



**Universidad de Chile
Facultad de Ciencias
Escuela de Pregrado**

“Acuerdos de Producción Limpia: Evaluación de Procedimientos de
Selección de modelos y parámetros en Sistemas de Estimación de
Impactos”

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los
requisitos para optar al Título de Químico Ambiental

Francisco Antonio Catalán Meyer

Director del Seminario de Título:

Ambrosio Yobánolo del Real

Profesor Patrocinante:

Julio Hidalgo Carvajal

Enero 2019, Santiago de Chile



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por el **Sr. Francisco Catalán Meyer**

“ACUERDOS DE PRODUCCIÓN LIMPIA: EVALUACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SELECCIÓN DE MODELOS Y PARÁMETROS EN SISTEMAS DE ESTIMACIÓN DE IMPACTOS”

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los Requisitos para optar al Título de Químico Ambiental

Director Seminario de Título: **Ambrosio Yobánolo del Real**

Comisión Revisora y Evaluadora

Presidente Comisión: **Manuel Leiva Guzmán**

Evaluador: **Ricardo Serrano Rojas**

Santiago de Chile,.....

AGRADECIMIENTOS

Dar agradecimientos a cada persona que me apoyo en este proceso puede ser más difícil y generar un documento más largo que este documento en sí mismo, por lo que intentar rendir honores en una sola página representa un verdadero desafío.

Agradezco particularmente a mis padres, a quienes o me alcanzan las palabras para agradecerles por todo solo en un par de líneas, que no solo me entregaron las herramientas para poder llegar hasta aquí, sino que también me forjaron los valores e ideas que me llevan a ser quien soy.

A mis amigos de toda la vida que me han acompañado en las buenas y las malas, en fin, con quienes he tenido la oportunidad de compartir muchos de los mejores momentos que he vivido. Agradecimientos especiales a Viky, sin la cual este seminario estaría escrito en un flojo “spanglish”.

A mis amigos de la universidad, con quienes compartimos más de un informe, trabajo y tarde de estudio y especialmente las alegrías de esta vida universitaria.

A los amigos quienes comienzo a conocer, a quienes recién comenzamos nuestras primeras vivencias, pero con quienes espero vivir muchas más.

A Ismael y Ambrosio que me guiaron y apoyaron durante mi Seminario de Titulo y más allá de eso, lograron darme un cálido espacio durante todo este proceso. Así mismo, a todos quienes conforman de la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático que me acogieron en su espacio, en sus almuerzos y en muchas otras instancias donde tuve el gusto de conocerlos.

A los profesores Julio Hidalgo y Richard Toro por su ayuda y buena disposición durante este proceso.

A todos aquellos que he nombrado, y a quienes quedan en el tintero me sobran los motivos y me faltan las palabras.

Muchas Gracias a todos y todas.

INDICE

| | | |
|-------|---|-------|
| 1 | Resumen | xvi |
| 2 | Abstract | xviii |
| 1 | Introducción | 1 |
| 1.1 | Cambio Climático | 1 |
| 1.2 | Gases Efecto Invernadero | 1 |
| 1.3 | Marco Político y Legal | 4 |
| 1.3.1 | Acuerdos Internacionales | 5 |
| 1.3.2 | Institucionalidad sobre cambio climático en Chile | 7 |
| 1.4 | Acuerdos de Producción Limpia | 10 |
| 1.5 | Metodologías de estimación de impacto | 14 |
| 1.6 | Recalculo de estimaciones GEI | 19 |
| 1.7 | Gestión del Riesgo | 20 |
| 1.8 | Incertidumbre..... | 22 |
| 1.8.1 | Simulación de Monte Carlo..... | 24 |
| 1.9 | Objetivos | 27 |
| 1.9.1 | Objetivo General:..... | 27 |
| 1.9.2 | Objetivos Específicos: | 27 |
| 2 | Metodología..... | 28 |
| 2.1 | Aplicación de la herramienta de Gestión de Riesgo..... | 28 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.2 | Selección de muestra | 29 |
| 2.3 | Diseño y Configuración de Categorías | 31 |
| 2.4 | Evaluación y Selección de Parámetros..... | 32 |
| 2.5 | Estimación y reporte de Incertidumbre | 34 |
| 2.5.1 | Simulación de Monte Carlo..... | 34 |
| 2.6 | Evaluación de escenarios para la aplicación de mejora..... | 36 |
| 3 | Resultados | 37 |
| 3.1 | Selección de Muestra | 37 |
| 3.2 | Categorías y Modelos de Estimación de Impactos GEI de Estimación de Impactos GEI | 39 |
| 3.3 | Categoría: Energía | 42 |
| 3.3.1 | Evaluación de Parámetros..... | 43 |
| 3.3.2 | Estimación de Emisiones y variación de recalcu..... | 46 |
| 3.3.3 | Estimación de Incertidumbre | 47 |
| 3.4 | Categoría: Manejo de residuos sólidos de Origen Biológico | 48 |
| 3.4.1 | Escenario de Línea Base..... | 48 |
| 3.4.2 | Compostaje | 53 |
| 3.4.3 | Combustible Biomasa..... | 54 |
| 3.4.4 | Aplicación directa sobre suelo | 56 |
| 3.5 | Categoría Manejo de residuos sólidos de Origen No Biológico..... | 60 |
| 3.5.1 | Evaluación de Parámetros..... | 61 |

| | | |
|--|--|-----|
| 3.5.2 | Estimación de Emisiones y variación de recalcu | 61 |
| 3.5.3 | Estimación de Incertidumbre | 62 |
| 3.6 | Categoría: Manejo de Residuos Líquidos Industriales | 63 |
| 3.6.1 | Evaluación de Parámetros | 63 |
| 3.6.2 | Estimación de Emisiones y variación de recalcu | 65 |
| 3.6.3 | Estimación de Incertidumbre | 66 |
| 3.7 | Categoría: Manejo de Residuos Peligrosos | 66 |
| 3.7.1 | Evaluación de Parámetros | 67 |
| 3.7.2 | Estimación de Incertidumbre | 67 |
| 3.8 | Categoría: Manejo de Refrigerantes | 67 |
| 3.8.1 | Evaluación de Parámetros | 68 |
| 3.8.2 | Estimación de Incertidumbre | 68 |
| 4 | Conclusiones | 69 |
| 5 | Bibliografía | 73 |
| Anexo I. Metas comprometidas por acuerdos de Producción Limpia Seleccionados en la muestra..... 87 | | |
| Anexo II. Categorías de Mitigación Aplicados a la muestra..... 93 | | |
| Anexo III. Modelos De Estimación de Emisiones GEI Por Categoría..... 96 | | |
| a. | Sustitución de Combustibles para Emisores de Fuente Fija | 96 |
| b. | Eficiencia Energética | 98 |
| c. | Transporte | 101 |

| | | |
|------------|---|-----|
| d. | Manejo de Refrigerantes | 104 |
| e. | Manejo de Desechos Sólidos de Origen Biológico..... | 106 |
| f. | Línea Base | 108 |
| g. | Compostaje | 110 |
| h. | Combustión de Biomasa..... | 111 |
| i. | Aplicación Directa a Suelo | 111 |
| j. | Manejo de Residuos Sólidos de Origen No Biológico (incluido reciclaje de residuos peligrosos)..... | 112 |
| k. | Manejo de Residuos Líquidos Industriales..... | 115 |
| l. | Categoría: Manejo de Residuos Peligrosos | 117 |
| Anexo IV. | Determinación de fracción de biomasa no renovable | 118 |
| Anexo V. | Evaluación de significancia sobre las emisiones de CH ₄ y N ₂ O en la combustión para la categoría Energía. | 122 |
| Anexo VI. | Valores de media e incertidumbre para los parámetros utilizados. | 124 |
| a. | Emisiones para categoría Energía..... | 124 |
| b. | Emisiones por manejo de residuos sólidos | 126 |
| c. | Emisiones asociadas a manejo de RILES | 129 |
| a. | Emisiones asociadas a manejo de Refrigerantes | 130 |
| Anexo VII. | Evaluación de parámetros para la estimación de emisiones GEI según categoría y fuente de emisión | 131 |

Anexo VIII. Consumo específico de combustible y de energía eléctrica para categoría de manejo de residuos sólidos de origen no biológico 138

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Compilado de principales Potenciales de Calentamiento Global (GWP) a 100 años para los principales Gases de Efecto Invernadero (IPCC, 2014)..... | 4 |
| Tabla 2: Fuentes potenciales de parámetros de estimación de emisiones GEI. Extraído de: (IPCC, 2006a)..... | 17 |
| Tabla 3: Funciones de Distribución de Probabilidad: Uniforme, Triangular y Normal. Elaboración Propia | 24 |
| Tabla 4: Escala de Likert para valoración de Fuentes Bibliográficas que contienen parámetros de estimación de emisiones GEI..... | 33 |
| Tabla 5: Acuerdos de Producción Limpia seleccionados según criterios de selección de muestra. Elaboración Propia..... | 38 |
| Tabla 6: Categorías de acciones de mitigación para compromisos APL y categorías de reporte utilizados correspondientes | 40 |
| Tabla 7: Metodologías y herramientas de mitigación para la estimación de emisiones GEI. Elaboración propia..... | 41 |
| Tabla 8: Criterios de evaluación para propuesta de mejora sobre aplicación de parámetros para la categoría energía. | 44 |
| Tabla 9: Reducciones GEI según tipo de fuente energética en el periodo 1999-2017. 46 | |
| Tabla 10: Incertidumbre para el intervalo de confianza de 95% de la categoría Energía por tipo de combustible a partir de Simulación de Monte Carlo..... | 47 |
| Tabla 11: Criterios de evaluación para propuesta de mejora sobre aplicación de parámetros para la Línea Base de la categoría de Manejo de residuos sólidos. | 49 |

| | |
|--|----|
| Tabla 12: Estimación de emisiones y variación de recalcu para Sitios de Disposición de Residuos Sólidos (SWDS). | 51 |
| Tabla 13: Incertidumbre para el intervalo de confianza de 95% para emisiones de Sitios de Disposición de Residuos Sólidos a partir de Simulación de Monte Carlo. | 52 |
| Tabla 14: Criterios de evaluación para propuesta de mejora sobre aplicación de parámetros para mitigación por utilización de biomasa de la categoría de Manejo de residuos sólidos. | 55 |
| Tabla 15: Estimación de emisiones y variación de recalcu para Combustión de Biomasa. | 55 |
| Tabla 16: Criterios de evaluación para propuesta de mejora sobre aplicación de parámetros para la Aplicación directa de residuos sobre suelos. | 57 |
| Tabla 17: Estimación de emisiones y variación de recalcu para Aplicación directa de residuos sobre suelo. | 59 |
| Tabla 18: Incertidumbre para el intervalo de confianza de 95% de la categoría manejo de residuos sólidos de origen orgánico mediante aplicación directa a suelo a partir de Simulación de Monte Carlo. | 59 |
| Tabla 19: Resumen de revisión bibliográfica de parámetros para reducción de emisiones por reciclaje o reusó. | 61 |
| Tabla 20: Resumen de revisión bibliográfica de parámetros para reducción de emisiones por manejo de RILES. | 63 |
| Tabla 21: Estimación de emisiones y variación de recalcu para categoría de Manejo de RILES. | 65 |
| Tabla 22: Metas APL 11: industria vitivinícola | 87 |
| Tabla 23: Metas APL 12: Artesanal de Fabricación de Ladrillos. | 87 |
| Tabla 24: Metas APL 15: Industria del Aserrío y Remanufactura de Madera (II) | 88 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 25: Metas APL 16 Productores de Pisco y Procesadores de Uva Pisquera III y IV Región | 89 |
| Tabla 26: Metas APL 24 Comida de Servicio Rápido | 89 |
| Tabla 27: Metas APL 28: Industria Procesadora de Frutas y Hortalizas | 90 |
| Tabla 28: Metas APL 36: Implementación de buenas prácticas agropecuarias en el sector de producción de huevos (CPL, 2007) | 90 |
| Tabla 29: Metas APL 37: Productores de Aves de Carne (CPL, 2009)..... | 90 |
| Tabla 30: Metas APL 64: Packing Maule..... | 91 |
| Tabla 31: Metas APL 66: Viveros Frutales | 91 |
| Tabla 32: Metas APL 78: Campus Sustentable | 92 |
| Tabla 33: Metas APL 84: Producción Sustentable de Aceite de Oliva | 92 |
| Tabla 34: Detalle de categorías y acciones por APL de muestra..... | 93 |
| Tabla 35: Detalle de categorías y acciones por APL de muestra (continuación)..... | 94 |
| Tabla 36: Detalle de categorías y acciones por APL de muestra (continuación)..... | 95 |
| Tabla 37: Modelos matemáticos ASCC para reducciones GEI por sustitución de combustible. (ASCC, 2017a)..... | 97 |
| Tabla 38: Modelos matemáticos CDM para reducciones GEI por sustitución de combustible. (UNFCCC, 2015b) | 97 |
| Tabla 39: Modelos matemáticos ASCC para reducciones GEI por Eficiencia Energética (Combustibles de Fuente Fija). (ASCC, 2017a) | 99 |
| Tabla 40: Modelos matemáticos CDM para reducciones GEI por Eficiencia Energética (Combustibles de Fuente Fija). (UNFCCC, 2013b) | 100 |
| Tabla 41: Modelos matemáticos para reducciones GEI por Eficiencia Energética (Consumo Eléctrico). (UNFCCC, 2013b) Y (ASCC, 2017a) | 101 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 42: Modelos matemáticos ASCC para reducciones GEI por eficiencia de combustible en transporte. (ASCC, 2017a)..... | 102 |
| Tabla 43: Modelos matemáticos propuestos para estimar reducciones GEI por eficiencia de combustible en transporte. (UNFCCC, 2013a) | 103 |
| Tabla 44: Modelos matemáticos para reducciones GEI por manejo de refrigerantes. (UNFCCC, 2010) Y (ASCC, 2017a)..... | 105 |
| Tabla 45: Modelos matemáticos para la estimación de línea base de SWDS. (ASCC, 2017a) (UNFCCC, 2014a) | 109 |
| Tabla 46: Modelos matemáticos para la estimación emisiones por combustión de biomasa. (ASCC, 2017a)..... | 111 |
| Tabla 47: Modelos matemáticos para la estimación emisiones por combustión de aplicación directa a Suelo. Modelo Propuesto Adaptado de: (IPCC, 2006a) | 111 |
| Tabla 48: Modelos matemáticos CDM para reducciones GEI por reciclaje y/o reusó de residuos sólidos. (UNFCCC, 2017d)..... | 113 |
| Tabla 49: Modelos matemáticos ASCC para reducciones GEI tratamiento de RILES. (ASCC, 2017a) (UNFCCC, 2016b) | 116 |
| Tabla 50: Resumen fuentes bibliográficas de parámetros para determinación de fracción de biomasa no renovable | 120 |
| Tabla 51: Distribución e incremento de la biomasa de bosque por zona ecológica ... | 120 |
| Tabla 52: Simulación de Monte Carlo para cálculo de Incremento medio anual de la biomasa de Chile | 121 |
| Tabla 53: Parámetros para determinación de fracción de biomasa no renovable..... | 121 |
| Tabla 54: Evaluación de Contribución a las emisiones totales y a la incertidumbre total según gas de efecto invernadero y combustible. | 123 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 55: Parámetros e incertidumbre asociados a emisiones por combustión de leña | 124 |
| Tabla 56: Parámetros e incertidumbre asociados a emisiones misiones por combustión de Carbón..... | 124 |
| Tabla 57: Parámetros e incertidumbre asociados a emisiones por combustión de Diésel | 125 |
| Tabla 58: Parámetros e incertidumbre asociados a emisiones por combustión de Queroseno..... | 125 |
| Tabla 59: Parámetros e incertidumbre asociados a emisiones por combustión de GLP | 125 |
| Tabla 60: Parámetros e incertidumbre asociados a emisiones por combustión de GNL | 126 |
| Tabla 61: Parámetros e incertidumbre asociados a emisiones provenientes de Rellenos Sanitarios..... | 126 |
| Tabla 62: Parámetros e incertidumbre asociados a emisiones provenientes de Vertederos..... | 127 |
| Tabla 63: Parámetros e incertidumbre asociados a emisiones por Compostaje..... | 127 |
| Tabla 64: Parámetros e incertidumbre asociados a emisiones por Aplicación directa sobre suelo..... | 128 |
| Tabla 65: Parámetros e incertidumbre asociados a emisiones por combustión de biomasa..... | 128 |
| Tabla 66: Parámetros e incertidumbre asociado a emisiones por manejo de RILES. | 129 |
| Tabla 67: Parámetros e incertidumbre asociados a emisiones por manejo de Refrigerantes | 130 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 68: Consumo específico de combustibles y de energía eléctrica para la producción de material virgen por tonelada de tipo de material. Adaptado de: (EPA, 2006). | 138 |
| Tabla 69: Consumo específico de combustibles y de energía eléctrica para el transporte de material virgen por tonelada de tipo de material. Adaptado de: (EPA, 2006). | 139 |
| Tabla 70: Consumo específico de combustibles y de energía eléctrica para la producción de material reciclado por tonelada de tipo de material. Adaptado de: (EPA, 2006). | 140 |
| Tabla 71: Consumo específico de combustibles y de energía eléctrica para el transporte de material reciclado por tonelada de tipo de material. Adaptado de: (EPA, 2006). | 141 |
| Tabla 72: Factor de corrección basado en la participación en la producción del Producto Hecho por Materiales Recuperados (L _i). Adaptado de: (EPA, 2006)..... | 142 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Modos de vibración simétricos y asimétricos de la molécula de Dióxido de Carbono que tienen incidencia en el el calentamiento global. Adaptado de: (Jacob, 1999). | 2 |
| Figura 2: Esquema de la estructura institucional para implementación de políticas de cambio climático. Extraído de (MMA, 2018)..... | 7 |
| Figura 3: Metodología de contabilización de reducciones GEI producto de políticas y acciones (GHG Protocol, 2014a) | 12 |
| Figura 4: Fuentes bibliográficas de parámetros de estimación de impacto clasificadas según niveles metodológicos. Elaboración Propia. | 19 |
| Figura 5: Esquema de Gestión del Riesgo de Herramienta ISO 31.000. Extraído de (ISO, 2009) | 21 |
| Figura 6: Estructura general de un análisis de incertidumbre genérico. Extraído de: (IPCC, 2006a)..... | 23 |
| Figura 7: Diagrama de método de Simulación de Monte Carlo (IPCC, 2006a)..... | 26 |
| Figura 8: Esquema de evaluación del riesgo en la estimación de emisiones GEI. Elaboración Propia. | 29 |
| Figura 9: Histograma de frecuencia correspondiente a la evaluación mediante escala de Likert de parámetros asociados a categoría Energía, según las puntuaciones 0: No se considera. 1: Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos por defecto. 2: Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos con adecuado grado de similitud. 3: Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos nacionales. 4: Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos locales o específicos zonales..... | 44 |

| | |
|--|-----|
| Figura 10: Histograma de frecuencia correspondiente a la evaluación mediante escala de Likert de parámetros asociados a Manejo de Residuos Sólidos de Origen Biológico: Escenario de Línea Base..... | 50 |
| Figura 11: Histograma de frecuencia correspondiente a la evaluación mediante escala de Likert de parámetros asociados a Manejo de Residuos Sólidos de Origen Biológico: Aplicación Directa Sobre Suelo..... | 58 |
| Figura 12: Histograma de frecuencia correspondiente a la evaluación mediante escala de Likert de parámetros asociados a Manejo de RILES..... | 64 |
| Figura 13: Diagrama de Flujo de Procesos Sustitución de Combustible (Fuente Fija) en escenario de línea base. (UNFCCC, 2015b)..... | 96 |
| Figura 14: Diagrama de Flujo de Procesos Sustitución de Combustible (Fuente Fija) en escenario con aplicación de APL. (UNFCCC, 2015b)..... | 96 |
| Figura 15: Diagrama de Flujo de Procesos para Eficiencia Energética en escenario de Línea Base. (UNFCCC, 2013b)..... | 98 |
| Figura 16: Diagrama de Flujo de Procesos para Eficiencia Energética en escenario con aplicación de APL. (UNFCCC, 2013b)..... | 99 |
| Figura 17: Diagrama de Flujo de Procesos para Categoría de Transporte en escenario de Línea Base. (UNFCCC, 2013a)..... | 101 |
| Figura 18: Diagrama de Flujo de Procesos para Categoría de Transporte en escenario con Aplicación de APL. (UNFCCC, 2013a)..... | 102 |
| Figura 19: Diagrama de Flujo de Procesos para Manejo de Refrigerante en escenario de Línea Base. (UNFCCC, 2010)..... | 104 |
| Figura 20: Diagrama de Flujo de Procesos para Manejo de Refrigerante en escenario con aplicación de APL. (UNFCCC, 2010)..... | 104 |

| | |
|---|-----|
| Figura 21: Diagrama de Flujo de Procesos para Manejo de Residuos Sólidos de Origen Biológico en escenario de Línea Base. (UNFCCC, 2014a) | 106 |
| Figura 22: Diagrama de Flujo de Procesos para Manejo de Residuos Sólidos de Origen Biológico en escenario con aplicación de APL (compostaje). (UNFCCC, 2014a) | 106 |
| Figura 23: Diagrama de Flujo de Procesos para Manejo de Residuos Sólidos de Origen Biológico en escenario con aplicación de APL (combustión de biomasa). (UNFCCC, 2014a) | 107 |
| Figura 24: Diagrama de flujo emisiones GEI por incorporación de fuentes de nitrógeno al suelo (IPCC, 2006a)..... | 108 |
| Figura 25: Diagrama de Flujo de Procesos para Residuos Sólidos de Origen No Biológico en escenario de Línea Base. (UNFCCC, 2017d)..... | 112 |
| Figura 26: Diagrama de Flujo de Procesos para Residuos Sólidos de Origen No Biológico en escenario con aplicación de APL. (UNFCCC, 2017d)..... | 113 |
| Figura 27: Diagrama de Flujo de Procesos para manejo de residuos líquidos industriales en Escenario de Línea Base. (UNFCCC, 2016b) | 115 |
| Figura 28: Diagrama de Flujo de Procesos para manejo de residuos líquidos industriales en Escenario con aplicación de APL. (UNFCCC, 2016b) | 115 |

1 RESUMEN

El desafío de enfrentar el cambio climático ha llevado a nuestro país a suscribirse a numerosos tratados y acuerdos internacionales desde su adhesión a la Convención Marco de las Naciones Unidas Para el Cambio Climático (CMNUCC) en 1994, hasta el más reciente Acuerdo de París en 2015.

Una de las políticas implementadas para reducir las externalidades negativas sobre el medio ambiente, han sido los Acuerdos de Producción Limpia (APL), implementados por la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático (ASCC). Estas herramientas se han desarrollado como una propuesta de dialogo público-privado a fin reducir la generación de residuos y emisiones mediante la implementación de mejoras en la eficiencia productiva de las empresas buscando generar un modelo de desarrollo sustentable.

Desde el año 2012, debido a su capacidad para reducir la generación de gases de efecto invernadero, los Acuerdos de Producción Limpia son incluidos dentro de las Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMA's) que reporta nuestro país en el marco de la Conferencia de Copenhague (COP 15).

La necesidad de mayor confianza en estos instrumentos impulsa la búsqueda de cadena de mejoras en la exactitud y la precisión de los parámetros y modelos utilizados para cuantificar el impacto ambiental, sobre todo en la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Este trabajo, se centra en la revisión y generación de propuestas de mejora sobre los modelos y parámetros utilizados para la estimación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero realizado por la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático en el marco de los Acuerdos de Producción Limpia. Para ello se utilizó como referencia los modelos

de estimación utilizados para los Mecanismos de Desarrollo Limpio (CDM) y la evaluación de los parámetros realizada mediante la aplicación de una escala tipo Likert.

A partir de ello, se seleccionaron y contrastaron los modelos y parámetros utilizados por la Agencia, con los aceptados y/o recomendados por investigadores y las agencias técnicas y/o regulatorias que estiman los mismos tipos de impactos a nivel global.

Mediante la metodología de la Simulación de Monte Carlo se cuantificó la incertidumbre para las categorías estudiadas. Los resultados de las simulaciones se consideran en un intervalo alto de incertidumbre, relacionado principalmente con la falta de desarrollo científico y tecnológico sobre parámetros más precisos en el área de la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero. Pese a esta limitación, esta metodología permitió identificar los principales parámetros a mejorar para lograr estimaciones más precisas y que entreguen mayor confianza.

2 ABSTRACT

The challenge of facing climate change has led our country to sign several treaties and international agreements since its adhesion to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) in 1994, to the most recent Paris Agreement in 2015.

One of the policies implemented to reduce the negative externalities on the environment, has been the Clean Production Agreement (CPA), implemented by The Agency of Sustainability and Climate Change (ASCC). These tools have been developed as a proposal of public-private dialogue for the purpose of reducing waste and emissions. This has been done by improving the productive efficiency in the companies that aim to generate a sustainable development model.

Since 2012, due to its ability to reduce the generation of greenhouse gases, the Clean Production Agreement has been included in the Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs) that reports our country on the framework of the Copenhagen Conference (COP 15).

The necessity to reach the highest confidence levels on these tools, drives the search for improvement in the exactitude and precision of the parameters and models used to quantify the environmental impact, especially in the reduction of greenhouse gases emissions.

This work is based on the revision and generation of proposals of improvement on the models and parameters used in the estimation of greenhouse gases emission for The Agency of Sustainability and Climate Change in the framework of the Clean Production Agreement. For this purpose, the estimation models used for The Clean Development

Mechanism (CDM) and the evaluation for the parameters by the application of a Likert scale were used as references.

From it, the models and parameters used by The Agency were selected and contrasted with the parameters and models accepted and recommended by investigators and technical/regulatory agencies that estimate the same impacts in a global level.

The uncertainty of the concerned categories was quantified through the methodology of Monte Carlo Simulation. The results from the simulation are considered in a high level of uncertainty, related mainly to the lack of scientific and technological development about more precise parameters in the estimation area of greenhouse gases emission. Despite this limitation, the methodology allowed to identify the main parameters to be improved to achieve more precise and reliable estimations.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Cambio Climático

Entre el periodo de 1880-2012 se estima que la temperatura combinada de la Tierra y de los océanos sufrió un incremento de 0,85 [0,65 a 1,06] °C según reporta (IPCC, 2014). El amplio consenso científico relaciona este incremento de las temperatura global al incremento de las emisiones GEI desde el inicio de la época industrial en el siglo XIX, donde existe una tendencia creciente en la frecuencia e intensidad de los eventos meteorológicos extremos en los últimos cincuenta años y se considera probable que las altas temperaturas, olas de calor y fuertes precipitaciones, continuarán siendo más frecuentes en el futuro (IPCC, 2014) .

Este fenómeno global es particularmente preocupante para países como Chile, que poseen vastas zonas de sus territorios expuesto a fenómenos climáticos extremos como sequías, e inundaciones fluviales y costeras, donde el sector Silvo-agropecuario (considerado de alta vulnerabilidad al cambio climático) compone una de las principales actividades económicas del país. (Gobierno de Chile, 2017)

1.2 Gases Efecto Invernadero

Las emisiones de Gases de Efecto Invernadero son los principales responsables del cambio climático. Debido a sus estructuras moleculares, gases como el H₂O, CO₂, CH₄, N₂O, O₃ y CFC's tienen mayor capacidad de absorber radiación solar debido a que son

capaces de adquirir asimetría de carga mediante el transiciones electrónicas y vibracionales tal como se ilustra en la **Figura 1** para el caso del CO₂ (Jacob, 1999).

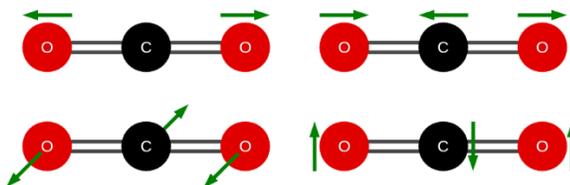


Figura 1: Modos de vibración simétricos y asimétricos de la molécula de Dióxido de Carbono que tienen incidencia en el calentamiento global. Adaptado de: (Jacob, 1999).

Las moléculas absorben radiación de una longitud de onda dada solo si la energía es la necesaria para producir una transición electrónica y/o roto-vibracional y así incrementar el nivel de la energía interna de la molécula. Este nivel de energía interna es cuantificado en series de estados electrónicos, vibracionales y rotacionales que absorben la energía a diferentes rangos de longitud de onda dependiendo de los requerimientos energéticos de las transiciones para luego ser emitida al volver al estado fundamental.

Los gases de efecto invernadero son aquellos que absorben la radiación en el rango de 5-50 μm , correspondiente a la radiación absorbida por las transiciones vibracionales (absorción en el rango 0,7-20 μm) y rotacionales (>20 μm), como los descritos en la **Figura 1** (Jacob, 1999).

Estos GEI que, en su mayoría, se presentan naturalmente en la atmosfera de la Tierra han permitido conservar la temperatura del planeta en un rango óptimo para el desarrollo de la vida. Sin embargo, el incremento exponencial de la actividad industrial a partir del siglo XIX ha conllevado a un incremento del mismo carácter de las emisiones de estos

gases, a una mayor absorción de radiación solar (Incremento del forzamiento radiativo) y en consecuencia al incremento de la temperatura del planeta. (Jacob, 1999)

Un indicador que es frecuentemente utilizado para cuantificar el impacto individual de estas moléculas sobre el forzamiento radiativo del planeta ha sido el Potencial de Calentamiento Global (GWP, por sus siglas en ingles) el cual se describe en función de la eficiencia para absorber la radiación solar y la vida media del compuesto en la atmosfera normalizado sobre unidades de CO₂ e integrados sobre un umbral de tiempo específico (EPA, 2015). Usualmente, en el marco del protocolo de Kioto, se utiliza el umbral de 100 años para las estimaciones de emisiones de gases de efecto invernadero.

La incertidumbre del GWP está determinada por las incertidumbres en el tiempo de vida (o tiempo de perturbación) y la eficiencia radiativa. Para el gas de referencia CO₂, la incertidumbre está dominada por incertidumbres en la función de respuesta al impulso que describe el desarrollo en la concentración atmosférica que sigue a un pulso de emisión. (Joos, y otros, 2013). La **Tabla 1** contiene los valores de GWP y su respectiva incertidumbre para algunos de los principales gases de efecto invernadero.

Tabla 1: Compilado de principales Potenciales de Calentamiento Global (GWP) a 100 años para los principales Gases de Efecto Invernadero (IPCC, 2014)

| Nombre común o comercial | Tiempo de vida media (años) | Formula Química | GWP | Incertidumbre GWP ¹ |
|---------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|------|--------------------------------|
| Dióxido de Carbono² | - | CO ₂ | 1 | ±25% |
| Metano | 12,4 | CH ₄ | 28 | ±40% |
| Óxido Nitroso | 121,0 | N ₂ O | 265 | ±30% |
| HCFC-22 | 11,9 | CHClF ₂ | 1760 | ±35% |
| HFC125 | 47,1 | CH ₃ CF ₃ | 4800 | ±35% |
| HFC143a | 28,2 | CHF ₂ CF ₃ | 3170 | ±35% |

1.3 Marco Político y Legal

Desde la entrada en vigor de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (UNFCCC) en 1994 (IPCC, 2014), se han establecido diversos mecanismos, declaraciones y acuerdos a nivel internacional con respecto al Cambio Climático que definen los ejes de las políticas públicas de cada país que rigen esta materia, por lo que un repaso de algunos de los principales acuerdos internacionales permitirá establecer los marcos sobre los que se desarrolla este trabajo y las perspectivas del mismo.

¹ Para los gases de efecto invernadero, (IPCC, 2014) establece incerteza de ±30% y ±35% para gases con tiempo de vida media en la atmosfera menores a 100 años y mayores a 100 años respectivamente. Para el caso del Metano y el Dióxido de Carbono reconoce incertezas individuales ligadas a los procesos de intercambio de carbono en los ciclos biogeoquímicos.

² Debido a que su concentración en la atmosfera varía según la intensidad de los ciclos biogeoquímicos en diferentes zonas climáticas no es posible reconocer un único tiempo de vida media en la atmosfera para el Dióxido de Carbono.

1.3.1 Acuerdos Internacionales

1.3.1.1 Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (UNFCCC)

La Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático aprobada en 1992, nace con el objetivo de estabilizar las emisiones de GEI a nivel que evite consecuencias peligrosas de la actividad humana sobre el sistema climático. Entre los compromisos suscritos se crea la obligación de los países de elaborar y mantener actualizados Inventarios Nacionales de Emisiones que contabilicen las emisiones de GEI de cada país según sector económico. (Naciones Unidas, 1992)

1.3.1.2 Protocolo de Kioto

El protocolo de Kioto, firmado en 1997 por 193 partes o países, establece los mecanismos concretos de funcionamiento de la UNFCCC estableciendo metas vinculantes para los países “Anexo I” (Principalmente países desarrollados) fijando el objetivo de reducir el total de las emisiones de gases de efecto invernadero a un nivel que no superen en un 5% a las que existían en el año 1990 (Naciones Unidas, 1998).

El protocolo establece tres mecanismos de flexibilidad a través de los cuales los países “Anexo I” puedan lograr los objetivos propuestos:

- Comercio internacional de emisiones
- Mecanismo de desarrollo limpio (CDM, por sus siglas en ingles)
- Aplicación conjunta (JI, por sus siglas en ingles)

1.3.1.3 COP 15 Copenhague

La 15ª conferencia de las partes celebrada en 2009 en la ciudad de Copenhague, Dinamarca, tuvo como eje principal la aprobación de un documento firmado por todos los países considerados grandes emisores de GEI. En él, se reconocía el umbral de 2°C en la temperatura del planeta como un objetivo aceptable a mediano plazo. (Naciones Unidas, 2009)

Entre las principales resoluciones de esta conferencia están:

- Se establece un mecanismo de financiación para la mitigación y la adaptación a los países en desarrollo.
- Preve que los países “No Anexo I” deberán diseñar e implementar acciones de mitigación del cambio climático.

1.3.1.4 Acuerdo de París

El acuerdo de París, firmado en diciembre de 2015, incorporo por primera vez a los todos los grandes países generadores de emisiones GEI (pese al posterior anuncio del retiro de Estados Unidos) bajo el compromiso de realizar acciones que permitieran controlar la temperatura del planeta por debajo del umbral de los 2°C. Entre lo más relevante de este acuerdo fue la incorporación de países “No Anexo I”, que son considerados grandes emisores de gases de efecto invernadero tales como China e India.

La cumbre estableció líneas de trabajo sobre mitigación del cambio climático, transparencia y contabilidad sobre la acción climática, fortalecimiento de la recuperación sobre pérdidas y daños por impactos climáticos y apoyo financiero. Además, estableció

una línea de financiación para la adaptación al cambio climático y los objetivos de mitigación en países en desarrollo. (Naciones Unidas, 2015)

1.3.2 Institucionalidad sobre cambio climático en Chile

En Chile, los compromisos suscritos en los acuerdos y conferencias antes mencionadas son llevados a cabo por diferentes instituciones públicas tanto a nivel central como a nivel regional y municipal, siendo las encargadas de establecer los marcos sobre los cuales se diseñan los principales reportes referentes en esta materia a nivel nacional, que funciona con la intención de promover la coordinación y colaboración sólida entre los distintos niveles de toma de decisiones, tal como se expone en la **Figura 2**.

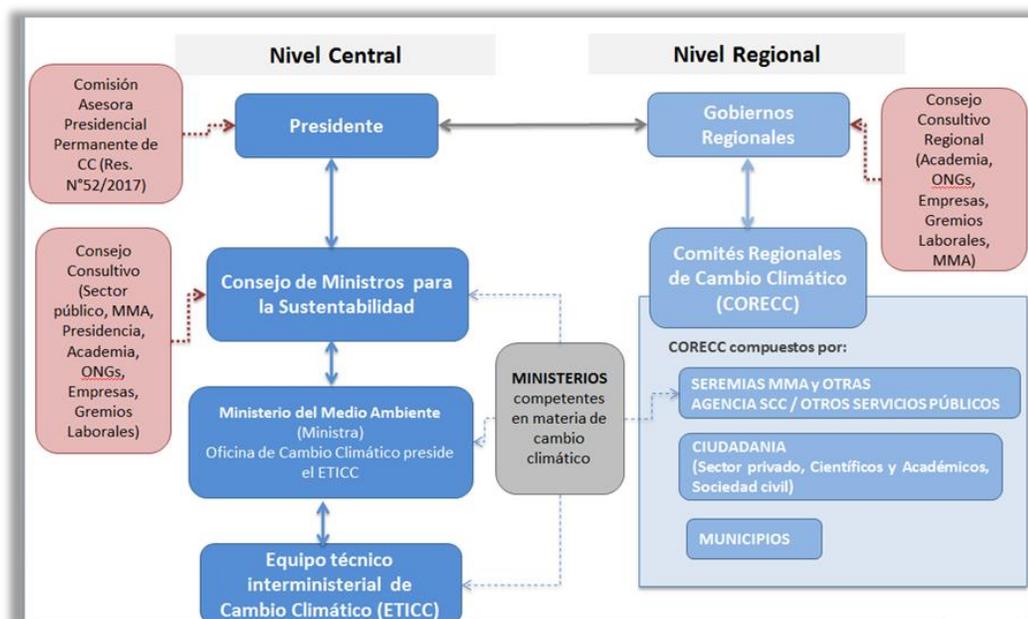


Figura 2: Esquema de la estructura institucional para implementación de políticas de cambio climático. Extraído de (MMA, 2018)

1.3.2.1 Oficina de Cambio Climático (OCC) del ministerio de Medio Ambiente

De acuerdo con la Resolución MMA N°278, de abril de 2018, la OCC se encarga de a) Generar y recopilar información técnica y científica para apoyar el diseño de políticas y formulación de planes y programas en materia de cambio climático; b) Dar seguimiento y asesorar al Ministerio en los avances en la ejecución de los instrumentos de política pública sobre cambio climático en el país; entre otras funciones indicadas en dicha resolución.

1.3.2.2 Equipo Técnico Interministerial de Cambio Climático (ETICC)

El ETICC es una instancia de coordinación interministerial, creado en 2015 y coordinado por la OCC, cuyos integrantes son puntos focales de los ministerios competentes en materia de Cambio Climático.

1.3.2.3 Comisión Asesora Presidencial Permanente de Cambio Climático

Regulada mediante el DS 52 del Ministerio de Medio Ambiente, la Comisión tiene el objetivo asesorar al Presidente de la República en materia de cambio climático fortaleciendo la calidad técnica y la armonía de la política pública. En la actualidad esta comisión se encuentra en evaluación por lo que su funcionamiento técnico se encuentra detenido.

1.3.2.4 Comités Regionales de Cambio Climático (CORECC)

Estos comités regionales corresponden a instancias de coordinación dirigidas por el Intendente Regional junto al resto de las autoridades regionales interesadas en la aplicación de actividades de adaptación o mitigación de cambio climático en sus respectivas jurisdicciones.

1.3.2.5 Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático (ASCC)

La Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático (anteriormente Consejo de Producción Limpia) es un Comité de la Corporación de Fomento a la Producción (CORFO) del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, que busca impulsar, desarrollar y ejecutar la Política de Fomento a la Producción Limpia, desarrollando incentivos que fomenten el uso de prácticas de Producción Limpia a través de la incorporación de las tecnologías limpias en los procesos productivos, en un marco de diálogo y participación público-privado (Resolución 303, 2008). Esto lo realiza a través de acuerdos público-privados conocidos como Acuerdos de Producción Limpia (APL), que constituyen instrumentos públicos de gestión ambiental que funcionan en base a convenios entre empresas privadas y organismos públicos, buscando aplicar estrategias de gestión ambiental para las actividades productivas, a fin de incrementar la eficiencia, reducir los riesgos y minimizar los impactos negativos para el ser humano y el medio ambiente.

1.4 Acuerdos de Producción Limpia

En este trabajo, se analizó la estimación y el reporte de las emisiones de gases de efecto invernadero desde los compromisos y acciones realizadas por la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático a través de los Acuerdos de Producción Limpia, por lo que es necesario conocer cómo funcionan estos instrumentos.

La Producción Limpia se formuló en 1989 como una estrategia para enfrentar la contaminación mediante la minimización de los residuos y emisiones en el origen mediante el mejoramiento de la eficiencia productiva previniendo la pérdida energética y de material. (Achs, 2002)

En la perspectiva de la Producción Limpia, en Chile, se utilizan como herramienta los Acuerdos de Producción Limpia (APL) que constituyen instrumentos voluntarios entre el sector privado y el sector público para implementar acciones que apunten a mejorar las condiciones productivas y ambientales en términos de higiene y seguridad laboral, eficiencia energética e hídrica, reducción de emisiones, valorización de residuos, buenas prácticas, fomento productivo y otras temáticas abordadas por el acuerdo (INN, 2009).

Desde su creación en 1998 hasta el año 2017 se han firmado 150 Acuerdos de Producción Limpia que involucran a un total de 7.694 empresas a nivel nacional pertenecientes a los a diversas actividades económicas (ASCC, 2018a).

Como parte de los compromisos internacionales derivados de la COP 15, en 2012, Chile registro ante la UNFCCC los Acuerdos de Producción Limpia como una Acción Nacional Apropiada de Mitigación (NAMA) con el objetivo de contribuir con la reducción de 18,8 MtCO₂e para el año 2020.

La ASCC reporta reducciones en las emisiones GEI como consecuencia de la aplicación de las acciones y metas comprometidas en un plazo de 7 años³ desde la firma del acuerdo. Estas, tal como se representa en la **Figura 3**, se determinan a partir de un escenario de referencia o de línea base que constituye un escenario hipotético que proyecta las emisiones de CO₂e que probablemente se generarían con la ausencia del APL y un escenario que mide las emisiones con la aplicación del APL. En este marco, las reducciones de las emisiones de Gases de efecto invernadero (GEI) se resultan de:

$$RE \left[\frac{tCO_2e}{año} \right] = BL \left[\frac{tCO_2e}{año} \right] - CAPL \left[\frac{tCO_2e}{año} \right] \quad Ec/1/$$

Donde: $RE \left[\frac{tCO_2e}{año} \right]$: Reducción de emisiones GEI en unidades de tCO₂e por año reportado; $BL \left[\frac{tCO_2e}{año} \right]$: Emisiones GEI del escenario de Línea Base en unidades de tCO₂e por año reportado; $CAPL \left[\frac{tCO_2e}{año} \right]$: Emisiones GEI del escenario con aplicación del APL en unidades de tCO₂e por año reportado.

³ Se considera un plazo de 7 años como tasa natural de recambio tecnológico. Este criterio es utilizado por otros instrumentos en el marco de la convención del protocolo de Kioto como los Mecanismos de Desarrollo Limpio como periodo mínimo de acreditación.

De las estimaciones reportadas por el sistema de estimación de emisiones GEI utilizado por la ASCC, se utilizan criterios de exclusión para detectar la presencia de valores declarables como atípicos aquellas emisiones que cumplen con los criterios (ASCC, 2017b):

- Valores de reducciones muy grandes: Se considera como criterio de valores atípicos, reducciones totales superiores al límite de 100.000tCO₂e tal como se define en la Ec/ 2/

$$\sqrt{\sum_{t_1}^{t_2} E_{t_i}^2} > 100.000 \text{ tCO}_2\text{e} \quad \text{Ec/ 2/}$$

Donde E es el impacto en emisiones para un año en unidades de tCO₂e, en el periodo t_i en una categoría dada; cuando t_1 es el primer año con cálculo de impacto y t_2 es el último año con cálculo de impacto.

- Valores atípicos: Se consideran valores atípicos, cuando la proporción entre las emisiones de GEI en el escenario con implementación de APL y las emisiones GEI en el escenario base, pertenece a la cota inferior del primer cuartil o a la cota superior del cuarto cuartil según se define en Ec/ 3/:

$$\frac{E_{APL}}{E_{Base}} \notin [Q_1 - 1,5 * (Q_3 - Q_1); Q_3 + 1,5 * (Q_3 - Q_1)] \quad \text{Ec/ 3/}$$

Donde " E_{APL} " es la suma del escenario con APL; " E_{Base} " es la suma del escenario Base y " Q_i " es el cuartil correspondiente de la distribución de " $\frac{E_{APL}}{E_{Base}}$ ". En casos que no es posible, o no tiene sentido utilizar esa proporción relativa, se utilizó la suma de los efectos.

1.5 Metodologías de estimación de impacto

En términos generales, la estimación de emisiones GEI constituye el procesamiento de los datos de las actividades emisoras a partir de modelos y parámetros específicos para cada categoría. El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) ha sido la entidad perteneciente a la UNFCCC encargada de generar guías y directrices para la aplicación de dichos modelos y parámetros en los inventarios nacionales de emisiones GEI.

Al alero del IPCC, los Mecanismos de Desarrollo Limpio (CDM) han desarrollado en el ámbito de proyectos de mitigación de emisiones GEI guías metodológicas para estimar el impacto de estas actividades con una aplicación en países en vías de desarrollo como Chile y que mantienen altos requerimientos en materia de reporte debido a su naturaleza intrínsecamente ligada al mercado de carbono.

Las directrices diseñadas por el IPCC clasifican las emisiones y absorciones de GEI en 4 categorías generales: Energía, Procesos industriales y uso de productos (IPPU), Agricultura, silvicultura y otros usos de la Tierra (AFOLU) y Desechos; a fin de diferenciar las principales fuentes y sumideros de GEI bajo criterios de comparabilidad.

El abordaje metodológico de la estimación de emisiones GEI puede generalizarse en la expresión matemática de la Ec/ 4/:

$$\text{Emisión} = EF \cdot AD \quad \text{Ec/ 4/}$$

Donde: *EF*: Factor de emisión; *AD*: Datos de Actividad.

Según la categoría *AD* podrá provenir de los valores de consumo de combustible, cantidad de residuos manejados, cantidad de producto fabricado, etc. Asimismo, *EF* se corresponderá a proporciones simples hasta parámetros de mayor complejidad (como en el caso de descomposiciones de primer orden en vertederos).

Dependiendo de su grado de complejidad, (IPCC, 2006a), clasifica las metodologías de estimación de impacto correspondientes a cada categoría en tres niveles:

- **Nivel 1:** Utiliza las metodologías simplificadas descritas en las Directrices de (IPCC, 2006a) y parámetros por defecto.
- **Nivel 2:** Se utiliza el mismo enfoque metodológico que el Nivel 1, sin embargo, los parámetros utilizados son específicos de cada país o región climática.
- **Nivel 3:** Corresponden a metodologías de alta complejidad utilizando modelos y parámetros específicos según el tipo de tecnología y/o mediciones directas.

En la medida que se incrementa el nivel de complejidad representa, según (IPCC, 2000), una reducción en la incertidumbre de las estimaciones de GEI, aunque a costa de un aumento en la complejidad de los procesos y análisis de medición. Sin embargo, la complejidad no es el único elemento que considerar al momento de estimar emisiones

GEI, la confianza sobre los parámetros, y las fuentes bibliográficas que los reportan, también se deben considerar. Cabe mencionar que, debido al alto grado de complejidad, las metodologías de Nivel 3 mantienen un alto requerimiento técnico fuera del alcance de este trabajo.

La recopilación de datos es una parte integral en la elaboración y actualización de la estimación de emisiones GEI. Se deben establecer actividades formalizadas de recopilación de datos, adaptarlas a las circunstancias nacionales de los países y revisarlas en forma periódica (IPCC, 2006a). La **Tabla 2** presenta una lista de fuentes bibliográficas potenciales en orden de probabilidad descendente de que los datos sean representativos y adecuados para las circunstancias nacionales.

Tabla 2: Fuentes potenciales de parámetros de estimación de emisiones GEI. Extraído de: (IPCC, 2006a)

| Tipo de bibliografía | Dónde buscar | Confianza |
|---|---|---|
| Directrices del IPCC | Sitio Web del IPCC |  <p>Mayor</p> |
| Base de datos de factores de emisión del IPCC (EFDB) | Sitio Web del IPCC | |
| Guía de inventario de emisiones de EMEP/CORINAIR | AEMA (sitio Web de la Agencia Europea del Medio Ambiente) | |
| Bases de datos internacionales de factores de emisión USEPA | Sitio Web de la USEPA | |
| Datos específicos del país de publicaciones nacionales o internacionales revisadas por pares | Bibliotecas nacionales de referencia, prensa ambiental, publicaciones de noticias ambientales | |
| Las instalaciones de ensayos nacionales | Laboratorios nacionales | |
| Registros y documentos de las autoridades reguladoras de las emisiones, o registros de publicación y transferencia de contaminación | Autoridad regulatoria del proceso industrial | |
| Artículos industriales, técnicos y comerciales | Asociación comercial específica Publicaciones, bibliotecas y búsquedas en la Web | |
| Otros estudios específicos, censos, sondeos, datos de medición y monitoreo | Universidades (departamentos de Medio Ambiente, medición y monitoreo) | |
| Bases de datos internacionales de factores de emisión OCDE | Sitio Web de la OCDE | |
| Factores de emisión u otros parámetros de estimación para otros países | Informes de inventarios nacionales de las Partes de la CMNUCC, otra documentación del inventario, búsqueda Web, biblioteca nacional | Menor |

A partir de la

Figura 4, es posible interpretar los niveles de complejidad que utiliza (IPCC, 2006a) y las fuentes bibliográficas potenciales descritas en la **Tabla 2** a fin de establecer criterios de selección de parámetros sobre cada fuente potencial basada en ambos conceptos (complejidad y confianza) pues en la mayoría de los casos, la generación de fuentes de datos nuevas se verá limitada por los recursos disponibles y será necesario priorizar, tomando en cuenta los procedimientos de recopilación de datos para buscar y procesar los datos existentes.

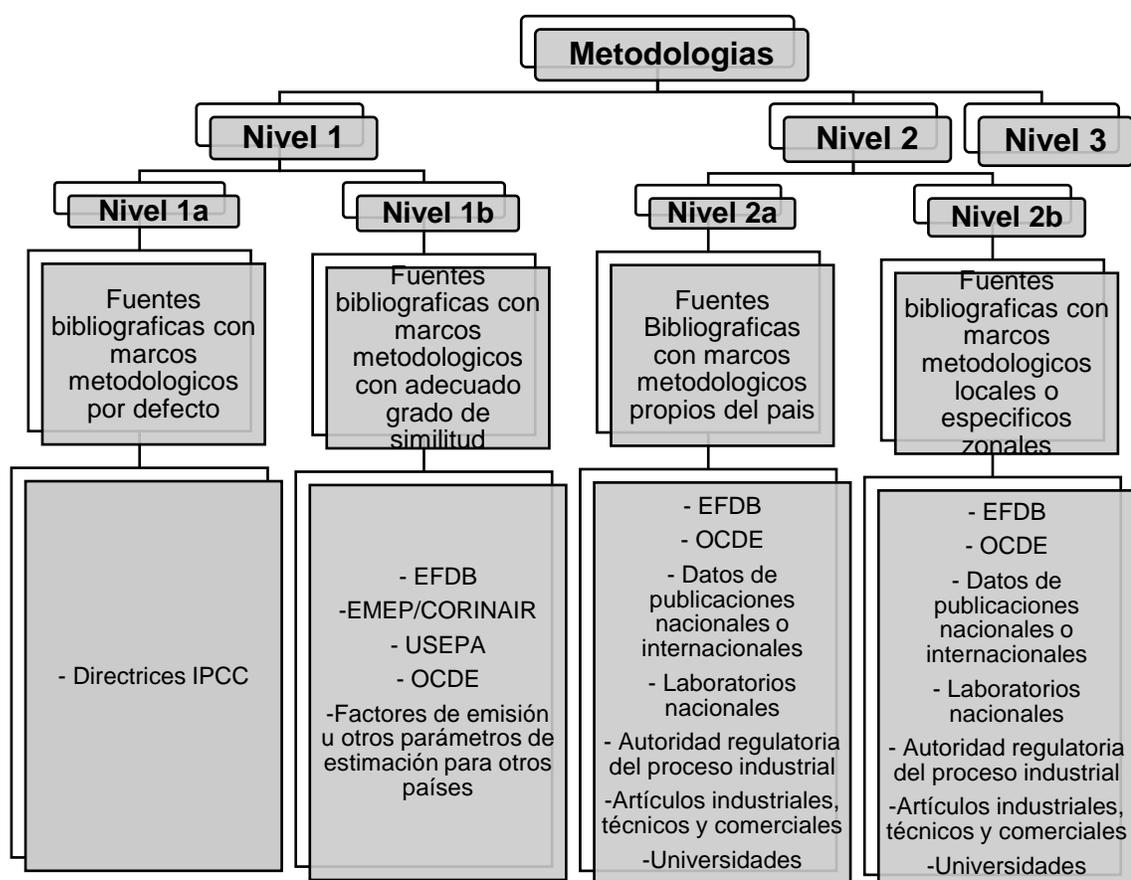


Figura 4: Fuentes bibliográficas de parámetros de estimación de impacto clasificadas según niveles metodológicos. Elaboración Propia.

1.6 Recalculo de estimaciones GEI

Debido a la necesidad constante de mayor exactitud y presión en los resultados para lograr un apropiado soporte técnico en la toma de decisiones en un terreno en constante actualización, el recalculo de emisiones GEI es una práctica frecuente en los sistemas de estimación. En el ámbito metodológico, (GHG Protocol, 2014b), reconoce 4 casos en los que se debe considerar el recalculo de las emisiones GEI para políticas u objetivos de mitigación:

- Si se realizan cambios significativos a los métodos utilizados en los métodos para cálculo de inventarios.
- Si se realizan cambios significativos a los métodos utilizados en los modelos para proyección de emisiones.
- Si existen mejoras en la precisión de factores de emisión o en los datos de actividad.
- Cambio en los valores de GWP.

En cualquiera de estos casos se debe considerar el recalculo tanto en el escenario de referencia o de línea base como en las emisiones del año reportado.

Para evaluar la posibilidad de recalculo en las estimaciones, (GHG Protocol, 2014b), recomienda la utilización del criterio de Umbral Significativo, el cual es un criterio cualitativo o cuantitativo definido por la propia organización para identificar cualquier

cambio relevante en los datos, límites del inventario, métodos de cálculo o cualquier otro factor de importancia debido al efecto individual o acumulativo de los cambios en uno o más parámetros en los niveles de emisiones.

1.7 Gestión del Riesgo

El recalcular de las estimaciones de emisiones GEI, se puede abarcar desde múltiples perspectivas de trabajo, una de ellas es desde la perspectiva de la Gestión del Riesgo, es decir, desde un enfoque estructurado para abordar y manejar la incertidumbre dentro de los procesos, en este caso sobre los procesos involucrados en la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero.

La Gestión del Riesgo se encarga de identificar, analizar, evaluar y tratar los riesgos con el objetivo de minimizar la incertidumbre que surge durante la consecución de un objetivo en variados ámbitos del desarrollo organizacional (ISO, 2009). La herramienta de Gestión del Riesgo descrita en la ISO 31.000 busca unificar o estandarizar criterios a fin de optimizar su desarrollo y ampliarlo a cualquier tipo de organización, mediante la identificación, el análisis, la evaluación y el tratamiento del riesgo, tal como se describen en la **Figura 5**.

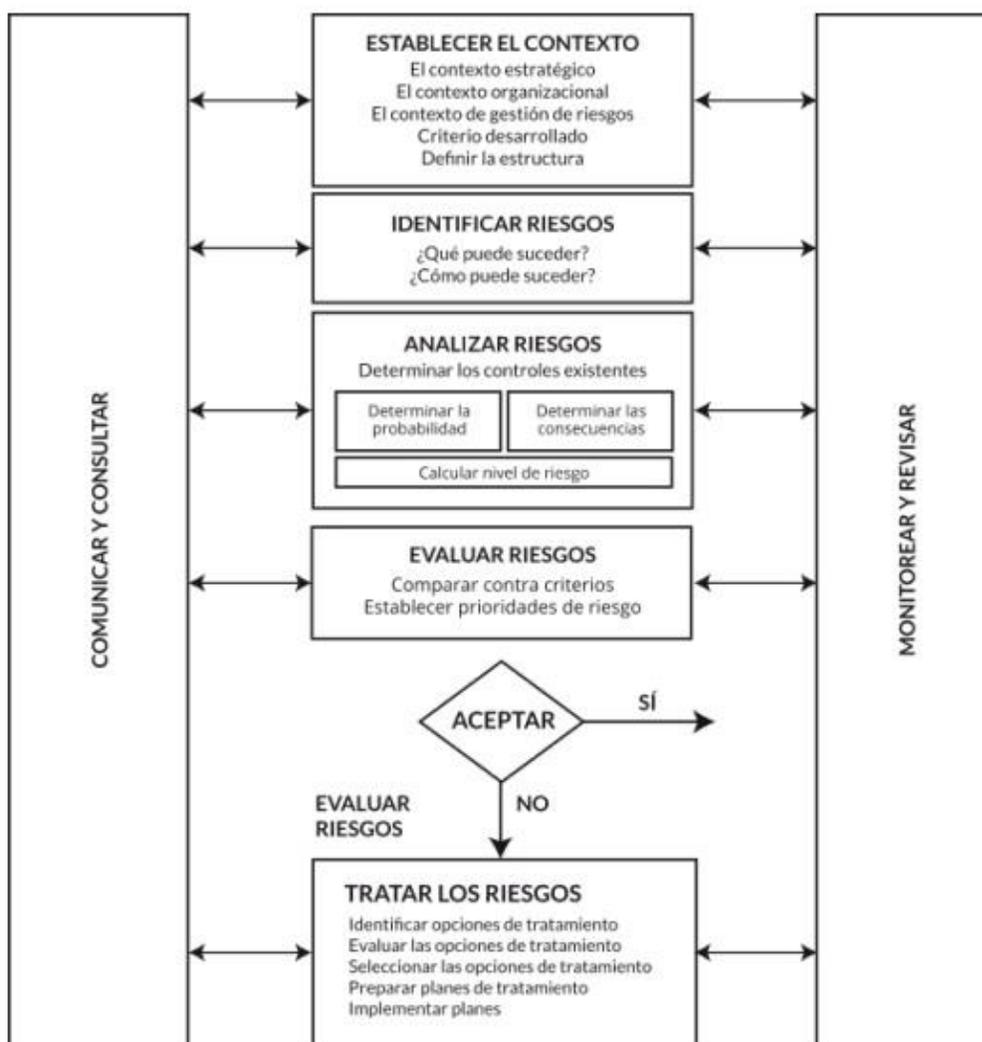


Figura 5: Esquema de Gestión del Riesgo de Herramienta ISO 31.000. Extraído de (ISO, 2009)

1.8 Incertidumbre

La gestión de la incertidumbre cumple un papel relevante en la toma de decisiones y sobre el avance de las políticas aplicadas para el cumplimiento del objetivo de mitigación propuesto.

En términos generales la incertidumbre consta de dos componentes principales, el error sistemático y el error aleatorio. El error sistemático, implica falta de exactitud de los resultados producto de un incorrecto diseño del estudio, incorrecto manejo de los métodos de muestreo o, en el caso de las estimaciones de emisiones, incorrecta selección de factores de emisión. Por otro lado, el error aleatorio se considera una falta de precisión originada por una variación aleatoria por encima o por debajo de un valor medio.

En términos generales, la gestión de la incertidumbre en la estimación de emisiones GEI se realiza, tal como se muestra en la **Figura 6**, considerando las etapas de conceptualización, recopilación de información, modelos y supuestos, donde cada etapa puede contribuir a la acumulación de incertidumbre.

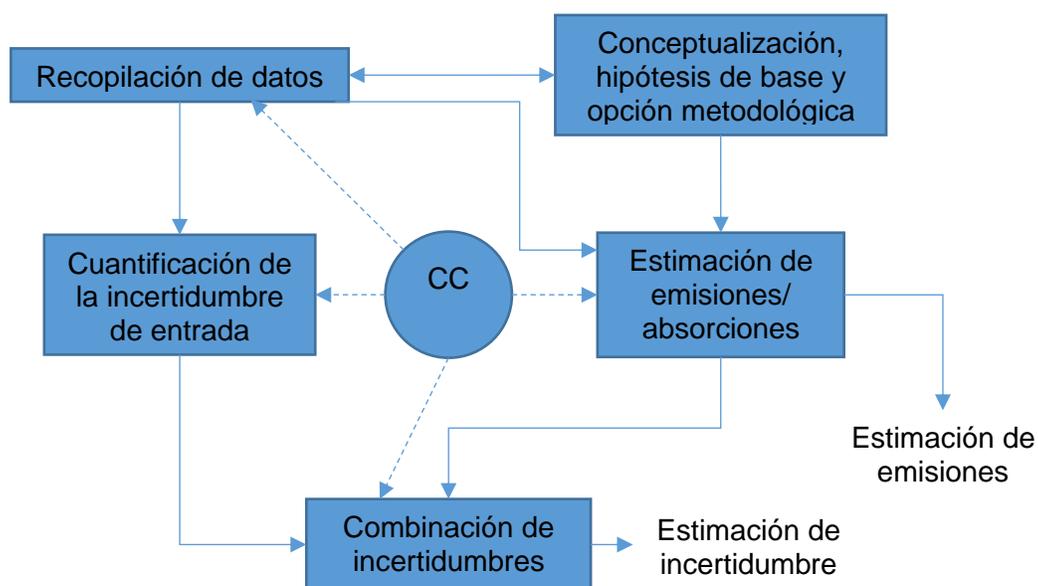


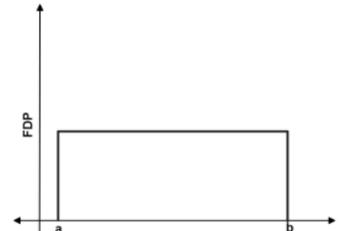
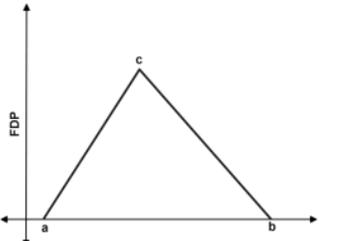
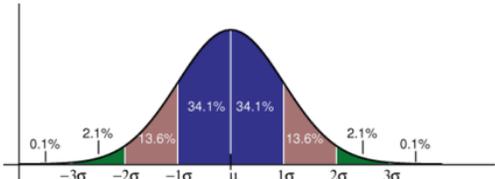
Figura 6: Estructura general de un análisis de incertidumbre genérico. Extraído de: (IPCC, 2006a).

La incertidumbre se puede describir en forma de la función de distribución de probabilidad (FPD) de valores probables para una constante fija cuyo valor no se conoce con exactitud. La FDP describe la manera en que se distribuye la probabilidad de encontrar un valor dentro de un rango determinado (Wackerly, Mendenhall, & Scheaffer, 2008).

El tipo de PDF dependerá de factores como el dominio de la función (por ejemplo, puede tener valores tanto positivos como negativos, o solo valores no negativos), el rango de la función (por ejemplo, es el rango estrecho o cubre órdenes de magnitud), forma (por ejemplo su simetría) y procesos que generaron los datos (por ejemplo procesos aditivos, multiplicativos) (IPCC, 2006a). La **Tabla 3** describe algunas de las FDP más comunes

en los reportes de parámetros de estimación de emisiones. Conocer la FDP asociada a cada parámetro permite obtener predicciones más adecuadas al momento de aplicar metodologías de combinación de incertidumbre (tales como la Simulación de Monte Carlo).

Tabla 3: Funciones de Distribución de Probabilidad: Uniforme, Triangular y Normal. Elaboración Propia

| Tipo de distribución | Función de distribución de probabilidad | Incertidumbre reducida |
|----------------------|--|-------------------------------|
| Uniforme |  | $U = \frac{b - a}{\sqrt{12}}$ |
| Triangular |  | $U = \frac{b - a}{\sqrt{24}}$ |
| Normal |  | $U = \frac{U(95\%)}{1,96}$ |

1.8.1 Simulación de Monte Carlo

Una de las metodologías implementadas para el análisis de la propagación de incertidumbre es la Simulación de Monte Carlo la cual se emplea para la estimación de incertidumbre en escenarios complejos, es decir, aquellos donde se combina un gran

número de parámetros o donde cada parámetro está definido por diferentes funciones de distribución de probabilidad difícilmente puede ser definido por la combinación.

La Simulación de Monte Carlo corresponde una modelación matemática probabilística mediante la generación de valores semi-aleatorios de las variables analizadas según sus funciones de densidad de probabilidad aplicando múltiples repeticiones.

Usualmente, estas simulaciones se construyen bajo el supuesto de que las variables estudiadas son independientes entre sí, por lo que los resultados pueden no ser representativos en casos de variables correlacionadas.

Una simulación de Monte Carlo, como la descrita en la **Figura 7**, consta de cinco etapas claramente definidas donde sólo las dos primeras exigen actividad del usuario; las demás son manejadas por el programa de computadora (IPCC, 2006a), las cuales consisten en:

- **Etap 1 – Especificar las incertidumbres en las categorías de fuentes.**
- **Etap 2 – Configuración de parámetros en el programa informático** (El cálculo del inventario de emisiones, las funciones de densidad de probabilidades y los valores de correlación).
- **Etap 3 – Elección de las variables aleatorias.** (Generación de números aleatorios y soluciones de los modelos matemáticos).
- **Etap 4 – Estime las emisiones.**
- **Etap 5 – Repetición y control de los resultados.**

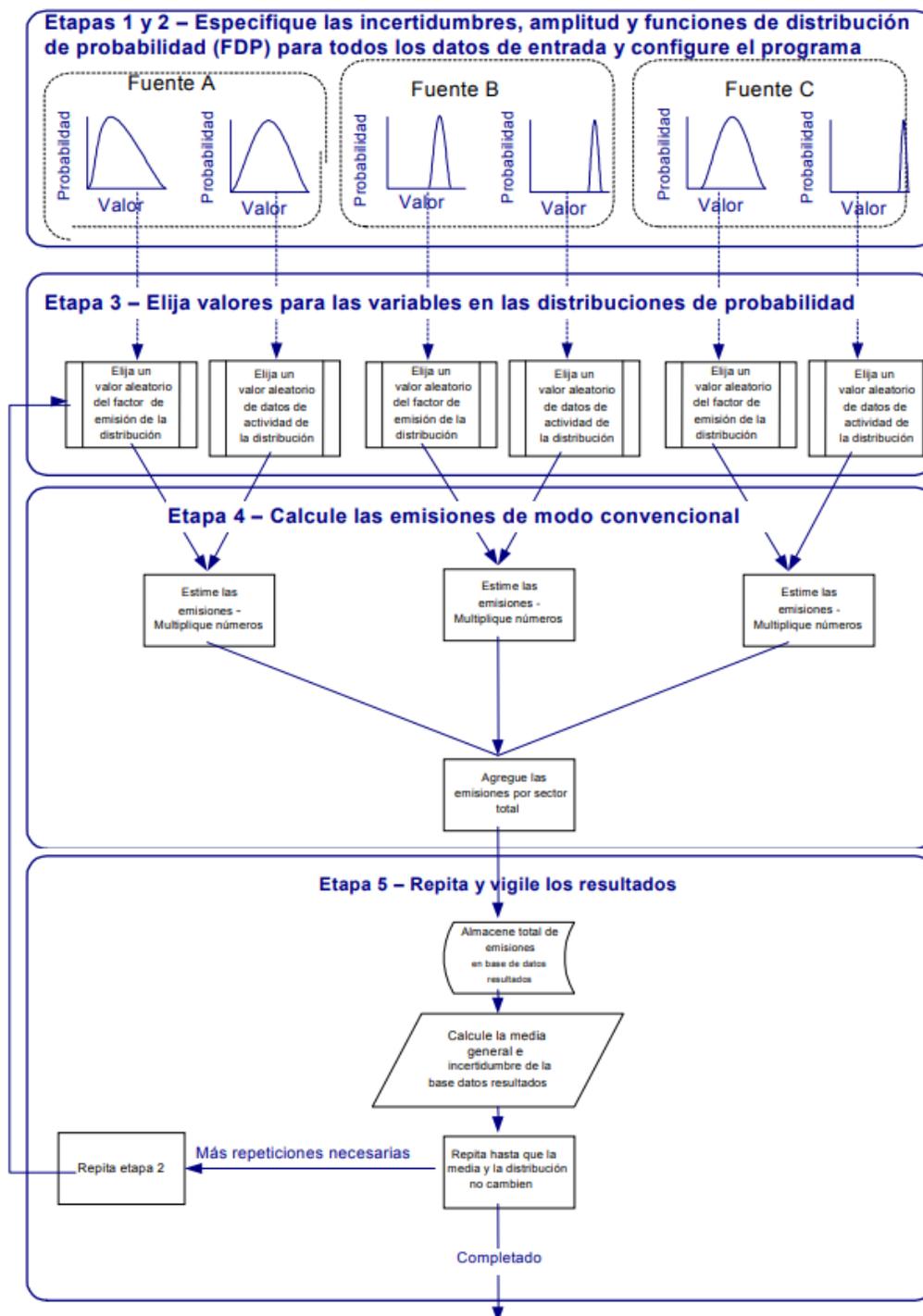


Figura 7: Diagrama de método de Simulación de Monte Carlo (IPCC, 2006a).

1.9 Objetivos

1.9.1 Objetivo General:

- Evaluar procedimientos para mejorar parámetros y modelos utilizados el Sistema de Estimación de Impactos de Gases de Efecto Invernadero, para Acuerdos de Producción Limpia, aplicando criterios ambientales y declarando intervalos de confianza.

1.9.2 Objetivos Específicos:

1. Seleccionar las Principales Categorías del Sistema de Estimación de Impactos para instrumentos de mitigación de emisiones en base a criterios ambientales.
2. Evaluar el estado actual de los modelos y parámetros utilizados en sistema de estimación de impactos para Acuerdos de Producción Limpia.
3. Mejorar los modelos y parámetros de estimación de impactos sobre la base de criterios ambientales de la realidad chilena.

2 METODOLOGÍA

2.1 Aplicación de la herramienta de Gestión de Riesgo

Se adaptó y aplicó a partir de la herramienta de Gestión de Riesgo (ISO, 2009) el cual es un esquema de trabajo para evaluar posibilidades de mejora en las metodologías utilizadas en el sistema de estimación de emisiones GEI, descrita en mayor profundidad en la sección **1.7 Gestión del Riesgo**.

Se siguieron las recomendaciones descritas por la herramienta ISO 31000 para la gestión del riesgo adaptadas para gestión y evaluación de parámetros y modelos en la estimación de emisiones GEI, tal y como se describe en la **Figura 8** que considero las etapas principales: Selección de muestra, Generación de categorías, Aplicación de Modelos Validados, Evaluación de Parámetros de Estimación y Cuantificación de la incertidumbre, las que se describen brevemente a continuación.

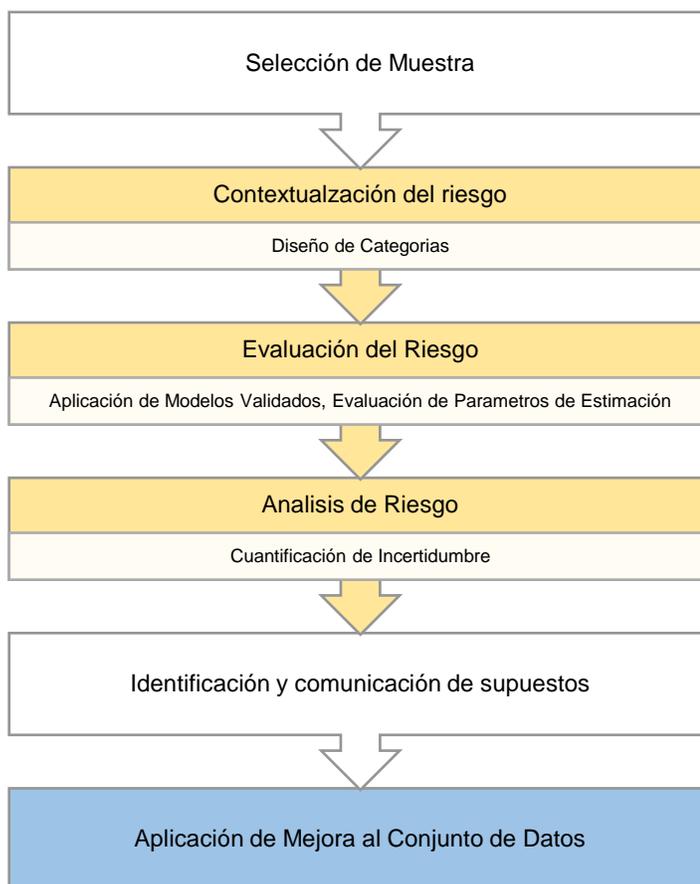


Figura 8: Esquema de evaluación del riesgo en la estimación de emisiones GEI.
Elaboración Propia.

2.2 Selección de muestra

Se seleccionó la muestra a partir de la base de datos de Acuerdos de Producción Limpia considerados dentro del Reporte de Estimación de Impacto 2017 (ASCC, 2018b). Para seleccionar la muestra se aplicó un muestreo no probabilístico basado en las necesidades de información detectadas en los por la Agencia de Sustentabilidad y

Cambio Climático en el Reporte NAMA (ASCC, 2018b) sobre la estimación de impactos GEI.

En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador. Aquí el procedimiento no es mecánico ni se basa en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de un investigador o de un grupo de investigadores y, desde luego, las muestras seleccionadas obedecen a otros criterios de investigación. (Hernandez Sampieri, 1998)

A partir de los 150 Acuerdos de Producción Limpia firmados hasta la fecha, se seleccionaron 9 Acuerdos de Producción Limpia a partir 7 criterios con impacto significativo sobre la estimación de emisiones GEI:

- **Criterio 1:** Magnitud de resultados:

Se seleccionaron APL representativos de las categorías ASCC donde se registraron las mayores magnitudes de reducciones en el periodo acumulado 2012-2017.

- **Criterio 2:** Relevancia de factores atípicos:

Se seleccionaron los APL representativos de las categorías ASCC donde los factores atípicos tuvieron mayor relevancia relativa en el periodo acumulado 2012-2017.

- **Criterio 3:** Variación metodológica:

Se seleccionaron APL que se apliquen en similares actividades económicas, que realicen acciones de mitigación diferentes para el mismo tipo de residuos donde se sospeche que la metodología de mitigación puede tener influencia en la estimación de emisiones.

- **Criterio 4:** Sospechas de variedad sectorial:

Se seleccionaron APL de distintas actividades económicas, que generen residuos similares donde se sospeche que el sector económico puede tener influencia en la estimación de emisiones.

- **Criterio 5:** Sospecha de variación territorial:

Se seleccionaron APL de actividades económicas similares, que realicen similares acciones de mitigación y que pertenezcan a zonas geográficas distintas donde se sospeche que la localización geográfica pueda tener una influencia significativa en la estimación de emisiones.

- **Criterio 6:** Sospecha de Error sistemático:

Se seleccionaron APL donde se sospecha error sistemático en la estimación de emisiones.

- **Criterio 7:** Categorías de acciones que no existen, pero pueden ser de interés:

Se seleccionaron APL donde se realizan acciones de mitigación que no son consideradas en la estimación de emisiones o no se ha profundizado acerca del impacto de estas emisiones. Particularmente respecto a actividades del tratamiento de residuos sólidos como: reciclaje y reutilización, entre otros.

2.3 Diseño y Configuración de Categorías

Se catalogaron las acciones y metas comprometidas por la muestra de Acuerdos de Producción Limpia, con efecto sobre las emisiones GEI, con el fin de generar conjuntos de acciones con flujos de procesos y línea base de emisiones comunes, a partir de las categorías de reporte de (ASCC, 2017b).

Las categorías generadas se asociaron a marcos metodológicos descritos para Proyectos CDM descritos en (UNFCCC, 2016a) detallando el correspondiente diagrama de flujo de procesos.

Para cada categoría se reportó el modelo matemático utilizado actualmente por la Agencia (desde ahora: modelos matemáticos ASCC) para la estimación de emisiones GEI y el correspondiente modelo matemático de estimación para proyectos CDM (desde ahora: modelos matemáticos CDM). Para ambos modelos matemáticos se consideró diferenciadamente la estimación del Escenario de Emisiones de Línea Base y Escenario de Emisiones con Proyecto, incluyendo las emisiones fugitivas en su correspondiente Escenario.

Adicionalmente se consideraron otros modelos matemáticos que contuviesen correcciones a los modelos de las metodologías CDM para generar escenarios alternativos.

2.4 Evaluación y Selección de Parámetros

Se diseñó una escala de puntuación de tipo Likert que consiste en un conjunto de ítems presentados en forma de afirmaciones o juicios, codificados de manera ordinal a fin de evaluar su comportamiento de manera estadística (Hernandez Sampieri, 1998).

De acuerdo al esquema elaborado en la **Figura 4** se asignó un sistema de puntuación descrito en la **Tabla 4** para evaluar las categorías bibliográficas reconocidas por (IPCC, 2006a), la cual se implementó para evaluar las fuentes bibliográficas de los parámetros actualmente utilizados por la agencia y se generó una propuesta de mejora de los

parámetros considerando las bibliografías que alcancen una puntuación mayor que aquellos utilizados actualmente por la agencia, empleando como criterio de búsqueda bibliografía relacionada con las metodologías de selección de parámetros de proyectos implementados en Chile dentro del marco de acuerdos internacionales validados por organismos competentes, a su vez se incluirá bibliografía científica que pueda aportar en la identificación de criterios y en el reporte de incertidumbre.

Tabla 4: Escala de Likert para valoración de Fuentes Bibliográficas que contienen parámetros de estimación de emisiones GEI.

| Categoría de Fuente Bibliográfica | Puntuación |
|---|-------------------|
| No se considera | 0 |
| Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos por defecto | 1 |
| Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos con adecuado grado de similitud | 2 |
| Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos nacionales | 3 |
| Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos locales o específicos zonales | 4 |

Para el caso de la implementación de parámetros correspondientes a otros países de similares características, se empleó como criterio adicional de búsqueda el “escenario de mitigación más conservador”, es decir, aquel donde la mitigación de emisiones es menor.

La “Propuesta de mejora” se evaluará considerando 4 criterios:

- **Criterio 1:** Calificación general de la “Propuesta de Mejora”.

- **Criterio 2:** Cantidad total de parámetros nuevos considerados para la estimación de emisiones en la correspondiente categoría.
- **Criterio 3:** Cantidad total de parámetros mejorados para la estimación de emisiones en la correspondiente categoría.
- **Criterio 4:** Variación de la cantidad de valores declarados como atípicos según el criterio descrito en la 2Ec/ 2/.

2.5 Estimación y reporte de Incertidumbre

Para cada parámetro recopilado se reportó la incertidumbre y la función de distribución de probabilidad correspondiente según sea reportada por la respectiva bibliografía fuente.

La incertidumbre general se estandarizo en forma de incertidumbre reducida el rango de incertidumbre utilizando las ecuaciones descritas en la **Tabla 3** de la sección **1.8 Incertidumbre**, según la FDP que corresponda: Uniforme, triangular o normal. En caso de parámetros que no reportaran incertidumbre se utilizó la desviación estándar de múltiples valores probables.

2.5.1 Simulación de Monte Carlo

La Simulación de Monte Carlo, descrita con mayor profundidad en la sección **1.8.1 Simulación de Monte Carlo**, opera como un método estadístico utilizado para resolver problemas matemáticos complejos a través de la generación de variables aleatorias (Gasca-Aragon, 2018).

La incertidumbre general asociada a los parámetros se estimó utilizando la Simulación de Monte Carlo sobre paquete de procesamiento de datos “Uncertainty” del software R-Project (Gasca-Aragon, 2018). Sobre cada parámetro se generaron conjuntos de números semi- aleatorios definidos dentro de la función de distribución descrita para cada parámetro utilizado.

La Simulación de Monte Carlo trabajo sobre una matriz de 10.000 números semi-aleatorios definidos sobre la función individual de cada parámetro según la recomendación de (IPCC, 2000) y un estándar de 10 grados de libertad para cada variable como sugiere la herramienta (Gasca-Aragon, 2018). Se consideró como supuesto de la simulación la independencia de cada variable entre sí.

Se utilizó el siguiente algoritmo general para diseñar la Simulación de Monte Carlo:

1. Determinar las variables de entrada: Parámetro, Media, Incertidumbre Individual, Función de Distribución de Probabilidad.
2. Generación de matriz de correlación.
3. Definición de función global de estimación de impacto GEI.
4. Generación de matriz de parámetros aleatorios.
5. Cálculo de media aritmética más probable (μ).
6. Cálculo de intervalo de confianza (95%) más probable (U).
7. Cálculo de contribución a la incertidumbre general de los parámetros individuales.
8. Generación de función de distribución de densidad de probabilidad.

Para cada categoría se reportaron los supuestos considerados en el proceso de estimación, así como también la incertidumbre de los modelos según sea descrita en la bibliografía y la incertidumbre de parámetros determinada.

2.6 Evaluación de escenarios para la aplicación de mejora

Se recopilaron los datos de las actividades correspondientes a la muestra de APL contenidos en la Planilla de estimación de impacto de Acuerdos de Producción Limpia (ASCC, 2017a).

Se calculó la variación anual promedio para cada categoría en cada posible escenario con respecto al escenario de referencia y se evaluó como criterio un Umbral Significativo mayor a 5% para considerar relevante un recalcu sobre el Escenario de referencia.

3 RESULTADOS

3.1 Selección de Muestra

Considerando los criterios de magnitud de resultados, relevancia de factores atípicos, variación metodológica, sospechas de variedad sectorial, sospecha de variación territorial, sospecha de error sistemático y Categorías de acciones que no existen, pero pueden ser de interés., descritos en detalle en la sección **2.2 Selección de muestra**, a partir del total de 150 APL firmados a la fecha se seleccionaron 9 APL que cumplieran con al menos 2 de los criterios de selección de muestra descritos en la metodología. Los APL seleccionados, así como los criterios de selección de cada uno se encuentran sistematizados en la **Tabla 5**. El detalle de las metas comprometidas en cada acuerdo se encuentran sistematizadas en el **Anexo I**.

Tabla 5: Acuerdos de Producción Limpia seleccionados según criterios de selección de muestra. Elaboración Propia.

| N° APL | Nombre APL | Criterio 1 | Criterio 2 | Criterio 3 | Criterio 4 | Criterio 5 | Criterio 6 | Criterio 7 |
|--------|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 12 | Artesanal de Fabricación de Ladrillos | ✓ | | | ✓ | | | |
| 15 | Industria del Aserrió y Remanufactura de Madera (II) | | | | ✓ | | ✓ | |
| 16 | Productores de Pisco y Procesadores de Uva Pisquera III y IV Región | | | | ✓ | ✓ | | ✓ |
| 28 | Industria Procesadora de Frutas y Hortalizas | | ✓ | | ✓ | ✓ | | |
| 36 | Implementación de buenas prácticas agropecuarias en el sector de producción de huevos | | | ✓ | ✓ | | ✓ | |
| 37 | Productores de Aves de Carne | | | ✓ | | | | ✓ |
| 64 | Packing Maule | | ✓ | | ✓ | | | ✓ |
| 66 | Viveros Frutales | ✓ | | | ✓ | | | |
| 78 | Campus Sustentable | | | | ✓ | | | ✓ |

Criterio 1: Magnitud de resultados. **Criterio 2:** Relevancia de factores atípicos. **Criterio 3:** Variación metodológica. **Criterio 4:** Sospechas de variedad sectorial. **Criterio 5:** Sospecha de variación territorial. **Criterio 6:** Sospecha de error sistemático. **Criterio 7:** Categorías de acciones que no existen, pero pueden ser de interés.

3.2 Categorías y Modelos de Estimación de Impactos GEI de Estimación de Impactos GEI

La **Tabla 6** corresponde a las categorías principales diseñadas para clasificar las acciones y metas comprometidas por las empresas en los acuerdos de producción limpia que implicasen directa o indirectamente emisiones GEI y su correspondiente categoría de reporte. Estas categorías han sido asociadas a modelos matemáticos, validados por organismos internacionales referentes en la materia de mitigación del cambio climático, que han utilizados como herramientas de cálculo de los criterios evaluados, así como de la incertidumbre para cada categoría.

Tabla 6: Categorías de acciones de mitigación para compromisos APL y categorías de reporte utilizados correspondientes

| Categoría | Categoría ASCC "reportada" | Acción |
|--|---|--|
| Energía | Emisiones GEI por Actividades de quema del combustible en establecimiento o transporte. | Sustituir Combustible (Fuente Fija) |
| | Emisiones GEI por Actividades de quema del combustible en establecimiento o transporte. | Incrementar eficiencia (Fuente Fija) |
| | Emisiones GEI por consumo energía eléctrica desde red externa a establecimiento. | Incrementar eficiencia (Consumo Eléctrico) |
| | Emisiones GEI por Actividades de quema del combustible en establecimiento o transporte. | Incrementar eficiencia (Fuente móvil) |
| Manejo de refrigerantes | Emisiones GEI por uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono en establecimiento. | Disminuir Pérdida Sustituir Refrigerante |
| | Emisiones GEI por fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO ₂ de la Tierra | Aplicación Directa sobre suelo Compostaje |
| Manejo de residuos sólidos de Origen Biológico | Emisiones GEI por tratamiento biológico de los desechos sólidos. | Reusar para alimentación animal |
| | Emisiones GEI por eliminación de desechos sólidos | Sustituir Combustible Biomasa |
| Manejo de residuos sólidos de Origen No Biológico | Emisiones GEI por eliminación de desechos sólidos | Reciclar/ Reusar |
| Manejo de residuos líquidos | Emisiones GEI por tratamiento y eliminación de aguas residuales. | Tratamiento de aguas Aplicación Directa sobre suelo |
| | Emisiones GEI por tratamiento y eliminación de aguas residuales. | Almacenar Neutralización |
| Manejo de Residuos Peligrosos | Emisiones GEI por eliminación de desechos sólidos | Retiro Autorizado Reciclaje de Residuos Peligrosos |
| | Emisiones GEI por incineración e incineración abierta de desechos. | Incinerar |

La **Tabla 7** describe los modelos matemáticos derivados de las metodologías y herramientas para proyectos CDM que son utilizados para estimar las mitigaciones de emisiones GEI. Como en el caso de la categoría *Sustitución de Combustibles*, el modelo matemático deriva de la combinación de más de una metodología. Los diagramas de

flujo y las ecuaciones referenciadas en las metodologías se describen en detalle en el

Anexo III.

Tabla 7: Metodologías y herramientas de mitigación para la estimación de emisiones GEI. Elaboración propia.

| Categoría | Acción | Modelo CDM | Referencia |
|--|--|---------------------------|-------------------------------------|
| Energía | Sustituir Combustible (Fuente Fija) | AMS-III.B.; AMS-III.Z. | (UNFCCC, 2015b); (UNFCCC, 2015a) |
| | Incrementar eficiencia (Consumo Eléctrico y de Combustibles) | AMS-II.D. | (UNFCCC, 2013b) |
| | Incrementar eficiencia (Fuente móvil) | AMS-III.BC. | (UNFCCC, 2013a) |
| Manejo de refrigerantes | Sustituir Refrigerante | AM0071 | (UNFCCC, 2010) |
| Manejo de residuos sólidos de Origen Biológico | Línea Base (Sitios de disposición de residuos) | ACM0022 | (UNFCCC, 2014a) |
| | Aplicación Directa sobre suelo | - | (IPCC, 2006a) |
| | Compostaje | ACM0022 | (UNFCCC, 2014a) |
| | Reusar para alimentación animal | - | - |
| | Sustituir Combustible Biomasa | ACM0022 | (UNFCCC, 2014a) |
| Manejo de residuos sólidos de Origen No Biológico | Reciclar/ Reusar | AMS-III.AJ. | (UNFCCC, 2017d) |
| Manejo de residuos líquidos | Tratamiento de aguas | ACM0014 | (UNFCCC, 2016b) |
| | Aplicación Directa sobre suelo | - | (IPCC, 2006a) |
| Manejo de Residuos Peligrosos | Almacenar | - | - |
| | Neutralización | - | - |
| | Retiro Autorizado | - | - |
| | Reciclaje de Residuos Peligrosos | AMS-III.AJ. | (UNFCCC, 2017d) |
| | Incinerar | - | (IPCC, 2006a) |

En algunos casos los modelos matemáticos descritos en la **Tabla 7** correspondientes a diferentes categorías de mitigación comparten parámetros entre sí, por lo que la evaluación de los parámetros en estas categorías es estudiada de manera conjunta, como ocurre para el caso de las categorías Sustitución de Combustible y Eficiencia Energética. Por otro lado, en el caso de la categoría de Manejo de residuos sólidos de Origen Biológico se debe estudiar el escenario de línea base y las acciones de mitigación por separado para una mejor comprensión de los efectos individuales de cada parámetro.

En cada caso, se generaron dos conjuntos:

- Situación Actual: Comprende a aquellos parámetros utilizados en la actualidad en la estimación de impacto GEI por la Agencia
- Propuesta de Mejora: Comprende a aquellos parámetros sugeridos como más adecuados para la estimación de impacto GEI.

En el caso de la categoría Manejo de residuos sólidos de Origen No Biológico no había sido aplicado una metodología para estimar mitigación de emisiones GEI por lo que solo se establece el conjunto de propuesta de mejora.

En el **Anexo VII** se detallan las fuentes bibliográficas y las puntuaciones individuales para cada parámetro considerado para la categoría energía.

3.3 Categoría: Energía

La categoría “Energía” considera emisiones por combustión de combustibles de fuente fija y móvil, así como las emisiones indirectas por consumo eléctrico por parte de la

contraparte adherente al APL. De los 53 tipos de combustibles diferentes considerados para la estimación de inventarios de emisiones por (IPCC, 2006a), la muestra de APL's utilizada considera 7 tipos de combustibles: **Leña**, **Diésel**, **Carbón**, **Queroseno**, **Gasolina** (indistintamente reportado como bencina), **GNL** (Gas Natural Licuado) y **GLP** (Gas Licuado de Petróleo). Por su parte, dentro de la categoría "Energía", se incluyeron las emisiones asociadas al consumo eléctrico dentro del Sistema Interconectado Central (**SIC**) y el Sistema Interconectado del Norte Grande (**SING**).

3.3.1 Evaluación de Parámetros

Como se detalla en la **Tabla 8**, que muestra los criterios de evaluación descritos en la sección 2.4 Evaluación y Selección de Parámetros, se consideró dentro de la propuesta de mejora 3 parámetros con puntuaciones mayores dentro de la escala de Likert y la incorporación de 6 parámetros considerados como parte del nuevo modelo aplicado para la Estimación de emisiones GEI, los cuales corresponden a la inclusión del cálculo de emisiones fugitivas y la consideración de la fracción de biomasa no renovable.

La **Figura 9**, indica que la moda estadística de la propuesta de mejora se encuentra en la puntuación 2 (Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos con adecuado grado de similitud.) de la escala de Likert aplicada, influenciada por la incorporación de nuevos parámetros de este nivel junto a la aplicación de parámetros de puntuación 3 (Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos nacionales) en particular para combustibles leña, carbón y GNL.

Tabla 8: Criterios de evaluación para propuesta de mejora sobre aplicación de parámetros para la categoría energía.

| Criterio | Resultado |
|----------------------------------|-----------|
| Calificación Situación Actual | 1,2 |
| Calificación Propuesta de Mejora | 2,0 |
| Parámetros Incorporados | 6 |
| Parámetros Mejorados | 3 |

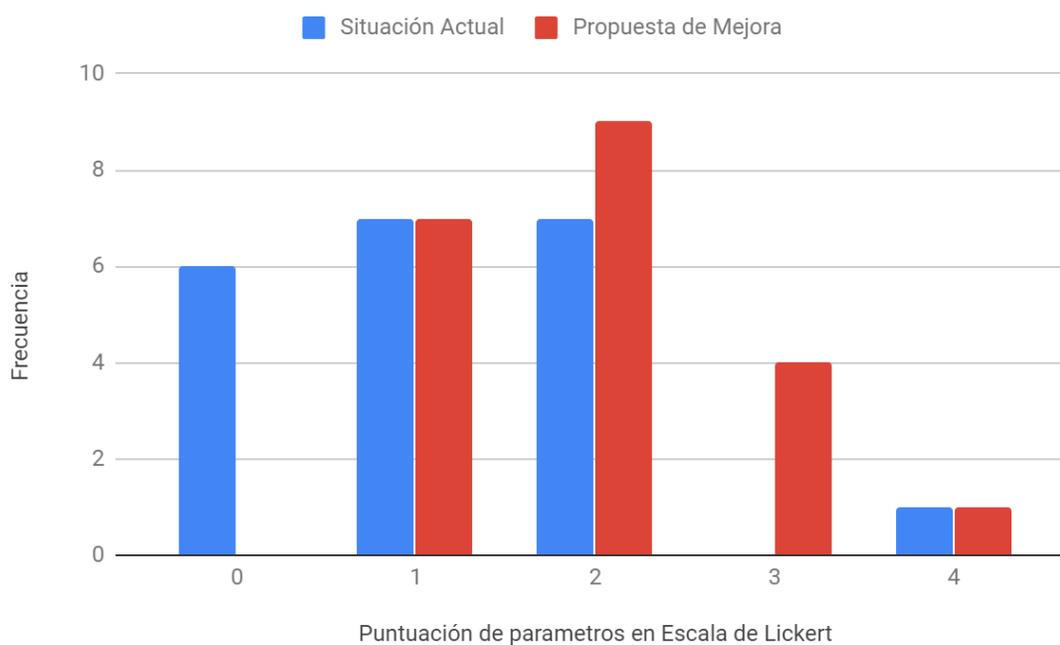


Figura 9: Histograma de frecuencia correspondiente a la evaluación mediante escala de Likert de parámetros asociados a categoría Energía, según las puntuaciones **0:** No se considera. **1:** Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos por defecto. **2:** Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos con adecuado grado de similitud. **3:** Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos nacionales. **4:** Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos locales o específicos zonales

En contraposición al modelo utilizado para la elaboración del informe (ASCC, 2018b) el modelo (UNFCCC, 2013b) considerado para la propuesta de mejora contiene dos diferencias que se deben analizar en detalle: La exclusión de las emisiones de Metano y óxido nítrico, y la inclusión de las emisiones fugitivas up-stream.

Para evaluar el criterio de exclusión sobre las emisiones de CH₄ y N₂O considerada por el modelo (UNFCCC, 2013b) se consideraron los criterios de (IPCC, 2000) para la elección de categorías principales descritos en el **Anexo V** el cual estimo estas emisiones bajo el 1% considerándolas poco significativas.

Por su parte, la incorporación de emisiones fugitivas up-stream considera la incorporación de las emisiones producidas antes de la combustión, es decir, aquellas correspondientes a las emisiones por la producción y transporte de los combustibles estudiados.

Para el caso de emisiones por combustión de leña corresponde a la Fracción de biomasa determinada en el **Anexo IV** hace referencia al consumo de biomasa que contribuye efectivamente a la deforestación. Por su parte, la fracción de biomasa no renovable relaciona la biomasa forestal disponible para el consumo y aquella que se encuentra protegida por políticas públicas (UNFCCC, 2007).

La clasificación y reporte de los combustibles es extraída directamente de los informes de impacto de los APL por lo que presentar ambigüedad sobre el detalle de cada tipo de combustible. En el caso del carbón, estos informes no declaran el tipo de carbón utilizado, por lo que la elección del factor de emisión más cercano a la realidad es resultado de la aplicación de supuestos. Una de las consideraciones de la propuesta de

mejora fue el cambio de categoría de carbón utilizado de carbón del tipo “Otro bituminoso” a carbón sub-bituminoso considerado el de mayor consumo en Chile según (IEA, 2018).

3.3.2 Estimación de Emisiones y variación de recalcu

En la **Tabla 9** se reportan las reducciones totales de emisiones GEI en unidades de ktCO₂e en los escenarios “Situación actual” y “Propuesta de mejora” durante el periodo 1999-2017. Se puede apreciar que para cada combustible la variación porcentual de las emisiones al aplicar la propuesta de mejora fue superior al umbral de 5% utilizado como referencia por lo que se considera significativa la aplicación de la propuesta de recalcu. Para el caso de las emisiones por consumo eléctrico, los factores ya implementados fueron considerados como los más adecuados según el sistema de puntuación por lo que no se realizó una propuesta de mejora.

Tabla 9: Reducciones GEI según tipo de fuente energética en el periodo 1999-2017.

| Tipo de Fuente energética | Reducciones GEI [ktCO ₂ e] | | Variación de recalcu |
|---------------------------|---------------------------------------|---------------------|----------------------|
| | Situación Actual | Propuesta de mejora | |
| Leña | 16,48 | 15,09 | 8,42% |
| Diésel | -50,77 | -43,14 | 15,02% |
| Carbón ⁴ | 15.590 | 12.600 | 19,18% |
| Queroseno | 0,21 | 0,27 | -26,14% |
| Gasolina | 0,26 | 0,23 | 8,36% |
| GNL | 0,0010 | 0,0009 | 10% |
| GLP | 40,0 | 44,4 | -11,14% |

⁴ Se contabilizan las reducciones de emisiones GEI incluyendo valores atípicos.

3.3.3 Estimación de Incertidumbre

En la **Tabla 10** se reportan las incertidumbres calculadas para el intervalo de confianza del 95% mediante la simulación de Monte Carlo. A partir de la estimación de incertidumbre para emisiones por combustión de leña se determinó que el principal contribuyente a la acumulación de incertidumbre general corresponde a la Fracción de Biomasa No Renovable (F_{NRB}) que contribuyo con el 83% de la incertidumbre. Por su parte, la estimación de la Fracción de Biomasa No Renovable corresponde a una primera aproximación donde la metodología aplicada para la determinación no corresponde a la última versión (UNFCCC, 2017a) debido a la falta de coherencia entre los valores entregados por las fuentes para la elaboración del parámetro. Pese a aquello, el marco metodológico utilizado (CDM Executive Board, 2012) ha sido empleado para la determinación de la Fracción de Biomasa No Renovable en otros países de Latinoamérica por otros autores (Microsol, 2016).

Tabla 10: Incertidumbre para el intervalo de confianza de 95% de la categoría Energía por tipo de combustible a partir de Simulación de Monte Carlo.

| Fuente de emisiones | Incertidumbre calculada para IC (95%) |
|---------------------|---------------------------------------|
| Leña | ± 98% |
| Carbón | ± 26% |
| Gasolina | ± 26% |
| Diésel | ± 26% |
| Queroseno | ± 25% |
| GLP | ± 25% |
| GNL | ± 17% |
| Electricidad | - |

En el caso de la incertidumbre de las emisiones por combustión de leña, el principal contribuyente a la acumulación de incertidumbre general fue el Factor de Emisión de Dióxido de Carbono (FE_{CO_2}) que contribuyó al 57%. La elaboración de parámetros más precisos de Factor de Emisión queda planteada por fuera de los límites de este informe y corresponde a la elaboración de parámetros de Nivel 3 (IPCC, 2006a).

Para el resto de los combustibles la principal fuente de acumulación de incertidumbre corresponde al potencial de calentamiento global (GWP_{CO_2}) que contribuyó entre el 89% y 99%. Este, es utilizado de manera universal en los informes de inventarios por lo que no resulta posible buscar alternativas de mejora por fuera de los informes de evaluación de IPCC.

Los factores de emisión de la red eléctrica no reportan incertidumbre, sin embargo, se encuentran validados por el Comité Ejecutivo de CDM como línea base estandarizada para proyectos de este tipo en Chile (ICONTEC, 2010).

3.4 Categoría: Manejo de residuos sólidos de Origen Biológico

3.4.1 Escenario de Línea Base

El escenario de Línea Base de la categoría de Manejo de residuos sólidos de Origen Biológico consideró dos tipos de Sitios de Disposición de Residuos Sólidos (SWDS) en base a la catalogación empleada por (MMA, 2017a): **Rellenos Sanitarios**, los cuales se regulan en el marco jurídico de (DS 189, 2009) y clasificados en las categorías de emisiones IPCC como Sitios Gestionados; **Vertederos**, regulados según (Resolución

2444, 1980) y clasificado según la categoría IPCC de Sitios No Gestionados. Considerando, los 8 tipos de residuos catalogados por (IPCC, 2006a) la muestra incluyó: **Papel y Cartón⁵, Madera, Alimento, Domiciliario⁶, Poda.**

Como se detalla en la **Tabla 11**, que muestra los criterios de evaluación descritos en la sección 2.4 Evaluación y Selección de Parámetros, se consideró dentro de la propuesta de mejora 17 parámetros con puntuaciones mayores dentro de la escala de Likert que corresponden principalmente a la sustitución de parámetros por defecto de la directrices (IPCC, 2006a) por parámetros extraídos del informe (MMA, 2014).

Tabla 11: Criterios de evaluación para propuesta de mejora sobre aplicación de parámetros para la Línea Base de la categoría de Manejo de residuos sólidos.

| Criterio | Resultado |
|----------------------------------|------------------|
| Calificación Situación Actual | 1,2 |
| Calificación Propuesta de Mejora | 2,6 |
| Parámetros Incorporados | 1 |
| Parámetros Mejorados | 17 |

La **Figura 10**, muestra que la moda estadística de la propuesta de mejora se encuentra en la puntuación 4 (Fuentes bibliográficas específicas zonales) de la escala de Likert

⁵ Por simplificación del modelo y para evitar la doble contabilidad, las emisiones producidas por la descomposición de desechos de papel y cartón se consideran solo como parte de la línea base de manejo de residuos sólidos de origen biológico, aunque las reducciones de emisiones se consideren como parte de las acciones de reciclaje y reúso.

⁶ La categoría de tipo de residuo domiciliario se construye sobre el supuesto de tener una composición similar a residuos sólidos municipales de (IPCC, 2006a). Para los países sudamericanos están declarados como: 44,9% Desecho de alimentos, 17,1% Papel y Cartón, 4,7% Madera, 2,6% Textiles, 0,7% Caucho/cuero, 10,8% Plástico, 2,9% Metal, 3,3% Vidrio, 13,0% Otros.

aplicada, donde se aprecia la sustitución de parámetros de puntuación 1 (parámetros por defecto de las guías (IPCC, 2006a)) por parámetros de puntuación 4 considerados propios de cada región del país. Además, se aprecia la incorporación de parámetros de puntuación 2 y 3 (Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos con adecuado grado de similitud y con marcos metodológicos nacionales respectivamente).

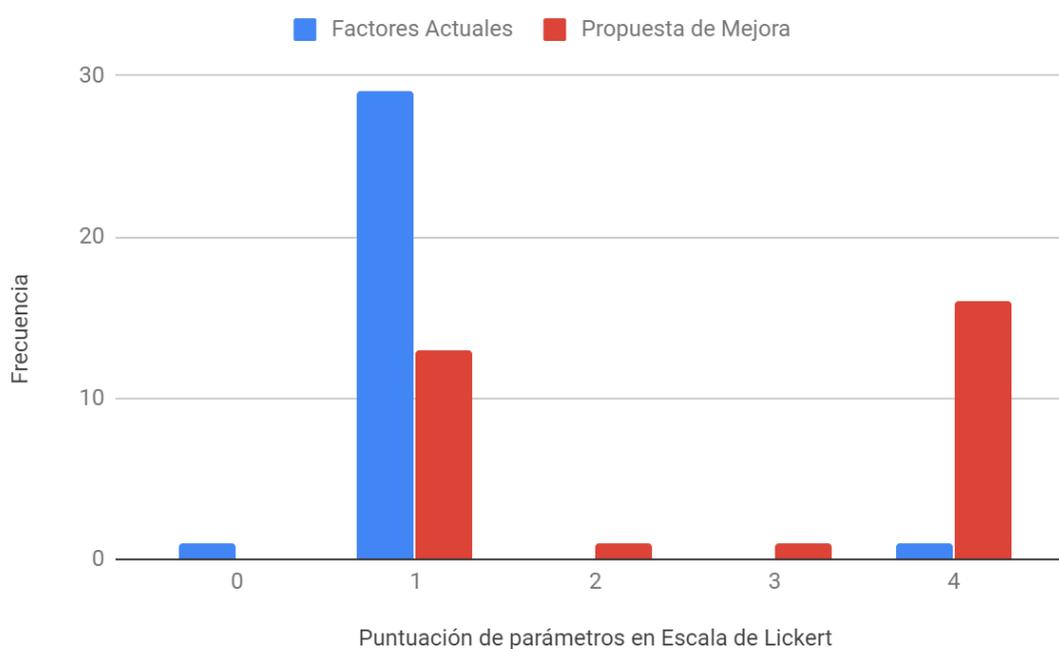


Figura 10: Histograma de frecuencia correspondiente a la evaluación mediante escala de Likert de parámetros asociados a Manejo de Residuos Sólidos de Origen Biológico: Escenario de Línea Base, según las puntuaciones **0:** No se considera. **1:** Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos por defecto. **2:** Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos con adecuado grado de similitud. **3:** Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos nacionales. **4:** Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos locales o específicos zonales

El modelo (UNFCCC, 2017c) empleado para la estimación de emisiones generadas en sitios de disposición de residuos sólidos como consecuencia de su descomposición

incorpora el factor de corrección de incertidumbre para el cálculo de la estimación de emisiones debido los límites del modelo matemático. (Santos, Romanel, & van Elk, 2015) estimaron a partir de simulaciones computacionales errores el intervalo de incertidumbre [+25%, -15%] sobre la media. Si bien, el factor de corrección de incertidumbre puede minimizar el efecto de la incertidumbre del modelo matemático, (Santos, Romanel, & van Elk, 2015) reconocen que es necesario generar modificaciones al modelo a fin de generar resultados más exactos.

3.4.1.1 Estimación de Emisiones y variación de recalcu

La **Tabla 12** donde se reportan las reducciones totales de emisiones GEI en unidades de ktCO₂e en los escenarios “Situación actual” y “Propuesta de mejora” durante el periodo 1999-2017. Se puede apreciar que para ambos tipos de Sitios de Disposición de Residuos Sólidos la variación entre ambos escenarios supero ampliamente el umbral de 5% utilizado como criterio por lo que el recalcu de las emisiones al aplicar la propuesta de mejora se considera altamente significativo.

Tabla 12: Estimación de emisiones y variación de recalcu para Sitios de Disposición de Residuos Sólidos (SWDS).

| Tipo de SWDS | Reducciones GEI [ktCO ₂ e] | | Variación de recalcu |
|--------------------------|---------------------------------------|---------------------|----------------------|
| | Situación Actual | Propuesta de mejora | |
| Relleno Sanitario | 0,146 | 0,03 | 76,41% |
| Vertedero | 196,543 | 36,83 | 81,26% |

3.4.1.2 Estimación de Incertidumbre

En la **Tabla 13** se reportan las incertidumbres calculadas para el intervalo de confianza del 95% mediante la simulación de Monte Carlo. Para la determinación de la incertidumbre en SWDS se utilizó como referencia las emisiones generadas por el decaimiento de primer orden de las emisiones como consecuencia de la disposición de residuos domiciliarios en SWDS durante los 5 primeros años, donde no se observó una significativa variabilidad temporal entre la incertidumbre de las estimaciones de emisiones de SDWS manteniendo el margen entre 118% y 109% para rellenos sanitarios y 101% y 93% para vertederos.

Tabla 13: Incertidumbre para el intervalo de confianza de 95% para emisiones de Sitios de Disposición de Residuos Sólidos a partir de Simulación de Monte Carlo.

| Tipo de SWDS | Incertidumbre relativa calculada para IC (95%) | | | | |
|--------------------------|--|-------|-------|-------|-------|
| | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 |
| Relleno Sanitario | ±118% | ±109% | ±113% | ±114% | ±109% |
| Vertedero | ±101% | ±101% | ±97% | ±98% | ±93% |

La amplia magnitud de la incertidumbre calculada se debe a la poca precisión con la que se pueden determinar los parámetros individuales pudiendo variar ampliamente dentro de una misma zona climática dentro de un mismo año y entre años debido a factores como temperatura, humedad, composición de los residuos, actividad bacteriana, entre otros (IPCC, 2006a).

En ambos casos el principal contribuyente a la acumulación de incertidumbre general fue la constante de descomposición de los residuos (k_j) aportando el 50% de la

incertidumbre en ambos casos. En la propuesta de mejora fue calificado con la máxima puntuación por lo que solo es esperable que parámetros de Nivel 3 puedan generar mediciones más precisas sobre la estimación de emisiones.

3.4.2 Compostaje

Se consideraron los 8 tipos de residuos catalogados por (IPCC, 2006a) los APL de la muestra consideraron 6 tipos de residuos tratados mediante compostaje: **Guano, Lodos, Alimento, Papel y Cartón, Poda y Domiciliario.**

3.4.2.1 Evaluación de Parámetros

No fue posible reconocer en la bibliografía valores más apropiados para este factor de emisión por lo que alternativas de mejoras sobre estos parámetros deben estar enfocados en metodologías de Nivel 3 a partir de mediciones directas en los establecimientos (IPCC, 2006a). Sin embargo, se logró clasificar todos los parámetros utilizados en la puntuación 2 de la escala de Likert aplicada.

3.4.2.2 Estimación de Incertidumbre

Para la categoría Manejo de residuos sólidos de origen orgánico mediante compostaje la incertidumbre calculada para el intervalo de confianza de 95% a partir de Simulación de Monte Carlo es estimado en 65% para el compostaje de residuos no orgánicos (papel y cartón, alimento y residuos domiciliarios), 31% para el compostaje de lodos y 85% para el compostaje de residuos orgánicos (podas).

Las estimaciones de incertidumbre de emisiones por compostaje de lodos fueron constituidas principalmente por la contribución individual del potencial de calentamiento global de Óxido Nitroso (GWP_{N_2O}) por lo que la incorporación de futuras mejoras sobre los parámetros tiene límites en la mejora sobre la precisión de las estimaciones.

En el caso de la incertidumbre general de compostaje de residuos de papel y cartón, alimento y domiciliario; el principal contribuyente a la incertidumbre corresponde al factor de emisión de Óxido Nitroso (FE_{N_2O}) entre el 55% y 56%, por lo que la mejora en la estimación de emisiones para este tipo de residuos está sujeta al desarrollo de factores de emisión

3.4.3 Combustible Biomasa

En los APL's considerados en la muestra solo se presentó una acción relacionada con la combustión de biomasa para generación energética donde se utilizó residuos de biomasa como combustible declarados como "Desechos orgánicos".

3.4.3.1 Evaluación de Parámetros

Como se detalla en la **Tabla 14Tabla 8**, que muestra los criterios de evaluación descritos en la sección 2.4 Evaluación y Selección de Parámetros, sobre esta categoría, solo se logró generar una propuesta de mejora mediante modificaciones en el factor de emisión de metano (factor de emisión y factor de corrección de incertidumbre).

Tabla 14: Criterios de evaluación para propuesta de mejora sobre aplicación de parámetros para mitigación por utilización de biomasa de la categoría de Manejo de residuos sólidos.

| Criterio | Resultado |
|----------------------------------|------------------|
| Calificación Situación Actual | 0,75 |
| Calificación Propuesta de Mejora | 1,25 |
| Parámetros Incorporados | 1 |
| Parámetros Mejorados | 1 |

3.4.3.2 Estimación de Emisiones y variación de recalcu

Como muestra la **Tabla 15** donde se reportan las reducciones totales de emisiones GEI en unidades de ktCO₂e en los escenarios “Situación actual” y “Propuesta de mejora” durante el periodo 1999-2017. Se puede apreciar que la propuesta de mejora generó una variación superior al 5% del umbral criterio, sin embargo, aplicar la propuesta de mejora puede considerarse poco significativa.

Tabla 15: Estimación de emisiones y variación de recalcu para Combustión de Biomasa.

| Combustión de Biomasa | Reducciones GEI [ktCO₂e] | | Variación de recalcu |
|------------------------------|--|---------------------|-----------------------------|
| | Situación Actual | Propuesta de mejora | |
| Desechos Orgánicos | -4,15 | -4,38 | 5,42% |

3.4.3.3 Estimación de Incertidumbre

La incertidumbre para el intervalo de confianza de 95% de la categoría manejo de residuos sólidos de origen orgánico mediante combustión de biomasa se estimó en $\pm 28\%$, donde se determinó que el principal contribuyente a la acumulación general de incertidumbre es el potencial de calentamiento global de CO₂.

3.4.4 Aplicación directa sobre suelo

Como parte de las acciones correspondientes a Aplicación directa sobre suelo se incluyeron los residuos: **Compost**, **Guano**, **Lodos**, **Alimento**, **Poda**, **RILES**⁷, **Domiciliario** y **Urea** (Solo como fertilizante de referencia).

3.4.4.1 Evaluación de Parámetros

Como se detalla en la **Tabla 16**, que muestra los criterios de evaluación descritos en la sección 2.4 Evaluación y Selección de Parámetros, sobre esta categoría, que considera la incorporación de las reducciones de aplicación de abono sintético al suelo por concepto de aplicación de residuos con función fertilizante. Como referencia fue utilizada la aplicación de Urea contabilizado de manera separada.

⁷ Se incluyó aplicación directa de RILES a suelo para simplificar el modelo

Tabla 16: Criterios de evaluación para propuesta de mejora sobre aplicación de parámetros para la Aplicación directa de residuos sobre suelos.

| Criterio | Resultado |
|----------------------------------|------------------|
| Calificación Situación Actual | 1,3 |
| Calificación Propuesta de Mejora | 1,8 |
| Parámetros Incorporados | 2 |
| Parámetros Mejorados | 2 |

La **Figura 11** refleja el desplazamiento de la moda estadística sobre los parámetros estudiados desde el primera a la segunda puntuación de la escala de Likert. Esto debido principalmente a la sustitución de parámetros sobre contenido de nitrógeno en los compuestos aplicados a los suelos desde parámetros de calificación 1 (por defecto) a parámetros de puntuación 3 (Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos nacionales)

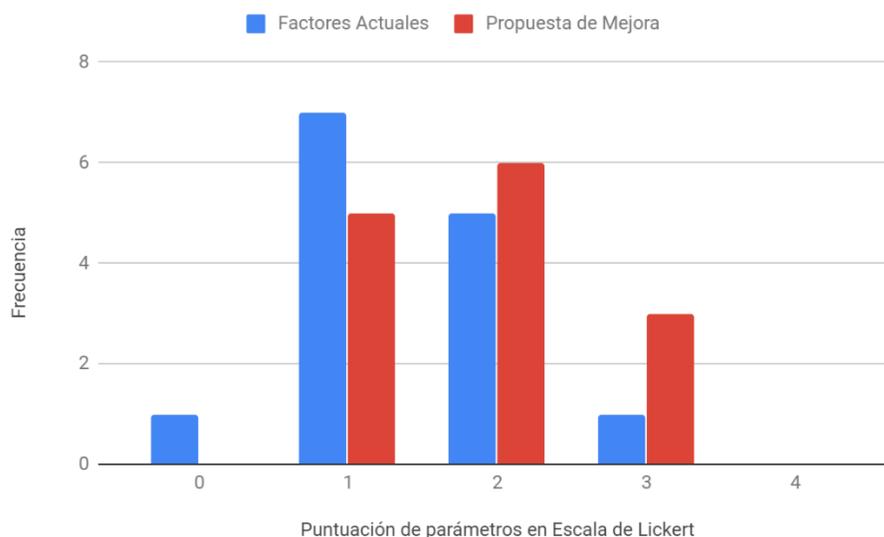


Figura 11: Histograma de frecuencia correspondiente a la evaluación mediante escala de Likert de parámetros asociados a Manejo de Residuos Sólidos de Origen Biológico: Aplicación Directa Sobre Suelo, según las puntuaciones **0:** No se considera. **1:** Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos por defecto. **2:** Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos con adecuado grado de similitud. **3:** Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos nacionales. **4:** Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos locales o específicos zonales.

3.4.4.2 Estimación de Emisiones y variación de recalcu

La **Tabla 17** donde se reportan las reducciones totales de emisiones GEI en unidades de ktCO₂e en los escenarios “Situación actual” y “Propuesta de mejora” durante el periodo 1999-2017. Se puede apreciar que, para todos los residuos tratados mediante Aplicación directa de residuos sobre suelo, se reportaron variaciones de recalcu superiores al umbral de significancia del 5%. Destacan principalmente Guano y Residuos Domiciliarios con variaciones cercanas al 45% debido principalmente al cambio del parámetro de contenido de nitrógeno utilizado.

Tabla 17: Estimación de emisiones y variación de recalcu para Aplicación directa de residuos sobre suelo.

| Residuo Aplicado a Suelo | Reducciones GEI [$ktCO_2e$] | | Variación de recalcu |
|-----------------------------|-------------------------------|---------------------|----------------------|
| | Situación Actual | Propuesta de mejora | |
| Compost | -0,053 | -0,048 | -9,85% |
| Guano | 43,492 | 23,79 | -45,31% |
| Lodos | -0,50 | -0,36 | -27,29% |
| Residuo Alimento | -113,15 | -124,59 | 10,11% |
| Residuo Domiciliario | -0,09 | -0,05 | -46,49% |
| Residuo Poda | -0,03 | -0,02 | -9,01% |
| RILES | 0,22 | 0,19 | -11,47% |
| Urea (referencia) | - | 7,93 | - |

3.4.4.3 Estimación de Incertidumbre

En la **Tabla 18** se reportan las incertidumbres calculadas para el intervalo de confianza del 95% mediante la simulación de Monte Carlo. Para todos los residuos tratados mediante aplicación directa sobre suelo, la estimación de incertidumbre los valores estimados mediante el método de Monte Carlo se generaron entre 112% y 132%.

Tabla 18: Incertidumbre para el intervalo de confianza de 95% de la categoría manejo de residuos sólidos de origen orgánico mediante aplicación directa a suelo a partir de Simulación de Monte Carlo.

| Fuente de emisiones | Incertidumbre calculada para IC (95%) |
|---------------------|---------------------------------------|
| Compost | ± 132% |
| Guano | ± 134% |
| Lodos | ± 114% |
| Alimento | ± 113% |
| Orujos | ± 120% |
| Poda | ± 112% |
| RILES | ± 125% |
| Domiciliario | ± 129% |

La contribución particular de los factores de emisión determinó que el principal contribuyente a la acumulación de incertidumbre general es el factor directo de emisión de Óxido Nitroso (entre el 38% y 50%). La puntuación de este parámetro corresponde a la calificación más baja por lo que las condiciones sobre las que se calculan no están adaptadas a la realidad nacional, el cual no ha desarrollado hasta la actualidad. Este factor depende principalmente las particularidades del ciclo del nitrógeno y la actividad bacteriana en los suelos (IPCC, 2006a) por lo que sus características están íntimamente ligadas a las características particulares de cada sector geográfico/climático.

3.5 Categoría Manejo de residuos sólidos de Origen No Biológico

La categoría de manejo de residuos sólidos de origen no biológico se implementó para clasificar las acciones de reciclaje y reusó de residuos. Estas acciones no estaban consideradas anteriormente en los informes de estimación de impacto de ASCC.

Dentro de esta categoría se incluyó el reciclaje de residuos peligrosos ya que dentro de la estimación de emisiones GEI por estas acciones no es relevante esta diferencia.

Se consideraron 7 tipos de residuos diferentes para acciones de reciclaje y reutilización:

Vidrio, Plástico, Metal, Papel, Neumáticos, Madera y Domiciliario.

3.5.1 Evaluación de Parámetros

En la **Tabla 19** se reporta la evaluación de parámetros asociados a la categoría de “Manejo de residuos sólidos de origen no biológico” se empleará la puntuación solo como referencia, la cual se detalla, junto con la fuente bibliográfica de cada parámetro.

Tabla 19: Resumen de revisión bibliográfica de parámetros para reducción de emisiones por reciclaje o reusó.

| Parámetro | Puntuación | Fuente |
|---|-------------------|-------------------------------|
| Factor de Ajuste por Perdida | 2 | (EPA, 2006) |
| Consumo específico de combustible para material virgen | 2 | (EPA, 2006) |
| Factor de emisión de combustible | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Consumo específico de electricidad para material virgen | 2 | (EPA, 2006) |
| Factor de emisión de red eléctrica | 4 | (Ministerio de Energía, 2019) |
| Consumo específico de combustible para material reciclado | 2 | (EPA, 2006) |
| Consumo específico de electricidad para material reciclado | 2 | (EPA, 2006) |

3.5.2 Estimación de Emisiones y variación de recalcu

En la estimación de emisiones GEI para acciones de reciclaje se reportaron emisiones de GEI para plástico, metales y “Papel y Cartón” (0,757ktCO₂e, 0,026 ktCO₂e y 0,197 ktCO₂e, respectivamente) mientras que para residuos Domiciliarios se reportó una

reducción de 0,250 ktCO₂e como consecuencia del acciones de reciclaje. Es necesario mencionar que se registró un incremento de las emisiones GEI en el modelo matemático debido a la disminución del reciclaje por parte de las empresas o instalaciones consideradas, esto tiene su origen en la reducción de la generación de residuos por lo que para mejorar la calidad de los datos es necesario desarrollar un modelo para calcular las emisiones de la huella material de las instalaciones.

En el caso del reciclaje de madera, se verifico que las emisiones netas son positivas (1,609 ktCO₂e), es decir, el reciclaje de madera genera más emisiones GEI de las que se mitigan. Al contabilizar las emisiones por reciclaje de madera el modelo matemático utilizado no considera el impacto GEI sobre a los cambios de la actividad forestal.

Para las emisiones GEI por reutilización de materiales no se contabilizaron emisiones por consumo de combustible y electricidad a fin de evitar la doble contabilización de emisiones, debido a que se consideran contabilizadas en la categoría Energía. En el caso de las reducciones de emisiones GEI por concepto de reutilización de materiales para los APL's muestreados, se reportaron reducciones de -2,894 ktCO₂e para plástico, -2,018 ktCO₂e para papel y 13,033 ktCO₂e madera.

3.5.3 Estimación de Incertidumbre

Debido a la ausencia de información disponible no es posible cuantificar la incertidumbre asociada a la categoría de manejo de residuos sólidos de origen no biológico.

3.6 Categoría: Manejo de Residuos Líquidos Industriales

La categoría de manejo de residuos líquidos industriales subclasifico los residuos según tipos de vías de tratamiento o eliminación. De los 11 tipos considerados por las categorías de inventario (IPCC, 2006a) la muestra estimo en dos tipos de vías de tratamiento o eliminación: **Cuerpos superficiales de agua (ríos, lagos o mar) y Alcantarillado.**

3.6.1 Evaluación de Parámetros

Como se detalla en la **Tabla 20**, que muestra los criterios de evaluación descritos en la sección 2.4 Evaluación y Selección de Parámetros, sobre esta categoría se reportaron mejoras sobre 2 parámetros acerca del contenido de materia orgánica en los RILES considerando criterios de reportabilidad contemplados en (Decreto 90, 2001) sobre contenido de los RILES emitidos.

Tabla 20: Resumen de revisión bibliográfica de parámetros para reducción de emisiones por manejo de RILES.

| Criterio | Resultado |
|----------------------------------|------------------|
| Calificación Situación Actual | 2,0 |
| Calificación Propuesta de Mejora | 2,4 |
| Parámetros Incorporados | 0 |
| Parámetros Mejorados | 2 |

La **Figura 12** refleja el desplazamiento de la moda estadística sobre los parámetros estudiados desde el primera a la tercera puntuación de la escala de Likert, es decir, desde valores por defecto entregados por (IPCC, 2006a) a parámetros de carácter nacional.

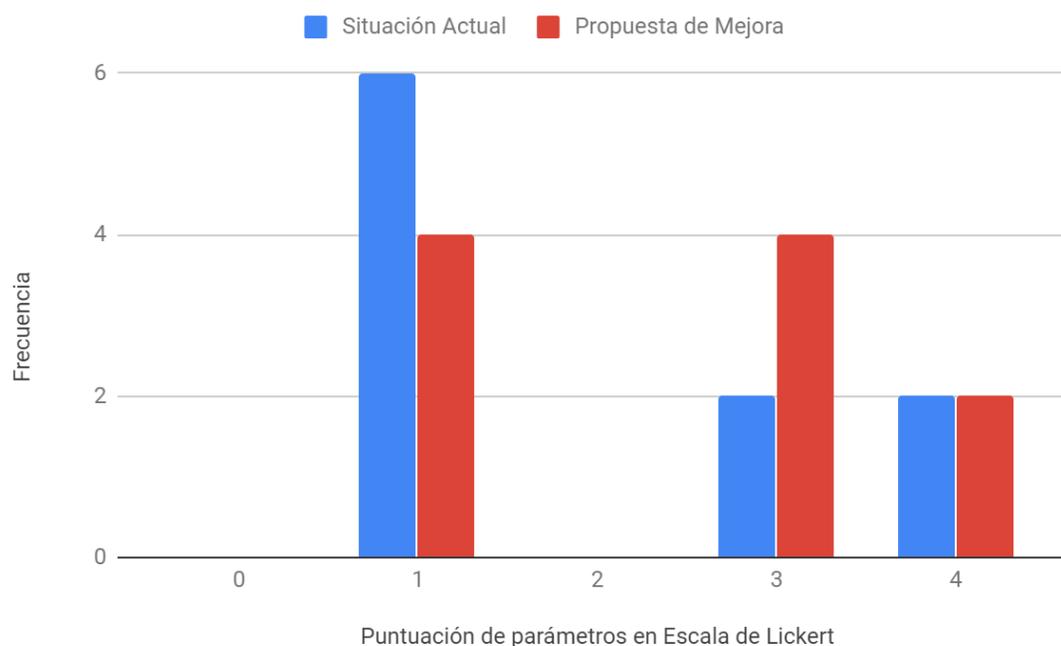


Figura 12: Histograma de frecuencia correspondiente a la evaluación mediante escala de Likert de parámetros asociados a Manejo de RILES, según las puntuaciones **0**: No se considera. **1**: Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos por defecto. **2**: Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos con adecuado grado de similitud. **3**: Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos nacionales. **4**: Fuentes bibliográficas con marcos metodológicos locales o específicos zonales.

En Chile, las normas (Decreto 609, 1998) y (Decreto 90, 2001) establecen las características químicas que deben cumplir los RILES al ser dispuestos en el alcantarillado o en cuerpos de agua superficiales. Con respecto a la carga orgánica de

los RILES emitidos, ambas normativas describen esta condición en términos de demanda biológica de oxígeno (DBO₅), lo cual no resulta útil al momento de declarar emisiones GEI en esta categoría, ya que (IPCC, 2006a) describe esta condición en términos de demanda química de oxígeno (DQO), utilizando el parámetro DBO₅ exclusivamente para emisiones de residuos líquidos domésticos. (Thomsen & Lyck, 2005) Señalan que las diferencias de criterio entre RILES y residuos líquidos domésticos resulta poco significativa en la estimación de emisiones GEI por lo que es posible emplear el parámetro DBO₅ y su respectiva capacidad máxima de generación de Metano para la estimación de emisiones en RILES.

3.6.2 Estimación de Emisiones y variación de recalcu

La **Tabla 21** donde se reportan las reducciones totales de emisiones GEI en unidades de ktCO₂e en los escenarios “Situación actual” y “Propuesta de mejora” durante el periodo 1999-2017. Se puede apreciar que, se reportaron variaciones de recalcu superiores al umbral de significancia del 5%.

Tabla 21: Estimación de emisiones y variación de recalcu para categoría de Manejo de RILES.

| Tipos de vías de tratamiento o eliminación | Reducciones GEI [ktCO ₂ e] | | Variación de recalcu |
|---|---------------------------------------|---------------------|----------------------|
| | Situación Actual | Propuesta de mejora | |
| Alcantarillado | 0,169 | 0,102 | -39,67% |
| Cuerpos superficiales de agua (ríos, lagos o mar) | 165,82 | 200,55 | 20,95% |

3.6.3 Estimación de Incertidumbre

La estimación de emisiones en RILES es la categoría donde se reportó la mayor magnitud de incertidumbre ($\pm 267\%$ y $\pm 316\%$ por emisiones por manejo de RILES en alcantarillado y Cuerpos superficiales de agua (ríos, lagos o mar) respectivamente). Esto es debido a la alta contribución individual de cada parámetro considerado.

Por esto cada parámetro utilizado para la estimación de emisiones GEI en el manejo de RILES puede ser objeto de estudio para el desarrollo de factores de emisión de mayor precisión. Entre estos, el parámetro que mayor contribución realizó para la acumulación de incertidumbre fue el factor de emisión de N_2O aportando entre el 72% y 79% de la incertidumbre.

3.7 Categoría: Manejo de Residuos Peligrosos

La categoría de Manejo de Residuos Peligrosos consideró 4 tipos de acciones asociadas: Almacenamiento, neutralización química, reciclaje e incineración. Debido a que almacenamiento y neutralización química no son consideradas acciones emisoras de CO_2 fueron excluidas de este estudio. El reciclaje de residuos peligrosos no represento tratamiento especial que influya significativamente en las emisiones de GEI según lo dispuesto en (Decreto 148, 2004) por lo que fue incluido directamente en la categoría de reciclaje.

La acción de incineración en la muestra no es considerada una acción de mitigación de gases de efecto invernadero, sino que una opción de tratamiento de residuos peligrosos para generar residuos inertes. Por lo tanto, en la estimación de emisiones GEI solo se

consideró el modelo (IPCC, 2006a) para las emisiones GEI por incineración de residuos. Dentro de esta acción la muestra incluyo solo la clasificación de residuos “Otros”.

3.7.1 Evaluación de Parámetros

Debido a la generalidad del reporte del tipo de residuo, no fue posible elaborar una propuesta de mejora. En este caso particular, las alternativas de mejora se encuentran ligadas a la calidad del reporte de impacto.

3.7.2 Estimación de Incertidumbre

Se estimo para el intervalo de confianza de 95% de la categoría RESPOL por tipo de residuo “Otro” tratado mediante incineración, un valor de incertidumbre relativa de $\pm 42\%$ sobre los valores calculados mediante la simulación de Monte Carlo.

3.8 Categoría: Manejo de Refrigerantes

La categoría manejo de refrigerantes considera 3 tipos de refrigerantes utilizados en la muestra de APL: **R22** (Compuesto en un 100% por HCFC-22), **R-507** (50% HFC125; 50% HFC143a) y **Amoniaco** (NH_3).

Debido a que el potencial de calentamiento global de amoniaco (GWP_{NH_3}) es 0 no se producen emisiones de gases de efecto invernadero, sin embargo, las emisiones de amoniaco a la troposfera son precursoras de material particulado secundario (Jacob, 1999) que se encuentra por fuera del alcance de este trabajo pero se detecta como una oportunidad de mejora para el sistema.

3.8.1 Evaluación de Parámetros

Los parámetros empleados para la categoría de Manejo de Refrigerantes son únicamente valores de GWP para cada refrigerante correspondiente, por lo que se consideran fuera del alcance de este trabajo.

3.8.2 Estimación de Incertidumbre

Para las emisiones GEI producto de la utilización del refrigerante R22 y R507 se estimó una incertidumbre relativa del $\pm 35\%$ y $\pm 48\%$ para el intervalo de confianza del 95%.

Debido a que el refrigerante R22 está compuesto únicamente por HFC-22 no fue necesario realizar la Simulación de Monte Carlo y se utilizó únicamente el valor bibliográfico (IPCC, 2014).

4 CONCLUSIONES

Se consideraron significativas las propuestas de mejora para las categorías Energía, Manejo de residuos sólidos de Origen No Biológico, Manejo de residuos sólidos de Origen Biológico y Manejo de Residuos Líquidos Industriales, según la clasificación los Acuerdos de Producción Limpia descrita en la sección **3.2 Categorías y Modelos de Estimación de Impactos GEI** de Estimación de Impactos GEI.

En la categoría energía los principales cambios producidos por la propuesta de mejora generada surgen de la exclusión de las emisiones de Metano y Óxido Nitroso en la combustión y de la incorporación de las emisiones up-stream considerando criterios de análisis de ciclo de vida. Para todos los combustibles estudiados se consideró significativo el recalcado propuesto en la propuesta de mejora. La determinación de la incertidumbre general entregó valores de incertidumbre entre el 17% y 26% donde el principal contribuyente a la acumulación de incertidumbre fue el potencial de calentamiento global de Dióxido de Carbono, con excepción de la leña donde la incertidumbre determinada fue de 87%.

Dentro de las incorporaciones a los modelos se incluyó el desarrollo de la fracción de biomasa no renovable. Este parámetro, que permite aproximar las emisiones por combustión de leña a la realidad nacional, no está documentado para Chile en la actualidad. Sin embargo, como parte del estudio se reportaron incongruencias entre el inventario nacional del consumo de leña (Ministerio de Energía, 2015) y los registros sobre extensión de bosque en Chile (FAO, 2015a), por lo que fue empleada una herramienta anterior para determinar el parámetro. (CDM Executive Board, 2012).

En la categoría de manejo de residuos sólidos de origen biológico, la línea base por sitios de disposición de residuos sólidos (SWDS) se estimaron las mayores variaciones de recalcu entre 76% a 81% para Rellenos Sanitario y vertederos respectivamente. Por su parte la incertidumbre estimada se distribuyó de sin variaciones significativas entre los años en un intervalo entre 93-118% según tipo de SWDS donde la principal fuente de incertidumbre fue la constante de descomposición de los residuos para ambos tipos de SWDS.

Para las acciones de mitigación de GEI asociadas a esta categoría, no se logró diseñar una propuesta de mejora para la categoría de compostaje, mientras que para la combustión de biomasa se superó por un estrecho rango el umbral de recalcu. Solo para la acción de “Aplicación directa de residuos sobre suelo” se logró establecer una propuesta de mejora significativa sobre la corrección de los valores de contenido de nitrógeno de los residuos aplicados.

En la actualidad, no se ha implementado un modelo para estimar la mitigación de gases de efecto invernadero como consecuencia del reciclaje de residuos. A su vez este modelo pudo ser adaptado para acciones denominadas de “reutilización”. Sin embargo, este modelo puede resultar poco conveniente para la estimación de reducciones de gases de efecto invernadero en el marco de reducción de la huella material, es decir, aquella ligada al consumo eficiente de los recursos naturales y/o materias primas. Desarrollar modelos que permitan estimar el impacto sobre las emisiones GEI ofrece una oportunidad de mejora en esta área.

En la categoría de manejo de RILES los principales cambios introducidos por la propuesta de mejora referencian criterios establecidos en las normas de emisión de

RILES a las diferentes vías de tratamiento o eliminación. Para esta categoría cada parámetro individual representa una oportunidad de mejora debido a los amplios rangos de incertidumbre.

En el marco de las magnitudes de incertidumbre de gran tamaño como ocurre en el caso de las estimaciones de emisiones, no resulta útil aplicarlas para el reporte de resultados debido a que pueden generar dificultades en el entendimiento sobre los resultados. Sin embargo, conocer la incertidumbre de las estimaciones entrega información suficiente para indicar oportunidades de mejora y enfocar los esfuerzos para el desarrollo de nuevos factores de emisión.

Debido a que la estimación emisiones de gases de efecto invernadero se basa en un análisis de un sistema dinámico por lo que su funcionamiento se debe comprender desde la perspectiva del principio causa/efecto (Ford, 1999), por lo que se torna necesario poder desarrollar metodologías apropiadas para cada causa identificada y desarrollar modelos consistentes con ello.

A su vez, el grado de desarrollo de la Ciencia y la tecnología en esta área permitirán desarrollar modelos y parámetros más idóneos para evaluar con mayor precisión los efectos y generar metodologías que permitan reducir o controlar la incertidumbre asociada que causan las emisiones GEI.

Por fuera del alcance de este Seminario de Título queda la cuantificación de la incertidumbre en la etapa de recolección de información sobre datos de las actividades (consumo de combustibles, refrigerantes, generación de residuos y desechos, etc.) para construir las estimaciones. Según estima (LEDS-LAC, 2018) la incertidumbre de esta

etapa del proceso de estimación puede variar entre 5 -70% dependiendo de los métodos utilizados para la recolección de información. La combinación de los 3 tipos de incertidumbres (asociada a los parámetros, modelos y a los datos de actividades) puede generar valores mayores a los reportados en este trabajo. Pese a esto, reconocer la estimación de la incertidumbre de parámetros permite una primera aproximación para incorporar una estimación general de la incertidumbre en los sistemas de estimación de emisiones.

5 BIBLIOGRAFÍA

- Jacob, D. J. (1999). *Introduction to Atmospheric Chemistry*. New Jersey: Princeton University Press.
- Achs. (2002). Técnicas para la Producción Limpia. En CPL, *Producción Limpia: Principios y Herramientas* (págs. 11-30). Santiago de Chile: Achs. Obtenido de <http://www.cpl.cl/archivos/documentos/37.pdf>
- Amlinger, F., Peyr, S., & Cuhls, C. (2008). Greenhouse gas emissions from composting and mechanical biological treatment. *Waste Management Research*, 47-60.
- ASCC. (2017a). *Planilla de Estimación Impactos GEI APL 2017*. Obtenido de Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1JOAJmZJp2Eftn1zzb5fQuCwJs8ngXRgVcxOQB5wY6AU/edit#gid=0>
- ASCC. (2017b). *Reporte 2017: Metodología Medición, Reporte y Verificación*. Obtenido de ASCC: <https://docs.google.com/document/d/1F-0uAXrO7TN4kBjFEMbtXGgxhEF5dIXAmU8Rg5Sz1yE/edit#heading=h.dl6nvpa y8jsp>
- ASCC. (2017c). *Disposición de residuos sólidos: Cantidad total de metano recuperado*. Obtenido de Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Ysrw2HR-3SGhulL2Zm2wuzQbtzRGeQi8RYwFpye0Uds/edit#gid=1520615660>
- ASCC. (2018a). *Estadísticas ASCC*. Obtenido de Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático: <https://sites.google.com/cpl.cl/sfe/home?authuser=0>

ASCC. (2018b). *Reporte 2017: Resultados*. Obtenido de Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático:

https://docs.google.com/document/d/13vXoobCvyV0nyblduEgfzmSZrfEzH7p_oY5k3wqVFe4/edit#heading=h.y4ndw8dv99gl

Benito, M., Masaguer, A., Moliner, A., & De Antonio, R. (2006). Chemical and Physical Properties of Pruning Waste Compost and Their Seasonal Variability. *2071-2076*, *97*(16), *Bioresource technology*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/7478148_Chemical_and_Physical_Properties_of_Pruning_Waste_Compost_and_Their_Seasonal_Variability

CDM Executive Board. (11 de Mayo de 2012). *CDM Executive Board Meeting 67 Annex 22*. Obtenido de Clean Development Mechanism:

<https://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/H29X6EKQMJU7RY85DIT4ZPFAL3O1GW>

CPL. (Octubre de 2007). *APL: Implementación de Buenas Prácticas Agropecuarias en el Sector de Producción de Huevos*. Obtenido de ASCC: http://www.ascc.cl/resources/uploads/documentos/archivos/30/apl_implementacion_de_buenas_practicas_agropecuarias_en_el_sector_de_produccion_de_huevos__.pdf

CPL. (Mayo de 2009). *APL: Sector Productores de Aves de Carne*. Obtenido de ASCC: [http://www.ascc.cl/resources/uploads/documentos/archivos/29/apl_sector_productores_de_aves_de_carne_\(mayo_2007\).pdf](http://www.ascc.cl/resources/uploads/documentos/archivos/29/apl_sector_productores_de_aves_de_carne_(mayo_2007).pdf)

Decreto 148. (2004). *Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos.*

Santiago de Chile: Diario Oficial de Chile. Obtenido de

<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=226458>

Decreto 609. (1998). *Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes*

asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de

alcantarillado. Santiago de Chile: Diario Oficial de la República de Chile.

Obtenido de <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=121486>

Decreto 69. (2004). *Reglamento Servicio de Gas de Red.*

Decreto 90. (2001). *Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes*

asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales

superficiales. Santiago de Chile: Diario Oficial de la República de Chile.

Obtenido de <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=182637>

DS 189. (2009). *Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y de Seguridad Básicas en*

los Rellenos Sanitarios. Obtenido de

<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=268137>

EPA. (2006). Source Reduction and Recycling. En EPA, *Solid Waste Management and*

Greenhouse Gases A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks (págs. 31-47). Obtenido de

<https://archive.epa.gov/epawaste/conservation/tools/warm/pdfs/chapter3.pdf>

EPA. (2015). *Understanding Global Warming Potentials.* Obtenido de United States

Environmental Protection Agency:

<https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>

- FAO. (2000). *Table 14. Distribution of total forest area by ecological zone*. Obtenido de Food and Agriculture Organization :
<http://www.fao.org/docrep/004/y1997e/y1997e21.htm>
- FAO. (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- FAO. (2015a). Table 1. Forest and other wooded land 2015. En Food and Agriculture Organization, *Global Forest Resources Assessment 2015* (pág. 4). Roma, Italia. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i4808e.pdf>
- FAO. (2015b). Table 21. Carbon stock in living forest biomass 1990-2015. En Food and Agriculture Organization, *Global Forest Resources Assessment 2015* (pág. 106). Roma, Italia. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i4808e.pdf>
- FAO. (2015c). Table 31. Conservation and protected forest areas 1990–2015. En Food and Agriculture Organization, *Global Forest Resources Assessment 2015* (pág. 166). Roma, Italia. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i4808e.pdf>
- Ford, A. (1999). *Modeling the Environment: An Introduction To System Dynamics Modeling Of Environmental Systems*. Island Press.
- Gasca-Aragon, H. (6 de Mayo de 2018). *Uncertainty Estimation and Contribution Analysis*. Obtenido de Comprehensive R Archive Network: <https://cran.r-project.org/web/packages/uncertainty/uncertainty.pdf>

GHG Protocol. (2014a). *Estándar de política y acción*. Obtenido de GHG Protocol:

<https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Spanish%20-%20Policy%20and%20Action%20Standard.pdf>

GHG Protocol. (2014b). *Estándar de objetivos de mitigación*. Obtenido de

https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Mitigation%20Goal%20Standard%20%28Espa%C3%B1ol%29_0.pdf

Gobierno de Chile. (2017). *Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022*.

Obtenido de Ministerio de Medio Ambiente:

<http://catalogador.mma.gob.cl:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=cb0a69dc-7b11-4c71-80cb-ffefe95c18eb&fname=Plan%20de%20acci%C3%B3n%20nacional%20de%20cambio%20clim%C3%A1tico%202017-2022.pdf&access=public>

Hernandez Sampieri, R. (1998). *Metodología de la investigación*. Mexico DF: Mcgraw-hill.

Hirzel, J. (2008). *Diagnóstico nutricional y principios de fertilización en frutales y vides*.

Obtenido de Biblioteca INIA:

<http://biblioteca.inia.cl/medios/rayentue/frutales/guanos09.pdf>

ICONTEC. (2010). *Licitación N° 5685-3-LE10 para la contratación de servicios de ejecución y validación de la aplicación de la "Herramienta para calcular el Factor de Emisión de un Sistema Eléctrico", para el SIC y el SING*. Santiago de Chile:

Comisión Nacional de Eficiencia Energetica. Obtenido de

http://old.acee.cl/576/articles-62102_recurso_1.pdf

IEA. (2013). *Manual de Estadísticas Energeticas*. Obtenido de Agencia Internacional de Energía:

https://www.iea.org/media/training/presentations/escoc2013/statistics_manual_spanish.pdf

IEA. (2018). *Energy Policies Beyond IEA Countries - Chile*. Obtenido de International Energy Agency:

<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyPoliciesBeyondIEACountriesChile2018Review.pdf>

INIA. (Febrero de 2005). Evaluación de la calidad del lodo en la región metropolitana y su uso agrícola. *Uso beféfico de lodos* (págs. 31-38). Santiago de Chile: INIA. Obtenido de <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR32227.pdf>

INIA. (2010). *Manejo de Suelos para el Establecimiento de Huertos Frutales*. Obtenido de Instituto de Investigaciones Agropecuarias:

<http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR37049.pdf>

INN. (8 de Abril de 2009). *NCh2797.Of2009: Acuerdos de Producción Limpia (APL) - Especificaciones* . Obtenido de Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático:

[http://www.ascc.cl/resources/uploads/documentos/archivos/55/acuerdos_de_produccion_limpia_\(apl\)_-_especificaciones_nch2797-of2009.pdf](http://www.ascc.cl/resources/uploads/documentos/archivos/55/acuerdos_de_produccion_limpia_(apl)_-_especificaciones_nch2797-of2009.pdf)

IPCC. (1996). *Fraction of Degradable Organic Carbon (DOC) of Municipal Solid Waste (MSW): Chile*. Obtenido de Emisión Factor Data Base: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/ef_detail.php

IPCC. (2000). *Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*.

Obtenido de Intergovernmental Panel on Climate Change: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/gpgaum_es.html

IPCC. (2006a). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Obtenido de Intergovernmental Panel on Climate Change: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>

IPCC. (2006b). Cuadro 4.9: Crecimiento neto de la biomasa aérea en bosques naturales. En Intergovernmental Panel on Climate Change, *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Vol. 4, pág. 66). Hayama, Japón. Obtenido de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf

IPCC. (2014). Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. En IPCC, *AR5: Synthesis Report* (págs. 731-737). Genova, Suiza. Obtenido de https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf

IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Resumen para responsables de políticas*. Obtenido de Intergovernmental Panel on Climate Change: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM_es.pdf

ISO. (2009). *ISO 31000: Herramienta de Gestión del Riesgo*. Obtenido de International Organization for Standardization: <https://www.iso.org/standard/43170.html>

- Janßen, E. (Agosto de 2003). *Determination of total Phosphorus, total Nitrogen and Nitrogen Fractions*. Obtenido de Energy Research Centre:
https://www.ecn.nl/docs/society/horizontal/hor_desk_16_nutrients.pdf
- Joos, F., Roth, R., Fuglestvedt, J. S., Peters, G. P., Enting, I. G., von Bloh, W., . . .
Matsumoto, K. (2013). Carbon dioxide and climate impulse response functions for the computation of greenhouse gas metrics: a multi-model analysis. *Atmos. Chem. Phys.*, 2793–2825. Obtenido de <https://www.atmos-chem-phys.net/13/2793/2013/acp-13-2793-2013.html>
- LEDS-LAC. (Marzo de 2018). *Recomendaciones generales para el diseño de la estructura de bases de datos de un sistema de recolección de información, monitoreo de emisiones y medidas de mitigación, para el sector industrial*. Obtenido de LEDS-LAC: No Publicado
- Lempereu, V., & Penavayre, S. (2014). Grape marc, wine lees and deposit of the must: How to manage oenological by-products? y *EDP Sciences*. Obtenido de https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/pdf/2014/02/bioconf_oiv2014_01011.pdf
- Microsol. (Marzo de 2016). *Gold Standard*. Obtenido de Fraction of NonRenewable Biomass: Assessment for Peru:
https://www.goldstandard.org/sites/default/files/documents/final_perufnrassessment_microsol_20160317.docx.pdf
- Ministerio de Energia. (1 de Enero de 2015). *Medición del consumo nacional de leña y otros combustibles sólidos derivados de la madera*. Obtenido de Energia Abierta: <http://biblioteca.digital.gob.cl/handle/123456789/586>

- Ministerio de Energia. (2019). *Factores de Emisión*. Obtenido de Energia Abierta:
<http://energiaabierta.cl/visualizaciones/factor-de-emision-sic-sing/>
- MMA. (2012). *Evaluación de impactos económicos, ambientales y sociales de la implementación de la responsabilidad extendida del productor en Chile*. Santiago de Chile: Ministerio de Medio Ambiente.
- MMA. (Octubre de 2014). *Informe MAPS Chile: Fase 2*. Obtenido de Ministerio de Medio Ambiente: http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2014/12/ResultadosdeFase2_MAPSChile.pdf
- MMA. (2017a). *Informe del Inventario Nacional de GEI de Chile 1990-2013*. Ministerio de Medio Ambiente, Departamento de Mitigación e Inventarios de Contaminantes Climáticos, Santiago de Chile. Obtenido de http://www.snichile.cl/sites/default/files/documentos/2016_iin_cl.pdf
- MMA. (30 de Marzo de 2017b). *Resolución Exenta N°13*. Obtenido de Ministerio de Medio Ambiente: http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/08/R_13.pdf
- MMA. (2018). *Circunstancias Nacionales*. En MMA, *Tercer Informe Bienal de Actualización de Chile (No Publicado)*. Santiago de Chile.
- Naciones Unidas. (1992). *El Convenio Marco Naciones Unidas*. Obtenido de United Nations Framework Convention on Climate Change:
<https://unfccc.int/sites/default/files/convsp.pdf>
- Naciones Unidas. (1998). *Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Obtenido de United Nations Framework

Convention on Climate Change:

<https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>

Naciones Unidas. (Diciembre de 2009). *Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 15º período de sesiones, celebrado en Copenhague del 7 al 19 de diciembre de 2009*. Obtenido de United Nations Framework Convention on Climate Change:

<https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2009/cop15/spa/11a01s.pdf>

Naciones Unidas. (Diciembre de 2015). *Acuerdo de París*. Obtenido de United Nations Framework Convention on Climate Change :

http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/spanish_paris_agreement.pdf

OregonBD. (s.f.). *Nitrogen Content and Carbon-to-Nitrogen Ratios For Composting Waste Materials*. Obtenido de Oregon BioDynamic Group:

<http://oregonbd.org/nitrogen-content/>

Resolución 2444. (1980). *Normas sanitarias mínimas para la operación de basurales*. Santiago de Chile. Obtenido de juridico1.minsal.cl/RESOLUCION_2444.doc

Resolución 303. (2008). *Fija Texto Refundido Del Reglamento Del Comité Consejo Nacional De Producción Limpia*. Santiago de Chile. Obtenido de

<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=268970>

Reyes-Torres, M., Oviedo, R., Dominguez, I., Komilis, D., & Sánchez, A. (2018). A systematic review on the composting of green waste: Feedstock quality and optimization strategies. *Waste Management*, 77, 486-499.

doi:https://www.researchgate.net/publication/324811885_A_systematic_review_

on_the_composting_of_green_waste_Feedstock_quality_and_optimization_strategies

Rynk, R. (1992). *On-Farm Composting Handbook*. New York: Northeast Regional Agricultural Engineering Service .

Santos, M., Romanel, C., & van Elk, A. (2015). A correction in the CDM methodological tool for estimating methane emissions from solid waste disposal sites. *Journal of Environmental Management*, 151-160. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479715302528#bib12>

Thomsen, M., & Lyck, E. (2005). *Emission of CH₄ and N₂O from Wastewater Treatment Plants (6B)*. Copenhagen: Ministry of the Environment-Denmark. Obtenido de National Environmental Research Institute.

UNFCCC. (2007). *Methodology to differentiate between non-renewable and renewable biomass*. Obtenido de Clean Development Mechanism: https://cdm.unfccc.int/public_inputs/emis_reduc4SSC_PA/cfi/U3FFP4DCVRZNRAT8IOUD9WB68ZCTM0

UNFCCC. (8 de Abril de 2010). *Manufacturing and servicing of domestic refrigeration appliances using a low GWP refrigerant* . Obtenido de Clean Development Mechanism: <https://cdm.unfccc.int/methodologies/view?ref=AM0071>

UNFCCC. (4 de Octubre de 2013a). *Emission reductions through improved efficiency of vehicle fleets*. Obtenido de Clean Development Mechanism: <https://cdm.unfccc.int/methodologies/view?ref=AMS-III.BC>.

UNFCCC. (4 de Octubre de 2013b). *Energy efficiency and fuel switching*. Obtenido de Clean Development Mechanism:

<https://cdm.unfccc.int/methodologies/view?ref=AMS-II.D>.

UNFCCC. (28 de Noviembre de 2014a). *Alternative waste treatment processes*.

Obtenido de Clean Development Mechanism:

<https://cdm.unfccc.int/methodologies/view?ref=ACM0022>

UNFCCC. (14 de Noviembre de 2014b). *Upstream leakage emissions associated with fossil fuel use*. Obtenido de Clean Development Mechanism:

<http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-15-v2.0.pdf>

UNFCCC. (14 de Julio de 2015a). *Fuel Switch, process improvement and energy efficiency in brick manufacture*. Obtenido de Clean Development Mechanism:

<https://cdm.unfccc.int/methodologies/view?ref=AMS-III.Z>.

UNFCCC. (16 de Abril de 2015b). *Switching fossil fuels*. Obtenido de Clean

Development Mechanism: <https://cdm.unfccc.int/methodologies/view?ref=AMS-III.B>.

UNFCCC. (2016a). *Clean Development Mechanism Methodology Booklet*. Obtenido de

http://cdm.unfccc.int/methodologies/documentation/1803/CDM-Methodology-Booklet_fullversion.pdf

UNFCCC. (4 de Noviembre de 2016b). *Treatment of wastewater*. Obtenido de Clean Development Mechanism:

<https://cdm.unfccc.int/methodologies/view?ref=ACM0014>

- UNFCCC. (1 de Noviembre de 2017a). *Calculation of the fraction of non-renewable biomass*. Obtenido de Clean Development Mechanism:
<https://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/tools/am-tool-30-v1.pdf>
- UNFCCC. (22 de Septiembre de 2017b). *Electricity generation from biomass in power-only plants*. Obtenido de Clean Development Mechanism:
https://cdm.unfccc.int/filestorage/ZI/5/ZI5NXTD6R4AQGOC307L82MYEK9JSHV/EB96_repan02_ACM0018.pdf?t=SmV8cGgyYmwzfDDmht651aKzeQkolaP7nnCw
- UNFCCC. (4 de Mayo de 2017c). *Emissions from solid waste disposal sites*. Obtenido de CDM: <https://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/tools/am-tool-04-v8.0.pdf>
- UNFCCC. (4 de Mayo de 2017d). *Recovery and recycling of materials from solid wastes*. Obtenido de Clean Development Mechanism:
<https://cdm.unfccc.int/methodologies/view?ref=AMS-III.AJ>.
- Universidad de Chile. (Marzo de 2005). *Criterios de Calidad de Aguas ó Efluentes Tratados para uso en Riego*. Obtenido de Servicio Agrícola Ganadero:
http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_aguas/resumen_ejecutivo.pdf
- Wackerly, D., Mendenhall, W., & Scheaffer, R. L. (2008). En D. D. Wackerly, W. Mendenhall, R. L. Scheaffer, & S. R. Cervantes González (Ed.), *Estadística Matemática con Aplicaciones* (Septima ed., págs. 157-214). Cengage Learning .

Anexo I. METAS COMPROMETIDAS POR ACUERDOS DE PRODUCCIÓN LIMPIA

SELECCIONADOS EN LA MUESTRA

Tabla 22: Metas APL 11: industria vitivinícola

| | |
|---------------|---|
| Meta 1 | Elección y adquisición de productos fitosanitarios que permitan el cumplimiento de las exigencias de los mercados de destino. |
| Meta 2 | Almacenamiento seguro de productos fitosanitarios. |
| Meta 3 | Aplicación segura y eficiente de productos fitosanitarios. |
| Meta 4 | Manejo integral de residuos industriales sólidos, orujo, escobajo y borras. |
| Meta 5 | Minimizar la generación de residuos industriales líquidos. |
| Meta 6 | Avanzar en el cumplimiento de las normativas ambientales que regulan la emisión de residuos industriales líquidos. |

Tabla 23: Metas APL 12: Artesanal de Fabricación de Ladrillos

| | |
|---------------|--|
| Meta 1 | El 100% de los hornos de ladrillo que funcionen en la Región Metropolitana y que suscriban este Acuerdo, cambiarán el uso de leña o desechos como combustible, por el de gas licuado u otro combustible limpio. |
| Meta 2 | El 100% de las empresas mantendrán un sistema de manejo de residuos sólidos y de orden y aseo en el predio, y un sistema de señalética para la entrada y salida de vehículos y camiones. |
| Meta 3 | El proceso de fabricación de ladrillos artesanales se realizará cumpliendo con al menos las medidas de higiene y seguridad laboral que se definen en las siguientes acciones |
| Meta 4 | Las empresas suscriptoras de este Acuerdo deberán contar con autorización municipal de funcionamiento acreditando el cumplimiento de cada una de las medidas de este Acuerdo y de los demás requisitos administrativos, financieros y legales. |

Tabla 24: Metas APL 15: Industria del Aserrío y Remanufactura de Madera (II)

| | |
|----------------|--|
| Meta 1 | Las empresas firmantes de este acuerdo se comprometen a elaborar e implementar Planes de Manejo para los residuos peligrosos. |
| Meta 2 | Las empresas firmantes de este acuerdo se comprometen a implementar un Sistema de Gestión para los residuos sólidos no peligrosos. |
| Meta 3 | Las empresas firmantes de este acuerdo se comprometen a implementar un Sistema de Gestión para los subproductos, para ello realizarán las siguientes acciones. |
| Meta 4 | Se elaborará un Catastro Nacional de residuos de la industria del aserrío y remanufactura identificando los tipos de residuos, los flujos y definiendo alternativas de manejo apropiados. |
| Meta 5 | Las empresas firmantes de este acuerdo que no posean canchas selladas y sistemas de riego con hidrantes móviles se comprometen a implementar medidas tendientes a mejorar el uso del recurso agua en el patio de almacenamiento de trozas con riego, para ello deberán realizar las siguientes acciones. |
| Meta 6 | Las empresas firmantes de este acuerdo se comprometen a implementar acciones de prevención de la contaminación que minimicen la generación de efluentes, para ello deberán realizar las siguientes acciones. |
| Meta 7 | Las empresas firmantes de este acuerdo se comprometen a anticipar el cumplimiento de la normativa referente a descargas a sistemas de alcantarillado, en cursos y masas de agua superficial, aguas subterráneas y sobre el suelo implementando las acciones que se indican. |
| Meta 8 | Disminuir la accidentabilidad en el rubro aserraderos y remanufactura e implementar, desde los niveles directivos de la empresa y en todos los niveles, un sistema de gestión integral de salud y seguridad ocupacional. |
| Meta 9 | CORMA y las empresas firmantes de este acuerdo, se comprometen a establecer planes de manejo de plaguicidas y sustancias químicas peligrosas, con el fin de disminuir el riesgo de exposición de los trabajadores y de contaminación del medio ambiente, para ello deberán realizar las siguientes acciones. |
| Meta 10 | Las empresas firmantes de este acuerdo se comprometen a elaborar un Manual de Buenas Prácticas de la Industria del Aserrío y Remanufactura, que oriente a las empresas en las mejores prácticas de Producción Limpia, en la correcta ejecución de las operaciones y en las múltiples posibilidades de mejora de su proceso productivo, para ello deberán realizar las siguientes acciones. |

Tabla 25: Metas APL 16 Productores de Pisco y Procesadores de Uva Pisquera III y IV Región

| | |
|---------------|--|
| Meta 1 | Las empresas firmantes del APL se comprometen a reducir el volumen de los residuos líquidos generados por la actividad, y disminuir la carga contaminante de los mismos, mediante optimización del sistema productivo, a través de Implementación de medidas de Producción Limpia. |
| Meta 2 | Disminuir la generación de residuos sólidos al considerar un sistema de manejo de los mismos que privilegie el evitar, la reutilización y/o el reciclaje. |
| Meta 3 | Disminuir las enfermedades y accidentes laborales, optimizando las medidas de higiene ambiental y seguridad en los lugares de trabajo. |
| Meta 4 | Comprometer al personal de la empresa para la materialización del Acuerdo de Producción Limpia, capacitando a los que corresponda en la aplicación de las medidas de eficiencia y protección del medio ambiente. |

Tabla 26: Metas APL 24 Comida de Servicio Rápido

| | |
|---------------|---|
| Meta 1 | Las empresas suscriptoras implementarán las acciones que a continuación se detallan según las etapas del proceso que complementan la normativa existente en materia de inocuidad de los alimentos. |
| Meta 2 | Las empresas suscritas se comprometen a implementar acciones para reducir o mitigar emisiones, ruidos y olores. |
| Meta 3 | Las empresas suscritas se comprometen a disminuir la carga contaminante de los residuos líquidos, mediante la implementación de un sistema de Gestión de Residuos líquidos (Riles), teniendo en consideración los siguientes plazos establecidos en la norma para descargas en alcantarillado público, aprobada por DS MOP N° 609/98: - Las fuentes existentes a la fecha de la firma de este Acuerdo, que descargan a una red de alcantarillado que cuenta con planta de tratamiento de aguas servidas, deben cumplir con los requisitos establecidos en la tabla N°3 de ésta. - Las fuentes existentes a la fecha de la firma de este Acuerdo, que descargan a una red de alcantarillado, que no cuenta con planta de tratamiento de aguas servidas, deberán cumplir con los requisitos establecidos en la tabla N° 3 de la norma, al 20 de agosto de 2006. |
| Meta 4 | Las empresas suscritas en conjunto con el organismo administrador de la ley 16.744, se comprometen a implementar un sistema de vigilancia y prevención de riesgos de accidentes y enfermedades profesionales para los manipuladores de alimentos, de esta manera se asegura tanto la calidad de los alimentos elaborados como el ambiente laboral donde se desempeñan los trabajadores. |
| Meta 5 | Respecto a los residuos sólidos, las empresas implementarán acciones en las etapas de post consumo y proceso. |
| Meta 6 | Todas las empresas diseñarán, elaborarán, implementarán, mantendrán y evaluarán programas de capacitación para los distintos estamentos de las empresas. |

Tabla 27: Metas APL 28: Industria Procesadora de Frutas y Hortalizas

| | |
|---------------|--|
| Meta 1 | Para la implementación de HACCP en las plantas, éstas deberán realizar las siguientes acciones y se recomienda utilizar como referencia el “Programa de Prerrequisitos MINSALSOCHMHA: Base fundamental para la inocuidad alimentaria”. |
| Meta 2 | Consumo y manejo eficiente del agua |
| Meta 3 | Cumplimiento Normativo en el Tratamiento y Disposición de Riles |
| Meta 4 | Residuos sólidos industriales |
| Meta 5 | Uso eficiente de la energía |
| Meta 6 | Acciones específicas |
| Meta 7 | Disminuir la siniestrabilidad en el sector e implementar, desde los niveles directivos de la empresa y en todos los niveles, un sistema de gestión integral de salud y seguridad ocupacional. |
| Meta 8 | Medidas de gestión y capacitación |

Tabla 28: Metas APL 36: Implementación de buenas prácticas agropecuarias en el sector de producción de huevos (CPL, 2007)

| | |
|---------------|--|
| Meta 1 | Aplicar prácticas en la producción de huevos que garanticen condiciones de higiene y seguridad para todos los trabajadores involucrados en alguna de las etapas del ciclo productivo, de tal manera de prevenir riesgos de accidentes del trabajo y las enfermedades profesionales. |
| Meta 2 | Cada plantel de producción de huevos deberá implementar acciones que aseguren la prevención, minimización y mitigación de los efectos adversos sobre la salud de las personas y del medio ambiente, originados en las etapas del manejo de guanos. Esto incluye, entre otros, minimizar la generación de olores molestos y la atracción y proliferación de vectores de interés sanitario. En virtud de los compromisos sobre el manejo del guano que contrae el sector productor de Huevos, tanto el transporte, el almacenamiento temporal y en guaneras existentes, así como la aplicación de éste, no requieren de autorización sanitaria, en tanto no exista reglamentación específica que norme la materia, sin perjuicio de las atribuciones fiscalizadoras que posee la Autoridad Sanitaria competente. |
| Meta 3 | Las empresas deben realizar una gestión metódica permanente en materia de control de olores y de vectores, de forma de reducir al mínimo los impactos ambientales negativos derivados de estas fuentes. |
| Meta 4 | Packing de huevos |
| Meta 5 | Bioseguridad de planteles |

Tabla 29: Metas APL 37: Productores de Aves de Carne (CPL, 2009)

| | |
|---------------|---|
| Meta 1 | Gestión integral en la empresa |
| Meta 2 | Manejo del guano de ave de carne (gac): broiler y pavos |

| | |
|---------------|---|
| Meta 3 | Gestión de residuos sólidos (animales muertos y envases productos químicos) |
| Meta 4 | Gestión de olores y vectores |
| Meta 5 | Higiene y seguridad laboral |

Tabla 30: Metas APL 64: Packing Maule

| | |
|---------------|--|
| Meta 1 | Lograr que el 80% de los establecimientos adheridos al APL adopten prácticas de Producción Limpia |
| Meta 2 | Reducir un 5 % la tasa de consumo de energía por tonelada de fruta procesada del conjunto de las empresas adheridas. |
| Meta 3 | El 100% de las instalaciones tendrán implementado HACCP o un sistema a fin validado por la autoridad sanitaria |
| Meta 4 | Disminuir en 3% la tasa de accidentalidad y siniestralidad del sector. |
| Meta 5 | Disminuir en al menos un 5% la generación de residuos sólidos y/o aumentar en al menos un 10 % la reutilización, reciclaje y/o tratamiento de los residuos orgánicos |
| Meta 6 | Disminuir la generación de riles |
| Meta 7 | Implementar sistemas de mantenimiento preventivo y evaluación de alternativas de reconversión de refrigerantes que dañan la capa de ozono |

Tabla 31: Metas APL 66: Viveros Frutales

| | |
|---------------|--|
| Meta 1 | Implementar medidas de mejoramiento en el manejo de productos fitosanitarios. |
| Meta 2 | Propender a la sustitución de bromuro de metilo por otras alternativas. |
| Meta 3 | Implementar un sistema de gestión preventiva, que permitan disminuir los accidentes laborales y las enfermedades profesionales. |
| Meta 4 | Disminuir los impactos negativos que pueden provocar al medio los residuos sólidos generados por el sector, implementando sistemas de gestión con opciones de Producción Limpia y alternativas de valorización de residuos sólidos peligrosos y no peligrosos. |
| Meta 5 | Optimizar el uso del agua. |
| Meta 6 | Implementar programas de eficiencia energética. |

Tabla 32: Metas APL 78: Campus Sustentable

| | |
|----------------|--|
| Meta 1 | El 100% de las instituciones de educación superior adheridas al acuerdo, expresan el compromiso por la sustentabilidad y lo evidencian en sus lineamientos básicos |
| Meta 2 | Identificar y promover la presencia de las materias de sustentabilidad en el curriculum académico del 100% de las instituciones de educación superior adheridas. |
| Meta 3 | El 100% de las instituciones de educación superior, implementarán un programa de extensión en materias de sustentabilidad y/o Producción Limpia con impacto directo en la comunidad. |
| Meta 4 | Identificar y promover la presencia de las materias de sustentabilidad en la investigación académica desarrollada por todas las instituciones de educación superior adheridas |
| Meta 5 | Capacitar al 20% de los estudiantes y al 10% de los funcionarios y profesores de jornada completa, en materias de sustentabilidad con énfasis en los compromisos del APL. |
| Meta 6 | El 100% de las instituciones de educación superior adheridas medirán su huella carbono corporativa. |
| Meta 7 | Reducir en un 5% el consumo de energía en KWH equivalente por m2 en el total de las instalaciones adheridas. |
| Meta 8 | Reducción en un 5% el valor de indicador de consumo de agua por persona en cada una de las instalaciones adheridas. |
| Meta 9 | Implementar sistemas de minimización, clasificación en origen y reciclaje de residuos sólidos en el 100% de las instalaciones. |
| Meta 10 | Identificar los peligros e implementar medidas preventivas en el 100% de las instalaciones adheridas del campus para minimizar los riesgos laborales. |
| Meta 11 | Cuantificar y caracterizar residuos líquidos asimilables a riles generados por las instalaciones adheridas. |

Tabla 33: Metas APL 84: Producción Sustentable de Aceite de Oliva

| | |
|---------------|--|
| Meta 1 | Implementar en el total de las instalaciones el 100% de los indicadores de sustentabilidad definidos por ChileOliva |
| Meta 2 | Disminuir el consumo de agua en la industria |
| Meta 3 | El sector disminuirá en un 5% su desempeño energético |
| Meta 4 | El 100% de las empresas evaluarán la implementación de energías renovables no convencionales y su generación de huella de carbono |
| Meta 5 | El 100% de las empresas implementarán un sistema de gestión y valorización de residuos orgánicos generados del procesamiento de las olivas |
| Meta 6 | El 100% de las empresas adheridas al APL implementarán un sistema de prevención de riesgos. |
| Meta 7 | Desarrollar actividades de responsabilidad social empresarial |

Anexo II. CATEGORÍAS DE MITIGACIÓN APLICADOS A LA MUESTRA

Tabla 34: Detalle de categorías y acciones por APL de muestra.

| APL | Sector | Categoría | Categoría ASCC | Acción |
|-----|--------------------|---|---|--------------------------------------|
| 12 | Manufactura | Cambio de combustibles | Emisiones GEI por Actividades de quema del combustible en establecimiento o transporte. | Sustituir Combustible (Fuente Fija) |
| 15 | Manufactura | Manejo de residuos sólidos | Emisiones GEI por Actividades de quema del combustible en establecimiento o transporte. | Sustituir Combustible Biomasa |
| 16 | Silvo-agropecuario | Manejo de residuos líquidos | Emisiones GEI por tratamiento y eliminación de aguas residuales. | Tratamiento de aguas |
| | | Manejo de residuos sólidos de Origen No Biológico | Emisiones GEI por eliminación de desechos sólidos. | Reciclar |
| 28 | Manufactura | Manejo de residuos sólidos de Origen No Biológico | Emisiones GEI por eliminación de desechos sólidos. | Reciclar |
| | | Manejo de residuos sólidos de Origen Biológico | Emisiones GEI por eliminación de desechos sólidos. | Compostaje |
| | | Manejo de residuos líquidos | Emisiones GEI por Tratamiento y eliminación de aguas residuales. | Tratamiento de aguas |
| | | Eficiencia energética | Emisiones GEI por Actividades de quema del combustible en establecimiento o transporte. | Incrementar eficiencia (Fuente Fija) |
| 36 | Silvo-agropecuario | Manejo de residuos sólidos | Emisiones GEI por fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO ₂ de la Tierra. | Aplicación Directa sobre suelo |
| | | Manejo de residuos sólidos | Emisiones GEI por Actividades de quema del combustible en establecimiento o transporte. | Sustituir Combustible Biomasa |

Tabla 35: Detalle de categorías y acciones por APL de muestra (continuación).

| APL | Sector | Categoría | Categoría ASCC | Acción |
|-----|--------------------|---|---|---|
| 37 | Silvo-agropecuario | Manejo de residuos sólidos de Origen Biológico | Emisiones GEI por eliminación de desechos sólidos. | Aplicación Directa sobre suelo |
| | | | Emisiones GEI por eliminación de desechos sólidos. | Reusar para alimentación animal |
| | | | Emisiones GEI por tratamiento biológico de los desechos sólidos. | Compostaje |
| 64 | Silvo-agropecuario | Manejo de refrigerantes | Emisiones GEI por uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono en establecimiento. | Sustituir Refrigerante |
| | | Eficiencia energética | Emisiones GEI por Actividades de quema del combustible en establecimiento o transporte. | Incrementar eficiencia (Fuente Fija) |
| | | Manejo de residuos sólidos de Origen Biológico | Emisiones GEI por tratamiento biológico de los desechos sólidos. | Compostaje |
| | | Manejo de residuos sólidos de Origen No Biológico | Emisiones GEI por eliminación de desechos sólidos. | Reciclar |
| | | RESPEL | Emisiones GEI por eliminación de desechos sólidos. | Retiro Autorizado Reciclaje de Residuos Peligrosos |
| | | Transporte | Emisiones GEI por Actividades de quema del combustible en establecimiento o transporte. | Incrementar eficiencia (Fuente Móvil) |
| | | Manejo de residuos líquidos | Emisiones GEI por tratamiento y eliminación de aguas residuales. | Aplicación Directa sobre suelo |
| | | Eficiencia energética | Emisiones GEI por consumo energía eléctrica desde red externa a establecimiento. | Incrementar eficiencia (Consumo Eléctrico) |

Tabla 36: Detalle de categorías y acciones por APL de muestra (continuación).

| APL | Sector | Categoría | Categoría ASCC | Acción |
|-----|--------------------|---|---|--|
| 66 | Silvo-agropecuario | Manejo de residuos sólidos de Origen Biológico | Emisiones GEI por fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO2de la Tierra. | Aplicación Directa sobre suelo |
| | | | Emisiones GEI por eliminación de desechos sólidos. | Reusar para alimentación animal |
| | | | Emisiones GEI por Actividades de quema del combustible en establecimiento o transporte. | Sustituir Combustible Biomasa |
| | | | Emisiones GEI por tratamiento biológico de los desechos sólidos. | Compostaje |
| | | Eficiencia energética | Emisiones GEI por consumo energía eléctrica desde red externa a establecimiento. | Incrementar eficiencia (Consumo Eléctrico) |
| 78 | Educación | Eficiencia energética | Emisiones GEI por consumo energía eléctrica desde red externa a establecimiento. | Incrementar eficiencia (Consumo Eléctrico) |
| | | | Emisiones GEI por Actividades de quema del combustible en establecimiento o transporte. | Incrementar eficiencia (Fuente Fija) |
| | | Transporte | Emisiones GEI por Actividades de quema del combustible en establecimiento o transporte. | Incrementar eficiencia (Fuente Móvil) |
| | | Manejo de residuos sólidos de Origen No Biológico | Emisiones GEI por eliminación de desechos sólidos. | Reciclar |
| | | Manejo de residuos sólidos de Origen Biológico | Emisiones GEI por tratamiento biológico de los desechos sólidos. | Compostaje |
| | | RESPEL | Emisiones GEI por eliminación de desechos sólidos. | Almacenar Reciclar |
| | | | Emisiones GEI por tratamiento y eliminación de aguas residuales. | Neutralización |

Anexo III. MODELOS DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES GEI POR CATEGORÍA

a. Sustitución de Combustibles para Emisores de Fuente Fija

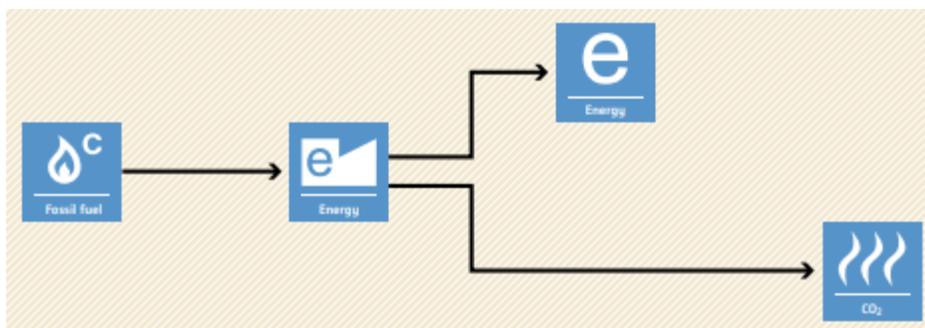


Figura 13: Diagrama de Flujo de Procesos Sustitución de Combustible (Fuente Fija) en escenario de línea base. (UNFCCC, 2015b)

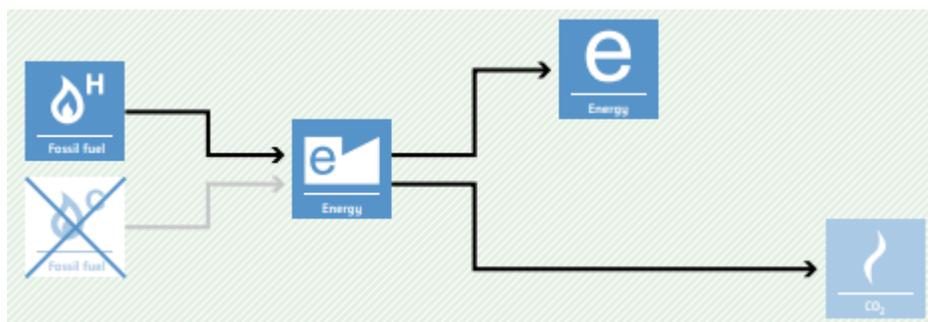


Figura 14: Diagrama de Flujo de Procesos Sustitución de Combustible (Fuente Fija) en escenario con aplicación de APL. (UNFCCC, 2015b)

Tabla 37: Modelos matemáticos ASCC para reducciones GEI por sustitución de combustible. (ASCC, 2017a)

| | |
|--|---|
| Modelo Escenario Línea Base | <p>Ecuación 5</p> $BL_y \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = \frac{FE_{CO_2,C_1} + FE_{CH_4,C_1} \cdot GWP_{CH_4} + FE_{N_2O,C_1} \cdot GWP_{N_2O}}{1000} \cdot PC_{C_1} \cdot A_{y,C_1}$ |
| Modelo Escenario Con APL | <p>Ecuación 6</p> $CAPL_y \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = \frac{FE_{CO_2,C_2} + FE_{CH_4,C_2} \cdot GWP_{CH_4} + FE_{N_2O,C_2} \cdot GWP_{N_2O}}{1000} \cdot PC_{C_2} \cdot A_{y,C_2}$ |

Tabla 38: Modelos matemáticos CDM para reducciones GEI por sustitución de combustible. (UNFCCC, 2015b)

| | |
|--|---|
| Modelo Escenario Línea Base | <p>Ecuación 7</p> $BL_y \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = A_{y,C_1} \cdot f_{NRB} \cdot PC_{C_1} \cdot \left(\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \cdot FE_{CO_2,C_1} + FLE_{C_1} \right)$ |
| Modelo Escenario Con APL | <p>Ecuación 8</p> $CAPL_y \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = A_{y,C_2} \cdot PC_{C_2} \cdot (FE_{CO_2-C_2} + FLE_{C_2})$ |

PC : Poder Calorífico del combustible C

$FE_{[CO_2; CH_4; N_2O], C}$: Factores de emisión del Combustible C

$GWP_{[CH_4; N_2O]}$: Potencial de calentamiento global

FLE_C : Factor de Emisión de Emisiones upstream del combustible C

ε : Eficiencia del sistema (1 valor por defecto para el escenario más conservador)

$A_{y,C}$: Cantidad de Combustible C utilizada en el año y

f_{NRB} : Fracción de Biomasa No Renovable nacional (1 valor para combustibles distintos a la madera)

b. Eficiencia Energética

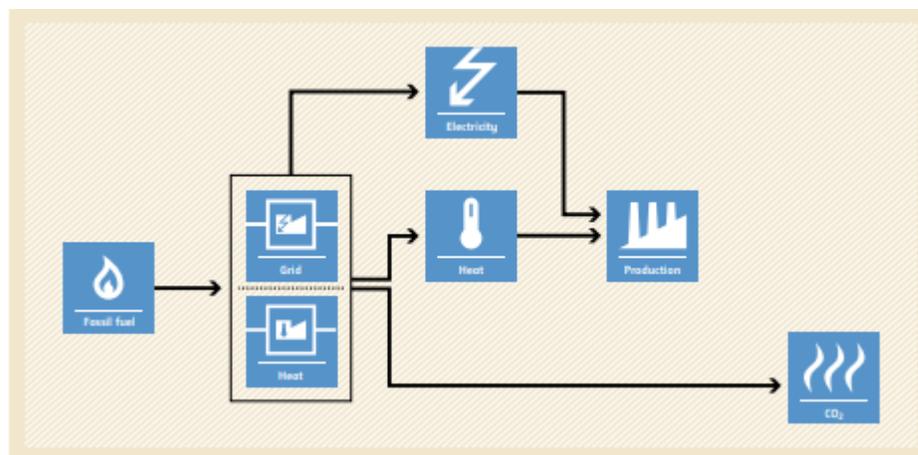


Figura 15: Diagrama de Flujo de Procesos para Eficiencia Energética en escenario de Línea Base. (UNFCCC, 2013b)

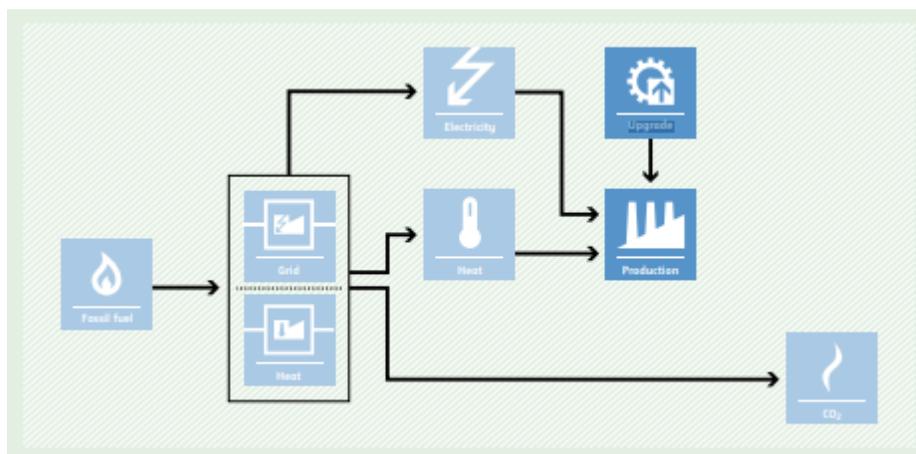


Figura 16: Diagrama de Flujo de Procesos para Eficiencia Energética en escenario con aplicación de APL. (UNFCCC, 2013b)

Tabla 39: Modelos matemáticos ASCC para reducciones GEI por Eficiencia Energética (Combustibles de Fuente Fija). (ASCC, 2017a)

| | |
|---|--|
| <p>Modelo Escenario Línea Base</p> | <p>Ecuación 9</p> $BL_y \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = \frac{FE_{CO_2,C_1} + FE_{CH_4,C_1} \cdot GWP_{CH_4} + FE_{N_2O,C_1} \cdot GWP_{N_2O}}{1000} \cdot PC_{C_1} \cdot A_{y,C_1}$ |
| <p>Modelo Escenario Con APL</p> | <p>Ecuación 10</p> $CAPL_y \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = \frac{FE_{CO_2,C_2} + FE_{CH_4,C_2} \cdot GWP_{CH_4} + FE_{N_2O,C_2} \cdot GWP_{N_2O}}{1000} \cdot PC_{C_2} \cdot A_{y,C_2}$ |

Tabla 40: Modelos matemáticos CDM para reducciones GEI por Eficiencia Energética (Combustibles de Fuente Fija). (UNFCCC, 2013b)

| | |
|---|---|
| <p>Modelo Escenario Línea Base</p> | <p>Ecuación 11</p> $BL_y \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = A_{y,C_1} \cdot PC_{C_1} \cdot (FE_{CO_2,C_1} + FLE_{C_1})$ |
| <p>Modelo Escenario Con APL</p> | <p>Ecuación 12</p> $CAPL_y \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = A_{y,C_2} \cdot PC_{C_2} \cdot (FE_{CO_2-C_2} + FLE_{C_2})$ |

Donde:

PC_C : Poder Calorífico del Combustible C

$FE_{[CO_2; CH_4; N_2O],C}$: Factores de emisión del Combustible C

$GWP_{CH_4; N_2O}$: Potencial de calentamiento global

FLE_C : Factor de Emisión de Emisiones fugitivas upstream del combustible C

$A_{y,C}$: Cantidad de Combustible C utilizada en el año y

Tabla 41: Modelos matemáticos para reducciones GEI por Eficiencia Energética (Consumo Eléctrico). (UNFCCC, 2013b) Y (ASCC, 2017a)

| | |
|--|---|
| Modelo Escenario Línea Base | <p>Ecuación 13</p> $BL_y \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = A_y \cdot FE_{red}$ |
| Modelo Escenario Con APL | <p>Ecuación 14</p> $CAPL_y \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = A_y \cdot FE_{red}$ |

Donde:

FE_{red} : Factor de emisión de la red eléctrica

A_y : Consumo eléctrico en el año y

c. Transporte

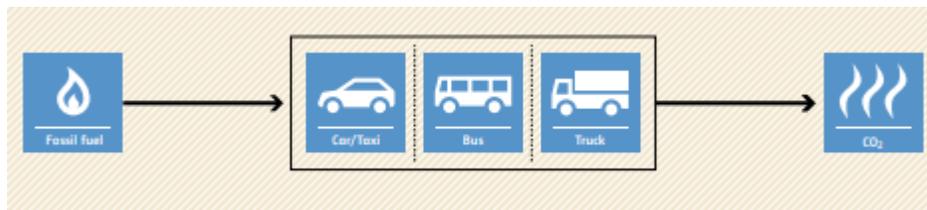


Figura 17: Diagrama de Flujo de Procesos para Categoría de Transporte en escenario de Línea Base. (UNFCCC, 2013a)

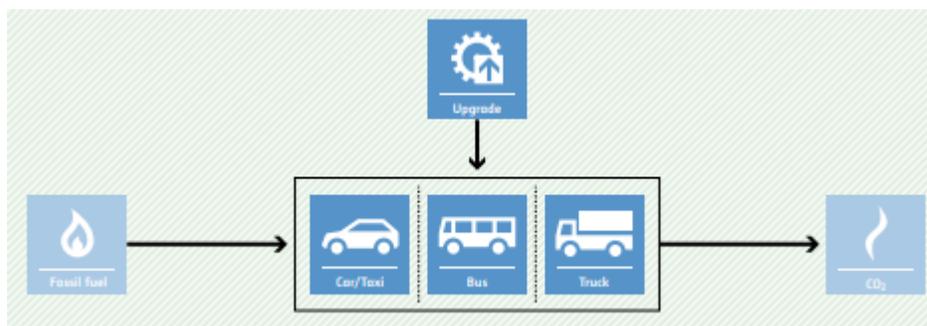


Figura 18: Diagrama de Flujo de Procesos para Categoría de Transporte en escenario con Aplicación de APL. (UNFCCC, 2013a)

Tabla 42: Modelos matemáticos ASCC para reducciones GEI por eficiencia de combustible en transporte. (ASCC, 2017a)

| | |
|------------------------------------|--|
| Modelo Escenario Línea Base | <p>Ecuación 15</p> $BL_y \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = \frac{FE_{CO_2,C_1} + FE_{CH_4,C_1} \cdot GWP_{CH_4} + FE_{N_2O,C_1} \cdot GWP_{N_2O}}{1000} \cdot PC_{C_1} \cdot A_{y,C_1}$ |
| Modelo Escenario Con APL | <p>Ecuación 16</p> $CAPL_y \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = \frac{FE_{CO_2,C_2} + FE_{CH_4,C_2} \cdot GWP_{CH_4} + FE_{N_2O,C_2} \cdot GWP_{N_2O}}{1000} \cdot PC_{C_2} \cdot A_{y,C_2}$ |

Tabla 43: Modelos matemáticos propuestos para estimar reducciones GEI por eficiencia de combustible en transporte. (UNFCCC, 2013a)

| | |
|--|---|
| Modelo Escenario Línea Base | <p>Ecuación 17</p> $BL_y \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = A_{y,c_1} \cdot PC_{c_1} \cdot FE_{CO_2,c_1}$ |
| Modelo Escenario Con APL | <p>Ecuación 18</p> $CAPL_y \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = A_{y,c_2} \cdot PC_{c_2} \cdot FE_{CO_2-c_2}$ |

Donde:

PC : Poder Calorífico del Combustible C

$FE_{[CO_2; CH_4; N_2O],C}$: Factores de emisión del Combustible C

$GWP_{CH_4; N_2O}$: Potencial de calentamiento global

$A_{y,C}$: Cantidad de Combustible C utilizada en el año y

d. Manejo de Refrigerantes

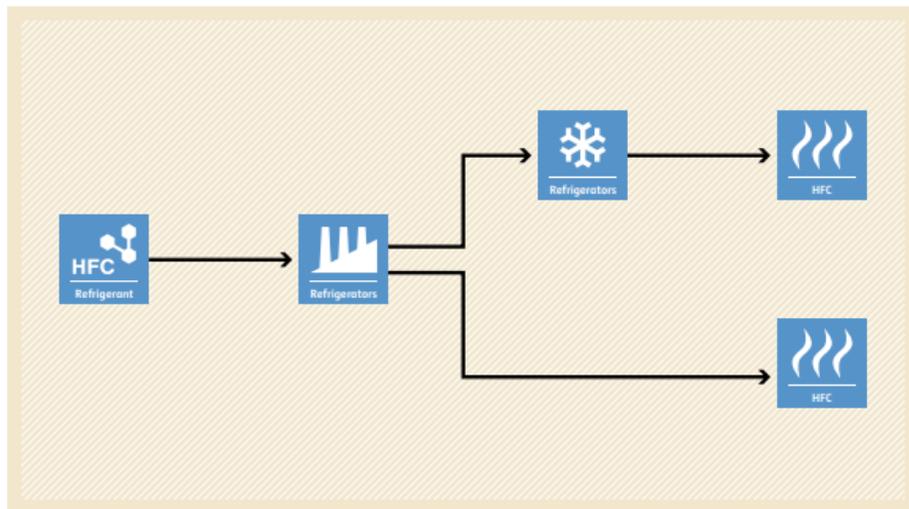


Figura 19: Diagrama de Flujo de Procesos para Manejo de Refrigerante en escenario de Línea Base. (UNFCCC, 2010)

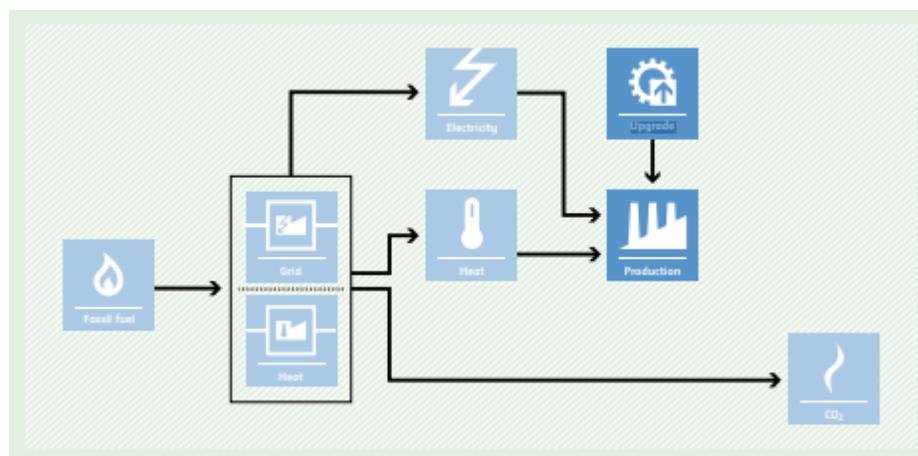


Figura 20: Diagrama de Flujo de Procesos para Manejo de Refrigerante en escenario con aplicación de APL. (UNFCCC, 2010)

Tabla 44: Modelos matemáticos para reducciones GEI por manejo de refrigerantes.
(UNFCCC, 2010) Y (ASCC, 2017a)

| | |
|--|---|
| Modelo Escenario Línea Base | <p>Ecuación 19</p> $BL_y \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = \frac{\sum_i \left(GWP_i \cdot \frac{n_i}{\sum n} \right)}{\sum n} \cdot ML_y$ |
| Modelo Escenario Con APL | <p>Ecuación 20</p> $CAPL_y \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = \frac{\sum_i \left(GWP_i \cdot \frac{n_i}{\sum n} \right)}{\sum n} \cdot ML_y$ |

Donde:

$\frac{n_i}{\sum n}$: Fracción de refrigerante i

GWP_i : Potencial de Calentamiento Global del gas refrigerante i

ML_y : Pérdida total de refrigerante i en aparatos de refrigeración

e. Manejo de Desechos Sólidos de Origen Biológico

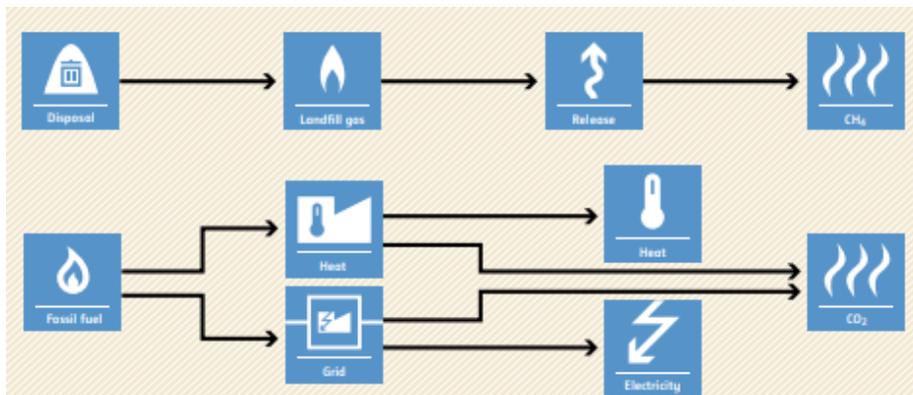


Figura 21: Diagrama de Flujo de Procesos para Manejo de Residuos Sólidos de Origen Biológico en escenario de Línea Base. (UNFCCC, 2014a)

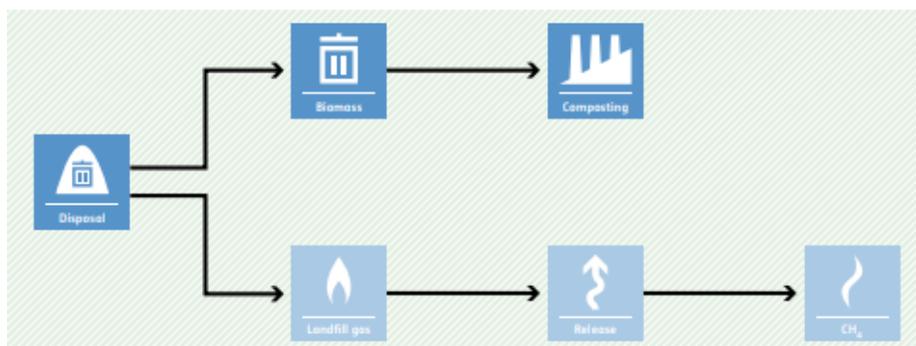


Figura 22: Diagrama de Flujo de Procesos para Manejo de Residuos Sólidos de Origen Biológico en escenario con aplicación de APL (compostaje). (UNFCCC, 2014a)

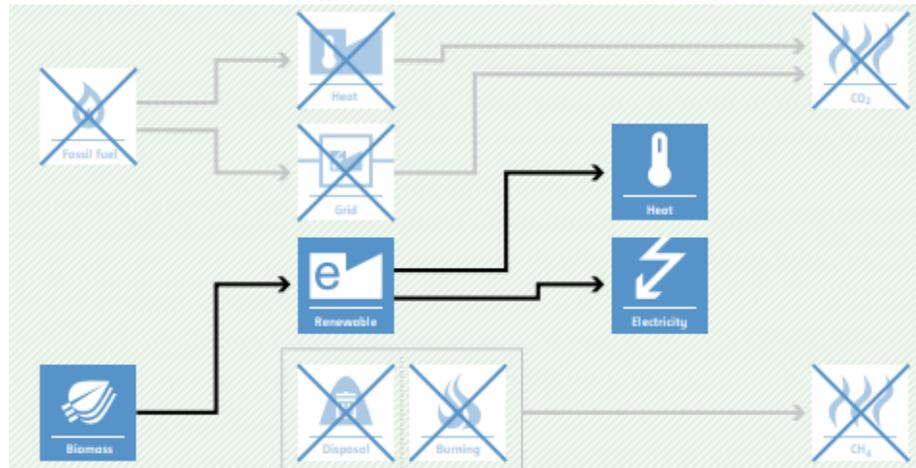


Figura 23: Diagrama de Flujo de Procesos para Manejo de Residuos Sólidos de Origen Biológico en escenario con aplicación de APL (combustión de biomasa). (UNFCCC, 2014a)

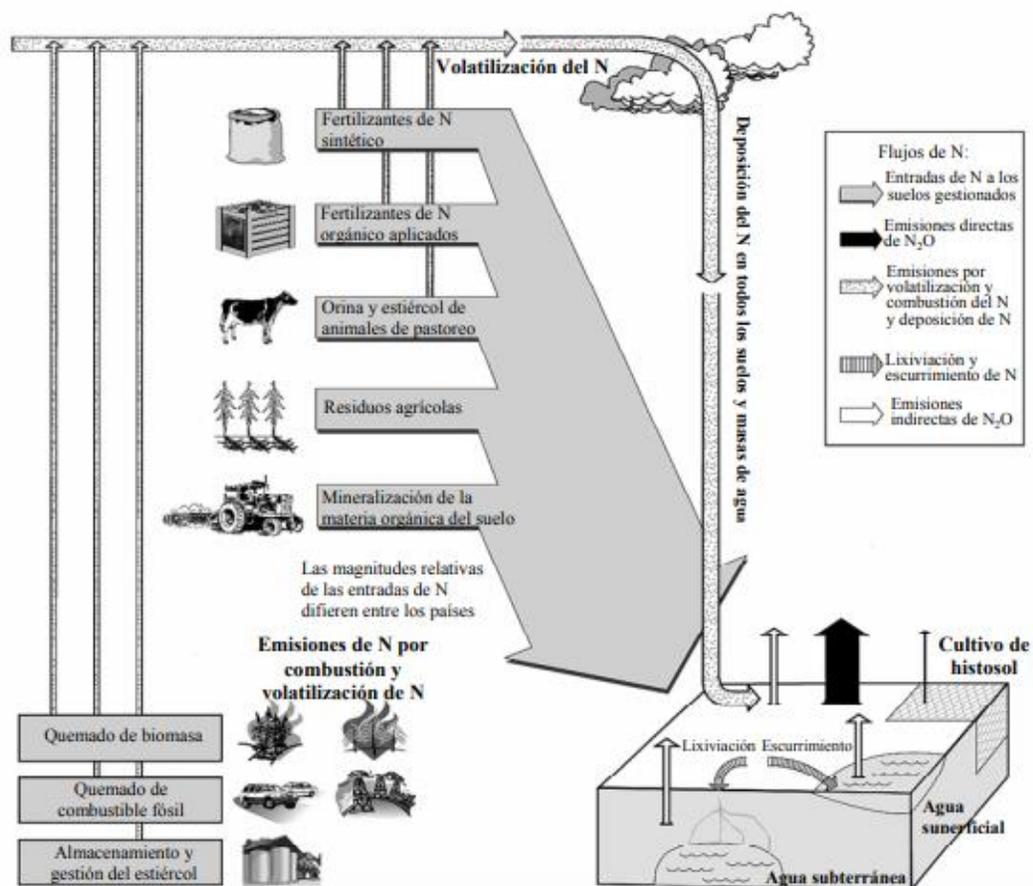


Figura 24: Diagrama de flujo emisiones GEI por incorporación de fuentes de nitrógeno al suelo (IPCC, 2006a)

f. Línea Base

Para el escenario de línea base se considera que el 100% de los desechos son depuestos en sitios de deposición de desechos (SWDS).

Ecuación 21

$$BL = E_{SWDS}$$

$$CAPL = E_{CO} + E_{ADS} + E_B$$

Tabla 45: Modelos matemáticos para la estimación de línea base de SWDS. (ASCC, 2017a) (UNFCCC, 2014a)

| | |
|-------------------------------|---|
| <p>Modelo ASCC</p> | <p>Ecuación 22</p> $E_{SWDS} \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = (1 - f_y) \cdot GWP_{CH_4} \cdot (1 - F_{ox}) \cdot \frac{16}{12} \cdot F \cdot DOC_{f,y} \cdot MCF_y \cdot \sum_{x=1}^y \sum_j DOC_j \cdot e^{-k_j(y-x)} \cdot (1 - e^{-k_j}) \cdot W_{j,y}$ |
| <p>Modelo CDM</p> | <p>Ecuación 23</p> $E_{SWDS} \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = \varphi \cdot (1 - f_y) \cdot GWP_{CH_4} \cdot (1 - F_{ox}) \cdot \frac{16}{12} \cdot F \cdot DOC_{f,y} \cdot MCF_y \cdot \sum_{x=1}^y \sum_j DOC_j \cdot e^{-k_j(y-x)} \cdot (1 - e^{-k_j}) \cdot W_{j,y}$ |

Donde:

GWP : Potencial de Calentamiento Global

f_y: Fracción de Metano capturado, quemado o utilizado de otra manera que previene las emisiones de Metano a la atmósfera en el año y

F_{ox} : Fracción de oxidación

F : Fracción de Metano gaseoso

$DOC_{f,y}$: Fracción de carbono degradable que se descompone bajo condiciones en año y

MCF_y : Factor de Corrección del Metano

DOC_j : Fracción de carbono orgánico degradable en el tipo de residuo j

k_j : Tasa de descomposición para el tipo de residuo j

x : Año de inicio de actividad

y : Año para el cual se calculan las emisiones de Metano

φ : Factor de corrección para tener en cuenta las incertidumbres del modelo para el año

y

$W_{j,y}$: Cantidad de residuo enviado a sitio de disposición de residuos en el año y

g. Compostaje

La Ecuación 24 describe el modelo de estimación de emisiones de gases de efecto invernadero (CH_4 y N_2O) producidas por el compostaje de materia orgánica descrito en (UNFCCC, 2014a), homologado al empleado por (ASCC, 2017a):

Ecuación 24

$$E_{Co} \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = (FE_{CH_4} \cdot GWP_{CH_4} + FE_{N_2O} \cdot GWP_{N_2O}) \cdot Q_{j,y}$$

Donde:

$FE_{[CH_4;N_2O]}$: Factor de emisión por compostaje

$GWP_{[CH_4;N_2O]}$: Potencial de Calentamiento Global

$Q_{j,y}$: Cantidad de residuo j utilizado para compostaje en el año y

h. Combustión de Biomasa

Tabla 46: Modelos matemáticos para la estimación emisiones por combustión de biomasa. (ASCC, 2017a)

| | |
|-------------------------|---|
| Modelo Actual | $E_B \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = A_y \cdot PC \cdot (FE_{CO_2} + GWP_{CH_4} \cdot FE_{CH_4} + GWP_{N_2O} \cdot FE_{N_2O})$ |
| Modelo Propuesto | $E_B \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = A_y \cdot PC \cdot (FE_{CO_2} + GWP_{CH_4,BR} \cdot FE_{CH_4,BR})$ |

i. Aplicación Directa a Suelo

Tabla 47: Modelos matemáticos para la estimación emisiones por combustión de aplicación directa a Suelo. Modelo Propuesto Adaptado de: (IPCC, 2006a)

| | |
|----------------------|--|
| Modelo Actual | $E_{ADS} \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = GWP \cdot \%N \cdot \frac{44}{28} \cdot (FE_{N_2O-D} + FE_{lix} \cdot X_{lix} + FE_{vol} \cdot X_{vol}) \cdot A_t$ |
|----------------------|--|

| | |
|-------------------------|--|
| Modelo Propuesto | $E_{ADS} \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = GWP \cdot \%N \cdot \frac{44}{28} \cdot (FE_{N2O-D} + FE_{lix} \cdot X_{lix} + FE_{vol} \cdot X_{vol}) \cdot A_t - \frac{\%N_{Urea}}{\%N} \cdot EF_{urea} \cdot A_t$ |
|-------------------------|--|

$\frac{44}{28}$: Relación peso molecular N₂O: N

X_{lix} : Fracción de nitrógeno que se lixivia

X_{vol} : Fracción de nitrógeno que se Volatiliza

FE_{N2O-D} : Factor de emisión directa [tN₂O/ton]

%N: Contenido de Nitrógeno del residuo

j. Manejo de Residuos Sólidos de Origen No Biológico (incluido reciclaje de residuos peligrosos)

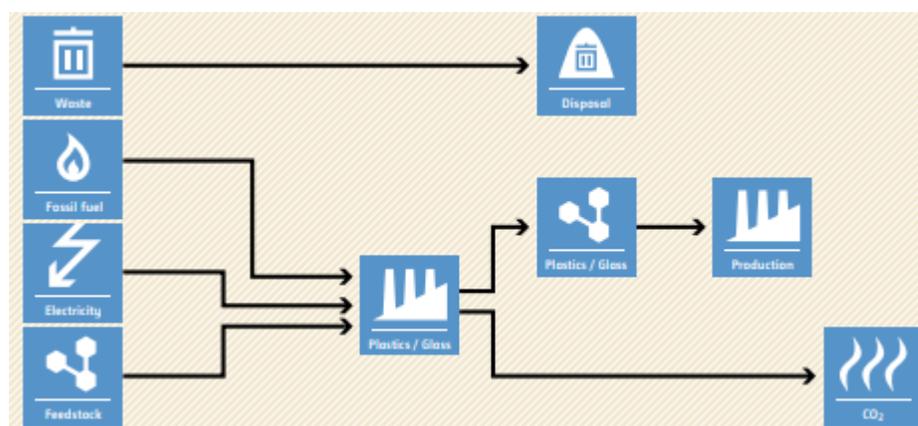


Figura 25: Diagrama de Flujo de Procesos para Residuos Sólidos de Origen No Biológico en escenario de Línea Base. (UNFCCC, 2017d)

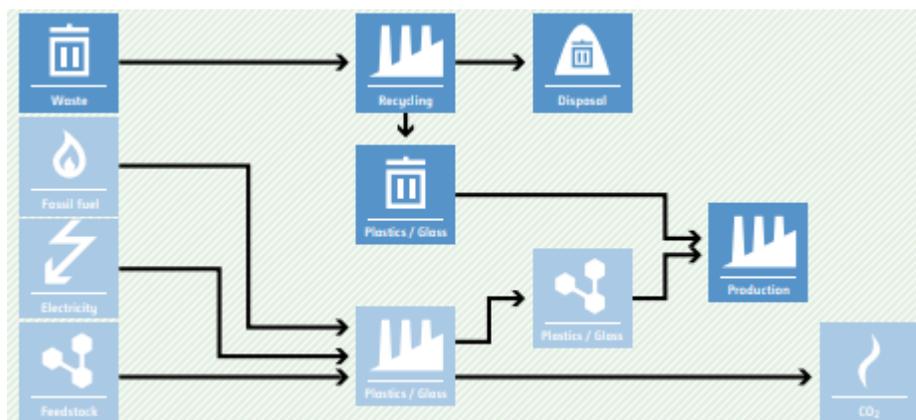


Figura 26: Diagrama de Flujo de Procesos para Residuos Sólidos de Origen No Biológico en escenario con aplicación de APL. (UNFCCC, 2017d)

Tabla 48: Modelos matemáticos CDM para reducciones GEI por reciclaje y/o reuso de residuos sólidos. (UNFCCC, 2017d)

| | |
|--|---|
| Modelo Escenario Línea Base | <p>Ecuación 25</p> $BL \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = \sum_i Q_i \cdot L_i (SEC_{BL,i} \cdot EF_{el} + SFC_{bl,i} \cdot EF_{FF,CO_2})$ |
| Modelo Escenario Con APL | <p>Ecuación 26</p> $CAPL_{reciclaje} \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = \sum_i Q_i \cdot (SEC_i \cdot EF_{el} + SFC_i \cdot EF_{FF,CO_2})$ <p>Ecuación 27</p> $CAPL_{reuso} \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = 0$ |

Donde:

i : Tipo de material reciclado

Q_i : Cantidad de material reciclado del tipo i

L_i : Factor de ajuste de pérdidas en el reciclaje

$SEC_{Bl,i}$: Consumo específico de electricidad para el material virgen

EF_{el} : Factor de emisión de la red eléctrica

$SFC_{bl,i}$: Consumo específico de combustible fósil para el material virgen

EF_{FF,CO_2} : Factor de emisión del combustible fósil

SEC_i : Consumo específico de electricidad en el reciclaje

SFC_i : Consumo específico de combustible fósil en el reciclaje

k. Manejo de Residuos Líquidos Industriales

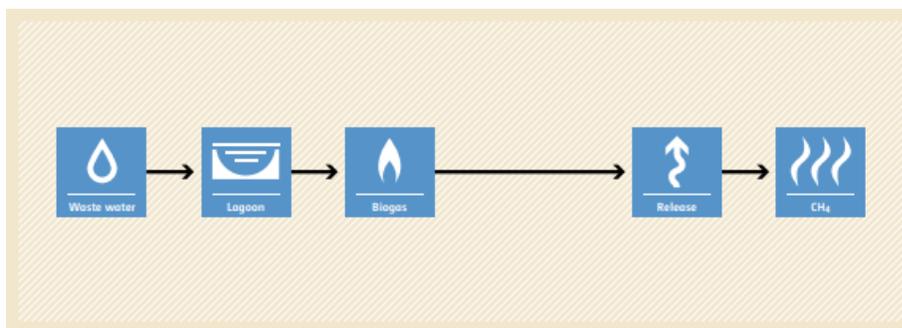


Figura 27: Diagrama de Flujo de Procesos para manejo de residuos líquidos industriales en Escenario de Línea Base. (UNFCCC, 2016b)

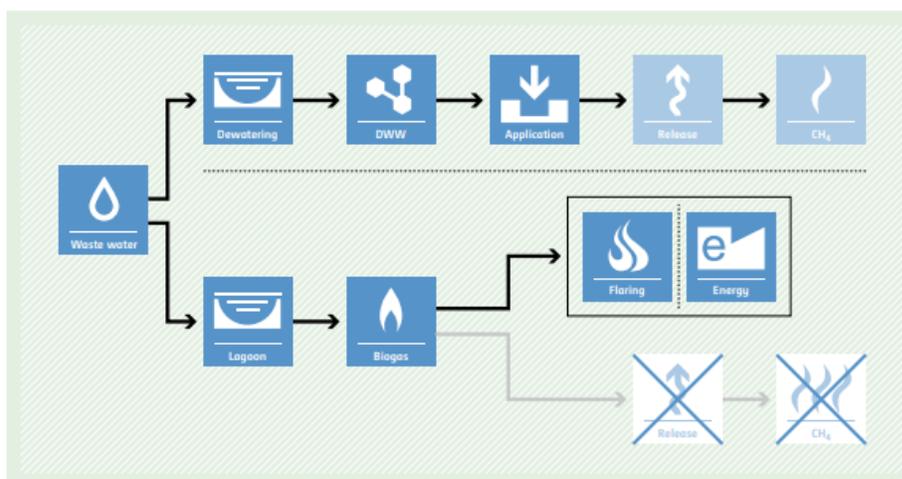


Figura 28: Diagrama de Flujo de Procesos para manejo de residuos líquidos industriales en Escenario con aplicación de APL. (UNFCCC, 2016b)

La Ecuación 28 describe el modelo de estimación de emisiones de gases de efecto invernadero (CH_4 y N_2O) producidas por tratamiento de RILES descrito en (UNFCCC, 2016b), homologado al empleado por (ASCC, 2017a):

Tabla 49: Modelos matemáticos ASCC para reducciones GEI tratamiento de RILES. (ASCC, 2017a) (UNFCCC, 2016b)

| | |
|---|---|
| <p>Modelo Escenario Línea Base</p> | <p>Ecuación 28</p> $BL \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = w_{ww,y} \cdot DQO \cdot MCF_{ww} \cdot (1 - f_y) \cdot GWP_{CH_4} \cdot B_O + w_{ww,y} \cdot N_{ww,y} \cdot GWP_{N_2O} \cdot \frac{44}{28} \cdot FE_{N_2O,ww}$ |
| <p>Modelo Escenario Con APL</p> | <p>Ecuación 29</p> $CAPL \left[\frac{tCO_2eq}{año} \right] = w_{ww,y} \cdot DQO \cdot MCF_{ww} \cdot (1 - f_y) \cdot GWP_{CH_4} \cdot B_O + w_{ww,y} \cdot N_{ww,y} \cdot GWP_{N_2O} \cdot \frac{44}{28} \cdot FE_{N_2O,ww}$ |

Donde:

$w_{ww,y}$: Cantidad de RILES generados (m^3)

GWP_{CH_4,N_2O} : Potencial de calentamiento global para Metano u óxido de nitrógeno

$\left(\frac{tCO_2eq}{t(CO_2,N_2O)} \right)$.

DQO : Demanda Química de Oxígeno $\left(\frac{ton}{m^3} \right)$.

MCF_{ww} : Factor de Corrección de Metano para RILES generados.

f_y : Fracción de Captura de Metano.

B_0 : Capacidad Máxima de Generación de Metano.

$N_{ww,y}$: Contenido de nitrógeno de los RILES generados.

$\frac{44}{28}$: Relación de masa molar ($N_2O:N_2$).

$FE_{N_2O,ww}$: Factor de emisión de N_2O de los RILES generados.

I. Categoría: Manejo de Residuos Peligrosos

El modelo de estimación de emisiones utilizado para la Incineración de Residuos empleado por la ASCC corresponde al modelo más actualizado de (IPCC, 2006a):

$$E \left[\frac{tCO_2e}{ton} \right] = \left(\frac{44}{12} \cdot F_C + GWP_{CH_4} \cdot FE_{CH_4} + GWP_{N_2O} FE_{N_2O} \right) \cdot A_y$$

Donde:

F_C : Fracción de Carbono Total

FE_{CH_4} : Factor de emisión de Metano

FE_{N_2O} : Factor de emisión de Óxido Nitroso

A_y : Dato de actividad (masa de residuos incinerada)

Anexo IV. DETERMINACIÓN DE FRACCIÓN DE BIOMASA NO RENOVABLE

La Herramienta Metodológica de Cálculo de Biomasa No Renovable (CDM Executive Board, 2012) para proyectos CDM define la Fracción de Biomasa No Renovable como:

Ecuación 30

$$f_{NRB} = \frac{NRB}{DRB + NRB}$$

Donde:

f_{NRB} : Fracción de Biomasa No Renovable

NRB : Cantidad de Biomasa No Renovable (ton/año)

RB : Cantidad de Biomasa Renovable Demostrable (ton/año)

Luego:

Ecuación 31

$$NRB = R - DRB$$

R : Total anual de remociones de biomasa en un país, región o área (ton/año).

Donde:

Ecuación 32

$$R = MAI + \Delta F$$

MAI: Incremento medio anual del crecimiento de la biomasa (ton/año)

ΔF : Cambio anual de biomasa forestal viva (ton/año)

Para la cual:

Ecuación 33

$$MAI = F \times GR$$

F: Extensión del bosque (ha)

GR : Incremento anual de biomasa (ton/ha-año)

Luego:

Ecuación 34

$$DBR = PA \times GR$$

PA: Extensión de áreas protegidas de bosques (ha)

Finalmente:

Ecuación 35

$$GR = \frac{\sum_i GR_i \cdot FR_i}{\sum_i FR_i}$$

GR_i : Incremento anual de biomasa zona ecológica (ton/ha-año)

FR_i : Distribución del área total de bosque por zona ecológica.

Tabla 50: Resumen fuentes bibliográficas de parámetros para determinación de fracción de biomasa no renovable

| Parámetro | Descripción | Fuente |
|------------|--|---------------|
| ΔF | Cambio anual de biomasa forestal viva | (FAO, 2015b) |
| F | Extensión del bosque | (FAO, 2015a) |
| GR_i | Incremento anual de biomasa por zona ecológica | (IPCC, 2006b) |
| FR_i | Distribución del área total de bosque por zona ecológica | (FAO, 2000) |
| PA | Extensión de áreas protegidas de bosques | (FAO, 2015c) |

Tabla 51: Distribución e incremento de la biomasa de bosque por zona ecológica

| Zona Ecológica | Distribución del área total de bosque | Incremento anual de biomasa mínimo (ton/ha-año) | Incremento anual de biomasa máximo (ton/ha-año) |
|------------------------------|---------------------------------------|---|---|
| Bosque Subtropical Seco | 51% | 1,0(bosque >20años) 4,0(bosque <20años) | 1,0(bosque >20años) 4,0(bosque <20años) |
| Bosque Subtropical Montañoso | 4% | 0,4(bosque >20años) 1,8(bosque <20años) | 1,4(bosque >20años) 5,0(bosque <20años) |
| Bosque Templado Oceánico | 39% | 2,4 | 8,9 |
| Bosque Templado Estepa | 2% | 2,4 | 8,9 |
| Bosque Templado Montañoso | 5% | 2,4 | 8,9 |

Los rangos de Incremento anual de biomasa descritos en la **Tabla 51** corresponden a funciones de distribución uniformes. La solución más probable de la Ecuación 35 se determinó mediante Simulación de Monte Carlo (n=10.000).

Tabla 52: Simulación de Monte Carlo para cálculo de Incremento medio anual de la biomasa de Chile

| Parámetro | Valor (ton/ha-año) |
|---------------------|---------------------------|
| Promedio | 4,0 |
| Desviación Estándar | 1,3 |
| U (95%) | 2,1 |

Tabla 53: Parámetros para determinación de fracción de biomasa no renovable

| Parámetro | Símbolo | Valor | Unidades |
|--|----------------|---------------|-----------------|
| Extensión del bosque | <i>F</i> | 17.735.000,0 | ha |
| Incremento anual de biomasa | <i>GR</i> | 4,0 | Ton/ha-año |
| Extensión de áreas protegidas de bosques | <i>PA</i> | 5.953.000,0 | ha |
| Cambio anual de biomasa forestal viva ⁸ | ΔF | 61.148.936,2 | Ton/año |
| Incremento medio anual del crecimiento de la biomasa | <i>MAI</i> | 70.940.000 | Ton/año |
| Total anual de remociones de biomasa | <i>R</i> | 132.088.936 | Ton/año |
| Cantidad de Biomasa Renovable Demostrable | <i>DRB</i> | 23.812.000 | Ton/año |
| Cantidad de Biomasa No Renovable | <i>NRB</i> | 108.276.936 | Ton/año |
| Fracción Biomasa No Renovable | f_{NRB} | 81,97% | |

⁸ (FAO, 2015b) reporta una variación del contenido de carbono forestal vivo en el periodo 2010-2015 de 28.740.000 ton/año. El cambio de biomasa forestal viva corresponde al cociente entre el contenido de carbono forestal vivo y 0,47, valor de conversión por defecto descrito en (IPCC, 2006a).

**Anexo V. EVALUACIÓN DE SIGNIFICANCIA SOBRE LAS EMISIONES DE CH₄ Y N₂O EN LA
COMBUSTIÓN PARA LA CATEGORÍA ENERGÍA.**

La metodología de evaluación de categorías principales (IPCC, 2000) empleada como criterio para evaluarla significancia de las emisiones de CH₄ y N₂O en la combustión, considera que:

Ecuación 36

$$L_{x,t} = \frac{|E_{x,t}|}{\sum_y |E_{y,t}|}$$

Donde:

$L_{x,t}$: Criterio evaluador de emisiones

$|E_{x,t}|$: Emisiones producidas por CO₂, CH₄ o N₂O

$\sum_y |E_{y,t}|$: Total de emisiones.

Que, en el caso de la combustión puede reducirse a:

Ecuación 37

$$L_{x,t} = \frac{|FE_x \cdot A_t|}{\sum_i |FE_i \cdot A_t|}$$

Ecuación 38

$$L_x = \frac{|FE_x|}{\sum_i |FE_i|}$$

Donde:

A_t : Dato de actividad (consumo de combustible).

FE_x : Factor de emisión del combustible x.

Luego incorporando la incertidumbre en la selección de categorías principales:

Ecuación 39

$$LU_x = \frac{L_x \cdot U_x}{\sum_y (L_y \cdot U_y)}$$

Donde:

U_x : Incertidumbre del parámetro.

Según la metodología de categorías principales del (IPCC, 2000), se deben conservar aquellas emisiones con L_x y/o $LU_x > 90\%$

Tabla 54: Evaluación de Contribución a las emisiones totales y a la incertidumbre total según gas de efecto invernadero y combustible.

| Combustible | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|------------------------------------|-----------------|--------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | L_x | LU_x | L_x | LU_x | L_x | LU_x |
| Carbón | 0,99 | 0,99 | 3,14 x10 ⁻³ | 2,06 x10 ⁻⁴ | 4,16 x10 ⁻³ | 4,02 x10 ⁻⁴ |
| GNL | 0,99 | 0,99 | 5,61 x10 ⁻⁴ | 3,48 x10 ⁻⁷ | 4,96 x10 ⁻⁴ | 2,72E-07 |
| GLP | 0,99 | 0,99 | 4,75 x10 ⁻⁴ | 5,11 x10 ⁻⁶ | 4,20 x10 ⁻⁴ | 3,99 x10 ⁻⁶ |
| Madera y desechos de madera | 0,98 | 0,99 | 7,90 x10 ⁻³ | 4,42 x10 ⁻⁴ | 9,30 x10 ⁻³ | 6,90 x10 ⁻⁴ |
| Diésel | 0,99 | 0,99 | 1,21 x10 ⁻³ | 8,92 x10 ⁻⁵ | 2,14 x10 ⁻³ | 2,78 x10 ⁻⁴ |

Anexo VI. VALORES DE MEDIA E INCERTIDUMBRE PARA LOS PARÁMETROS UTILIZADOS.

a. Emisiones para categoría Energía

Tabla 55: Parámetros e incertidumbre asociados a emisiones por combustión de leña

| Parámetro | Media | Incertidumbre | Función de Distribución de Probabilidad |
|---|--------------|----------------------|--|
| Poder Calorífico | 0,0066 | 0,0009 | Uniforme |
| Factor de Emisión CO ₂ | 112 | 13,4 | Normal |
| Potencial de Calentamiento Global CO ₂ | 1 | 0,25 | Normal |
| Fracción de Biomasa No Renovable | 0,82 | 0,41 | Uniforme |

Tabla 56: Parámetros e incertidumbre asociados a emisiones misiones por combustión de Carbón

| Parámetro | Media | Incertidumbre | Función de Distribución de Probabilidad |
|---|--------------|----------------------|--|
| Poder Calorífico | 0,016 | 0 | - |
| Factor de Emisión CO ₂ | 96,1 | 3,9 | Normal |
| Potencial de Calentamiento Global CO ₂ | 1 | 0,25 | Normal |
| Emisiones Fugitivas Upstream | 10,272 | 0,71904 | Normal |

Tabla 57: Parámetros e incertidumbre asociados a emisiones por combustión de Diésel

| Parámetro | Media | Incertidumbre Reducida | Función de Distribución de Probabilidad |
|---|--------------|-------------------------------|--|
| Poder Calorífico | 0,041 | 0 | - |
| Factor de Emisión CO ₂ | 74,1 | 0,84 | Normal |
| Potencial de Calentamiento Global CO ₂ | 1 | 0,25 | Normal |
| Emisiones Fugitivas Upstream | 12,692 | 0,6 | Normal |

Tabla 58: Parámetros e incertidumbre asociados a emisiones por combustión de Queroseno

| Parámetro | Media | Incertidumbre Reducida | Función de Distribución de Probabilidad |
|---|--------------|-------------------------------|--|
| Poder Calorífico | 0,0418 | 0 | - |
| Factor de Emisión CO ₂ | 71,9 | 1,08 | Normal |
| Potencial de Calentamiento Global CO ₂ | 1 | 0,25 | Normal |
| Emisiones Fugitivas Upstream | 6,46 | 0,43 | Normal |

Tabla 59: Parámetros e incertidumbre asociados a emisiones por combustión de GLP

| Parámetro | Media | Incertidumbre Reducida | Función de Distribución de Probabilidad |
|---|--------------|-------------------------------|--|
| Poder Calorífico | 0,0456 | 0 | - |
| Factor de Emisión CO ₂ | 63,1 | 1,49 | Normal |
| Potencial de Calentamiento Global CO ₂ | 1 | 0,25 | Normal |
| Emisiones Fugitivas Upstream | 7,395 | 0,44 | Normal |

Tabla 60: Parámetros e incertidumbre asociados a emisiones por combustión de GNL

| Parámetro | Media | Incertidumbre Reducida | Función de Distribución de Probabilidad |
|---|------------------------|------------------------|---|
| Poder Calorífico | 3,45 x10 ⁻⁵ | 0 | - |
| Factor de Emisión CO ₂ | 64,2 | 4,37 | Normal |
| Potencial de Calentamiento Global CO ₂ | 1 | 0,25 | Normal |
| Emisiones Fugitivas Upstream | 2,2 | 0,11 | Normal |

b. Emisiones por manejo de residuos sólidos

Tabla 61: Parámetros e incertidumbre asociados a emisiones provenientes de Rellenos Sanitarios

| Parámetro | Media | Incertidumbre Reducida | Función de Distribución de Probabilidad |
|--|-------|------------------------|---|
| Fracción de Captura de Metano | 0,17 | 0,26 | Desviación Estándar |
| Fracción de Oxidación | 0,1 | 0,05 | Triangular |
| Fracción de Metano gaseoso | 0,5 | 0,01 | Normal |
| Fracción de carbono degradable que se descompone bajo condiciones en año y | 0,18 | 0,01 | Normal |
| Factor de Corrección del Metano | 1 | 0,02 | Triangular |
| Fracción de carbono orgánico degradable en el tipo de residuo ⁹ | 0,164 | 0,01 | Normal |
| Tasa de descomposición ¹⁰ | 0,122 | 0,06 | Triangular |
| Potencial de Calentamiento Global de Metano | 28 | 5,71 | Normal |

⁹ Se consideró solo desechos de tipo domiciliarios para la estimación de incertidumbre.

¹⁰ Se utilizó un promedio de las Tasas de Descomposición Regionales para la estimación de incertidumbre.

Tabla 62: Parámetros e incertidumbre asociados a emisiones provenientes de Vertederos

| Parámetro | Media | Incertidumbre Reducida | Función de Distribución de Probabilidad |
|--|-------|------------------------|---|
| Fracción de Metano gaseoso | 0,5 | 0,01 | Normal |
| Fracción de carbono degradable que se descompone bajo condiciones en año y | 0,18 | 0,01 | Normal |
| Factor de Corrección del Metano | 1 | 0,02 | Triangular |
| Fracción de carbono orgánico degradable en el tipo de residuo | 0,164 | 0,01 | Normal |
| Tasa de descomposición | 0,122 | 0,06 | Triangular |
| Potencial de Calentamiento Global de Metano | 28 | 5,71 | Normal |

Tabla 63: Parámetros e incertidumbre asociados a emisiones por Compostaje

| Parámetro | Media | Incertidumbre Reducida | Función de Distribución de Probabilidad |
|--|------------------------|------------------------|---|
| Factor de emisión CH ₄ : Papel y Cartón | 2,68 x10 ⁻⁴ | 1,44 x10 ⁻⁵ | Uniforme |
| Factor de emisión N ₂ O: Papel y Cartón | 7,15 x10 ⁻⁵ | 2,57 x10 ⁻⁵ | Uniforme |
| Factor de emisión CH ₄ : Domiciliario | 2,68 x10 ⁻⁴ | 1,44 x10 ⁻⁵ | Uniforme |
| Factor de emisión N ₂ O: Domiciliario | 7,15 x10 ⁻⁵ | 2,57 x10 ⁻⁵ | Uniforme |
| Factor de emisión CH ₄ : Alimento | 2,68 x10 ⁻⁴ | 1,44 x10 ⁻⁵ | Uniforme |
| Factor de emisión N ₂ O: Alimento | 7,15 x10 ⁻⁵ | 2,57 x10 ⁻⁵ | Uniforme |
| Factor de emisión CH ₄ : Poda | 3,27 x10 ⁻⁴ | 1,60 x10 ⁻⁴ | Uniforme |
| Factor de emisión N ₂ O: Poda | 1,02 x10 ⁻⁴ | 4,42 x10 ⁻⁵ | Uniforme |
| Factor de emisión CH ₄ : Lodo | 4,10 x10 ⁻⁵ | 2,31 x10 ⁻⁶ | Uniforme |
| Factor de emisión N ₂ O: Lodo | 2,16 x10 ⁻⁴ | 2,92 x10 ⁻⁵ | Uniforme |

Tabla 64: Parámetros e incertidumbre asociados a emisiones por Aplicación directa sobre suelo

| Parámetro | Media | Incertidumbre Reducida | Función de Distribución de Probabilidad |
|---|-----------------------|------------------------|---|
| Contenido de Nitrógeno Compost | 0,006 | 0,002 | Uniforme |
| Contenido de Nitrógeno Guano | 0,029 | 0,005 | Uniforme |
| Contenido de Nitrógeno Lodos | 0,0225 | 0,0030 | Uniforme |
| Contenido de Nitrógeno Alimento | 0,024 | 0,002 | Uniforme |
| Contenido de Nitrógeno Orujos | 0,010 | 0,002 | Uniforme |
| Contenido de Nitrógeno Poda | 0,011 | 0,001 | Uniforme |
| Contenido de Nitrógeno RILES | $1,25 \times 10^{-5}$ | $2,89 \times 10^{-6}$ | Uniforme |
| Contenido de Nitrógeno Domiciliario | 0,0125 | 0,0040 | Uniforme |
| Factor de emisión directa | 0,01 | 0,01 | Triangular |
| Fracción de nitrógeno que se volatiliza | 0,20 | 0,06 | Triangular |
| Factor de emisión de fracción volatilizable | 0,01 | 0,01 | Triangular |
| Fracción de nitrógeno que se lixivia | 0,30 | 0,14 | Triangular |

Tabla 65: Parámetros e incertidumbre asociados a emisiones por combustión de biomasa

| Parámetro | Media | Incertidumbre Reducida | Función de Distribución de Probabilidad |
|---|--------|------------------------|---|
| Poder Calorífico Inferior | 0,012 | | - |
| Factor de emisión CO ₂ | 100,0 | 6,6 | Normal |
| Factor de emisiones CH ₄ (más conservador) | 0,0417 | 0,0315 | Normal |

c. Emisiones asociadas a manejo de RILES

Tabla 66: Parámetros e incertidumbre asociado a emisiones por manejo de RILES

| Parámetro | Media | Incertidumbre | Función de Distribución de Probabilidad |
|---|-----------------------|-----------------------|--|
| Demanda Biológica de Oxígeno: RILES a red de alcantarillado | $3,0 \times 10^{-4}$ | $9,0 \times 10^{-5}$ | Triangular |
| Factor de Corrección de Metano: RILES a red de alcantarillado | 0,027 | 0,05 | Normal |
| Fracción de Captura de Metano: RILES a red de alcantarillado | 0 | 0 | Normal |
| Capacidad Máxima de Generación de Metano: RILES a red de alcantarillado | 0,6 | 0,09 | Normal |
| Contenido de nitrógeno: RILES a red de alcantarillado | $1,25 \times 10^{-5}$ | $3,00 \times 10^{-6}$ | Triangular |
| Demanda Química de Oxígeno: RILES a cuerpos de agua | $3,0 \times 10^{-4}$ | $8,0 \times 10^{-5}$ | Triangular |
| Factor de Corrección de Metano: RILES a cuerpos de agua | 0,1 | 0,05 | Normal |
| Capacidad Máxima de Generación de Metano: RILES a cuerpos de agua | 0,6 | 0,09 | Normal |
| Contenido de nitrógeno: RILES a cuerpos de agua | $5,0 \times 10^{-5}$ | $3,00 \times 10^{-6}$ | Normal |
| Factor de emisión de N ₂ O por RILES | 0,005 | 0,05 | Triangular |

a. Emisiones asociadas a manejo de Refrigerantes

Tabla 67: Parámetros e incertidumbre asociados a emisiones por manejo de Refrigerantes

| Parámetro | Media | Incertidumbre Reducida | Función de Distribución de Probabilidad |
|--|--------------|-------------------------------|--|
| Potencial de Calentamiento Global CHClF_2 | 1760 | 616 | normal |
| Potencial de Calentamiento Global $\text{C}_2\text{H}_3\text{F}_3$ | 4800 | 857.1 | normal |
| Potencial de Calentamiento Global CF_3CHF_2 | 3170 | 566.1 | normal |

Anexo VII. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES GEI SEGÚN CATEGORÍA Y FUENTE DE EMISIÓN

| Parámetro | Unidad | Situación Actual | | | Propuesta de Mejora | | |
|---|-----------------------|-----------------------|------------|---------------|-----------------------|------------|---------------------------------|
| | | Valor | Puntuación | Fuente | Valor | Puntuación | Fuente |
| CATEGORIA: ENERGIA | | | | | | | |
| Emisiones por Combustión de Leña | | | | | | | |
| Poder Calorífico Inferior | TJ/m ³ | 0,0058 | 2 | (IEA, 2013) | 0,0066 ¹¹ | 3 | (MMA, 2017b) |
| Factor de emisión CO ₂ | tCO ₂ /TJ | 112,0 | 1 | (IPCC, 2006a) | 112,0 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Fracción de biomasa no renovable | - | - | 0 | - | 0,82 | 3 | Elaboración Propia: Ver Anexo I |
| Emisiones por Combustión de Carbón | | | | | | | |
| Poder Calorífico Inferior | TJ/ton | 0,028 | 2 | (IEA, 2013) | 0,017 | 3 | (IEA, 2018) |
| Factor de emisión CO ₂ | tCO ₂ /TJ | 94,6 | 1 | (IPCC, 2006a) | 96,1 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Factor de emisiones Up-stream | tCO ₂ e/TJ | - | 0 | - | 21,4 | 2 | (UNFCCC, 2014b) |
| Emisiones por Combustión de Diésel | | | | | | | |
| Poder Calorífico Inferior | TJ/ton | 0,041 | 2 | (IEA, 2013) | 0,041 | 2 | (IEA, 2013) |
| Factor de emisión CO ₂ | tCO ₂ /TJ | 74,1 | 1 | (IPCC, 2006a) | 74,1 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Factor de emisiones Up-stream | tCO ₂ e/TJ | - | 0 | - | 16,7 | 2 | (UNFCCC, 2014b) |
| Emisiones por Combustión de GNL | | | | | | | |
| Poder Calorífico Inferior | TJ/m ³ | 3,91x10 ⁻⁵ | 2 | (IEA, 2013) | 3,45x10 ⁻⁵ | 3 | (Decreto 69, 2004) |
| Factor de emisión CO ₂ | tCO ₂ /TJ | 64,2 | 1 | (IPCC, 2006a) | 64,2 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Factor de emisiones Up-stream | tCO ₂ e/TJ | - | 0 | - | 2,2 | 2 | (UNFCCC, 2014b) |

¹¹ De los valores reportados por (MMA, 2017b) se consideró promedio leña seca con un contenido de humedad de 25% para 8 especies de leña como factor más conservador y se consideró como incertidumbre la desviación estándar de 18 especies con contenido de humedad de 18%, 25% y 33%.

| Parámetro | Unidad | Situación Actual | | | Propuesta de Mejora | | |
|---|------------------------|------------------|------------|-------------------------------|---------------------|------------|-------------------------------|
| | | Valor | Puntuación | Fuente | Valor | Puntuación | Fuente |
| CATEGORIA: ENERGIA | | | | | | | |
| Emisiones por Combustión de GLP | | | | | | | |
| Poder Calorífico Inferior | TJ/ton | 0,0456 | 2 | (IEA, 2013) | 0,0456 | 2 | (IEA, 2013) |
| Factor de emisión CO ₂ | tCO ₂ /TJ | 63,1 | 1 | (IPCC, 2006a) | 63,1 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Factor de emisiones Up-stream | tCO ₂ e/TJ | 8,7 | 0 | - | 8,7 | 2 | (UNFCCC, 2014b) |
| Emisiones por Combustión de Queroseno | | | | | | | |
| Poder Calorífico Inferior | TJ/ton | 0,0418 | 2 | (IEA, 2013) | 0,0418 | 2 | (IEA, 2013) |
| Factor de emisión CO ₂ | tCO ₂ /TJ | 71,9 | 1 | (IPCC, 2006a) | 71,9 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Factor de emisiones Up-stream | tCO ₂ e/TJ | - | 0 | - | 8,5 | 2 | (UNFCCC, 2014b) |
| Emisiones por Combustión de Gasolina | | | | | | | |
| Poder Calorífico Inferior | TJ/ton | 0,423 | 2 | (IEA, 2013) | 0,423 | 2 | (IEA, 2013) |
| Factor de emisión CO ₂ | tCO ₂ /TJ | 69,3 | 1 | (IPCC, 2006a) | 69,3 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Emisiones por Consumo de Energía por Red Eléctrica | | | | | | | |
| Factor de emisión red SING | tCO ₂ e/kWh | - | 4 | (Ministerio de Energía, 2019) | - | 4 | (Ministerio de Energía, 2019) |
| Factor de emisión red SIC | tCO ₂ e/kWh | - | 4 | (Ministerio de Energía, 2019) | - | 4 | (Ministerio de Energía, 2019) |

| Parámetro | Unidad | Situación Actual | | | Propuesta de Mejora | | |
|---|--------|------------------|------------|---------------|---------------------|------------|---------------------------------|
| | | Valor | Puntuación | Fuente | Valor | Puntuación | Fuente |
| CATEGORIA: MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS DE ORIGEN BIOLÓGICO | | | | | | | |
| Emisiones por Sitios de Disposición de Residuos Sólidos (SWDS) | | | | | | | |
| Factor de corrección de la incertidumbre: región seca | - | 1 | 0 | - | 0,85 | 1 | (UNFCCC, 2017c) |
| Factor de corrección de la incertidumbre: región húmeda | - | 1 | 0 | - | 0,80 | 1 | (UNFCCC, 2017c) |
| Fracción de Metano capturado | - | | 4 | (ASCC, 2017c) | | 4 | (ASCC, 2017c) |
| Fracción de oxidación: Relleno Sanitario | - | 0 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,1 | 2 | (IPCC, 2006a) (DS 189, 2009) |
| Fracción de oxidación: Vertedero | - | 0 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Fracción de Metano gaseoso | - | 0 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Fracción de carbono degradable | - | 0,5 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,18 | 3 | (IPCC, 1996) |
| Factor de Corrección del Metano: Relleno Sanitario | - | 1 | 1 | (IPCC, 2006a) | 1 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Factor de Corrección del Metano: Vertedero | - | 0,6 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,4 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Fracción de carbono orgánico degradable: Papel y cartón | - | 0,4 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,4 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Fracción de carbono orgánico degradable: madera | - | 0,43 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,43 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Fracción de carbono orgánico degradable: alimento | - | 0,15 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,15 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Fracción de carbono orgánico degradable: lodo | - | | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,09 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Fracción de carbono orgánico degradable: domiciliario | - | 0,164 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,164 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Fracción de carbono orgánico degradable: poda | - | 0,2 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,2 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Tasa de descomposición: XV región | - | 0,05 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,02 | 4 | (MMA, 2014) |
| Tasa de descomposición: I región | - | 0,05 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,02 | 4 | (MMA, 2014) |

| Parámetro | Unidad | Situación Actual | | | Propuesta de Mejora | | |
|---|--------|------------------|------------|---------------|---------------------|------------|-------------|
| | | Valor | Puntuación | Fuente | Valor | Puntuación | Fuente |
| CATEGORIA: MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS DE ORIGEN BIOLÓGICO | | | | | | | |
| Emisiones por Sitios de Disposición de Residuos Sólidos (SWDS) | | | | | | | |
| Tasa de descomposición: II región | - | 0,05 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,02 | 4 | (MMA, 2014) |
| Tasa de descomposición: III región | - | 0,05 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,035 | 4 | (MMA, 2014) |
| Tasa de descomposición: IV región | - | 0,05 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,035 | 4 | (MMA, 2014) |
| Tasa de descomposición: V región | - | 0,05 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,075 | 4 | (MMA, 2014) |
| Tasa de descomposición: RM | - | 0,05 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,075 | 4 | (MMA, 2014) |
| Tasa de descomposición: VI región | - | 0,05 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,075 | 4 | (MMA, 2014) |
| Tasa de descomposición: VII región | - | 0,09 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,075 | 4 | (MMA, 2014) |
| Tasa de descomposición: VIII región | - | 0,09 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,1 | 4 | (MMA, 2014) |
| Tasa de descomposición: IX región | - | 0,09 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,225 | 4 | (MMA, 2014) |
| Tasa de descomposición: X región | - | 0,09 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,35 | 4 | (MMA, 2014) |
| Tasa de descomposición: XIV región | - | 0,09 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,35 | 4 | (MMA, 2014) |
| Tasa de descomposición: XI región | - | 0,09 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,35 | 4 | (MMA, 2014) |
| Tasa de descomposición: XII región | - | 0,09 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,025 | 4 | (MMA, 2014) |

| Parámetro | Unidad | Situación Actual | | | Propuesta de Mejora | | |
|--|-----------------------|------------------|------------|---------------------------------|---------------------|------------|---------------------------------|
| | | Valor | Puntuación | Fuente | Valor | Puntuación | Fuente |
| CATEGORIA: MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS DE ORIGEN BIOLÓGICO | | | | | | | |
| Emisiones por Compostaje | | | | | | | |
| Factor de emisión CH ₄ : Papel y Cartón | tCH ₄ /Ton | 0,000268 | 2 | (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008) | 0,000268 | 2 | (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008) |
| Factor de emisión N ₂ O: Papel y Cartón | tN ₂ O/Ton | 0,0000715 | 2 | (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008) | 0,0000715 | 2 | (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008) |
| Factor de emisión CH ₄ : Domiciliario | tCH ₄ /Ton | 0,000268 | 2 | (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008) | 0,000268 | 2 | (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008) |
| Factor de emisión N ₂ O: Domiciliario | tN ₂ O/Ton | 0,0000715 | 2 | (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008) | 0,0000715 | 2 | (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008) |
| Factor de emisión CH ₄ : Alimento | tCH ₄ /Ton | 0,000268 | 2 | (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008) | 0,000268 | 2 | (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008) |
| Factor de emisión N ₂ O: Alimento | tN ₂ O/Ton | 0,0000715 | 2 | (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008) | 0,0000715 | 2 | (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008) |
| Factor de emisión CH ₄ : Poda | tCH ₄ /Ton | 0,000326 | 2 | (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008) | 0,000326 | 2 | (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008) |
| Factor de emisión N ₂ O: Poda | tN ₂ O/Ton | 0,0001015 | 2 | (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008) | 0,0001015 | 2 | (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008) |
| Factor de emisión CH ₄ : Lodo | tCH ₄ /Ton | 0,000041 | 2 | (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008) | 0,000041 | 2 | (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008) |
| Factor de emisión N ₂ O: Lodo | tN ₂ O/Ton | 0,000215 | 2 | (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008) | 0,000215 | 2 | (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008) |

| Parámetro | Unidad | Situación Actual | | | Propuesta de Mejora | | |
|---|-----------------------|-----------------------|------------|---|------------------------|------------|---|
| | | Valor | Puntuación | Fuente | Valor | Puntuación | Fuente |
| Emisiones por adición directa de residuos sobre el suelo | | | | | | | |
| Contenido de Nitrógeno Compost | % | 0,60 | 2 | (FAO, 2013) | 0,60 | 2 | (FAO, 2013) |
| Contenido de Nitrógeno Guano | % | 4,90 | 2 | (Hirzel, 2008) | 2,90 | 3 | (INIA, 2010) |
| Contenido de Nitrógeno Lodos | % | 2,80 | 2 | (Janßen, 2003) | 2,25 | 3 | (INIA, 2005) |
| Contenido de Nitrógeno Alimento | % | 2,00 | 1 | Supuesto | 2,40 | 2 | (Rynk, 1992) |
| Contenido de Nitrógeno Orujos | % | 0,65 | 2 | (Lempereu & Penavayre, 2014) | 0,65 | 2 | (Lempereu & Penavayre, 2014) |
| Contenido de Nitrógeno Poda | % | 1,10 | 2 | (Benito, Masaguer, Moliner, & De Antonio, 2006) | 1,05 | 2 | (Reyes-Torres, Oviedo, Dominguez, Komilis, & Sánchez, 2018) |
| Contenido de Nitrógeno RILES | % | 1,25x10 ⁻³ | 3 | (Universidad de Chile, 2005) | 1,25 x10 ⁻³ | 3 | (Universidad de Chile, 2005) |
| Contenido de Nitrógeno Domiciliario | % | 2,20 | 1 | (OregonBD, s.f.) | 1,25 | 2 | (Rynk, 1992) |
| Factor de emisión directa | tN ₂ O/ton | 0,01 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,01 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Fracción de nitrógeno que se volatiliza | - | 0,2 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,2 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Factor de emisión de fracción volatilizable | tN ₂ O/ton | 0,01 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,01 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Fracción de nitrógeno que se lixivia | - | 0,3 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,3 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Factor de emisión de fracción que se lixivia | tN ₂ O/ton | 0,0075 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,0075 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Contenido de Nitrógeno Urea (referencia) | % | - | 0 | - | 0,46 | 2 | (FAO, 2013) |
| Factor de emisión por Urea incorporada al suelo | tCO ₂ /ton | - | 0 | - | 0,2 | 1 | (IPCC, 2006a) |

| Parámetro | Unidad | Situación Actual | | | Propuesta de Mejora | | |
|---|--|------------------------|------------|------------------------------|------------------------|------------|------------------------------|
| | | Valor | Puntuación | Fuente | Valor | Puntuación | Fuente |
| Emisiones por combustión de biomasa | | | | | | | |
| Poder Calorífico Inferior | TJ/ton | 0,012 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,012 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Factor de emisión CO ₂ | tCO ₂ /TJ | 100,0 | 1 | (IPCC, 2006a) | 100,0 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Factor de emisiones CH ₄ | tCH ₄ /TJ | 0,03 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,03 | 2 | (IPCC, 2006a) |
| Factor más conservador CH ₄ | - | - | 0 | - | 1,37 | 2 | (UNFCCC, 2017b) |
| CATEGORIA: MANEJO DE RESIDUOS LIQUIDOS INDUSTRIALES | | | | | | | |
| Demanda Química de Oxígeno: RILES a red de alcantarillado | tonO ₂ /m ³ | 0,005 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,0003 | 3 | (Decreto 609, 1998) |
| Factor de Corrección de Metano: RILES a red de alcantarillado | - | - | 4 | (ASCC, 2017c) | - | 4 | (ASCC, 2017c) |
| Fracción de Captura de Metano: RILES a red de alcantarillado | - | - | 4 | (ASCC, 2017c) | - | 4 | (ASCC, 2017c) |
| Capacidad Máxima de Generación de Metano: RILES a red de alcantarillado | tonCH ₄ /ton O ₂ | 0,25 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,6 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Contenido de nitrógeno: RILES a red de alcantarillado | tonN ₂ | 0,000013 | 3 | (Universidad de Chile, 2005) | 0,0000125 | 3 | (Universidad de Chile, 2005) |
| Demanda Química de Oxígeno: RILES a cuerpos de agua | tonO ₂ /m ³ | 0,005 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,00025 | 3 | (Decreto 609, 1998) |
| Factor de Corrección de Metano: RILES a cuerpos de agua | - | 0,1 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,1 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Capacidad Máxima de Generación de Metano: RILES a cuerpos de agua | tonCH ₄ /ton O ₂ | 0,25 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,6 | 1 | (IPCC, 2006a) |
| Contenido de nitrógeno: RILES a cuerpos de agua | tonN ₂ | 1,30 x10 ⁻⁵ | 3 | (Universidad de Chile, 2005) | 5,00 x10 ⁻⁵ | 3 | (Decreto 90, 2001) |
| Factor de emisión de N ₂ O por RILES | tonN ₂ O/ton | 0,005 | 1 | (IPCC, 2006a) | 0,005 | 1 | (IPCC, 2006a) |

Anexo VIII. CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE Y DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA CATEGORÍA DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS DE ORIGEN NO BIOLÓGICO

Tabla 68: Consumo específico de combustibles y de energía eléctrica para la producción de material virgen por tonelada de tipo de material. Adaptado de: (EPA, 2006).

| Material | Gasolina (GJ/ton) | GLP (GJ/ton) | Fuel Oil (GJ/ton) | Petróleo 6 (GJ/ton) | Diésel (GJ/ton) | Carbón (GJ/ton) | GNL (GJ/ton) | Red eléctrica (kWh/ton) |
|------------------------|-------------------|--------------|-------------------|---------------------|-----------------|-----------------|--------------|-------------------------|
| Láminas de aluminio | 0,248 | 0,023 | 1,328 | 2,543 | 0,450 | 1,553 | 19,289 | 55462,51 |
| Láminas de acero | 0,070 | 0,000 | 1,686 | 0,117 | 0,000 | 17,959 | 6,481 | 1945,45 |
| Metales ¹² | 0,086 | 0,002 | 1,654 | 0,335 | 0,041 | 16,482 | 7,633 | 6761,98 |
| Vidrio | 0,038 | 0,000 | 0,099 | 0,032 | 0,000 | 0,492 | 5,474 | 197,81 |
| Plástico ¹³ | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 10,332 | 0,438 | 0,000 | 2,058 | 1279,00 |
| Cartón y papel | 0,003 | 0,000 | 0,005 | 0,143 | 0,318 | 4,115 | 1,938 | 5553,14 |
| Madera | 0,042 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,427 | 0,000 | 0,174 | 562,78 |
| Textil | 0,465 | 0,023 | 0,748 | 1,565 | 0,000 | 1,100 | 42,369 | 18644,19 |
| Neumáticos | 0,000 | 0,447 | 0,447 | 0,447 | 0,000 | 8,949 | 50,094 | 8945,88 |

¹² La categoría de materiales “Metales” se construyó para el reciclaje indistinto del tipo de metales, para ello se utilizaron las estimaciones de (MMA, 2012) que **estima** que el 91% de los metales reciclados en Chile corresponden a residuos de acero y el 9% a residuos de aluminio.

¹³ (EPA, 2006) recomienda utilizar los valores promedio de consumo de combustible y energía eléctrica para PET, LDPE y HDPE en los casos que no se reporte el tipo de plástico y/o no se realice separación en fuente de los residuos.

Tabla 70: Consumo específico de combustibles y de energía eléctrica para la producción de material reciclado por tonelada de tipo de material. Adaptado de: (EPA, 2006).

| Material | Gasolina (GJ/ton) | GLP (GJ/ton) | Fuel Oil (GJ/ton) | Petróleo 6 (GJ/ton) | Diésel (GJ/ton) | Carbón (GJ/ton) | GNL (GJ/ton) | Red eléctrica (kWh/ton) |
|---------------------|-------------------|--------------|-------------------|---------------------|-----------------|-----------------|--------------|-------------------------|
| Láminas de aluminio | 0,06 | 0 | 0,09 | 0,75 | 0 | 0,13 | 8,53 | 2209,812 |
| Láminas de acero | 0 | 0,02 | 0,01 | 0 | 0 | 0,08 | 2,71 | 2668,01 |
| Metales | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,07 | 0 | 0,08 | 3,23 | 2626,77 |
| Vidrio | 0,03 | 0 | 0,02 | 0,01 | 0 | 0,02 | 4,23 | 67,862 |
| Plástico | 0 | 0 | 0 | 2,34 | 0,1 | 0 | 0,47 | 943,715 |
| Cartón y papel | 0 | 0,01 | 0,01 | 0,08 | 0,04 | 4,75 | 1,16 | 1757,373 |
| Madera | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,79 | 0 | 0 | 709,693 |
| Textil | 0 | 0 | 0,02 | 0,01 | 0 | 0,02 | 0,05 | 601,022 |
| Neumáticos | 0 | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0 | 3,68 | 20,57 | 3673,928 |

Tabla 72: Factor de corrección basado en la participación en la producción del Producto Hecho por Materiales Recuperados (L_i). Adaptado de: (EPA, 2006)

| Material | L_i |
|---------------------|----------------------|
| Láminas de aluminio | 0,93 |
| Láminas de acero | 0,98 |
| Metales | 0,98 |
| Vidrio | 0,88 |
| Plástico | 0,78 |
| Cartón y papel | 0,93 |
| Madera | 0,80 |
| Textil | 0,80 |
| Neumáticos | 0,78 |