C y se utiliza para producir aceites y alquitranes. La pirolisis de temperatura media ocurre entre 550°C y 800°C, donde se obtiene metano e hidrocarburos superiores. Por último, la pirolisis de alta temperatura se efectúa a temperaturas mayores a 800°C, para producción de gas con bajo poder calorífico.

El gas es un combustible compuesto principalmente por CO y H₂, denominado syngas y puede ser utilizado para obtención de calor o electricidad en motor a combustión o turbinas a gas, esta última presenta mayor eficiencia. El bio-oil es una mezcla densa de compuestos orgánicos oxigenados que puede utilizarse como combustible de calderas o puede acondicionarse para combustible de transporte. El producto sólido corresponde a carbón vegetal o charcoal, que se puede utilizar como 18 mejorador de suelos, ya que puede secuestrar carbono, es altamente absorbente y aumenta la habilidad de retener agua, nutrientes y químicos del suelo.

2.2.1.3. Digestión Anaeróbica ^[17]

La digestión anaeróbica es un proceso donde bacterias descomponen material orgánico en ausencia de oxígeno, produciendo biogás (gas con alto contenido de CH₄ y CO₂), un residuo sólido llamado digestato (similar al compost) y un licor líquido. El principal uso del biogás es que puede ser quemado para la generación de calor y electricidad. El residuo sólido puede ser utilizado como abono, combustible para quemar o puede ser gasificado.

2.2.1.4. Pelletización ^[17]

Consiste en la fabricación de pellets de madera, hechos de aserrín. Pueden incluir bajos niveles de aglomerantes como almidón, pero en su mayoría solo utilizan vapor. Los principales usos de los pellets son como combustible doméstico. Los pellets poseen la ventaja de presentar bajo contenido de humedad, alta densidad energética, bajos requerimientos para almacenamiento, son relativamente limpios, fáciles de manejar y administrar debido a la homogeneidad entre cada uno de ellos.

2.2.1.5. Combustión Directa

Se refiere al proceso donde la biomasa es quemada en presencia de aire u oxígeno con el fin de producir energía térmica. Es el método más utilizado, más antiguo y más económico para generar energía con biomasa. Se requiere una caldera para la combustión. La combustión directa con cogeneración es similar, pero además de energía térmica, se produce energía eléctrica mediante el uso de un complejo turbina-generador, para aprovechar el vapor generado en la caldera. Sus posibles usos son: calefacción de espacios, producción de calor para generación de electricidad o fuerza motriz, calentamiento de agua y otros fluidos para calefacción central o procesos. ^[17]

Según la EPA, las principales emisiones producidas en calderas al quemar residuos de maderas son el Material Particulado (MP), el CO₂, N₂O, CO, VOC, NO_x y SO₂.

El término carbono neutral “significa que el resultado final de una actividad, un proceso o un proyecto tal como la producción de un bien, la provisión de un servicio o su consumo no haya emitido más gases efecto invernadero a la atmósfera que los que hayan podido capturar o remover”. ^[24] Es por esto, que se dice que la quema de biomasa corresponde a un proceso donde sus emisiones son carbono neutral, ya que las emisiones de CO₂ equivalentes emitidos, ya fueron anteriormente absorbidos de la atmósfera por el proceso de fotosíntesis de los árboles.

Sin embargo, para efecto de este trabajo sí se considerarán las emisiones de CO₂ con el fin de visualizar las cantidades emitidas por este tipo de procesos, y, por otro lado, ya que la “carbono neutralidad” depende de un conocimiento íntegro en cuanto a parámetros idóneos de combustión (humedad del combustible, condiciones de temperatura de quema, presión, entre otros), y en este caso, por tratarse de estimaciones de emisiones, no se puede asegurar un óptimo manejo en cuanto a lo mencionado. Por otro lado, se debe considerar el tiempo necesario para volver a atrapar este gas, en donde “en el proceso de fotosíntesis considera 45 años aproximadamente”, mientras que emanarlo toma solamente en la combustión demora cuestión de minutos.

Tabla 2-4. Plantas de Combustión Directa de biomasa en Chile

Nombre	Región	Ubicación	Potencia [MW]
Cogeneración de Energía con Biomasa Vegetal	VIII	San Pedro de la Paz	4,00
Laja	VIII	Cabrero	12,69
Sistema de Cogeneración de Energía con Biomasa Vegetal	VIII	Cabrero	11,10
Energía Eléctrica y Vapor con Biomasa en CFI Horcones	VIII	Horcones	31,00
Planta de Cogeneración San Francisco de Mostazal	VIII	Mostazal	15,60
Planta Térmica Cogeneración Viñales	VIII	Constitución	41,00
Planta Térmica Cogeneración Viñales	VIII	Nacimiento	98,00
Proyecto Generación energía Renovable Lautaro	IX	Lautaro	25,00
Central Loma Los Colorados-KDM	RM	Til Til	10,50
Planta de cogeneración con biomasa en Norske Skog Bío Bío	VIII	San Pedro de la Paz	27,00
Caldera de Biomasa para reducir uso de combustibles fósiles	RM	Puente Alto	48,90
Central Cogeneración Coelemu	VIII	Coelemu	7,00
Constitución	VII	Constitución	11,05
Escuadrón (ex FPC)	VIII	Coronel	15,00

Tabla 2-4. Plantas de Combustión Directa de biomasa en Chile (continuación)

Nueva Aldea III	VIII	Ranquil	37,00
Reemplazo Caldera n°2. Aprovechamiento Energético de paja de cereales en Unidad n°2	VIII	Coronel	-
Central Energía Renovable (Lautaro 23)	IX	Lautaro	22,00
Planta Cogeneración	RM	Puente Alto	25,00
Central Bioenergía Cabrero	VIII	Cabrero	20,00
Central Térmica Biomasa Agrícola Nwenkutral	VIII	Yungay	40,00
Central Energía Biomasa Mulchén	VIII	Mulchén	20,00
1° Ampliación Loma Los Colorados I-KDM	RM	Til Til	2,90
Ampliación Arauco	VIII	Arauco	15,00
TOTAL			539,74

Fuente: Elaboración Propia a partir de mapa de centrales de generación eléctrica biomasa [20]

2.2.2. Reciclaje

2.2.2.1. Compostaje

El compostaje es el proceso biológico de descomposición de compuestos orgánicos hasta la formación de un producto estable y rico en sustancias húmicas. Este “se basa en la acción de diversos microorganismos aerobios, que actúan de manera sucesiva, sobre la materia orgánica original, ..., reduciendo el volumen y el peso de los residuos y provocando su humificación” ^[35]. Se trata de una fermentación controlada, a diferencia de la putrefacción incontrolada que tiene lugar (por ejemplo) en los vertederos, y transforman la materia orgánica heterogénea y fermentable presente en los residuos en un producto final heterogéneo, apto para utilizarse como fertilizante, denominado compost. Al final del proceso, el compost debe tener las siguientes características: ^[55]

- Ser un producto inocuo, libre de organismos patógenos o semillas de malas hierbas
- Ser un producto estabilizado, es decir resistente a posteriores degradaciones.
- Estar libre de sustancias fitotóxicas.

Dentro de los beneficios y modificaciones producidas en los suelos por la aplicación del compost, existen tres niveles de acciones correctoras:

Desde el punto de vista físico, al aplicar el compost se aumenta la porosidad del suelo, como también su permeabilidad, lo que ayuda en una mejor distribución de la humedad y aporta en una mejor absorción de nutrientes por parte de las plantas. También previene la erosión y distribuye de mejor forma la estructura del suelo, lo que ayuda a que el agua fluya de mejor forma y las raíces crezcan con mayor libertad.

Desde el punto de vista químico (o nutricional), aumenta el contenido tanto de macronutrientes, como C y N, y también K, P, Ca, Mg, Fe y S, como de micronutrientes, como Zn, Cu, Mn, B, Ni y Cr, los cuales son necesarios para la actividad y el desarrollo vegetativo de las plantas. También reduce la necesidad de utilización de plaguicidas químicos.

Desde el punto de vista biológico, el compost sirve como soporte y alimento de microorganismos, insectos y gusanos, por lo que aumenta la microflora del suelo, lo que contribuye a la mineralización de la materia a partir de la cual las plantas obtendrán los nutrientes necesarios para su desarrollo.

Para favorecer un buen proceso de compostaje es necesario crear las condiciones ideales para la actividad microbiana, “que aseguren una correcta proliferación microbiana y, por consiguiente, una adecuada mineralización de la materia orgánica”. ^[35]

Estos pueden ser clasificados, en primer lugar, en dos tipos: ^[35]

- Parámetros de seguimiento: “aquellos que han de ser medidos, seguidos durante todo el proceso y adecuados, en caso de ser necesario, para que sus valores se encuentren en los intervalos considerados correctos para cada fase del proceso”

Entre ellos se encuentran temperatura, humedad, pH, aireación y espacio de aire libre [34]

- Parámetros relativos a la naturaleza del sustrato: “aquellos que han de ser medidos y adecuados a sus valores correctos fundamentalmente al inicio del proceso”.

Entre ellos se encuentran: tamaño de partícula, relaciones C/N y relaciones C/P , nutrientes, materia orgánica y conductividad eléctrica.

2.2.2.2. Vermicompostaje

Al igual que el proceso de compostaje, el Vermicompostaje es una degradación de materia orgánica, pero a diferencia del compostaje que sólo utiliza microorganismos para este fin, el vermicompost es obtenido a partir del trabajo conjunto de lombrices y microorganismos.

La utilización de lombrices posee además algunas ventajas como lo son la optimización del tiempo ya que hay ciertas especies que “aceleran la descomposición y humificación de la materia orgánica” [34], y la mejora en la estructura del producto final, “al provocar la ruptura de los materiales orgánicos, reduciendo su tamaño de partículas y favoreciendo la formación de agregados estables”.

Para este proceso se pueden utilizar distintos tipos de lombrices, pero destacan la *Eisenia andrei* y en mayor utilización la *Eisenia fétida* o lombriz roja californiana. Esta última, mide de 8 a 10 cm, e ingieren a diario una cantidad de comida equivalente a su peso, devolviendo el 60% transformado en humus de excelente calidad.

Según Nogales (2002) tanto el compost como el vermicompost de residuos orgánicos pueden ser considerados como: [34]

- Sustancias fertilizantes, “entendiendo fertilizantes a aquellas sustancias que añadidas al suelo son capaces de actuar en sentido positivo en la fertilidad de este”.
- Bioenmiendas orgánicas, ya que “pueden modificar las propiedades tanto físicas como químicas y biológicas” de los suelos donde son aplicados
- Abonos orgánicos, ya que, debido a sus propiedades, “poseen elementos esenciales para la planta”
- Biorreactores orgánicos, ya que pueden “mejorar el pH del suelo y suministrar micronutrientes al sistema suelo-planta”.

CAPÍTULO 3: COMPARACIÓN ENTRE COMBUSTIÓN DIRECTA Y COMPOSTAJE

Para poder comparar dos tecnologías completamente distintas entre sí, hay que tener en cuenta ciertas premisas sobre las cuales basarse.

En primer lugar, se debe definir el alcance de lo que se evaluará, lo cual en este caso se concentrará en las emisiones que genere cada tecnología, teniendo en consideración los gases de efectos invernadero (GEI).

Por otro lado, se debe escoger un método de cálculo de emisiones, dentro de los que podemos mencionar:

- Medición: La cual consiste en la cuantificación y caracterización de emisiones a partir de algún instrumento de medición, bajo condiciones controladas, por un período definido con el fin de obtener un dato lo más exacto posible. Es el método más utilizado, el cual no nos sirve en este caso ya que se debe tener una fuente fija donde se pueda realizar la medición.
- Cálculo: Consiste en el cálculo matemático de las concentraciones de gases que están siendo evaluados, y para el que se necesita tener datos exactos de todos los parámetros necesarios, ya que una mínima variación puede generar problemas. Generalmente se utilizan software para realizarlos, y la exactitud depende de la veracidad de los datos y de la buena aplicación de estos.
- Estimación: La cual consiste en buscar los parámetros más similares a la situación que se está analizando para luego estimar las concentraciones. Es el método menos exacto, pero también el más flexible, ya que permite un mayor porcentaje de error al utilizar datos estimativos.

Para efectos de este trabajo y teniendo en cuenta la situación hipotética de trabajo, es que se opta por utilizar la estimación de emisiones como método de comparación.

Fórmula de estimación de emisiones

En el año 2005, el Consejo Directivo de CONAMA, aprobó la Propuesta Nacional y Plan de Acción de Implementación de Registros de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC). Con el fin de fortalecer la implementación de este sistema, es que en el año 2009 se publica la Guía Metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el registro de emisiones de transferencia de contaminantes, en donde se declaran los métodos, fórmulas y parámetros que utiliza el Estado de Chile para estimar las emisiones atmosféricas, y que son utilizadas para realizar los reportes anuales del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.

Basándose en esta Guía es que se estimará las concentraciones en kg/ton de cada uno de los gases de interés según la tecnología, utilizando como base de cálculo una cantidad de 1 tonelada de residuos de madera, siendo la fórmula por utilizar: ^[21]

$$E = fe * Na * (1 - \frac{Ea}{100}) \quad \text{ec. 1}$$

Siendo:

E = Emisión [kg]

fe = Factor de Emisión $\left[\frac{Kg}{ton}\right]$

Na = Nivel de Actividad [ton]

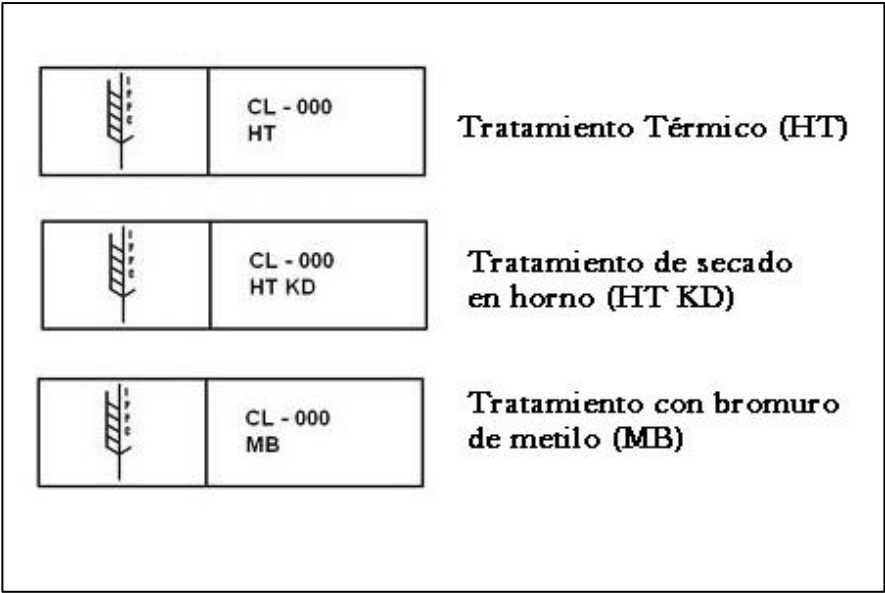
Ea = Eficiencia de Abatimiento

- Factor de Emisión: según la Guía Metodológica, se puede definir como “un promedio de los resultados de mediciones de emisiones realizadas en un gran número de fuentes con diferentes tecnologías de combustión, antigüedad, calidad de combustible y tamaños, lo que les permite ser representativos de una variedad amplia de fuentes que usan un mismo combustible genérico.”
- Nivel de Actividad (Na): Va a depender de qué tipo de emisión se quiera calcular. Por ejemplo, para una fuente móvil como un automóvil el “Na” será el kilometraje del auto hasta esa fecha; para este caso el “Na” será la base de cálculo de 1 tonelada.
- Eficiencia de Abatimiento: Tiene que ver con el método de contención que se utilice para cada proceso y representa la “reducción de emisiones que puede ser lograda mediante un equipo de reducción de emisiones”. Existen diversas tecnologías que ayudan a abatir tanto los gases como las partículas que se encuentren en la emisión a analizar. Por ejemplo, para material particulado, el sistema de abatimiento más común son los Filtros de Manga; para el “abatimiento de contaminantes gaseosos se tiene distintas alternativas dependiendo del comportamiento químico de cada gas” ^[25]. Por ejemplo, “el monóxido de carbono CO junto con los compuestos inquemados, principalmente combustible residual y compuestos orgánicos volátiles, son abatidos por medio de la postcombustión”, “El abatimiento de los óxidos de nitrógeno NOx... por medio de reducción selectiva no catalítica (RCNS)”, “El abatimiento de dióxido de azufre se realiza

por medio de absorbentes químicos” [25]. Generalmente este proceso se realiza en una cámara de poscombustión.

Aclaración sobre materia prima de ingreso

Se debe tener en cuenta que, para evitar emanaciones tóxicas o la contaminación del compostaje, hay que asegurar que la materia prima esté “limpia” en cuanto a tratamientos de esta, específicamente libre de tóxicos, típicos de la madera tratada contra las plagas. Finalmente, esto dependerá exclusivamente del origen de la biomasa que se utilizará: por ejemplo, si tenemos residuos provenientes de la industria del aserrío, seguramente estos vendrán sin ningún tipo de tratamiento, ya que para estas industrias este material no presenta niveles de interés. Si se recibe por otro lado, residuos de madera provenientes del uso de estibas (embalajes), estas están sujetas a ciertas normativas para evitar la propagación de plagas entre países, lo cual es muy simple de confirmar debido a que estas se encuentran sujeta a normativa específica, como lo es la NINF 15, la cual exige tratamientos térmicos de preferencia. Aunque incluye en sus alternativas el tratamiento con bromuro de metilo, es fácil de comprobar observando la estampa que quede en la madera, dependiendo del tipo de tratamiento utilizado.



Fuente: Elaboración propia a partir de "NINF, tipos", SAG

Figura 4-1. Tipos de estampas dependiendo del tratamiento contra plagas en madera, NINF15

Gases de interés y Partículas

CO: “El CO es un gas tóxico, menos denso que el aire y que se dispersa con facilidad. A su alta toxicidad se suma la peligrosidad de pasar desapercibido, al ser inodoro, incoloro y no irritar las mucosas” ^[44], no anunciando su letal presencia a las inadvertidas personas expuestas.

Una parte del CO presente en la tropósfera se explica debido a que es producido tanto por procesos naturales como actividades humanas. Las plantas pueden metabolizar y producir CO. Sin embargo, altas concentraciones de CO pueden ser perjudiciales para la salud y el bienestar del ser humano.

Se han reconocido diversas enfermedades derivadas de la exposición a este gas, como por ejemplo efectos cardiovasculares y efectos cerebrovasculares, esto debido a que la hemoglobina, posee mayor afinidad por el CO que por el O₂, formando de esta forma la carboxihemoglobina (COHb), contaminando el torrente sanguíneo y evitando la circulación del oxígeno a los tejidos y órganos del cuerpo. ^[45]

NO_x: El NO_x representa a una familia de siete compuestos, dentro de los cuales el de mayor importancia debido a su volumen en la atmósfera es el NO₂. “El NO₂ no es solamente un importante contaminante de aire por sí solo, sino que también reacciona en la atmósfera para formar ozono(O₃) y lluvia ácida”.

Existe una serie de transformaciones en la atmósfera de estos compuestos que explican la peligrosidad de su estadía en el ambiente. “El NO₂ reacciona en la presencia de aire y luz ultravioleta (UV) para formar ozono (O₃) y óxido de nitrógeno (NO). Luego, este NO reacciona con los radicales libres presentes en la atmósfera, los cuales también son creados por las reacciones previas de compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de rayos UV. A posteriori los radicales libres reciclan el NO a NO₂. De esta forma, cada molécula de NO puede producir ozono múltiples veces.” ^[32]

CO₂: Es el gas de efecto invernadero más conocido y emitido por el ser humano, tanto así que para el año 2016 representó el 81,6% de las emisiones de gases de efecto invernadero en Estados Unidos ^[36], uno de los países más contaminantes del mundo. Si bien el CO₂ está presente de manera natural en la atmósfera como parte del Ciclo de Carbono de la Tierra, el incremento de su presencia se relaciona directamente con actividades industriales humanas, desde la revolución industrial.

La actividad principal relacionada con emisiones de CO₂, es la combustión de combustibles fósiles (carbón, gas natural, petróleo), procesos utilizados por ejemplo en la obtención de electricidad, el transporte y otras industrias. ^[36]

Según la EPA, “la manera más eficiente de reducir las emisiones de CO₂ es reduciendo el consume de combustibles fósiles” ^[36], por lo que algunas estrategias son: el uso eficiente de la energía y la conservación de esta, el cambio de los combustibles por otros que provengan de recursos renovables o bien con menor contenido de carbón, y la captura de las emisiones de carbono. ^[36]

SO₂: Pertenece a la familia de gases de los óxidos de azufre, y destaca debido a su gran volumen. Según la EPA, “el SO₂ es el componente de mayor preocupación y es utilizado como indicador en un grupo más grande de óxidos de azufre (SO_x). Otros gases SO_x (como el SO₃) se encuentran en la atmósfera en concentraciones mucho menores que el SO₂.”

De las medidas de control que reducen el SO₂ se espera generalmente que reduzcan la exposición de la población a todos los gases SO_x. Estas pueden tener un importante co-beneficio, reduciendo la formación de partículas contaminantes de azufre, tales como partículas de sulfato fino”. ^[33]

N₂O: “El N₂O...es producido de manera abundante por fuentes naturales, tales como plantas y levaduras. Es medianamente reactivo, y es un analgésico. El N₂O es una sustancia que agota la capa de ozono, la cual reacciona con el O₃ tanto en la tropósfera (menor a 10.000 pies sobre el nivel del mar) como en la estratósfera (50.000 – 150.000 pies). Este, tiene una larga vida media, estimada entre 100 a 150 años. El N₂O también es un “Gas de efecto invernadero”, tal como el CO₂, ya que absorbe la radiación infrarroja de larga longitud de onda para mantener el calor que irradia de la Tierra, y de ese modo contribuye al calentamiento global”. ^[32]

VOC: Los compuestos orgánicos volátiles o VOCs (de su abreviación en inglés), son gases emitidos por ciertos sólidos o líquidos. “Todos los compuestos químicos orgánicos que pueden volatilizarse bajo condiciones atmosféricas interiores normales de presión y temperatura son VOCs” ^[46]

Las concentraciones de muchos VOCs son mayores en espacios interiores, esto debido a que los químicos orgánicos son ampliamente utilizados como ingredientes en productos del hogar, como pinturas, barnices, cosméticos, desengrasantes entre otros. ^[47]

MP: ^[48] Material Particulado es un término que se refiere a una mezcla de partículas sólidas o líquidas de distintos tipos que se encuentran en el aire. Existen distintos tamaños de partículas, algunas como “polvo, suciedad, hollín o humo, son lo suficientemente

grandes u oscuras para ser vistas a simple vista. Otras son tan pequeñas que solamente pueden ser detectadas usando un microscopio electrónico”. Los tamaños principales son MP10 y MP2,5, las cuales miden 10 μm y 2,5 μm respectivamente. Estas últimas son las de mayor preocupación debido a que al ser tan pequeñas pueden hacer ingreso a fácilmente a los alveolos pulmonares y luego al torrente sanguíneo.

“El MP puede ser emitido directamente o formado en la atmósfera. Las partículas “primarias” son aquellas liberadas directamente a la atmósfera. Estas incluyen polvo proveniente de caminos y carbono negro y/o elemental de fuentes de combustión... las partículas “secundarias” por otro lado, son formadas en la atmósfera a partir de reacciones químicas involucrando emisiones gaseosas primarias” [49]

3.1. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE COMBUSTIÓN DIRECTA

Según la EPA, en la quema de madera: [22]

- ✓ La principal emisión de preocupación por quema de madera es el MP
- ✓ Las emisiones de NO_x , son mayores en madera seca que en madera húmeda
- ✓ Las emisiones de CO_2 no son consideradas ya que se considera como carbono neutral, puesto que el carbono que es emitido es el mismo que absorbió de la atmosfera
- ✓ Las emisiones de N_2O , se minimizan cuando las temperaturas se mantienen altas y el exceso de aire es mínimo.

Para escoger los factores de emisión, se siguieron las indicaciones dadas en la “Guía Metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el Registro de emisiones y transferencia de contaminantes”, en donde se indica que la mayoría de estos factores se obtienen a partir del AP-42 de la EPA.

En el apartado 1.6 del documento mencionado anteriormente, el cual corresponde a la combustión en calderas de residuos de madera, se puede encontrar una tabla que contiene los FE buscados para cada contaminante de interés. Es así, que se escoge los FE correspondientes a la quema en calderas de madera seca o “Dry wood”.

Los factores de emisión se dan de la siguiente forma:

Tabla 3-1. FE de Combustión en Calderas

Contaminante	Factor de Emisión en [lb/MMBTU]
NO _x	0,49
SO ₂	0,025
CO	0,60
N ₂ O	0,013
VOC	0,017
CO ₂	195
MP	0,3

Fuente: Adaptación a partir de AP-42 1.6 Wood Residue Combustion in boilers, EPA

De acuerdo con la bibliografía, los FE se expresan en lb*MMBTU⁻¹; sin embargo, ya que la materia de ingreso va a estar expresada en toneladas, se necesita transformar estas unidades a kg*ton⁻¹.

Según la EPA para cambiar los valores lb*MMBTU⁻¹ a kg*ton⁻¹ debe multiplicar por el potencial calorífico superior por 2000 ^[22], el cual corresponde al factor de conversión para libras a toneladas. Debido a que los valores de PCS se manejan en MJ*kg⁻¹, en una primera instancia se transforman a kcal*kg⁻¹, para trabajar con mayor comodidad. Ya que 1 [MJ] equivale a 239,006 kcal,

$$17,3861 \left[\frac{MJ}{kg} \right] * \frac{239,0060 [kcal]}{1 [MJ]} = 4155,3776 \left[\frac{kcal}{kg} \right]$$

Luego, se procede a transformar estas unidades a las requeridas (MMBTU*lb⁻¹), siendo el potencial calorífico superior para la madera de pino ^[25], la siguiente:

$$\begin{aligned} 4155,3776 \left[\frac{Kcal}{kg} \right] * \frac{1 [BTU]}{0,252 [Kcal]} * \frac{1 [MMBTU]}{1 * 10^6 [BTU]} * \frac{1 [kg]}{2,205 [lb]} \\ = 0,0075 \left[\frac{MMBTU}{lb} \right] \end{aligned}$$

Luego,

$$FE \left[\frac{lb}{ton} \right] = FE \left[\frac{lb}{MMBTU} \right] * 0,0075 \left[\frac{MMBTU}{lb} \right] * 2000$$

Tomando en cuenta que las emisiones de los gases queremos representarlas en [kg], necesitamos los Factores de Emisión en [kg/ton]

$$FE \left[\frac{kg}{ton} \right] = FE \left[\frac{lb}{ton} \right] * \frac{1[kg]}{2,20462 [lb]}$$

Por lo tanto, los factores de emisión son:

Tabla 3-2. Factores de Emisión para combustión en (kg/ton)

Compuesto	Factor de Emisión en [kg/ton]
NO _x	3,334
SO ₂	0,170
CO	4,082
N ₂ O	0,088
VOC	0,116
CO ₂	1326,759
MP	2,041

Fuente: Elaboración propia

En este caso, el valor de Eficiencia de Abatimiento será de 50% para el material particulado, asumiendo que el equipo de combustión contará con cámara de sedimentación, ciclones simples o atrapadoras de partículas y no un equipo más sofisticado ^[20]. En cuanto a los gases producidos, según la Red de Transferencia de Tecnología, Centro de Información sobre Contaminación de Aire (CICA) ^[26], los valores posibles de abatimiento para NO_x, SO₂ y COV son 70%, 80% y 50% respectivamente ^[27,28]. En cuanto a los otros gases a evaluar, se asumirá el peor escenario, en los que estos no cuentan con un sistema de abatimiento, por lo que su Ea será igual a cero.

Emisión para el NO_x

$$E = 3,445 \left[\frac{kg}{ton} \right] * 1[ton] * \left(1 - \frac{70}{100} \right)$$
$$E = 1,000[kg]$$

Emisión para el SO₂

$$E = 0,170 \left[\frac{kg}{ton} \right] * 1[ton] * \left(1 - \frac{80}{100} \right)$$

$$E = 0,034[kg]$$

Emisión para el CO

$$E = 4,082 \left[\frac{kg}{ton} \right] * 1[ton] * \left(1 - \frac{0}{100} \right)$$

$$E = 4,082[kg]$$

Emisión para el N₂O

$$E = 0,088 \left[\frac{kg}{ton} \right] * 1[ton] * \left(1 - \frac{0}{100} \right)$$

$$E = 0,088[kg]$$

Emisión para el VOC

$$E = 0,116 \left[\frac{kg}{ton} \right] * 1[ton] * \left(1 - \frac{50}{100} \right)$$

$$E = 0,058[kg]$$

Emisión para el CO₂

$$E = 1326,759 \left[\frac{kg}{ton} \right] * 1[ton] * \left(1 - \frac{0}{100} \right)$$

$$E = 1326,759[kg]$$

Emisión para el MP

$$E = 2,041 \left[\frac{kg}{ton} \right] * 1[ton] * \left(1 - \frac{50}{100} \right)$$

$$E = 1,021[kg]$$

A continuación, se muestra un cuadro resumen de las emisiones emitidas en el proceso de combustión:

Tabla 3-3. Resumen de emisiones para Combustión directa

Contaminante	Emisión (kg)
CO	4,082
NOx	1,000
CO ₂	1326,759
SO ₂	0,034
N ₂ O	0,088
VOC	0,058
MP	1,021

Fuente: Elaboración propia

3.2. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DEL COMPOSTAJE

Para obtener los factores de emisión para el compostaje, se hizo una ardua revisión de bibliografía hasta encontrar un estudio sobre las emisiones de efecto invernadero generadas a partir del compostaje y los tratamientos biológicos mecánicos. Gracias a este documento, se pudo obtener los valores necesarios de FE.

En el compostaje, los contaminantes atmosféricos son dióxido de carbono y óxido de nitrógeno. A continuación, se muestran los factores de emisión correspondientes: ^[23]

Tabla 3-4. FE del Compostaje por contaminante

Contaminante	Factor de Emisión [kg/ton]
CO ₂	230
N ₂ O	0,18

Fuente: Adaptación a partir de Green house gas emissions from composting and mechanical biological treatment. F.Amlinger

La eficiencia de abatimiento se considerará igual a cero, considerando que el proceso de compostaje se refiere en este caso a un sistema rural, no industrial, por lo que no habrá sistemas de captación de gases.

Emisión para el CO₂

$$E = 230 \left[\frac{kg}{ton} \right] * 1[ton] * \left(1 - \frac{0}{100} \right)$$
$$E = 230[kg]$$

Emisión para el N₂O

$$E = 0,18 \left[\frac{kg}{ton} \right] * 1[ton] * \left(1 - \frac{0}{100} \right)$$
$$E = 0,18[kg]$$

Resumen para el Compostaje:

Tabla 3-5. Resumen de emisiones para Compostaje

Contaminante	Emisión (kg)
CO ₂	230
N ₂ O	0,18

Fuente: Elaboración propia

3.3. ANÁLISIS COMPARATIVO

En resumen:

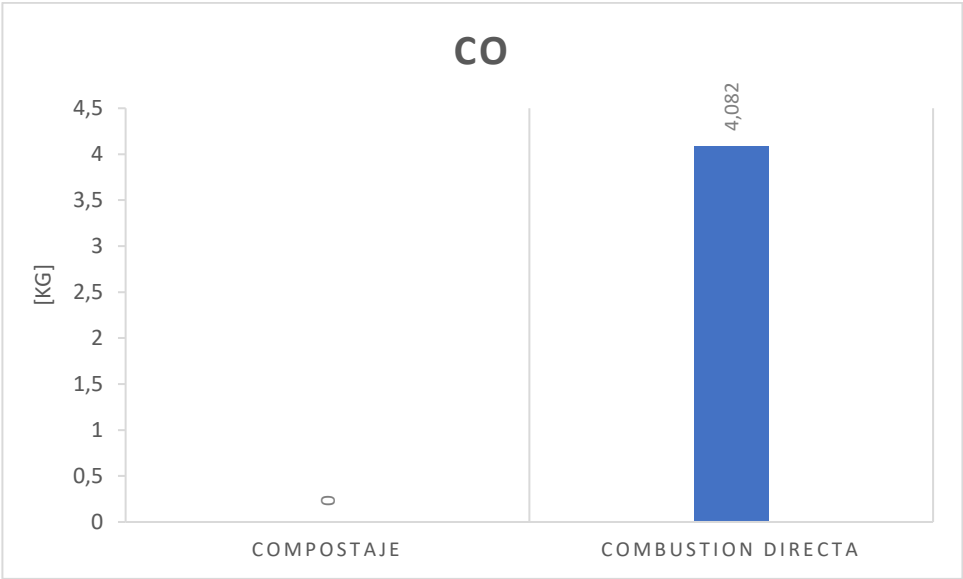
Tabla 3-6. Resumen de comparación de emisiones para el tratamiento de 1 [ton]
de biomasa por proceso de Compostaje y Combustión directa

Contaminante	Compostaje (kg)	Combustión Directa (kg)
CO	0	4,082
NO _x	0	1,000
CO ₂	230	1326,759
SO ₂	0	0,034
N ₂ O	0,180	0,088
VOC	0	0,058
MP	0	1,021
TOTAL	230,180	1333,042

Fuente: Elaboración propia

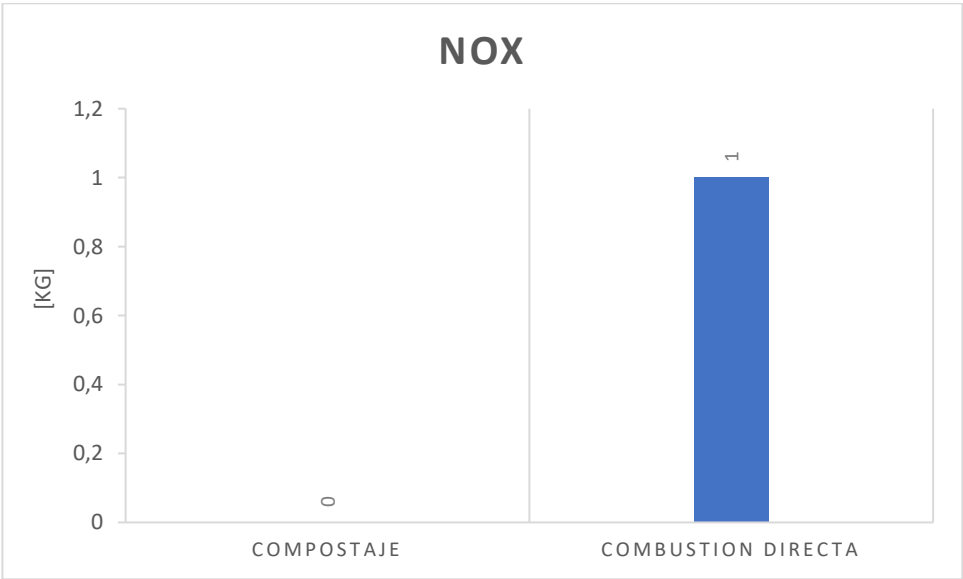
Como se puede apreciar en las figuras a continuación, existen gases que no tienen comparación debido a la nula generación de estos en el proceso de compostaje, los cuales no son emanados en el proceso, propio a la naturaleza de este, como lo son el CO, NO_x, SO₂, VOC y el material particulado. (Ver Figuras 3-1, 3-2, 3-4, 3-6 y 3-7). Por otro lado, en cuanto a la mayor generación de N₂O en el proceso de compostaje, este puede explicarse debido al proceso de nitrificación- desnitrificación, producido por los microorganismos aerobios presentes. Durante la desnitrificación, específicamente en el paso de N₂O a N₂, hay que poner mucho cuidado en la cantidad de oxígeno que se maneje dentro del sistema, ya que el oxígeno es un inhibidor natural de la enzima encargada del proceso de reducción de N₂O a N₂, por lo que, para evitar la generación en exceso de N₂O hay que evitar el ingreso excesivo del O₂ ^[56]. En cuanto a la menor cantidad de N₂O producido en la combustión directa, esto se explica por las condiciones propias que existen dentro del horno de combustión, las cuales hay que controlar ya que “la formación de N₂O se ve minimizada cuando las temperaturas se mantienen altas (sobre 800 °C) y el exceso de aire se mantiene al mínimo (menos de 1%)”. ^[22]

Al comparar las emisiones de CO₂ se aprecia con gran facilidad que la cantidad generada por el compostaje es mínima considerando las de la combustión directa, las cuales son 4 veces mayores que las del primer proceso. Teniendo en cuenta que aproximadamente el 99% de la biomasa combustionada se transforma en CO₂, tiene sentido encontrar números tan altos en la estimación de emisiones. Sin embargo, estas emisiones pocas veces son contadas como gas de efecto invernadero en el proceso de combustión ya que son consideradas como parte del ciclo a corto plazo del CO₂ en la biósfera. ^[22] Lo mismo ocurre con las emisiones en el proceso de compostaje, ya que no son derivadas de combustibles fósiles, no son consideradas como un aporte a los gases de efecto invernadero. ^[23]



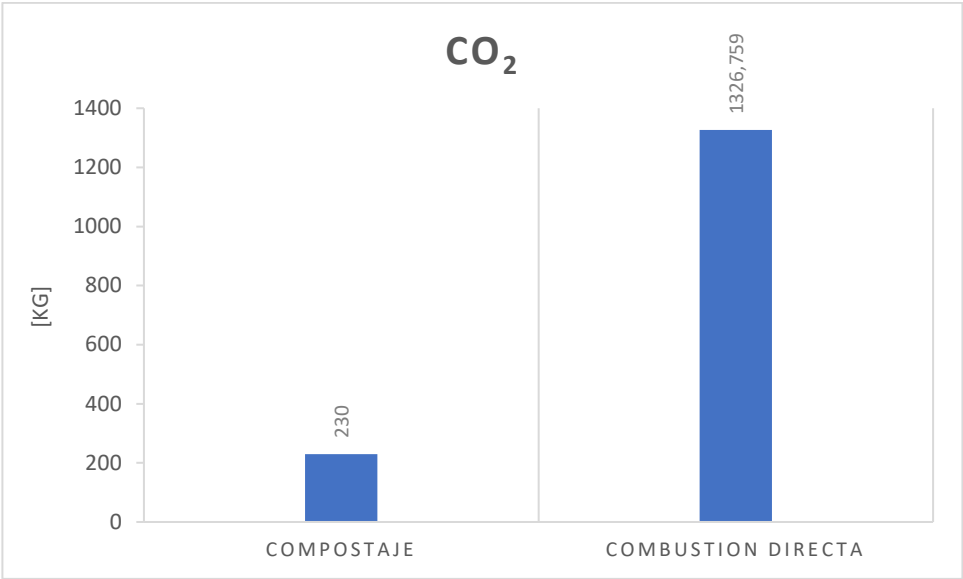
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3-1. Comparación emisiones de CO



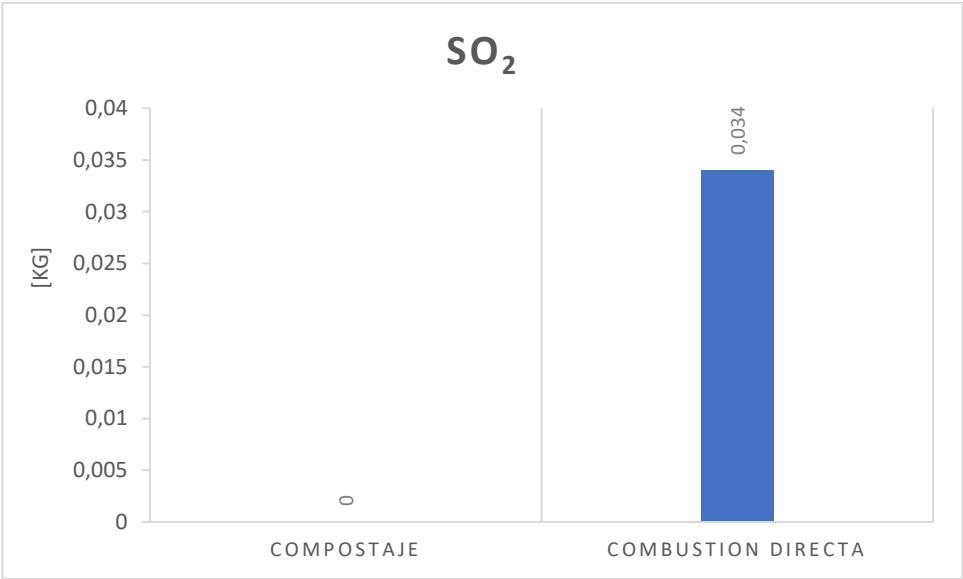
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3-2. Comparación emisiones de NOx



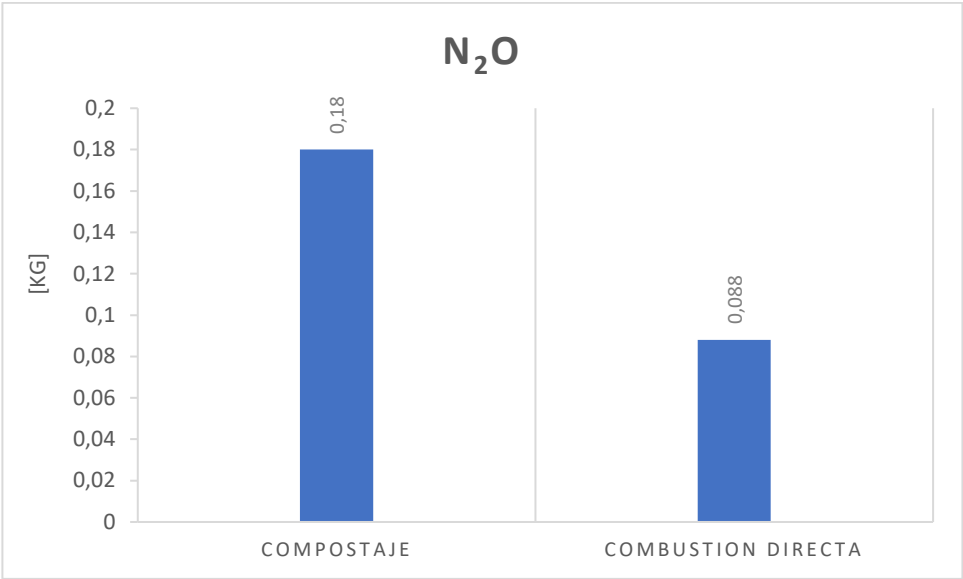
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3-3. Comparación emisiones de CO₂



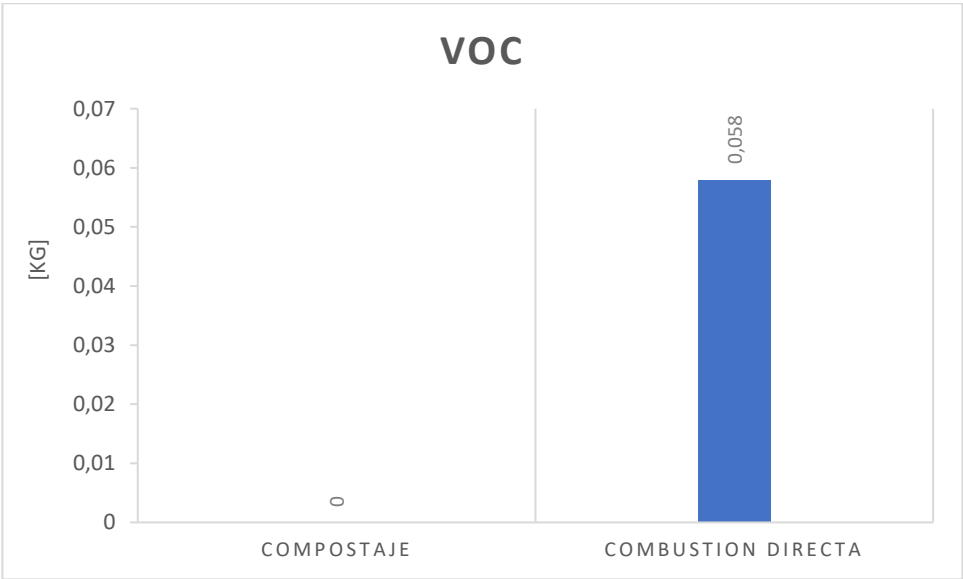
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3-4. Comparación emisiones de SO₂



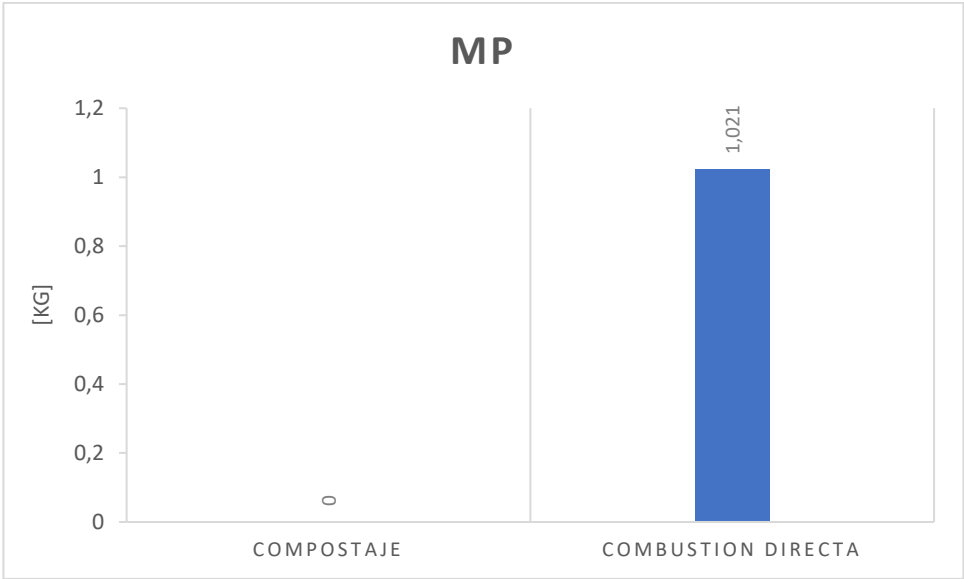
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3-5. Comparación emisiones de N₂O



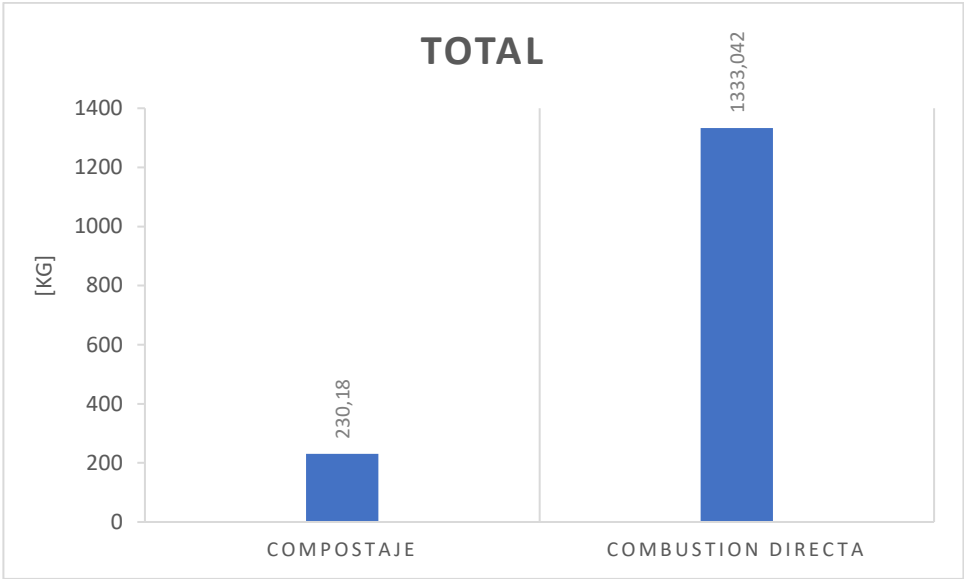
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3-6. Comparación emisiones de VOC



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3-7. Comparación emisiones de MP



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3-8. Comparación emisiones totales

Al analizar dos tecnologías tan diferentes como lo son la Combustión Directa y el Compostaje, se observa que sus emisiones son muy distintas, tanto en composición como en cantidades. Al observar a simple vista y si se tuviese que tomar una decisión basada solamente en los tipos y cantidades de contaminantes emanados por cada proceso, teniendo en cuenta la búsqueda de la menor cantidad de contaminación, la mejor alternativa es por lejos el Compostaje, ya que no solamente tiene menor cantidad de tipos

de emisiones, sino que sus cantidades para una misma cantidad de biomasa son ínfimas en comparación a la Combustión Directa.

Sin embargo, una minimización de los aspectos de esta tecnología como es solamente analizar las emisiones es un error ya que hay que tener en cuenta muchos otros aspectos como lo son por ejemplo el volumen de materia a tratar, el tiempo que se dispone para hacerlo, la inversión económica y las ganancias que se espera obtener.

Hay que tener en cuenta que ambos objetivos de cada tecnología son muy diferentes; por su parte la combustión directa tiene como principal objetivo la obtención de energía y la disminución del volumen casi en un 100% y el compostaje posee también la ventaja de disminución de volumen en un porcentaje menor por su puesto a la combustión directa, ya que su principal objetivo es la obtención del compost. Dentro de los datos barajados, de cada 100 kg de materia orgánica y 45 kg de materia vegetal, es posible obtener unos 60 kg de compost ^[55]. Por otro lado, la combustión directa hace desaparecer en cosa de minutos o segundos los residuos, en cambio el compostaje toma un tiempo determinado según el tipo de materia que ingrese, y este tiempo podría hasta triplicarse en algunos casos cuando la materia prima es madera, llegando a demorar hasta 3 años en descomponerse. ^[53]

Además, actualmente en Chile no se realiza el compostaje a gran escala como sí se hace en otros países como España, por lo que el sistema aún se considera rural, lo que provoca que los parámetros de humedad, temperatura entre otros dependan mucho de quien realiza el proceso, lo que hace que haya una incertidumbre en cuánto al real control de este, no así para el caso de la combustión directa, donde existen varias plantas en el país, que cuentan con grandes equipos y parámetros más controlados al ser a nivel industrial.

Otro parámetro importante es el tipo de biomasa que se disponga, ya que para un tratamiento en combustión directa no es recomendable utilizar material con un porcentaje alto de humedad, ya que se deberá utilizar energía en el secado de este a parte de la energía necesaria para su combustión. Además, una biomasa con alta humedad disminuye la capacidad calorífica, la eficiencia y la temperatura de la combustión ^[17], por lo que generalmente se recibe biomasa con hasta un 50% de humedad como máximo, sino no se considera para la combustión ^[50]. Para el caso del compostaje también se debe cuidar ese parámetro, recomendado entre 45% y 55% de humedad. ^[50]

Por otro lado, se debe tener en cuenta el tamaño de la partícula de biomasa que hace ingreso al proceso, por lo que se deberá contemplar en la mayoría de los casos algún método de disminución de tamaño (chipeado, por ejemplo), lo que aumenta los recursos tanto energéticos (uso de electricidad en el proceso de disminución de tamaño) y económicos (pago por el servicio o bien compra de equipos). Para ambos casos, en cuanto

al tamaño de la partícula, mientras más pequeña, mejor. Para el compostaje, la razón cae en que “se prefiere un tamaño de partícula menor ya que así se proporciona una mayor área de superficie en el cual se pueden alimentar los microorganismos”^[50]. En cuanto a la combustión directa, los esfuerzos son puestos en obtener un tamaño “no superior a los 4 [mm] de longitud”.^[52]

DISCUSIÓN

En la actualidad la problemática del sobreconsumo y la masiva generación de residuos está lejos de terminar. No obstante, se ha estado cambiando el enfoque cada vez más hacia la implementación de economías circulares en las grandes industrias nacionales, con el fin de disminuir las emisiones y aprovechar de mejor forma los residuos y recursos disponibles. Sin embargo, aún falta mucha educación en la ciudadanía y municipios en general, ya que como se analizó, la mayor generación de residuos corresponde a domiciliarios, no a industriales. Se debe lograr generar un cambio real en el pensamiento a nivel país, para poder alcanzar estándares aceptables en cuanto a gestión adecuada de residuos y así disminuir la cantidad de volumen de basuras no aprovechadas y desechadas.

Si se quiere llegar a un desarrollo sostenible, es de suma importancia potenciar tecnologías de menor impacto ambiental, y que posean un sustento económico en el país. Por ejemplo, la tecnología del compostaje es uno de los procesos con menor impacto ambiental negativo y por el contrario con un alto impacto ambiental positivo, ya que ayuda a la disminución del volumen y aprovechamiento de residuos orgánicos, los cuales presentan una alta generación en los hogares, y además genera un producto de interés con variados usos posibles en la agricultura y a nivel hogar, pero su valor comercial es muy bajo, por lo que es difícil actualmente generar una industria de esto. Por otro lado, recién en estos últimos años se ha ido adoptando tecnologías más avanzadas como lo son la instalación de paneles solares, por ejemplo, pero aún hay una limitación en cuanto al acceso de otro tipo de tecnologías, como la de pelletización, gasificación y otras mencionadas en este trabajo, por el alto costo que esto significa.

Por último, y como se menciona en la discusión, al comparar dos tecnologías de cualquier tipo (en este caso combustión directa y compostaje), se debe tener en cuenta muchos otros factores que influyen en una posible decisión de ejecución de un proceso u otro. Podemos notar que una comparación de emisiones hace el papel de indicador ambiental, con el que podemos demostrar con datos concretos un respaldo hacia la mejor alternativa.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En la actualidad a nivel país se está trabajando en normas y leyes con un enfoque en las herramientas mencionadas en el trabajo, como lo son la economía circular y el mejoramiento continuo para así alcanzar la sustentabilidad. Sin embargo, para lograr ese fin se debe procurar un cambio de mentalidad en todas las entidades no solo la ambiental, y así trabajar en conjunto con un mismo horizonte
- Debe haber un real compromiso en el cumplimiento de normas y leyes ambientales, una fiscalización más minuciosa con soluciones y sanciones fuertes e inmediatas
- Considerando que es una de las industrias de mayor importancia para el país, sería una buena opción considerar un mayor control en la gestión de residuos del sector forestal, específicamente del aserrío
- Debido a su gran volumen, se debe poner mayor atención a la generación y gestión de los residuos de la construcción, lo que podría ayudar a aumentar los índices de reciclaje y reutilización a nivel país
- Es un gran primer paso considerar a los EyE como un producto prioritario en la Ley 20920, ya que representan una gran parte de los residuos domiciliarios generados
- Se debe potenciar la utilización de energías renovables no convencionales o bien el uso de combustibles alternativos para disminuir emisiones atmosféricas.
- Para asegurar el interés en el uso de tecnologías de menor popularidad como lo es el compostaje, se debe asegurar que sea económicamente viable, para así generar nuevas industrias sustentables
- Hay muchos otros parámetros que no fueron considerados en el análisis comparativo de la Combustión Directa y el Compostaje, que son muy importantes ya que no solamente pueden influir en la generación de las mismas emisiones, como lo son los parámetros físicos de cada tecnología, sino que son imprescindibles para tener un panorama más amplio y tomar una decisión fundamentada sobre qué tecnología es mejor dependiendo de las condiciones y de lo que se quiere lograr.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Ley 19.300, Aprueba Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente. (1994), Recuperado de: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=30667>
- [2] ONU, Los Objetivos de Desarrollo del Milenio ¿Qué son?, (consultado el 12-04-2018). Recuperado de: <http://portal.onu.org.do/republica-dominicana/objetivos-desarrollo-milenio/7>
- [3] ONU, Noticias sobre los Objetivos de Desarrollo del Milenio. (consultado el 12-04-2018). Recuperado de: <http://www.un.org/es/millenniumgoals/>
- [4] ONU, Objetivos de desarrollo Sostenible, Antecedentes. (consultado el 12-04-2018). Recuperado de: <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/background.html>
- [5] ONU, Objetivos de Desarrollo Sostenible. (consultado el 12-04-2018). Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/#>
- [6] Fundación Ellen MacArthur, Hacia una Economía Circular: Motivos Económicos para una transición acelerada. Recuperado de: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Executive_summary_SP.pdf
- [7] ISO, Norma ISO 14001/2015, Recuperado de: <https://www.nueva-iso-14001.com/pdfs/FDIS-14001.pdf>
- [8] Ministerio de Medio Ambiente, Ley 19290, Establece marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad extendida del productor y el Fomento al Reciclaje. Recuperado de: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1090894>
- [9] Vicencio, Claudia. Propuesta de modelo de negocio para empresa asesora en gestión de residuos de la construcción. (2017). Recuperado de: <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/23138>
- [10] HIDRONOR, CONAMA. Primer Reporte del Manejo de Residuos Sólidos en Chile (2010). Recuperado de: http://www.hidronor.cl/pdf/1_Primer_Reporte_del_Manejo_de_Residuos_S%C3%B3lidos_en_Chile_Conama_2010.pdf
- [11] CONAMA, Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos (2005) Recuperado de: http://www.santiagorecicla.cl/wp-content/uploads/2017/08/articles-26270_pol_rsd.pdf

[12] Seremi de Medio Ambiente Región de Arica y Parinacota, MMA. Video Explicativo Política Nacional de Residuos 2018-2030.(2018) (consultado el 13-06-2018). Recuperado de:

<https://www.facebook.com/mmaaricayparinacota/videos/2143869489158006/UzpfSTeZMDkzMTE0MjQ5OjEwMTU2Mzc2MzA1MTQ0MjUw/>

[13] SINIA, Indicadores y Cuentas Ambientales / Residuos. (consultado el 13-06-2018). Recuperado de: <http://sinia.mma.gob.cl/indicadores-y-cuentas-ambientales/residuos/>

[14] OCDE, Environment Statistics – Waste, Municipal Waste – (consultado el 17-05-2018). Recuperado de: https://www.oecd-ilibrary.org/environment/data/oecd-environment-statistics/municipal-waste_data-00601-en?parentId=http%3A%2F%2Finstance.metastore.ingenta.com%2Fcontent%2Fthematic_grouping%2F4de0116a-en

[15] OCDE, Environment Statistics – Waste generation by sector - (consultado el 17-05-2018). Recuperado de: https://www.oecd-ilibrary.org/environment/data/oecd-environment-statistics/primary-waste-by-sector_data-00674-en

[16] Monsalvez, Marco. Implementación de un Sistema de Gestión Energética en plantas de generación de energía eléctrica con biomasa como combustible (2017). Recuperado de: <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/23675>

[17] Jiménez,Tatiana. Evaluación Ambiental de alternativas tecnológicas de aprovechamiento energético de residuos forestales mediante Análisis de ciclo de vida. Recuperado de: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/139908/Evaluacion-ambiental-de-alternativas-tecnologicas-de-aprovechamiento-energetico-de-residuos-forestales.pdf?sequence=1>

[18] INFOR, Anuario Forestal 2017 . Recuperado de: <https://wef.infor.cl/publicaciones/anuario/2017/Anuario2017.pdf>

[19] Cortés, I y Sepúlveda, C. Identificación de residuos inertes en Chile INFORME FINAL (2011). Recuperado de: <http://www.cenma.cl/Pagina%20web-LQA/5-Estudios%20Ambientales/Informe%20Final%20TDR-8%20Residuos%20inertes%204%C2%BA%20Correcci%C3%B3n.pdf>

[20] Educar Chile, Mapa de Centrales de Generación Eléctrica Biomasa. (consultado el 24-01-2018). Recuperado de: <http://www.aprendeconenergia.cl/centrales-de-generacion-electrica-biomasa/>

[21] CONAMA, Guía Metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el registro de emisiones y transferencia de contaminantes

(2009). Recuperado de: http://www.retc.cl/wp-content/uploads/2015/07/articles-57001_Guia_Metodologica.pdf

[22] EPA, AP-42 Section 1.6 Wood Residue Combustion in Boilers. Recuperado de: <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch01/final/c01s06.pdf>

[23] Amlinger, F., Peyr, S., & Cuhls, C. (2008). Green house gas emissions from composting and mechanical biological treatment. Recuperado de: <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0734242X07088432>

[24] Subsecretaría de Cambio Climático, Ecuador. ¿Qué es el Carbono neutral?. (consultado el 15-07-2018). Recuperado de: <http://suia.ambiente.gob.ec/que-es-carbono>

[25] J. Arroyo-Vinueza, W. Reina-Guzman. Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor. Recuperado de: <https://ingenius.ups.edu.ec/index.php/ingenius/article/view/16.2016.03>

[26] EPA, Red de Transferencia de Tecnología, Centro de Información sobre Contaminación de Aire (CICA). Recuperado de: https://www3.epa.gov/ttn/catc/cica/atech_s.html#333

[27] EPA, Hoja de Datos Reducción Selectiva No Catalítica (Selective Non- Catalytic Reduction, SNCR) Recuperado de: <https://www3.epa.gov/ttn/catc/cica/files/fsncrs.pdf>

[28] EPA, Hoja de Datos Depurador en Húmedo - Cámara de Aspersión /Torre de Aspersión. Recuperado de: <https://www3.epa.gov/ttn/catc/cica/files/fsptryws.pdf>

[29] WPO, Market Statistics and Future Trends in Global Packaging (2008). (consultado el 10-01-2018) Recuperado de: <http://www.worldpackaging.org/resources/22/>

[30] MMA, Diagnóstico Producción, Importación y Distribución de Envases y Embalajes y el Manejo de los Residuos de Envases y Embalajes, Informe Final (2010). Recuperado de: <http://chilerecicla.gob.cl/wp-content/uploads/2018/05/diagnostico-EyE-noviembre-2010.pdf>

[31] INFOR, Anuario Forestal 2017 (2017) . Recuperado de: <https://wef.infor.cl/publicaciones/publicaciones.php>

[32] EPA, Technical Bulletin: Nitrogen Oxides (NOx), why and how they are controlled. Recuperado de: <https://www3.epa.gov/ttnecat1/dir1/fnoxdoc.pdf>

[33] EPA, Sulfur Dioxide (SO₂) Pollution. (consultado el 05-07-2018). Recuperado de: <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics#what%20is%20so2>

- [34] Nogales R. et al, Reciclaje de residuos orgánicos (2002). Recuperado de: <http://digital.csic.es/handle/10261/128352>
- [35] Bueno Márquez P., Díaz Blanco M. y Cabrera Capitán F., Capítulo 4. Factores que afectan al proceso de Compostaje. Recuperado de: <http://digital.csic.es/handle/10261/20837>
- [36] EPA, Overview of Greenhouse Gases – Carbon Dioxide. (consultado el 04-07-2018). Recuperado de: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>
- [37] FAO, Producción y consumo de los productos forestales. (consultado el 10-01-2018). Recuperado de: <http://www.fao.org/forestry/statistics/80938@180723/es/>
- [38] FAO, Global Forest Products Facts and Figures (2016). Recuperado de: <http://www.fao.org/3/I7034EN/i7034en.pdf>
- [39] Barrantes Rodríguez A. y Ugalde Alfaro S., Usos y aportes de la madera en Costa Rica. Estadísticas 2014. Recuperado de: <https://www.onfcr.org/media/uploads/documents/informe-usos-y-aportes-2014.pdf>
- [40] AEIM, Diagnóstico del Sector de la Madera en España (2014). Recuperado de: <http://asmadera.com/wp-content/uploads/2014/11/AEIM2014.pdf>
- [41] FAO, Forestry production and trade – Sawnwood, coniferus and non coniferus all. (2016). Recuperado de: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>
- [42] FAO, Conservación de energía en industrias mecánicas forestales. (capítulo 6: Aprovechamiento potencial de los residuos de madera para la producción de energía). (consultado el 27-07-2018). Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/T0269S/t0269S10.htm>
- [43] ONU, Reporte Ciudades del Mundo 2016. (consultado el 04-07-2018). Recuperado de: <http://nua.unhabitat.org/uploads/Reportedelasciudades2016.pdf>
- [44] Río Negro, Consejos para evitar la intoxicación por monóxido de carbono. (consultado el 04-07-2018). Recuperado de: <https://www.rionegro.com.ar/sociedad/consejos-para-evitar-la-intoxicacion-por-monoxido-de-carbono-FD5041531>
- [45] EPA, Air quality criteria for Carbon Monoxide, Final Report (2000). Recuperado de: <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=18163>
- [46] EPA, Indoor Air Quality (IAQ) – Technical Overview of Volatile Organic Compounds. Recuperado de: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds#classifications>

- [47] EPA, Indoor Air Quality (IAQ) – Volatile Organic Compunds’ Impact on Indoor Air Quality. Recuperado de: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality#intro>
- [48] EPA, Particulate Matter (PM) Pollution – Particulate Matter (PM) Basics. Recuperado de: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#effects>
- [49] EPA, Report on the Environment – Particulate Matter Emissions. Recuperado de: https://cfpub.epa.gov/roe/indicator_pdf.cfm?i=19
- [50] Soto Rojas N., Generación de pellets y compost a partir de residuos agrícolas (2017). Recuperado de: <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/22658/3560900231641UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [51] INTI, Densidad maderas por nombre común. Recuperado de: https://www.inti.gob.ar/maderaymuebles/pdf/densidad_comun.pdf
- [52] Aldunate Vidal J., Plan de negocios para una fábrica de pellets de madera en Chile. (2015). Recuperado de: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/137547>
- [53] Carry on Composting, Composting Wood from garden trees. Recuperado de: <http://www.carryoncomposting.com/142941454>
- [54] Ihobe, Economía circular. (consultado el 27-07-2018). Recuperado de: <http://www.ihobe.eus/economia-circular>
- [55] Universidad Nacional de Educación a Distancia, Reciclado y Tratamiento de Residuos (2008).
- [56] Cervantes-Carrillo F, Pérez J, Gómez J. Avances en la eliminación biológica del nitrógeno de las aguas residuales. (consultado el 22 – 11- 2018). Recuperado de: <http://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=10608>

ANEXOS

ANEXO

Anexo 1. Lista de Empresas de Aserrío en Chile

NOMBRE	REGIÓN
MICAMU LTDA.	VII REGION DEL MAULE
SOCIEDAD CONSTRUCTORA OPAZO Y CIA. LTDA.	VII REGION DEL MAULE
ASERRADERO NUNEZ	VII REGION DEL MAULE
ASERRADEROS JORGE DURAN RETAMAL	VII REGION DEL MAULE
ROLANDO VILLEGAS CANCINO	VII REGION DEL MAULE
ASESORIA Y GESTION LTDA.	VII REGION DEL MAULE
SERGOMEN	VII REGION DEL MAULE
EDUARDO MUNOZ FUENTEALBA	VII REGION DEL MAULE
FIDEL CARRASCO QUIJADA	VII REGION DEL MAULE
ASERRADERO MESTRE	VII REGION DEL MAULE
FORESTAL EDUARDO MUNOZ CAMPOS	VII REGION DEL MAULE
MANUEL MUNOZ GUAJARDO	VII REGION DEL MAULE
ASERRADEROS DEL MAULE	VII REGION DEL MAULE
CESAR ROBERTO MORALES SAAVEDRA	VII REGION DEL MAULE
JULIO VALLADARES PEREIRA	VII REGION DEL MAULE
ASERRADERO SEGURA	VII REGION DEL MAULE
ASERTAL LTDA.	VII REGION DEL MAULE
MADERAS ESVAL LTDA.	VII REGION DEL MAULE
EL CHIVATO DE NUNEZ LTDA.	VII REGION DEL MAULE
RODRIGO ZANZANA PACHECO	VII REGION DEL MAULE
FORESTAL TROMEN S.A.	VIII REGION DEL BÍO BÍO
ASERRADEROS CORREA HERMANOS LTDA.	VIII REGION DEL BÍO BÍO
ASERRADERO COFRE Y FABRES	VIII REGION DEL BÍO BÍO
ASERRADEROS DURABEN	VIII REGION DEL BÍO BÍO
MADERAS ARAVENA	VIII REGION DEL BÍO BÍO
FORESTAL CANIHUAL Y CAYUCUPIL	VIII REGION DEL BÍO BÍO
ASERRADEROS JCE S.A.	VIII REGION DEL BÍO BÍO
ASERREO Y MADERAS ESPECIALES PURO NATIVO LTDA.	VIII REGION DEL BÍO BÍO
FORESTAL RARI LTDA.	VIII REGION DEL BÍO BÍO
MADERAS RARINCO S.A.	VIII REGION DEL BÍO BÍO
MADERAS RIO COLORADO S.A.	VIII REGION DEL BÍO BÍO

Anexo3. Lista de Empresas de Aserrío en Chile (continuación)

BARRACA Y ASERRADERO PUERTA DEL SOL E.I.R.L.	VIII REGION DEL BÍO BÍO
FORESTAL SANTA INES LTDA.	VIII REGION DEL BÍO BÍO
FORESTAL LEONERA	VIII REGION DEL BÍO BÍO
FORESTAL ANDES	IX REGION DE LA ARAUCANÍA
MADESAN LTDA	IX REGION DE LA ARAUCANÍA
CORTES FIGUEROA, RUDY	IX REGION DE LA ARAUCANÍA
SOCIEDAD ASERRADERO VOIPIR LTDA	IX REGION DE LA ARAUCANÍA
ASERRADERO VICTORIA	IX REGION DE LA ARAUCANÍA
ASERRADERO EL ARENAL	XIV REGION DE LOS RÍOS
ASERRADERO RICARDO CARRILLO	XIV REGION DE LOS RÍOS
ASERRADEROS QUINCHILCA	XIV REGION DE LOS RÍOS
ASERRADEROS TEMUCO	XIV REGION DE LOS RÍOS
TEMSA	XIV REGION DE LOS RÍOS
ARIEL DUARTE	XIV REGION DE LOS RÍOS
ASERRADERO PIDEY	XIV REGION DE LOS RÍOS
ASERRADERO CARLOS HABERBECK	XIV REGION DE LOS RÍOS
BARRACA EL LLOLLY	XIV REGION DE LOS RÍOS
ASERRADERO EL LAUREL	XIV REGION DE LOS RÍOS
MADERAS GUERRA Y CIA LTDA	XIV REGION DE LOS RÍOS
GMCDENDROENERGIA	XIV REGION DE LOS RÍOS
MADERAS ARISMOL	XIV REGION DE LOS RÍOS
MADERAS FERNANDEZ	XIV REGION DE LOS RÍOS
SOCIEDAD COMERCIAL SAN ANTONIO	X REGION DE LOS LAGOS
CONSTRUMAX	XI REGION DE AISEN DELGRAL. CARLOS IBANEZ DEL CAMPO
HOL CHILE	XI REGION DE AISEN DEL GRAL. CARLOS IBANEZ DEL CAMPO

Anexo 1. Lista de Empresas de Aserrío en Chile

ASERRADERO SAN ANTONIO	XI REGION DE AISEN DEL GRAL. CARLOS IBANEZ DEL CAMPO
MADERAS PANGAL	XI REGION DE AISEN DEL GRAL. CARLOS IBANEZ DEL CAMPO
FORESTAL PLACILLA	V REGION DE VALPARAISO
ROBERTO CONCHA	VI REGION DEL LIBERTADOR GRAL. BERNARDO O HIGGINS
VICTOR ESPINOZA	VI REGION DEL LIBERTADOR GRAL. BERNARDO O HIGGINS
ASERRADEROS MADERIK	VI REGION DEL LIBERTADOR GRAL. BERNARDO O HIGGINS
FORESTAL GUAYACAN	VI REGION DEL LIBERTADOR GRAL. BERNARDO O HIGGINS
FORESTAL ECOSUR	VI REGION DEL LIBERTADOR GRAL. BERNARDO O HIGGINS
ASERRADEROS ASERMAIN SAN IGNACIO LTDA	VIII REGION DEL BÍO BÍO
ASERRADEROS CERRO COLORADO LTDA	VIII REGION DEL BÍO BÍO
ASERRADERO ROMERO LTDA.	VIII REGION DEL BÍO BÍO
ASERRADERO SAN JOAQUIN S.A.	VIII REGION DEL BÍO BÍO
AGROMADERAS	VI REGION DEL LIBERTADOR GRAL. BERNARDO O HIGGINS
BARRACA Y ASERRADEROS MELLA	VI REGION DEL LIBERTADOR GRAL. BERNARDO O HIGGINS
SOCIEDAD FORESTAL Y AGRICOLA BELLAVISTA LTDA	VI REGION DEL LIBERTADOR GRAL. BERNARDO O HIGGINS

Anexo 1. Lista de Empresas de Aserrío en Chile

INDUSTRIAL SAN PEDRO S.A.	VII REGION DEL MAULE
HECTOR ULISES ESCOBAR NUNEZ	VII REGION DEL MAULE
CRISTIAN RODRIGO FUENTES FUENTES	VII REGION DEL MAULE
3 VOLCANES LTDA.	VII REGION DEL MAULE
ASERRADERO SANTA CATALINA	VII REGION DEL MAULE
SANDRA ROJAS ROJAS	VII REGION DEL MAULE
MAULE SUR	VII REGION DEL MAULE
MADERAS D Y J	VII REGION DEL MAULE
ASERRADEROS FORESCO LTDA.	VII REGION DEL MAULE
BARRACA SERRANO	VII REGION DEL MAULE
JOSE MIGUEL RIOS ROJAS	VII REGION DEL MAULE
INDUMAD	VII REGION DEL MAULE
MARIA RODRIGEZ	VIII REGION DEL BÍO BÍO
AGROPECUARIA CHILPACO LTDA	IX REGION DE LA ARAUCANÍA
CARLOS MORALES SALINAS	IX REGION DE LA ARAUCANÍA

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CONAF