



**Universidad del Desarrollo**  
Facultad de Ingeniería

**ADAPTACION DE METODOLOGÍAS  
ESPECÍFICAS PARA EL INVENTARIO  
DE GASES DE EFECTO  
INVERNADERO EN UNA INDUSTRIA  
PRODUCTORA DE ACERO  
RECICLADO EN CHILE**

**POR: GONZALO ANDRÉS GIGOUX LÓPEZ**

PROYECTO PRESENTADO A LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DEL  
DESARROLLO PARA OPTAR AL GRADO  
ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN DE LA  
SUSTENTABILIDAD

**PROFESOR GUÍA: DR. NELSON URRA PARDO**

Diciembre , 2015  
Santiago, Chile



**Universidad del Desarrollo**  
Facultad de Ingeniería

**ADAPTACION DE METODOLOGÍAS  
ESPECÍFICAS PARA EL INVENTARIO DE  
GASES DE EFECTO INVERNADERO EN  
UNA INDUSTRIA PRODUCTORA DE  
ACERO RECICLADO EN CHILE**

**POR: GONZALO ANDRÉS GIGOUX LÓPEZ**

Proyecto de Grado presentado a la Comisión integrada por los profesores:

**DR. NELSON URRA PARDO**

**SR. DAVID FALCÓN ADASME**

**SR. HUGO ROJAS BOUSOÑO**

**Para completar las exigencias del Grado de Magister en Gestión de la  
Sustentabilidad.**

**Diciembre, 2015  
Santiago, Chile**

A Rosarito y Claudia, mis padres y hermanos,  
Profesores, suegros y amigos, que me apoyaron.

## ÍNDICE

1. AGRADECIMIENTOS	1
2. RESUMEN	2
3. ABSTRACT	3
4. INTRODUCCIÓN	4
5. OBJETIVOS	6
5.1 Objetivo General	6
5.2 Objetivos Específicos	6
6. ESTADO DEL ARTE Y ALCANCES: Metodología del Análisis del Ciclo de Vida del Producto (ACV) y Green House Gas Protocol (GHG Protocol)	8
6.1 Estado del Arte y Alcances: Metodología del Análisis del Ciclo de Vida del Producto	8
6.1.1 Objetivo y Alcance	9
6.1.2 Inventario del Análisis del Ciclo de Vida	9
6.1.3 Análisis del Impacto del Análisis del Ciclo de Vida del Producto (ACV)	9
6.1.4 Interpretación	10
6.1.5 Alcance del Análisis del Ciclo de Vida del Producto	10
6.2 Estado del Arte y Alcance de la Metodología Green House Gas Protocol (GHC Protocol)	13
7. PROPUESTA METODOLÓGICA	16
7.1 Ciclo de Producción	16
7.2 Identificación de las Fuentes de Emisión en forma conjunta por medio de la combinación de metodologías	16
7.3 Determinación de Compensación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	18
7.4 Descripción de Resultados en relación a la Huella de Carbono Identificada para dos productos siderúrgicos	19

7.4.1	Procesos de obtención de resultados	19
7.4.2	Descripción de resultados	21
7.5	Contraste entre los resultados del año 2010 en comparación con el año 2013	23
7.5.1	Comparación de resultados por Emisiones, según Procesos	23
7.5.2	Comparación de resultados de Emisiones para el año 2010 y 2013, según producto	24
7.5.3	Comparación de resultados entre los años 2010 y 2013 por Emisiones, según Alcance	25
8.	CONCLUSIONES	26
9.	TRABAJOS FUTUROS	29
10.	TABLAS	30
10.1	“Balance aglomerado de Carbono en Hornos por Alcance, según entradas y salidas”	30
10.2	“Total de Emisiones por consumo de energía aglomerado por Alcance, según etapa del Ciclo de Vida”	30
10.3	“Total de emisiones por consumo de refrigerantes, según Alcance y etapa del Ciclo de Vida”	30
10.4	“Total de Emisiones por manejo de residuos en ton de CO <sub>2</sub> e/año, según Alcance y etapa del Ciclo de Vida”	31
10.5	“Total de emisiones por consumo de insumos en ton CO <sub>2</sub> e/año, según Alcance y etapa del Ciclo de Vida”	31
10.6	“Total de emisiones por transporte de carga en ton de CO <sub>2</sub> e/año, según Alcance y etapa del Ciclo de Vida”	31
10.7	“Emisiones por transporte de pasajeros en ton CO <sub>2</sub> e/año, según Alcance”	32
10.8	“Compensación de emisiones en ton CO <sub>2</sub> e/año, según absorción”	32
10.9	“Intensidad acumulada de emisiones toneladas de CO <sub>2</sub> equivalente, según año por producto”	32
10.10	“Volumen de emisiones en toneladas de CO <sub>2</sub> equivalente y porcentaje, según etapa del Ciclo de Vida del producto por año”	32

10.11 “Volumen de emisiones por año, según producto en toneladas de CO2 equivalente”	32
10.12 “Volumen de emisiones en toneladas de CO2 equivalente y porcentaje, según Alcance por año”	33
10.13 “Emisiones por productos en toneladas de CO2/año para el año 2013”	33
11. REFERENCIAS	34
12. ANEXOS	35
12.1 Anexo 1: Diagrama flujo Producción	36
12.2 Anexo 2: Etapa 2: Emisiones Patio Chatarra	37
12.3 Anexo 3: Etapa 2: Emisiones Acería	38
12.4 Anexo 4: Etapa 2: Emisiones Laminación	39

## 1. Agradecimientos

A Rosarito, mi hija y a Claudia, mi señora, quienes escucharon mis teorías día a día; a mis padres y hermanos, por discutir conmigo todos mis puntos de vista; a mis suegros, que dieron un punto de vista distinto; a mi profesor guía, que me aconsejó y a todas las personas que destinaron tiempo a conversar conmigo, gracias.

## 2. Resumen

La industria mundial del acero genera el 5,2% de las emisiones anuales de Gases de Efecto Invernadero, alcanzando una media de 1,8 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes por tonelada de acero producido. Por la relevancia de sus emisiones en el mercado mundial, y para mejorar su desempeño ambiental, la Asociación Mundial del Acero adoptó la huella de carbono como un indicador de medición y control del impacto de sus medidas de mitigación. Dentro de este proceso de auditoría y control ambiental, se utilizan metodologías de contabilidad de emisiones, tales como GHG protocol, PAS 2050 e ISO 14064, algunas muy genéricas para el nivel de especialización de este tipo de procesos.

El objetivo general fue implementar una metodología basada en un enfoque de análisis del ciclo de vida del producto en un proceso siderúrgico del acero reciclado. Los objetivos específicos fueron identificar las fuentes de emisión de Gases de efecto invernadero, de dos productos siderúrgicos del mercado nacional, determinar las compensaciones de emisión y cuantificar la huella de carbono de éstos durante el 2013. Para lo anterior, se usó la aproximación metodológica del GHG protocol bajo una estructura de análisis de los procesos, centrada en las componentes metodológicas del análisis de ciclo de vida del producto. La revisión de la literatura estima que la complementariedad de metodologías es lo idóneo para reducir los sesgos metodológicos que surgen durante su aplicación a la escala de los procesos.

Para la industria, se estimaron emisiones agrupadas por etapas del ciclo productivo del acero, correspondientes al procesamiento de chatarra, acería y laminación, levantando para cada una, fuentes de emisión de primer, segundo y tercer alcance, según el enfoque de GHG Protocol. La misma matriz se usó para determinar los créditos de emisiones representadas por reducciones y compensaciones propias de la industria analizada. Para el período 2013, se determinó una huella de carbono de 180 Kg. de CO<sub>2</sub> equivalente por tonelada de rollo de alambón y de 220 Kg. de CO<sub>2</sub> equivalentes por tonelada de barra de refuerzo de hormigón.

La metodología propuesta para el rubro siderúrgico del acero reciclado, permite medir la huella de carbono, proveer una herramienta sencilla, para ser usada con mayor comodidad, facilitando la toma de decisiones.



### 3. Abstract

The global steel industry generated 5.2% of annual emissions of Greenhouse Gases, reaching an average of 1.8 tons of CO<sub>2</sub> equivalent per ton of steel produced. The relevance of their emissions on the world market, and to improve its environmental performance, the World Association adopted the carbon footprint as an indicator of control and measurement of the impact of its mitigation measures. Within this process of auditing and environmental control, are used methodologies for accounting of emissions, such as GHG protocol and ISO 14064, PAS 2050, some very generic to the level of specialization of this type of process.

The general objective of this research was to implement a methodology based on an approach of the analysis of the product life cycle in a steel-making process of recycled steel. The specific objectives were to identify the sources of emission of two steel products, to determine the emission compensations and quantify the carbon footprint of these products, in 2013. For the latter, the methodology GHG protocol together with approaches of product life cycle were used. These methodologies proposed specificity and generality in the quantification of the total footprint. Literature review estimated that the complementation of methodologies is ideal to incorporate the benefits of all.

It was estimated for the industry, in the productive period of 2013, emissions for the scopes 1, 2 and 3, in combination with the stages of the life cycle of a product, that correspond to scrap metal processing, steel and rolling. The same matrix was used to determine the emission credits. The carbon footprint for roll wire rod in 0,180 tons CO<sub>2</sub>/tons sand concrete bar in 0, 22 tons CO<sub>2</sub>/tons was determined.

The propose methodology allowed to assign the contribution of greenhouse gas emissions of the units of product life cycle to the different scopes of GHG Protocol, thus, cooperating in the environmental decision-making.

## 4. Introducción

El Efecto Invernadero se inicia cuando la energía infrarroja emitida por los cuerpos terrestres es redistribuida por los agentes de efecto invernadero dentro de la misma atmósfera, reduciendo su tasa de salida hacia el espacio. Esto conlleva a la retención de calor y al incremento de la temperatura de la atmósfera y de los océanos.

Los agentes precursores del efecto invernadero son el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y los Clorofluoro carbono (CFCs) entre otros gases. La acción humana ha provocado un incremento de las emisiones de estos gases, lo que lleva a un sobrecalentamiento del planeta y como consecuencia a un cambio en sus características climáticas.

En estos momentos, la industria siderúrgica del acero es causante del 5,2% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a nivel mundial, alcanzando las mayores emisiones del grupo de las grandes industrias manufactureras (WSA, 2011). Desde el 2007, la Asociación Mundial del Acero trabaja en disminuir el impacto del gremio siderúrgico mundial sobre el Cambio Climático. En este sentido, adoptaron el concepto de la huella de carbono como indicador del impacto ocasionado por la fabricación de una unidad de producto, concentrando sus esfuerzos en masificar su cuantificación entre sus más de 150 empresas socias, y el consecuente desarrollo de acciones de control y mitigación.(WSA, 2011)

La huella de carbono corresponde al conjunto de emisiones de GEI liberadas por una organización durante un año, representando un indicador de sustentabilidad para el sector industrial. Para su cuantificación se dispone de metodologías genéricas que permitieron aproximar el valor de la huella de carbono tanto a nivel corporativo como de producto, entre ellas GHG protocol, PAS 2050, ISO 14064. Estas metodologías variaron según los alcances del inventario de las emisiones del sistema al cual se aplicaron y el enfoque que se le otorgó al resultado.

Cada una de estas metodologías presentó beneficios y limitaciones que al implementarse en procesos productivos específicos, fue posible visualizar, por ejemplo, la doble contabilidad de emisiones, omisión de emisiones significativas, o la exclusión de créditos de emisiones provenientes de las buenas prácticas ambientales, como el reciclaje de subproductos industriales. (Gerdau, 2012).

Del análisis de la revisión bibliográfica se desprendió que en relación a la medición de emisiones de GEI, aun cuando existen metodologías que abordaron el tema

y tienden a estandarizarlas, se observó que unas son demasiado generales y otras demasiado específicas. Es por esto que fue necesario avanzar hacia la proposición de una metodología más precisa para determinar los alcances de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la industria siderúrgica.

## 5. Objetivos

### 5.1 Objetivo General

Adaptar metodologías de inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) basado en el enfoque del análisis de ciclo de vida (ACV) para el proceso siderúrgico del acero reciclado.

### 5.2 Objetivos Específicos

**Objetivo 1:** Identificar las fuentes de emisión de GEI que forman parte de ciclo de vida del acero reciclado de dos productos siderúrgicos.

**Objetivo 2:** Determinar compensación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) relacionados a buenas prácticas ambientales de una compañía siderúrgica nacional.

**Objetivo 3:** Cuantificar la huella de carbono de dos productos siderúrgicos implementado en un ciclo de producción real.

El estudio se dirigió a empresas siderúrgicas que trabajan exclusivamente con chatarra ferrosa como fuente de materia prima. Abarcó dos de los productos de la familia de los aceros largos con mayor nivel de producción nacional: barras y alambón, pertenecientes a una empresa siderúrgica internacional con sede en el país. La metodología no se formuló para aplicarse a otro tipo de proceso siderúrgico del acero, como, por ejemplo, el de Alto horno.

El estudio consideró información atinente al proceso siderúrgico del período 2013, siendo contrastada con el proceso de inventario de gases de efecto invernadero del período 2010, desarrollado con la metodología Green House Gas Protocol (GHG Protocol).

La propuesta metodológica complementó la metodología GHG protocol a nivel de proyecto, con una orientación basada en la metodología del ciclo de vida, en donde, por medio de factores comunes, se dilucidaron los alcances en la industria siderúrgica.

A través de la determinación de los alcances y del estado del arte de ambas metodologías, fue posible determinar puntos comunes de manera de complementar y aminorar las posibles deficiencias del método. Al final de esta etapa fue posible postular

una metodología complementaria adquiriendo los beneficios de cada una y minimizando las posibles deficiencias propias de su aplicación a la realidad del proceso productivo.

La metodología que se formuló, tiene que ver con desagregar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) determinadas por GHG protocol, en una aproximación de ciclo de vida del producto, en tantas partes relacionadas según corresponda, a la fabricación de dos productos de acería en relación a sus emisiones de GEI.

De forma complementaria, la metodología permitió, por etapa del ciclo de vida, realizar compensaciones en la contabilidad, por compensación de emisiones de GEI.

Con los datos obtenidos de las emisiones del año 2013, se procedió a implementar la metodología propuesta, para verificar sus resultados en relación a su alcance y consistencia. En este mismo sentido, se compararon en forma corregida, los resultados obtenidos en el 2010, proceso comparativo en el cual se usó principalmente la metodología GHG Protocol.

## 6. Estado del Arte y Alcances:

Metodología del Análisis del Ciclo de Vida del Producto (ACV) y Green House Gas Protocol (GHG protocol)

### 6.1 Estado del arte y alcance: Metodología del Análisis del Ciclo de Vida del Producto.

El análisis del ciclo de vida estudia los aspectos ambientales y los impactos potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto o de una actividad. El ciclo de vida de un producto considera toda la historia del producto desde su origen como materia prima hasta su final como residuo. Además, se tienen en cuenta todas las fases intermedias como transporte y preparación de materia prima, manufactura, transporte a mercados, distribución, uso, etc. (Manchester University, 2011).

La metodología propuesta por la ISO, 14040 (ISO, 2006a) promueve la metodología del análisis del ciclo de vida del producto (ACV), como una técnica, que fomenta el mejor entendimiento y establece los posibles impactos medioambientales asociados a productos (incluidos los servicios). La ISO 14040 define los principios y el marco de la metodología, siendo complementada por la ISO 14044 (2006b) que provee

un detalle mayor en relación a los requerimientos y recomendaciones. Este marco, sin embargo, aún deja espacio para alternativas que pueden tener impacto en el resultado de las estimaciones. En este sentido, se incorpora una guía adicional denominada “International Reference Life Cycle Data System “(ILCD), libro de consulta, el cual provee instrucciones complementarias a la metodología ACV, dándole soporte, consistencia y confirmación de la calidad. (Manchester University, 2011).

El análisis del ciclo de vida (ACV) consiste, por tanto, en un tipo de contabilidad ambiental en la que se cargan a los productos los efectos ambientales adversos, debidamente cuantificados, generados a lo largo de su ciclo de vida.

Se distinguen 4 fases según la normativa ISO 14040: primero, objetivos y alcance del estudio; segundo, análisis del inventario; tercero, análisis del impacto y cuarto, interpretación. (Vallejo, 2004).

#### 6.1.1 Objetivo y Alcance.

En esta etapa del análisis del ciclo de vida (ACV) se define el tema del estudio y se incluyen los motivos que llevan a realizarlo. También, se establece la unidad funcional que describe la función principal del sistema analizado. No sirve para comparar productos entre sí, sino servicios y/o cantidades de producto que lleven a cabo la misma función. La unidad funcional proporciona una referencia respecto a la cual las entradas y salidas del sistema pueden ser normalizadas en un sentido matemático.

Por su naturaleza global un ACV completo puede resultar extenso, por esta razón, se establecen límites que deberán ser identificados.

#### 6.1.2 Inventario del Análisis del Ciclo de Vida.

Se define el proceso como la obtención de datos y los procedimientos de cálculo para identificar y cuantificar todos los efectos ambientales como carga ambiental. Ésta se define como la salida o entrada de materia o energía en un sistema, causando un efecto ambiental negativo.

### 6.1.3 Análisis del Impacto del Análisis del Ciclo de Vida del Producto (ACV)

\_\_La estructura se determina por la normativa ISO 14042, donde se pueden integrar elementos opcionales u obligatorios.

Los elementos obligatorios se definen como, la selección de las categorías de impacto, la determinación de indicadores de categoría y modelos, la clasificación donde se asignan los datos procedentes del inventario a cada categoría de impacto, según el tipo de efecto ambiental esperado y la caracterización y modelización, mediante los factores de caracterización de los datos del inventario para cada una de dichas categorías de impacto. Luego, encontramos los elementos opcionales, que son: la normalización, donde se establece la relación de la magnitud cuantificada para una categoría de impacto respecto de un valor de referencia, ya sea a escala geográfica y o temporal; después, la agrupación, clasificación y posible catalogación de los indicadores.

El siguiente paso es la ponderación, que establece los factores que otorgan una importancia relativa a las distintas categorías de impacto para, posteriormente, sumarlas y obtener un resultado ponderado en forma de un único índice ambiental global del sistema. Finalmente, el análisis de calidad de los datos, que otorga fiabilidad de los resultados del ACV.

### 6.1.4 Interpretación

La fase final se determina como la interpretación, donde se combinan los resultados del análisis del inventario con las evaluaciones de impacto. Los resultados de ésta adquieren la forma de conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones. Permite determinar en qué fase del ciclo de vida del producto se generan las principales cargas ambientales y, por lo tanto, qué puntos del sistema evaluado pueden o deben mejorarse. En casos de comparación de distintos productos se podrá determinar cuál presenta un mejor comportamiento ambiental. (Vallejo, 2004).

### 6.1.5 Alcances del Análisis del Ciclo de Vida del Producto.

La ventaja del ACV es la integración total de todos los aspectos que participan entre el inicio y el fin de un proceso productivo, disminuyendo la brecha de errores existentes al establecer un análisis fragmentario o parcial en la industria (ISO, 2000).

Sin embargo, lo descrito anteriormente, según describe Reap et al, 2008, define en quince las áreas de problemas de la aplicación de la metodología del análisis del ciclo de vida del producto (ACV), sin embargo, define que lo más difícil de la aplicación de las cuatro etapas es traspasar las cargas en impactos ambientales. Siendo lo más importante durante la construcción, conectar la correcta carga con el correcto impacto en el tiempo y lugar exacto.

Algunos comentarios se han realizado también, a la metodología del ACV, en relación a su complejidad, en donde se menciona que resulta a veces engorroso debido a que los procesos requieren tiempo y recursos materiales y humanos, a veces incompatibles con la capacidad de la industria. También, se menciona que se necesita de un elevado nivel de información sobre materiales y procesos no siempre disponibles. Por otra parte, además, cuando existen límites complejos, en multiplicidad de actividades, pueden ser incompatibles con las evaluaciones propuestas por la metodología.

Finalmente, en la versión del análisis del ciclo de vida, 2005, en relación a su complejidad, se establece que algunas veces puede ser que la mejor opción energética no sea la que genere menos residuos o emisiones.

Algunos autores determinan que la metodología adolece de subjetividad, que se basaría en el esfuerzo de objetivizar los valores de cargas ambientales, sin embargo, dichos valores pueden variar en función de la exactitud de los datos y de su precisión. Tanto su identificación, su evaluación, como su ponderación respecto a otros impactos puede responder a criterios subjetivos, estableciendo la misma metodología la subjetividad.

En la revisión de la metodología descrita por la misma ISO, 14040, se establece que, “La naturaleza de las elecciones e hipótesis que se hacen en el ACV, el establecimiento de los límites del sistema, la selección de la fuente de datos, las categorías de impacto, pueden ser subjetivas”. De otra forma, pero en el mismo sentido, Antón Vallejo, en el 2004, establece que “las diferencias en los datos de entrada pueden causar diferencias en el alcance, límites geográficos, etc. Estas diferencias pueden ser originadas por diferentes actitudes relacionadas con el concepto de naturaleza e intereses: sector industrial, movimiento ecologista, asociación de consumidores, gobierno...”

La metodología propuesta por la ISO 14040 (ISO 2006a), es considerada una de las más usadas, sin duda, por su efectividad en procesos de productos existentes. Sin embargo, se critica su baja adaptabilidad, por su complejidad y por requerir una gran cantidad de datos. (U. Manchester, May 2011.).



En el entendido de que la metodología del ciclo de vida del producto sirve para evaluar y seleccionar información de comportamiento ambiental de un servicio tanto como de un producto, se verifican los alcances de esta metodología por la gran diversidad y variedad de procesos que abarca.

El análisis del ciclo de vida del producto es una herramienta poderosa para comparar conjuntos de productos que cumplen la misma función o servicios con respecto a su comportamiento de impacto ambiental. Sin embargo, los resultados de la metodología son difíciles de comprender debido al vasto número de datos provistos, diversidad de unidades, juicios de valor, incerteza o imprecisión en los parámetros. El ACV crea datos, pero es limitado en su propia capacidad de interpretar información para tomar decisiones. (Manchester University, 2011)

Como resultado, la mayoría de los estudios no realizan ninguna evaluación y dejan un paquete de datos caracterizados, dejando a los encargados de las tomas de decisiones, controlar una multiplicidad de criterios y a múltiples partes relacionadas, problemas no resueltos. Esto puede generar confusión y sesgo en relación a la toma de la decisión por los encargados, como también, de las partes relacionadas. Esto debido, principalmente, a que las habilidades cognitivas de las personas de procesar grandes montos de datos y de sistematizar los flujos son limitadas. (Life cycle Assessment Handbook; A guide for environmentally sustainable products). También, se plantea la idea de que, últimamente, la metodología no incorpora los impactos sociales y económicos de un ciclo de vida de un producto.

Sin embargo, un ACV bien realizado, sí permite identificar amenazas y oportunidades en el ciclo de vida del producto o del servicio; entender las transacciones entre los impactos en las diferentes etapas del ACV (Análisis del Ciclo de Vida del Producto) y la comunicación de los desafíos y opciones a otros. (Manchester University, 2011).

El objetivo del ACV pretende objetividad y transparencia. En la fase de inventario, los valores de las cargas ambientales corresponden a un esfuerzo de objetivizar al máximo todo el conjunto de datos y parámetros utilizados. Dichos valores pueden variar en función de la exactitud de los datos y de su precisión. No ocurre así con la determinación de los impactos ambientales. Tanto su identificación y su evaluación, como su ponderación respecto a otros impactos, pueden responder a criterios subjetivos.

La utilización de modelos para el cálculo de los impactos resulta a su vez una fuente de subjetividad. Un modelo es una representación simplificada de los fenómenos

y mecanismos que se dan en la realidad. La elección sobre dónde y qué simplificación introducir no deja de ser parcialmente subjetiva.

La naturaleza de las elecciones e hipótesis que se hacen en el ACV, el establecimiento de los límites del sistema, la selección de la fuente de datos, las categorías de impacto, pueden ser subjetivas (ISO, 14040). Las diferencias en los datos de entrada pueden causar diferencias en el alcance, límites geográficos o, por ejemplo, la aplicación de factores de seguridad en los mecanismos de toxicidad.

## 6.2 Estado del Arte y Alcances de la Metodología Green House Gas Protocol (GHG protocol)

Al notarse con frecuencia que los programas de GEI (Gases de Efecto Invernadero) contemplan requisitos específicos de contabilidad y reporte, en general, las empresas deben mantenerse al tanto de los requisitos adicionales antes de emprender el desarrollo de su propio inventario. Así lo menciona el propio manual de la metodología GHG protocol 2012.

En relación a los reportes corporativos, se establece por medio del manual de la metodología, que es posible utilizar dos enfoques distintos orientados a consolidar las emisiones de GEI: el de participación accionaria y los enfoques de control.

Esto permite a las empresas contabilizar y reportar sus datos consolidados de GEI, tanto en términos de participación accionaria o del control que ejercen sobre algunas operaciones.

Si la empresa que reporta es propietaria de sus operaciones, su límite organizacional será igual tanto en el accionario como en el de control. Sin embargo, para empresas con operaciones conjuntas con otras, el límite organizacional y las emisiones pueden diferir dependiendo del enfoque.

De esta manera, la elección del enfoque puede significar cambios en la categorización de las emisiones al momento de fijar los límites operacionales.

Con el objetivo de delinear las fuentes de emisiones directas e indirectas, aumentar la transparencia, hacerla accesible a distintos tipos de organizaciones, como

también, usarlas en políticas de cambio climático y metas empresariales, se definieron tres alcances.

El alcance uno (Emisiones directas): generación de electricidad, calor o vapor, por medio de fuentes fijas, procesos físicos o químicos, transporte, emisiones fugitivas y emisiones asociadas a la venta de electricidad.

El alcance dos (Emisiones Indirectas): Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) asociadas al consumo de electricidad. En este punto es importante asignar cuidadosamente el consumo, ya que aquí es donde se generarían la mayor parte de la doble contabilidad.

El alcance tres (Otras emisiones indirectas): Emisiones de GEI asociadas al consumo de fuentes eléctricas, pero por actividades no asociadas directamente a la empresa, como del proveedor de electricidad de una empresa (por ejemplo, exploración, perforación, flameado, transportación). Así también, el alcance 3 se considera opcional, dando la oportunidad de incorporar más información. Sin embargo, la metodología se concentra en las actividades mismas de la empresa.

Los siguientes pasos se ofrecen para generar la contabilidad:

-Identificación de fuentes para los diferentes alcances.

-Selección del método de cálculo: Distintas son las maneras que se puede realizar estas mediciones, depende de la industria, pero principalmente, es mediante la aplicación de factores de emisión documentados por medio de cuocientes calculados que relacionan emisiones de GEI a una medida de actividad en una fuente de emisión.

-Recolectar datos y escoger factores de emisión: En relación a la mayoría de las empresas, las emisiones de alcance uno serán en base a las cantidades adquiridas de combustibles comerciales (gas natural, diésel, combustóleo, gasolina, etc.) usando factores publicados de emisión. Las emisiones de alcance dos se calculan, principalmente, en base al consumo medido de electricidad y, también, de factores de emisión publicados por los proveedores. Las de alcance 3 serán a partir de los datos de las actividades de la empresa, como el uso de combustible o los kilómetros recorridos por pasajeros, y factores de emisión publicados.

-Aplicación de las herramientas de cálculo: Se identifican dos categorías principales de herramientas de cálculo; Intersectoriales, que pueden ser aplicadas a distintos sectores como, por ejemplo, combustión fija, combustión móvil, y uso de HFC en refrigeración. Luego, herramientas sectoriales, que están diseñadas para calcular emisiones en sectores específicos, como por ejemplo, aluminio, hierro y acero. Generalmente, se usa una combinación de ambas. .

-La última etapa es enviar los datos al nivel corporativo.

El enfoque principal de la metodología se centra en contabilizar y reportar las emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero) a nivel de la empresa o corporación. Éstas se consideraran comparando cambios en el inventario de emisiones actuales en contra de un año base. (Sermanat, 2011).

Algunos desafíos se han visualizado en el desarrollo de los estándares de la metodología GHG protocol, en el sentido de generar una economía que pretenda lograr bajas emisiones de carbono. Los estándares de desarrollo, así como los estándares de GEI, no trabajan juntos y pueden ser un gran desafío en relación a la innovación de tecnologías asociadas a este proceso de manejo de emisiones de GEI. (ISO, 2010).

Por un lado, el mercado necesita tener más estándares de GEI, especialmente, para poder incorporar las nuevas tecnologías y, por el otro lado, los estándares existentes deberán tener mayor compatibilidad unos con otros. Eso se manifiesta en que la terminología básica puede no ser compatible en una metodología con respecto a la otra. Entonces, existirían distintos estándares GHG protocol para un mismo uso y con diferente tecnología. Esto, seguramente, causará incertidumbre en aquellos en que las apliquen, debido a que distintas metodologías, pueden generar distintos resultados. (ISO , 2010).

También, se plantea la necesidad de incorporar elementos que complementarían la metodología, como por ejemplo, la metodología del ciclo de vida. Según se plantea en el documento emitido por ISO “How ISO Estándar Helps”, 2010, se estima que es positivo combinar la metodología de medición de huella de carbono con la del ciclo de vida del producto, obteniéndose como resultado un etiquetado de algunos productos en supermercados, mostrando a sus consumidores la calidad de sus productos y las emisiones asociadas.

Las siguientes reformas son necesarias para generar estándares más robustos en GHG Protocol: Mejorar la estructura de los estándares: Estructuras modulares de manera de hacerlo más flexible y permitir expansión cuando las tecnologías cambien. Así también, permitirá una consolidación más fácil con estándar GHG Protocol similares.

Los nuevos estándares de GHG Protocol pretenden métodos de inventario de emisiones asociados con productos individuales por medio de su completo ciclo de vida y su cadena de valor, tomando en cuenta los impactos tanto en sentido de corriente arriba como corriente abajo. ( ISO, 2010-12)

## 7. Propuesta Metodológica

### 7.1 Ciclo de Producción.

En el anexo 1, se establece el flujo de producción de la empresa analizada. Como primera unidad, se identificó el patio de chatarra. En esta unidad se almacena la materia prima que corresponde a la chatarra ferrosa adquirida desde los recolectores. Además de la acumulación de materia prima, también se procesa la chatarra ferrosa para proveerla a la siguiente unidad que corresponde a la Acería.

En la unidad de acería se identificaron tres subunidades: horno eléctrico, horno cuchara y colada continua. En esta unidad se procesa la chatarra provista desde el patio de chatarra, junto con agregarse distintos componentes que determinarán la composición del acero, el cual se encaminará hacia la tercera unidad física denominada traficación.

En la unidad de laminación se identificaron tres unidades, horno de recalentamiento, tres de laminación y parrilla de enfriamiento. En esta unidad se procesa el acero y se generan los dos productos considerados para este estudio, la barra de hormigón y el rollo alambón, los cuales seguirán su camino en el proceso de producción.

### 7.2 Identificación de las fuentes de Emisión en forma Conjunta por Medio de la Combinación de Metodologías.

En relación al período de análisis, se usó el año de producción 2013, lo que determinó que para la postulación de la metodología se circunscribe solo a ese período de tiempo y no a otro. Con esto se definió el alcance temporal.

La metodología propuesta para la empresa en estudio pretendió complementar, de forma entendible, los grandes beneficios que otorgan dos metodologías usadas en la cuantificación de los gases de efecto invernadero, el análisis de ciclo de vida y la Metodología GHG Protocol. Con este fin, se definieron los alcances de la compañía en relación a sus operaciones, a su proceso de producción como también, alcances temporales, entre otros.

De esta manera, se permitió una combinación de información de diferentes células dentro del proceso productivo, pudiendo visualizar su participación en la emisión general de la empresa analizada.

En la unidad denominada procesamiento de chatarra (Etapa 1, que se esquematiza en el anexo 2), donde se acopia y prepara la materia prima, se determinaron las siguientes entradas como fuentes de emisión: para el alcance 1, abastecimiento y consumo de combustible, en relación a procesos y uso de vehículos (consumo de gas licuado, consumo de oxígeno para el proceso de oxicorte, abastecimiento y consumo de diésel en grúas y equipos electrógenos). Para el alcance 2, consumo de electricidad por uso de máquinas. Para el alcance tres, proveedores de chatarra, abastecimiento de insumos y combustible, y emisiones por parte de colaboradores.

En relación a las salidas del patio de chatarra, se consideraron para el alcance 1 las emisiones inherentes al proceso. Para el alcance 2, no se verificaron emisiones y para el alcance 3, el traslado para la disposición final de los residuos. Producto de este proceso se provee a la siguiente etapa el subproducto denominado palanquilla.

Luego, como segunda etapa representada en el anexo 3, se definió la unidad de producción de acería, incorporando las sub-unidades (células) de horno eléctrico, horno cuchara y colada continua. En esta etapa, también fue posible identificar entradas y salidas. En relación a las entradas, clasificadas bajo alcance 1, se identificó el uso de combustibles producto del proceso y el uso de vehículos, además de la climatización como emisión difusa. Como alcance 2, se identificó el consumo de energía eléctrica. Así mismo, para las entradas clasificadas como alcance 3, se identificó abastecimiento de insumos y combustible como carbón Cesta (Antracita), Carbón escoria, Carbón Carburante, Ferro Silicio, Ferro Silicio Manganeso y Electroodos.

Para las salidas se realizó el mismo proceso y se identificaron para el alcance 1, emisiones producto del proceso en sí. Como alcance 2, no se identificaron emisiones.

Para el alcance 3, se identificaron emisiones por la entrega de la palanquilla a la siguiente unidad, así como en el traslado de residuos a disposición final, polvo del filtro de manga, polvo nave, polvo prensa, polvo cámara de combustión y polvo ciclón 1.

De esta misma manera, se consideró como etapa 2 la siguiente unidad del proceso de producción denominado laminación, representada en base a sus emisiones en el anexo 4. En esta etapa, se recibe como entrada de materia prima, desde la unidad anterior, la acería, el subproducto denominado palanquilla. Producto del proceso en la unidad de laminación, se generan distintos subproductos, entre los cuales se identificaron las barras y los perfiles. Estos subproductos se conducirán hacia las siguientes etapas del proceso de producción.

En relación a las entradas, se clasificaron como alcance 1 el consumo de combustibles en procesos, uso de vehículos y climatización como emisiones difusas. Como alcance 2, solamente se identificó el consumo de electricidad. Luego, como alcance 3, el abastecimiento de insumos y combustibles y la entrega de los subproductos hacia la unidad de traficación o distribución.

En relación a las salidas, se clasifican como alcance 1 emisiones, producto del proceso. Como alcance 2, no se determinaron emisiones. Como alcance 3, despacho de productos, traslado y disposición de residuos.

Producto de las dos etapas previas se generan dos subproductos: uno final, denominado barra hormigón, que puede pasar a distribución; y otro prefijal o parcial, denominado rollo alambroón, que pasará por el proceso de traficación, concerniente a la etapa 3, la cual no fue incluida en el estudio.

### 7.3 Determinación de Compensación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

La aproximación metodológica propuesta permitió holguras en relación a la incorporación de elementos complementarios, en el sentido de considerar compensaciones de emisiones de gases de efectos invernaderos.

D.E.F.R.A. en el 2009 postula que la recuperación y reciclaje de la chatarra ferrosa tiene implícito la reducción de emisiones, debido a que en una tonelada de chatarra, que tenía como destino original un relleno sanitario, existe una reducción de emisión de 20 Kg de CO<sub>2</sub> equivalente/ton producida. Esta compensación se entiende cuando la industria analizada trabaja con chatarra ferrosa reciclada.

Considerando lo anteriormente descrito, en la etapa 2, denominada acería, con la cantidad total de chatarra para ese año, se generó una emisión de 32.163 toneladas CO<sub>2</sub>/año con una intensidad de 0,067 toneladas CO<sub>2</sub>/tonelada de acero producido. Este cálculo se realizó en base a chatarra procesada reciclada.

La empresa analizada además, incorporó planes de adsorción por medio de reforestación, adsorción que bien se pudo considerar en una compensación sobre las emisiones de ciertas unidades productivas. Sin embargo, tal como se describe en la literatura, sería difícil de asignar a una unidad en particular, y si se realizara, sería en base a criterio del investigador. En la tabla 10.8 se muestra la compensación de emisiones para el 2013 en base a planes de absorción con un valor de -31,45 ton CO<sub>2</sub>/año.

También, de la misma manera, se identificaron compensaciones de emisiones en relación al manejo de cartón, que sí fue posible asignar a una unidad específica para el proceso de laminación, alcance tres, por manejo de cartón en relación a los proveedores de insumos. Para la misma etapa del ciclo de vida en los alcances uno y dos no se verificaron créditos de emisiones.

#### 7.4 Descripción de Resultados en Relación a la Huella de Carbono Identificada para dos Productos Siderúrgicos.

##### 7.4.1 Procesos de Obtención de Resultados

En relación a la determinación de cálculo para los alcances por etapa del ciclo de vida del producto, se consideraron los siguientes factores que se detallan a continuación:

Para la etapa de Preparación de Chatarra, según Alcance 1 se consideraron: Consumo de energía y refrigerantes y para el Alcance 2: Consumo de energía, insumos, transporte de carga y residuos.

Para la etapa de Fundición, según Alcance 1: Consumo de energía y refrigerantes, hornos y absorción. Alcance 2: Consumo de energía. Alcance 3: Insumos, transporte de carga.



Para el proceso de Colada Continua, según Alcance 1 se consideraron: Consumo de energía y refrigerantes. Alcance 2: Consumo de energía. Alcance 3: No se identificaron emisiones.

Para el proceso de Laminación, según Alcance 1: Consumo de energía y refrigerantes. Alcance 2: Consumo de energía. Alcance 3: Transporte de carga y residuos.

Para el proceso de Trefilación, según Alcance 1: Consumo de energía y refrigerantes. Alcance 2: Consumo de energía. Alcance 3: Transporte de Carga.

Para el proceso de Administración, según Alcance 1: Consumo de energía y refrigeración. Alcance 2: Consumo de energía. Alcance 3: Transporte de carga, transporte de pasajeros y residuos.

Por motivos de confidencialidad de información de la compañía analizada, la tabla que detalla los datos de producción del año 2013 se mantiene en forma reservada, sin embargo, y a manera de poder justificar los datos obtenidos, se incorporaron las tablas aglomeradas en combinación de las etapas del ciclo de vida del producto en alcances, en base a ton de CO<sub>2</sub>/año para Hornos, consumo de energía, uso de refrigerantes, manejo de residuos, consumo de insumos, transporte de carga, transporte de pasajeros y absorción.

De esta manera, se determinó lo que en la tabla 10.1 se muestra, que son los resultados aglomerados del balance de carbono en relación a entradas y salidas para los Hornos de la compañía analizada. Se observa un total de 21.372,82 Ton CO<sub>2</sub>/año que se asoció a Alcance 1.

Luego, en la tabla 10.2, para el consumo de energía en forma aglomerada para las etapas del ciclo de vida. Los resultados que se observaron fueron para el Alcance 1, 39.837,5 ton CO<sub>2</sub>e/ año y para el Alcance 2, 128.664,0 ton CO<sub>2</sub>e/año.

En la tabla 10.3 se describe las emisiones en ton de CO<sub>2</sub>e/año para el consumo de refrigerantes para etapa del ciclo de vida y alcance. Se observaron emisiones con un valor total de 41,5 toneladas de CO<sub>2</sub>e/año para el Alcance 1.

En la tabla 10.4, se describen las emisiones por manejo de residuos, según alcance en ton de CO<sub>2</sub>e/ año. Se verificó un total de -1,42 toneladas CO<sub>2</sub>e/año como total para el Alcance 3.

Luego, en la tabla 10.5 se muestran los resultados de emisiones por consumo de insumos por etapa de ciclo de vida según alcance en ton CO<sub>2</sub>e/año. En la tabla se

identificó un total de emisiones con un valor de 48.806,49 toneladas CO<sub>2</sub>e/año para el Alcance 3.

En la tabla 10.6 se muestran los resultados para transporte de carga, marítimo terrestre, por ciclo de vida del producto en toneladas de CO<sub>2</sub>e/año según alcance. En la tabla se observó un total de emisiones con un valor de 61.455,08 toneladas de CO<sub>2</sub>e/año para el Alcance 3.

También, se consideró las emisiones por transporte de pasajeros, resultados que se muestran en la tabla 10.7, expresado en toneladas de CO<sub>2</sub>e/año según alcance. Esta tabla muestra que el transporte de carga, según Alcance 3, se obtuvo 669,2 toneladas de CO<sub>2</sub>e/año.

En la tabla 10.8 se muestran los resultados de compensación de emisiones en toneladas de CO<sub>2</sub>e/año según absorción. Se muestra una cifra de -31,35 toneladas CO<sub>2</sub>e/año.

Además, para la obtención de resultados se usaron tablas específicas ya determinadas por la literatura y que se usaron para el cálculo de las emisiones por factores antes mencionados. Entre las que se usaron se pueden identificar, por ejemplo, factores de conversión combustibles (combustión fija y móvil), factores de conversión transporte aéreo, factores de conversión fabricación de insumos y factores de conversión para reciclaje, entre otros.

Para el cálculo de la intensidad de emisión acumulada por producto para el año 2013, se usaron los datos de cantidad de materia de producto comprada o importada en toneladas. Luego, se calculó el porcentaje de producto que se deriva del producto que lo origina, es decir, por ejemplo, del producto palanquilla cuánto se generó en Barra Hormigón y Rollo Alambrón en porcentaje según producción. Con este resultado se contribuyó a generar los resultados de toneladas CO<sub>2</sub>/año.

Con el resultado anterior de porcentaje de productos producidos ponderados por los resultados de la sumatoria de las emisiones por alcance, se pondera el porcentaje por toneladas de CO<sub>2</sub>/año por alcances para el año 2013, sin considerar el resultado por alcances asociados a administración. Con este proceso se determinó la intensidad por producto con la cual luego, se puede conseguir la intensidad acumulada. (Tabla 10.9)

#### 7.4.2 Descripción de Resultados

En el 2013, en relación a la cuantificación de la huella de carbono emitida en el proceso de fabricación orientada a dos productos siderúrgicos, alambrón y barras de hormigón, se identificaron en la primera etapa del ciclo de producción, en preparación de chatarra, para el Alcance uno, una cifra de 1.685 (toneladas C02 equivalente/año), para el Alcance dos 3.148 (toneladas C02 equivalente/año) y para el Alcance tres 27.329, con un total de emisiones de 32.163 (toneladas C02 equivalente/año), representando la etapa uno un 12,8% del total. (Tabla 10.10).

En la etapa dos del ciclo de producción, denominado acería, el cual engloba las células horno eléctrico, horno cuchara, y colada continua, se identificó para el Alcance uno, en horno eléctrico y colada continua, un valor de 31.302 toneladas de C02 equivalente/año; para el Alcance dos, 98.420 toneladas de C02 equivalente/año; y para el Alcance tres, 5.133 toneladas de C02 equivalente/año. Así mismo, para la célula, colada continua dentro del proceso de acería, se determinó para el Alcance uno, una cifra de 2 toneladas de C02 equivalente/año; para el Alcance dos, de 2.734 toneladas de C02 equivalente/año; y para el Alcance tres, 0 toneladas de C02 equivalente/año, con un total de emisiones de 137.591 con un 54,6% de las emisiones totales. (Tabla 10.10).

Para la etapa de laminación, en donde, también se pueden identificar emisiones por alcance, en relación al Alcance uno se cuantificó una cifra de 27.951 toneladas de C02 equivalente/año; para el Alcance dos, una cifra de 19.889 toneladas de C02 equivalente/año; y para el Alcance tres, un cifra de 27.192 toneladas de C02 equivalente/año, con una cifra total de 75.031 toneladas de C02 equivalente/año, aportando un 29,8% del total de emisiones. (Tabla 10.10)

Como los dos productos seleccionados se consideraron previos a la etapa de trefilación, esta no se incluyó en el análisis por limitaciones de tiempo para el análisis.

Finalmente, se determinó la emisión para la etapa de administración, etapa del ciclo de producción que se distribuye entre las demás. Así, se determinaron emisiones de Alcance uno en 15 (toneladas C02 equivalente/año); emisiones de Alcance dos en 4.013 (toneladasC02 equivalente/año); y emisiones del Alcance tres en 2.150 (toneladas C02 equivalente/año) con un total de 6.178 (toneladasC02 equivalente/año), representando un 2,4% del total de la emisiones. (Tabla 10.10).

Luego, en la tabla 10.13, en el sentido de lograr determinar la huella de carbono para dos productos siderúrgicos, una vez realizado el análisis del ciclo de vida hasta el

proceso de laminación, proceso del cual se logró verificar la producción del alambón y de las barras de hormigón, se realizó el proceso de determinar la huella de carbono por producto en cada una de sus etapas dentro del ciclo de producción. Se obtuvo que para la chatarra las emisiones totales fueron de 32.163 toneladas CO<sub>2</sub>/ año en base al 100% de chatarra usada. Así mismo, para el producto que se despacha de la acería, la palanquilla, que se procesará en la laminación, se identificó una emisión de 137.591 toneladas CO<sub>2</sub>/año, para luego obtener dos productos semifinales: rollo alambón con una emisión identificada de 3.207 toneladas CO<sub>2</sub>/ año y barra hormigón, con una emisión de 42.738 toneladas CO<sub>2</sub> / año.

Luego, para determinar la intensidad por producto, se dividió las ton CO<sub>2</sub>/ año por ton de producto año de la misma manera. Con esto, en relación al cálculo de la intensidad de producción, al dividir el total de toneladas producidas en el período comprendido por la emisión de toneladas de CO<sub>2</sub>/año, descrito en tablas pre determinadas para cada producto, se obtuvo para el rollo alambón una emisión de 0,180 toneladas de CO<sub>2</sub>/tonelada producida, así mismo, para la barra hormigón se obtuvo una intensidad de 0,220 toneladas CO<sub>2</sub>/toneladas producida. Ahora bien, si esta intensidad se hace acumulada en relación a la cadena de producción, nos encontramos que las intensidades se empiezan a igualar, dando como resultado en base a ton de CO<sub>2</sub>e/ tonelada producida para el rollo alambón 0,55 y para la barra hormigón 0,57. (Tabla 10.9)

## 7.5 Contraste entre los resultados del año 2010 en Comparación con el año 2013.

### 7.5.1 Comparación de Resultados por Emisiones, según Procesos.

La misma secuencia usada durante el análisis de la metodología se usó para contrastar dos años de mediciones en la empresa analizada. El primer proceso fue el procesamiento de la chatarra, que para el año 2010 se determinó en 6.679 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente siendo un 4% de las emisiones totales para ese año. Por otra parte, para el año 2013 se identificó una emisión 32.163 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, principalmente, determinada por medio de los Alcances 1, 2 y 3 con un 12,28% de las emisiones totales para ese año.

Luego, en el proceso de fundición, específicamente en el horno eléctrico, se identificaron emisiones de una magnitud de 151.367 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente para el 2010 con un 78% del total de las emisiones para ese año. De la misma manera, se identificó para el 2013 una magnitud de 134.854 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente con el 53,5% del total de las emisiones.

En el proceso de colada continua, para el 2010 se determinó una emisión de 1.306 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente con un 1% de las emisiones totales para ese año. Así mismo, para el 2013 se determinó en 2.736, también con un 1% del total de las emisiones.

Finalmente, ligado a este proceso de acería, se determinó para el proceso de precalentamiento de palanquilla una emisión en el 2010 de 31.059 toneladas CO<sub>2</sub> equivalente con un 15% del total de emisiones. Para el 2013 no se determinó el valor específico para este proceso, que se incluyó en el proceso de acería.

Aun cuando el proceso de laminación no se analizó en profundidad para el estudio, se incorporó para completar los totales de volumen de la empresa y favorecer la demostración de los cálculos. Así, para el 2010 se obtuvo una emisión de 11.564 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente con un 5,6% del total de emisiones. Para el 2013 se obtuvo, para el mismo proceso, una cifra de 75.031 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente con un 29,8% del total de las emisiones.

El proceso de trefilación en el 2010 se incluyó probablemente en algún ítem relacionado, ya que no fue incluido en detalle como resultado. No así en el 2013, donde

se determinó en 1.239 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente con una participación total del 0,5%.

Al final, se encuentra el proceso de administración, con una determinación para el 2010 de 4.594 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente con un 2,2 %, y para el 2013 con un valor de 6.178 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente que aportó con un 2,4% del total de emisiones.

Las emisiones totales por procesos se determinaron para el 2010 en 206.569 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente con un 105,9% y para el 2013, 252.201 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente con un 100%.

#### 7.5.2 Comparación de Resultados de Emisiones para el año 2010 y el año 2013, según Producto.

En la tabla 10.9 se describen los resultados comparados para el año 2010 y 2013, según sus emisiones para los productos rollo alambra y barras de hormigón. Así es que para el año 2010 se presentaron emisiones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente con un valor para barras de hormigón 0,56 y para perfiles de 0,57, no obteniéndose el dato para rollo alambra. En relación al año 2013, se observó que en relación a las emisiones para rollo alambra fue de 0,55 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente y para barra de hormigón de 0,57 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

#### 7.5.3 Comparación de Resultados entre los años 2010 y 2013 por Emisiones, según Alcance.

En la tabla 10.12 se describen los resultados del cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero, según emisiones por alcance para los años 2010 y 2013. En relación al Alcance uno, se describió una emisión de 70.722 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente con un 34% del total para el año 2010. En el mismo alcance, pero para el año 2013, se obtuvo una emisión de 61.126 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente con el 24% del total de emisiones.

En relación al Alcance 2 para el 2010, se obtuvo una emisión de 68.787 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente con un 33% del total de las emisiones. De la misma manera, para el 2013 se determinó una emisión de 128.664 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, con un aporte del 51% del total de emisiones.

Finalmente, para el Alcance 3, en relación al año 2010, se obtuvo una emisión de 67.060 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente con el 33% de las emisiones totales, y para el 2013, 62.411 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, con el 25% de las emisiones totales.

## 8. Conclusiones

En relación al manejo de huella de carbono para la industria siderúrgica, se están realizando grandes esfuerzos que van en el sentido de disminuirla, y con eso, sustentar de manera concreta y con datos verificables que el reciclaje de chatarra es un aporte real en ese sentido. Es por esto que el aporte de la metodología propuesta para otras empresas del rubro siderúrgico del acero reciclado, permite medir la huella de carbono, facilitando la toma de decisión en relación a los ámbitos incluidos para ese efecto, como también, provee una herramienta sencilla, la cual podría ser utilizada con mayor facilidad no requiriendo un alto nivel de entrenamiento para ejecutarla. Esto estaría en la misma orientación de lo expresado en la revisión bibliográfica en sentido de generar estándares más adaptados a cada industria y que, a la vez, permitan su aplicación sin disponer de grandes recursos tanto técnicos como humanos.

Por esta razón, el esquema que se usó debía ser sencillo y lo más didáctico posible, de manera de cooperar con lo planteado en la revisión bibliográfica recolectada en el documento.

En la base del esquema que se desarrolló y que permitió la comprensión sencilla de éste, se puso como base unidades definidas por el ciclo de vida del producto que siguieran el flujo del producto y cumplieran con la condición de célula, presentando entradas y salidas de masa. Luego, estas entradas y salidas se clasificaron por medio de la metodología GHG Protocol, de manera tal que conjuntamente se calificaron paralelamente por dos criterios metodológicos al mismo tiempo. Este esquema fue el que resultó como patrón para llevar a cabo la medición, a través del proceso productivo en forma reiterada. Ahora bien, cada entrada, a su vez, se calculó por medio del factor que le fue atinente, es decir, si el combustible usado se consideró como entrada, en el cálculo se incorporó el factor de emisión asociado al uso de ese combustible.

En relación a la determinación de las fuentes de emisiones de GEI, la metodología propuesta ayudó a la clasificación de las fuentes y su importancia relativa dentro del proceso completo de producción, en forma ordenada y secuencial, como se puede visualizar en los anexos del presente trabajo.

La visualización sencilla en la clasificación y determinación de las entradas y salidas de masa, facilitó la asignación de compensación de emisiones en el balance general de la huella de carbono a nivel corporativo como también, por unidad



productiva, lo cual genera que las decisiones se puedan reforzar y tener sentido en la corporación.

En la tabla 10.1 se compara el volumen de emisión en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente según las etapas del ciclo de vida por años 2010 y 2013. Lo que primero se observó es que el total para el año 2010, en base a 206.569 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente en relación a la sumatoria del porcentaje, es del 105%. Esta discrepancia en el reporte se corrigió y se determinó que para la etapa Preparación de chatarra se corrigió a 3% y para la etapa Horno Eléctrico se corrigió para un 73%. Con esta corrección a los resultados del 2010 se intentó hacer más comparables los resultados entre años. Luego, lo que se visualizó fueron diferencias en las etapas de Preparación de chatarra en aproximadamente 9%, con un aumento hacia el 2013. En relación a la etapa de Horno Eléctrico, se verificó una disminución de aproximadamente un 20% con respecto al 2010. Para el proceso de colada continua, no se verificó diferencias, dado que prácticamente se mantuvo constante el porcentaje de un año al otro. La etapa de precalentamiento de palanquilla no fue identificada en el 2013 como etapa del ciclo de vida, por lo que se consideró incluida en otra unidad. Luego, para la etapa de laminación, se observó tal vez la diferencia más importante de incremento, con un aumento de prácticamente un 25% en el 2013. La etapa de tráfico no se menciona en el reporte del 2010 y no pudo ser comparada con los datos verificados el 2013. Finalmente, para la etapa de administración no se verificaron diferencias entre años.

En relación a las emisiones totales, se observa un incremento de los valores totales de emisiones de aproximadamente 45.000 ton CO<sub>2</sub> equivalente por año.

Si revisamos la tabla 10.9, donde se muestra la intensidad de emisión por producto para el año 2013, aun cuando no son las mismas, se observan valores acumulados con valores muy similares. Lo que podría no comprenderse, ya que hacia el 2013 ya se habían tomado medidas de reducción en la intensidad de emisión.

Al analizar los resultados en base a las diferencias observadas en la tabla 10.12, donde se muestran los resultados de emisiones por alcance según los años 2010 y 2013, se observa que para el Alcance 1 y 3 en el año 2013, específicamente, el porcentaje de emisiones disminuye con respecto al 2010, sin embargo, lo que llama la atención es el aumento en prácticamente un 20% para el Alcance 2.

Entonces, si balanceamos las diferencias de emisión desde al año 2010 hacia el año 2013, se entendió que aumentaron las emisiones por la magnitud de las diferencias descritas anteriormente. Esto último podría ser explicado en base a pensar que lo desarrollado el 2010, no incorporó elementos que sí se incorporaron el 2013, o bien, la

metodología usada no permitió conocer todas las variables que necesariamente afectan a la empresa y determinan sus emisiones. Esta apreciación se basó en que luego del análisis del 2010 se incorporaron medidas de manejo conducentes a reducir la huella de carbono, sin embargo, en la evaluación del 2013 se verificó un incremento.

En relación a las compensaciones asociadas a reducciones de emisiones, como por ejemplo, el reciclaje de cartones, algunas pueden ser asociadas fácilmente a actividades específicas, sin embargo, otras compensaciones es más difícil de asociar a una unidad específica, como por ejemplo, las compensaciones de emisiones por absorción, el cual queda a discreción del investigador.

## 9. Trabajos Futuros

En relación a los créditos de emisiones, se identificaron compensaciones asociados a distintas unidades, sin embargo, al realizar la asignación de estos créditos se genera un grado de subjetividad. Sería de utilidad objetivizar la asignación en relación a las medidas concretas dentro de cada unidad a su correcta asignación.

Se determinaron entradas y salidas en base a un año específico y una tecnología específica, aun cuando el patrón de la metodología se pueda mantener constante en el tiempo, es de vital importancia la actualización de las variables y, por supuesto, de las tecnologías para una mejor exactitud en los resultados.

Aun cuando se pudieron verificar puntos comunes de comparación entre los años 2010 y 2013, en el 2010 se usó una metodología, principalmente, orientada hacia la metodología de GHG Protocol, en comparación con la metodología propuesta para el 2013. Esto generó que no se pueda realizar una comparación exacta de las cifras y un seguimiento preciso de los resultados completos para la empresa en el tiempo. Sería beneficioso, para la correcta interpretación de los datos, realizar comparaciones en base a una misma metodología para años seguidos.

Así como se intentó la esquematización del proceso de determinación de los factores de emisión de gases de efecto invernadero, poder también, estandarizar patrones comunes a las empresas siderúrgicas e incorporarlos a la matriz de la metodología, en el sentido de tratar de simplificar aún más su aplicación. Esto sería beneficioso y disminuiría costos y horas hombre en futuras aplicaciones.

## 10. Tablas

**Tabla 10.1: “Balance Aglomerado de Carbono en Hornos por Alcance según Entradas y Salidas”**

	Alcance1
<b>Balance de Carbono</b>	<b>Ton CO2/año</b>
Entradas	27991,65
Salidas	6619,33
Balance	21372,32

**Tabla 10.2: “Total de Emisiones por consumo de Energía aglomerado por alcance según Etapa del Ciclo de Vida”**

ENERGIA	Alcance 1 ( ton CO2e/año)	Alcance 2 (ton CO2e/año)
<b>Etapa del Ciclo de Vida</b>		
Preparación chatarra	1.684,1	3.148,3
Fundición	10.048,5	98.419,7
Colada Continua	0,0	2.734,3
Laminación	27.934,1	19.889,2
Trefilación	170,8	459,9
Administración	0,0	4.012,6
<b>Total</b>	<b>39.837,5</b>	<b>128.664,0</b>

**Tabla 10.3: “Total de Emisiones por Consumo de Refrigerantes, según Alcance y Etapa del Ciclo de Vida”.**

Refrigerantes	Alcance 1
<b>Ciclo de Vida</b>	<b>(tonCO2e/año)</b>
Preparación chatarra	1,2
Fundición	6,7
Colada Continua	2,0
Laminación	16,4
Trefilación	0,2
Administración	15,0
<b>Total</b>	<b>41,5</b>

**Tabla 10.4:” Total de Emisiones por manejo de residuos en ton de CO2e/año, según Alcance y Etapa del Ciclo de Vida”.**

	Alcance 3
Residuos	(ton CO2e/año)
Etapa Ciclo de Vida	
Preparación chatarra	1,56
Fundición	0
Colada Continua	0
Laminación	-33,6
Trefilación	0
Administración	30,618
Total	-1,422

**Tabla 10.5: “Total de Emisiones por Consumo de Insumos en ton CO2e/año, según Alcance y Etapa del Ciclo de Vida”.**

	Alcance 3
Consumo de Insumos	(ton CO2e/año)
Etapa Ciclo de Vida	
Preparación chatarra	321,05
Fundición	41037,30
Colada Continua	0,00
Laminación	7402,87
Trefilación	45,26
Administración	0,00
Total	48806,49

**Tabla 10.6: “Total de Emisiones por Transporte de Carga en ton de CO2e/ año, según Alcance y Etapa del Ciclo de Vida.”**

Transporte Carga	Alcance 3
Etapa Ciclo de Vida	(ton CO2e/año)
Preparación chatarra	27142,95
Importe materia prima	4120,34
Importe productos	1629,42
Exporte productos	1193,99
Despacho productos	26833,67
Transporte residuos	534,72
Total	61455,08

**Tabla 10.7 “Emisiones por transporte de pasajeros en ton CO2e/ año, según Alcance”.**

Gerdau	Alcance 3 (ton CO2e/año)
Administrativos	669,2

**Tabla 10.8 “Compensación de Emisiones en ton CO2e/año, según Absorción”.**

Absorción	ton CO2/año
2013	-31,45

**Tabla 10.9: “Intensidad Acumulada de emisión en toneladas de CO2 Equivalente, según año por producto”.**

Producto	ton CO2e/ton	ton CO2e/ton( Acumulado)
Alambrón	0,18	0,55
Barras Hormigón	0,22	0,57

**Tabla 10.10: “Volumen de Emisiones en toneladas de CO2 equivalente y Porcentaje, según Etapa del Ciclo de Vida del Producto por Año. (Corregido por porcentaje)”**

Unidad	Preparacion Chatarra		Horno Electrico		Colada Continua		Precalentamiento Palanquilla		Laminacion		Trefilacion		Administracion		TOTAL	
	tCO2e	%	tCO2e	%	tCO2e	%	tCO2e	%	tCO2e	%	tCO2e	%	tCO2e	%	tCO2e	%
2010	6679	4	151367	78	1306	1	31059	15	11564	5,6	NI	NI	4594	2,2	206569	106
2010 c	6679	3	151367	73	1306	1	31059	15	11564	5,6	NI	NI	4594	2,2	206569	100
2013	32163	12,8	134854	53,5	2736	1,10	NI	NI	75031	29,8	1239,0	0,5	6178	2,4	252201	100

**Tabla 10.11: “Volumen de Emisiones por año, según producto en Toneladas de CO2 equivalente.”**

Año	2013
Productos	ton CO2/año
Chatarra	32.163
Palanquillas	137.591
Barra Hormigón	42.738
Rollo alambrón	3.207

**Tabla 10.12: “Volumen de Emisiones en toneladas de CO2 equivalente y porcentaje, según alcance por año.”.**

	Alcances						
Año	Alcance 1	tCOe	Alcance 2	tCOe	Alcance 3	tCOe	TOTAL
2010	34%	70.722	33%	68.787	33%	67.060	206.569
2013	24%	61.126	51%	128.664	25%	62.411	252.201

**Tabla 10.13: “Emisiones por productos en toneladas de CO2/año para el año 2013”.**

Año	2013
Productos	ton CO2/año
Chatarra	32.163
Palanquillas	137.591
Barra Hormigón	42.738
Rollo alambión	3.207

## 11. Referencias

Utilización del Análisis del Ciclo de Vida en la Evaluación del Impacto ambiental del Cultivo bajo Invernadero Mediterráneo, Ma Assumpció Anton Vallejo, Tesis Doctoral, Barcelona Gener 2004.(20 pp).

Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte, World Business Council for Sustainability Development, World Resources Institute, Sermanat, 2011. (138 pp.).

Manual of GHG schemes addressing climate change “How ISO standards help”, ISO, 2010-12. (56 pp).

The Guide to PAS 2050 How to assess the carbon footprint of good and services, 2011. (79 pp).

A Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard 2004, World Business Council for Sustainable Development, World Resources Institute, (116 pp).

Sustainable steel, Policy and Indicators, World steel Association, 2011 (4 pp).

Annual Report, World Resources Institute, 2008 (28 pp).

2007 Annual Report on Sustainability Development Work in the OECD, OECD Publications, 2007, (50 pp).

Análisis del ciclo de vida, Rieznik , Hernández, Madrid (España), 2005.

International Energy Agency, World Energy Outlook, Executive Summary, 2007(18 pp).

How to carbon footprint your products, identify hotspots and reduce emissions in your supply chain, The Guide to PAS 2050, 2011(79 pp).

The First standard for Carbon Neutrality, White Paper, PAS 2060, 2011(13pp).

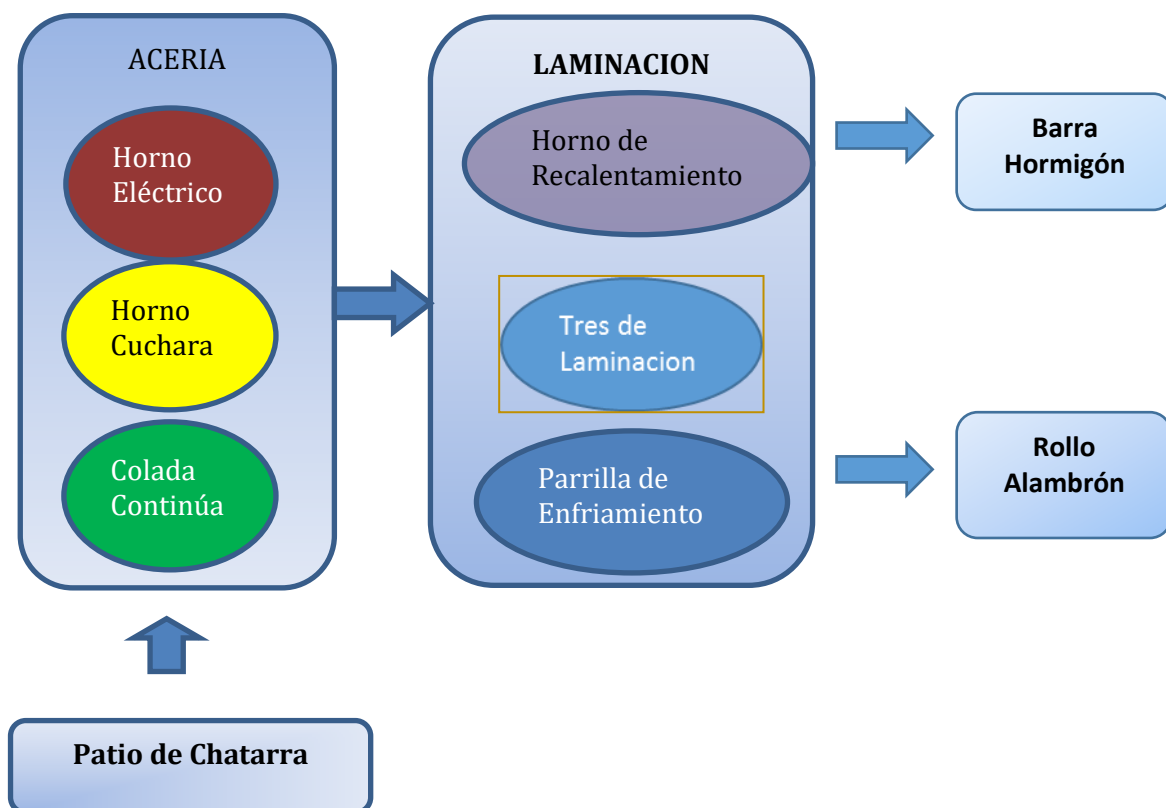
A survey of unresolved problems in life cycle assessment, The International Journal of LCA Aug 2008, volume 13, Issue 5, John Reap, Felipe Roman, Scott Duncan, Bert Bras (374-388 pp).

A review of LCA Methods and Tool and their Suitability for SMEs, The University of Manchester, 2011(24 pp).

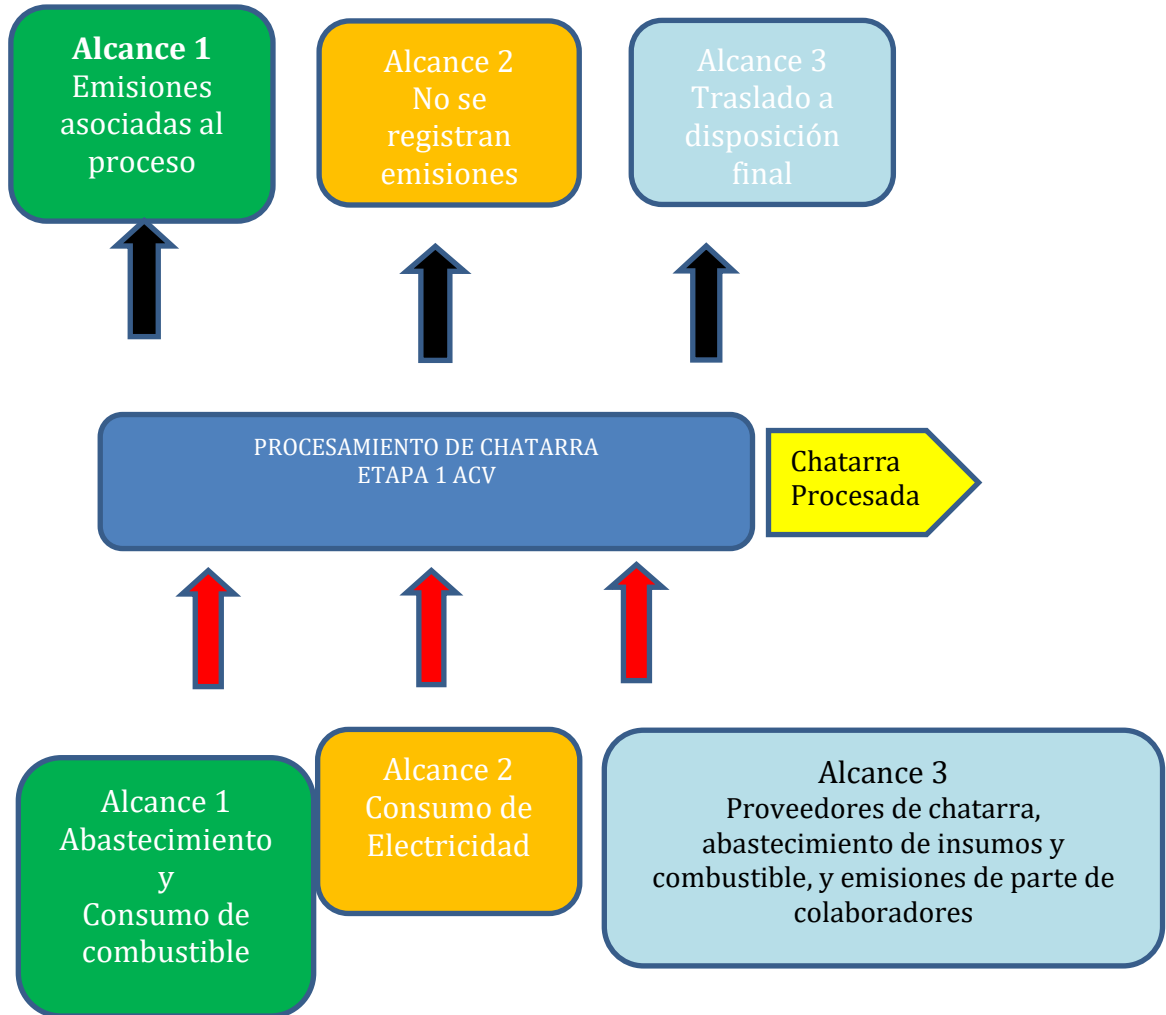


## **12. Anexos**

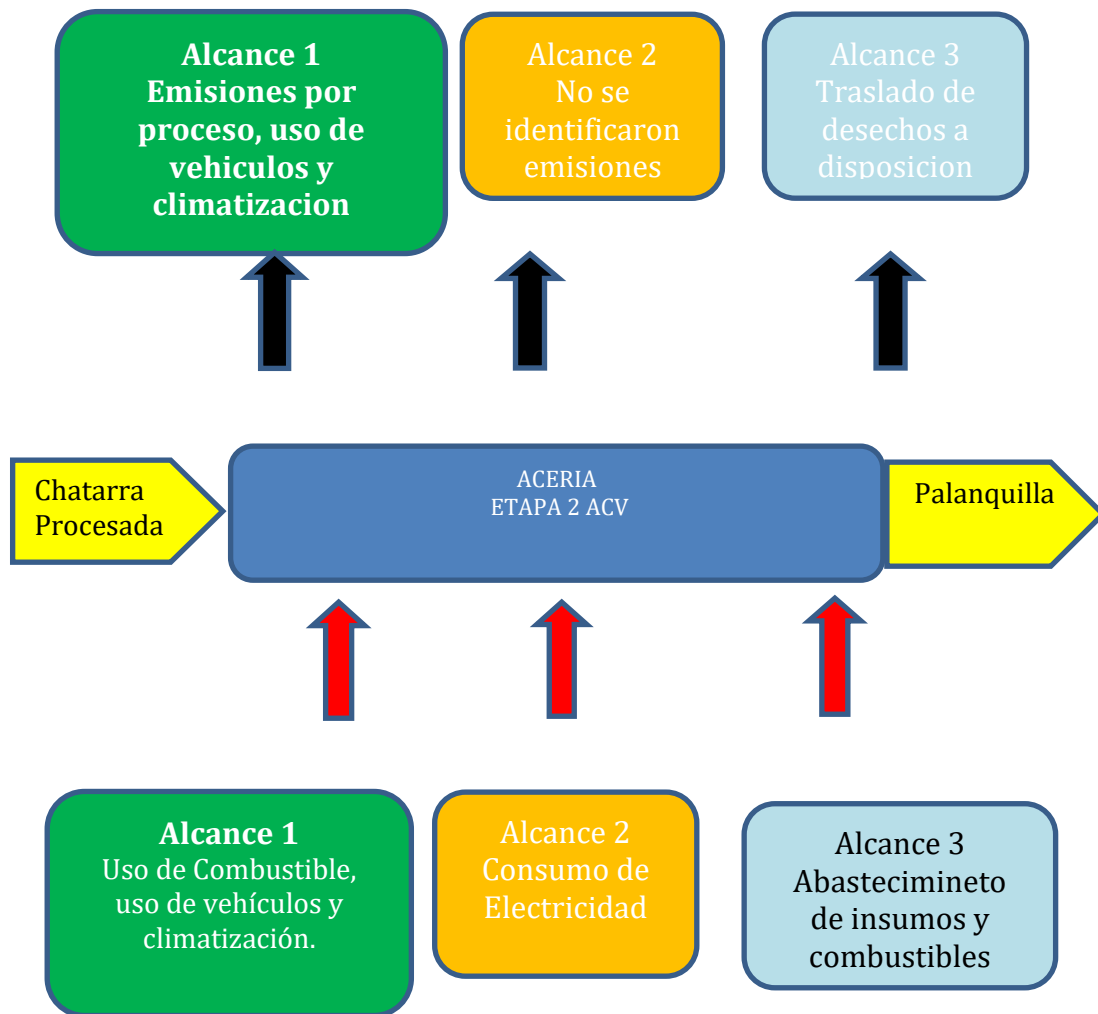
### 12.1 Anexo 1: Diagrama flujo producción



### 12.2 ANEXO 2: ETAPA 2- EMISIONES PATIO CHATARRA



### 12.3 ANEXO 4:ETAPA 2 EMSIONES ACERIA



### 12.4 ANEXO 4:ETAPA 2 EMSIONES

## LAMINACIÓN

