

# Métodos para evaluar los gases de la industria siderúrgica.

*Methods to evaluate the gases of the iron and steel industry.*

Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez <sup>1\*</sup>, Edison Santiago Sopalo Llulluna <sup>2</sup>

1\* Doctor en Ciencias Administrativas. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Email: [eviteri@esPOCH.edu.ec](mailto:eviteri@esPOCH.edu.ec) Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3029-775X>

2. Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador. Email: [edison.sopalo7774@utc.edu.ec](mailto:edison.sopalo7774@utc.edu.ec)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7338-1295>

Correspondencia: [eviteri@esPOCH.edu.ec](mailto:eviteri@esPOCH.edu.ec)

Recibido: 27/Agosto/2020

Aceptado: 26/Septiembre/2020

Publicado: 30/Octubre/2020

**Resumen:** El objetivo general de esta investigación es analizar los métodos existentes para evaluar los gases de la industria siderúrgica. La metodología empleada se basa en un diseño bibliográfico de tipo documental. La industria siderúrgica es responsable de emitir 6% a nivel global de gases del efecto invernadero, el control y posterior disminución de estos gases es el reto de la industria, existen métodos para determinar la emisión que permiten trabajar a nivel global y poder llegar a las metas de que mantengan su aporte de los GEI al ambiente y posteriormente lleguen a disminuir para mejorar el tema del cambio climático, así contamos con el análisis de ciclo de vida y el método de las huellas de carbono. Con estos indicadores se puede comparar las diferentes industrias y productos por su aporte directo o indirecto de gases de efecto invernadero (GEI), la producción siderúrgica tiene dos rutas la producción por alto horno y la de horno eléctrico, siendo la de alto horno la de mayor presencia a nivel global con un 75 % de aplicación a nivel global y 25% es realizado por hornos eléctricos, se evidencia el aporte mucho mayor de los primeros en sus desechos al ambiente. La consideración en los cálculos de las reacciones de combustión permite de manera teórica determinar y predecir con bastante exactitud comparado con los sensores de gases de combustión demostrado experimentalmente.

**Palabras Clave:** Gases de efecto invernadero (GEI), alto horno, horno arco eléctrico, huella del carbono, ciclo de vida.

**Abstract:** The general objective of this research is to analyze the existing methods to evaluate gases from the steel industry. The methodology used is based on a documentary-type bibliographic design. The steel industry is responsible for emitting 6% globally of greenhouse gases, the control and subsequent reduction of these gases is the challenge of the industry, there are methods to determine the emission that allow working globally and being able to reach the goals that they maintain their contribution of GHGs to the environment and subsequently decrease to improve the issue of climate change, so we have the life cycle analysis and the carbon footprint method. With these indicators it is possible to compare the different industries and products by their direct or indirect contribution of greenhouse gases (GHG), steel production has two routes: production by blast furnace and electric furnace, being the blast furnace the greater presence at a global level with 75% of application at a global level and 25% is carried out by electric furnaces, the much greater contribution of the former in their waste to the environment is evident. The consideration in the calculations of the combustion reactions allows theoretically to determine and predict with enough accuracy compared to the combustion gas sensors experimentally demonstrated.

**Keywords:** Greenhouse gases (GHG), blast furnace, electric arc furnace, carbon footprint, life cycle.

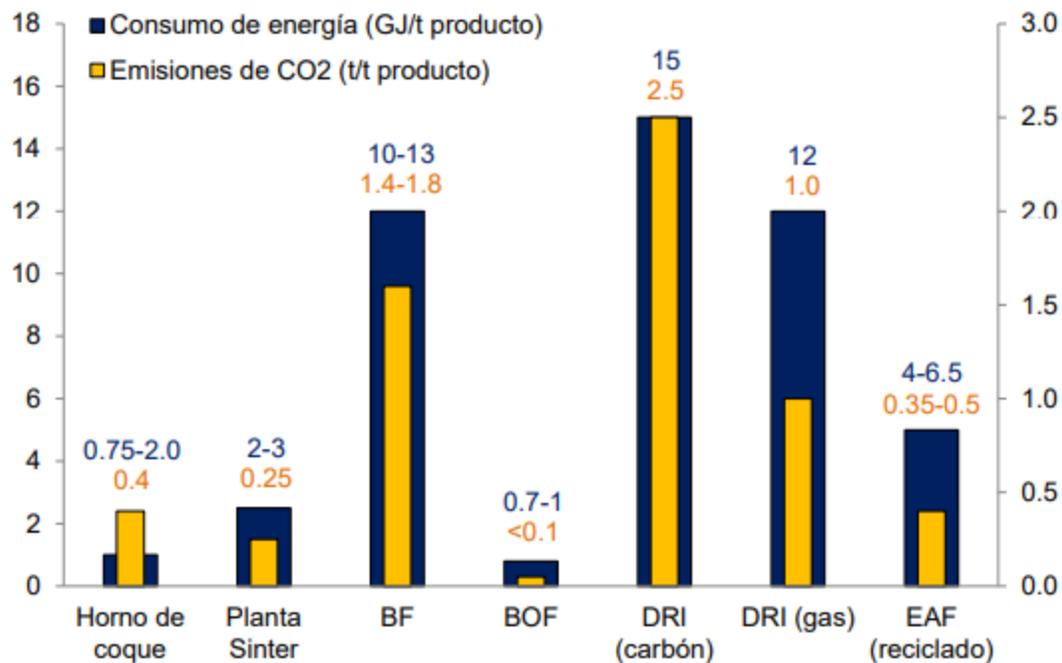
## INTRODUCCIÓN

La industria siderometalúrgica es una de las mayores responsables de las emisiones industriales de CO<sub>2</sub>, aportando un 6% de las emisiones antropogénicas globales debido al uso intensivo de carbón. La incorporación de materias primas sostenibles como la biomasa se ha establecido como una de las principales vías para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. (Florentino, 2019)

En la actualidad, la ruta más utilizada para la obtención de acero es la del Horno Alto, que constituye un 70% de la producción del acero mundial. El reciclado de acero en los Hornos de Arco Eléctrico es la segunda ruta más relevante con un 25% de la producción mundial. Finalmente, las rutas de reducción directa, DRI-EAF y SR-BOF, producen solamente un 5 y un 0.4% respectivamente. En la Figura 1 se muestra el consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> producidos en la fabricación del acero en función de la tecnología empleada (AMCG, 2011).citado por (Florentino, 2019)

**Figura 1.**

*Consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por las principales rutas de fabricación de acero.*



**Fuente** (Florentino, 2019)

Aplicando las mejoras en las industrias del acero se consiguen reducciones en las emisiones de CO<sub>2</sub> del 21,68% y disminución del combustible carbón de 17,12% (Venturini, 2018)

Al aumentar la concentración de oxígeno en el aire de combustión, además de aumentar la temperatura de la llama, aumentan también las tasas de transferencia de calor y la eficiencia del proceso de combustión. Las dos propuestas se evaluarán con el fin de mejorar el proceso de combustión, aumentar la estabilidad del horno, reducir las emisiones, aumentar la producción y reducir los costos y el consumo de combustible Mariños et al., (2016)

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 (Gigoux, 2015)

En el proceso de auditoría y control ambiental, se utilizan metodologías de contabilidad de emisiones, tales como GHG protocolo, PAS 2050 e ISO 14064, algunas muy genéricas para el nivel de especialización de este tipo de procesos (Gigoux, 2015)

La correcta cuantificación de las emisiones de GEI y sus efectos asociados se pueden calcular mediante la realización de análisis de ciclo de vida (ACV) que está considerada como la herramientas, más rigurosa para la cuantificación de las cargas ambientales de un producto, proceso o servicio ya que el análisis incluye todo su ciclo de vida, desde la extracción de recursos, producción, uso y reciclaje, hasta la disposición de residuos, incluyendo un registro de todas las entradas y salidas derivadas del mismo Llera, Vigil, Ortega (2021)

La implementación del análisis del ciclo de vida en países de Latinoamérica resulta ser dificultoso por el hecho de no utilizarlo como primer punto antes producir o construir, la falta de experiencia, altos costos, complejidad y falta de datos locales son los problemas más significativos encontrados por el autor. Aunque en algunos casos no se conoce la importancia del ACV y es importante fomentar e investigar sobre el tema y si los datos no se presentan en zonas locales, se puede tomar en consideración datos externos (Gavilánez, 2021)

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 (Gigoux, 2015)

Cabe destacar que al hablar de gases de efecto invernadero (GEI) esto se refiere a CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub> eq), que incluye los seis gases de efecto invernadero recogidos en el Protocolo de Kioto: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarburos (HFC), perfluorocarburos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). (Comisión Interdepartamental del Cambio Climático, 2021)

**Tabla 1**

*Factor de Emisión para cada combustible*

| Combustible                      | Factor de emisión   |
|----------------------------------|---|
| Gas Natural (m <sup>3</sup> )    | 2,15 Kg CO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> de gas natural                 |
| Gas butano (kg)                  | 2,96 Kg CO <sub>2</sub> /Kg de gas butano                               |
| Gas butano (número de bombonas)  | 37,06 Kg CO <sub>2</sub> /bombona (considerando una bombona de 12,5 Kg) |
| Gas propano (kg)                 | 2,94 kg CO <sub>2</sub> / kg de gas propano                             |
| Gas propano (número de bombonas) | 102,84 kg CO <sub>2</sub> / bombona (considerado 1 bombona de 35 kg)    |
| Gasoil (litro)                   | 2,79 kg CO <sub>2</sub> / de gasoil                                     |
| Fuel (kg)                        | 3,05 kg CO <sub>2</sub> /kg de fuel                                     |
| GLP genérico (kg)                | 2,96 kg CO <sub>2</sub> /kg de GLP genérico                             |
| Carbón nacional (kg)             | CO <sub>2</sub> /kg de carbón nacional                                  |
| Carbón de importación (kg)       | CO <sub>2</sub> /kg de carbón de importación                            |
| Coque de petróleo (kg)           | CO <sub>2</sub> /kg de coque de petróleo                                |

**Fuente:** CICC (2021)

En la Tabla 1 se puede apreciar la emisión de CO<sub>2</sub> al ambiente en función de la cantidad del combustible usado de esta manera cada operación en el caso de la industria siderúrgica el consumo de gas, coque y gasoil empleado para los procesos de fabricación en los altos horno y en los hornos eléctricos, permite determinar la cantidad de CO<sub>2</sub> desprendido al ambiente dato importante para el análisis del ciclo de vida y la huella de carbón.

Para poder considerar de una forma sistemática los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida de un producto/actividad, la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es la herramienta de uso más extendido Feijoo y Moreira (2020)

En 1998 se publica la primera de las normas ISO1 referidas a ACV: la norma ISO 14040:1998, que establece los principios y estructura de esta metodología. En años sucesivos aparecen otras normas ISO relacionadas con el ACV, entre las que destacan: ISO 14041:1999 (objetivo, alcance y análisis del inventario), ISO 14042:2001 (evaluación del impacto del ciclo de vida) e ISO 14043:2001 (interpretación del impacto del ciclo de vida). Estas normas han sido

revisadas y por la ISO 14040:2006(principios y marco de referencia) y por la ISO 14044:2006 (requisitos y directrices). En un plazo relativamente corto, el análisis del ciclo de vida se ha convertido en una metodología esencial para analizar la sostenibilidad de los productos y procesos Feijoo y Moreira (2020)

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) La definición del objetivo y el alcance del ACV: La definición del objetivo y el alcance incluye la determinación de la razón de llevar a cabo el estudio del ACV, la intención, tipo audiencia a quien va dirigido, y la aplicación deseada mientras se define el ámbito de aplicación, el cual consiste en la delimitación del sistema y el nivel de detalle de este. Por desgracia, sino se delimita el alcance y no se cuenta con un objetivo específico, las evaluaciones integrales para todos los efectos potenciales del producto o servicio requerirían grandes cantidades de tiempo, datos, conocimientos y recursos, convirtiendo el ACV en un proyecto inviable. Por lo tanto, se deduce que todos los estudios deben estar bien delimitados en algunos aspectos de la sofisticación y/o amplitud del estudio (Bare, 2011) citado por (Aristizábal-Alzate, González-Manosalva y Gutiérrez-Cano (2020).

Según la Oficina Española de Cambio Climático del Ministerio de Agricultura (2015) entiende como huella de carbono a “la totalidad de gases de efecto invernadero emitidos por efecto directo o indirecto por un individuo, organización, evento o producto” Aristizábal-Alzate et al., (2020).

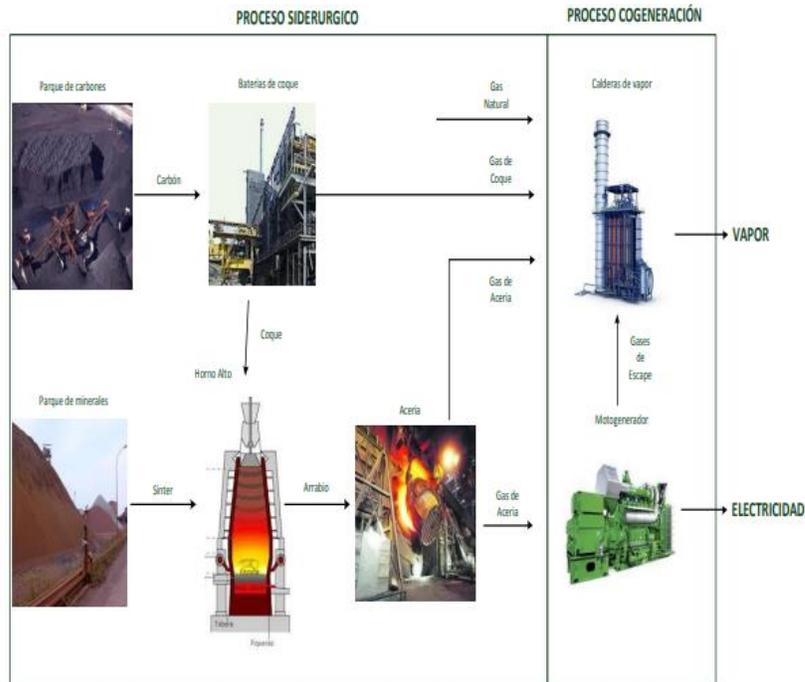
## METODO

La investigación se basó en un diseño bibliográfico de tipo documental. La investigación documental se concreta exclusivamente en la recopilación de Información de diversas fuentes, con el objeto de organizarla describirla e interpretarla de acuerdo con ciertos procedimientos que garanticen confiabilidad y objetividad en la presentación de los resultados Palella y Martins (2010). Para lograr este propósito se utilizó herramientas como textos, documentos y artículos científicos publicados disponibles en la web Palella y Martins (2010)

## RESULTADO

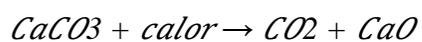
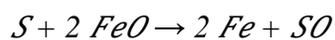
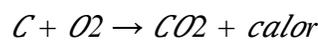
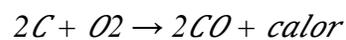
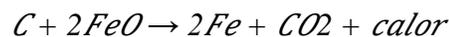
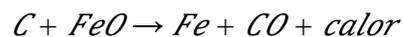
La industria siderúrgica produce una cantidad considerable de gases de efecto invernadero (GEI), su medición permite el control y posterior disminución de la emisión, el gas principalmente. Uno de los métodos usados en los procesos siderúrgicos es la cogeneración que permite con esta emisión de gases conducirlo a una caldera y turbina de vapor generando al final vapor de agua y electricidad, permitiendo disminuir el aporte de gases de efecto invernadero aportado por la empresa siderúrgica ver Figura. 2.

**Figura 2.**  
*Cogeneración de procesos Siderúrgicos.*



**Fuente:** García et al., (2015)

Los procesos siderúrgicos están fundamentados por las Reacciones siguiente generando el gas CO y CO<sub>2</sub> gas del efecto invernadero, producido por la reacción del Carbono del coque en los Altos Hornos



De esta manera por estequiometria se puede determinar la cantidad de gas (GEI) CO<sub>2</sub> teórico es generado a la atmosfera en el proceso siderúrgico conociendo la cantidad de materia prima e insumo que se agrega al proceso

En la investigación realizada por Meneses-Ruiz et al., (2018) titulada: Factores de emisión de CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, y SO<sub>2</sub> para instalaciones generadoras de electricidad en Cuba, donde utilizan un método para la determinación de CO<sub>2</sub> a través de un sensor detector de gases. Las mediciones de

emisiones de contaminantes a la atmósfera se realizaron con un analizador de gases de combustión TESTO350 XL (Ver Figura 3). Con este equipo fue posible obtener las concentraciones en el flujo de gas de escape de los siguientes compuestos: O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S e hidrocarburos totales (HC). En este caso, solo se obtuvieron valores de O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, pues en una medición es posible solamente obtener valores para cinco de los contaminantes

**Figura 3.**  
*TESTO350 XL sensor de gases de combustión*



**Fuente:** Meneses-Ruiz et al., (2018)

**Tabla 2**  
*Comparación de los valores estimado por las reacciones estequiométricas y los valores calculados por el equipo detector de gases de combustión*

| Tecnología por combustible            | Valores obtenidos por mediciones (Vm) (g/kg) | Valores estimados por la ecuación (Ve) (g/kg) | Diferencia relativa* (%) |
|---------------------------------------|--|---|--------------------------|
| Caldera fuel Oil                      | 3173   | 3100  | 2.3                      |
| Caldera Crudo                         | 2841   | 2975  | 4.5                      |
| Motores, Fuel Oil, Baterías 4x 1.7 MW | 3125   | 3134  | 0.3                      |
| Motores, Fuel Oil, Man de 3.85 MW     | 3143   | 3157  | 0.5                      |
| Motores, Fuel Oil, BASAN de 3.45 MW   | 3145   | 3129  | 0.5                      |
| Motores, Diesel, MTU serie 2000       | 3041   | 3241  | 6.1                      |
| Motores, Diesel, MTU serie 4000       | 3049   | 3240  | 5.9                      |
| Motores, Diesel, Scania 0.34 MW       | 3186   | 3241  | 1.7                      |

• Diferencia Relativa =  $(|Ve - Vm|) / Ve * 100$

**Fuente:** Meneses-Ruiz et al., (2018)

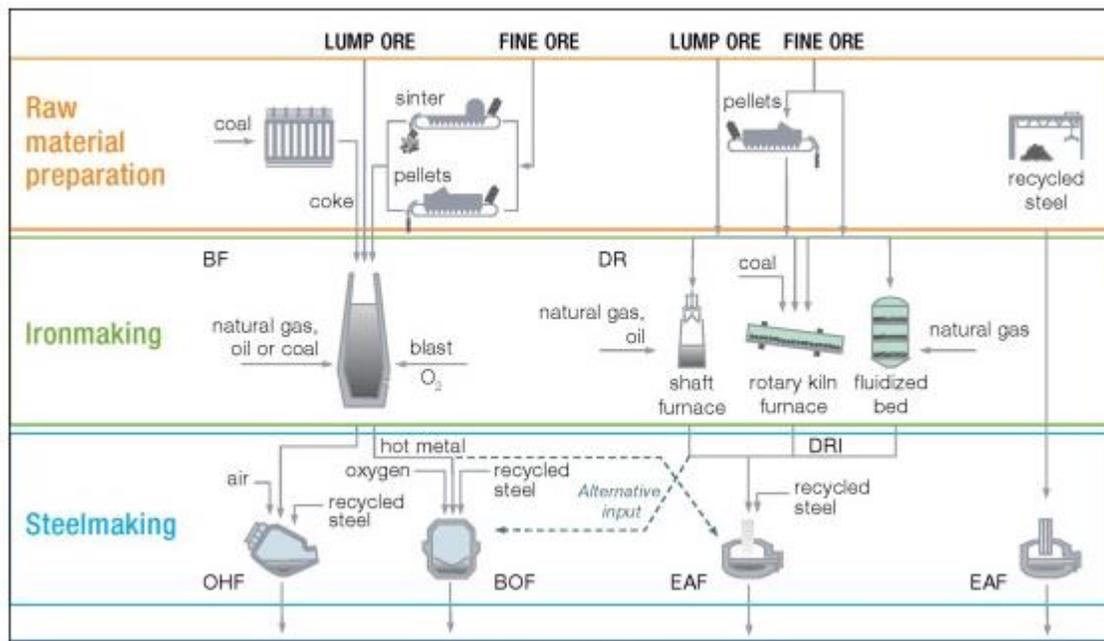
En la Tabla 2 se evidencia la diferencia entre la consideración estequiometría de los gases de combustión y los medidos por el sensor de detección de gases en la última columna se aprecia el porcentaje de diferencia. Asimismo, en la Tabla 3 se observan las emisiones gaseosas de una empresa siderúrgica. De igual manera en la Figura 4 se muestran las rutas de la producción de hierro y acero.

**Tabla 3**  
*Emisiones gaseosas de una empresa siderúrgica*

| Emisiones gaseosas                                 | Cantidad | Unidades              |
|--|----------|-----------------------|
| Dióxido de carbono CO <sub>2</sub>                 | 1,950    | t/t <sub>acero</sub>  |
| Óxido de nitrógeno NO <sub>x</sub>                 | 0,003    | t/t <sub>acero</sub>  |
| Óxido sulfúrico SO <sub>2</sub>                    | 0,004    | t/t <sub>acero</sub>  |
| Metano CH <sub>4</sub>                             | 0,626    | kg/t <sub>acero</sub> |
| Componentes orgánicos volátiles COV <sub>tot</sub> | 0,234    | kg/t <sub>acero</sub> |
| Polvo  | 15       | kg/t <sub>acero</sub> |
| Metales pesados Pb, Cd, Hg, As, Cr, Cu, Ni, Se, Zn | 0,037    | kg/t <sub>acero</sub> |

**Fuente:** (Venturini, 2018)

**Figura 4.**  
*Rutas de la producción de Hierro y acero.*



**Fuente:** Sun et al., (2018)

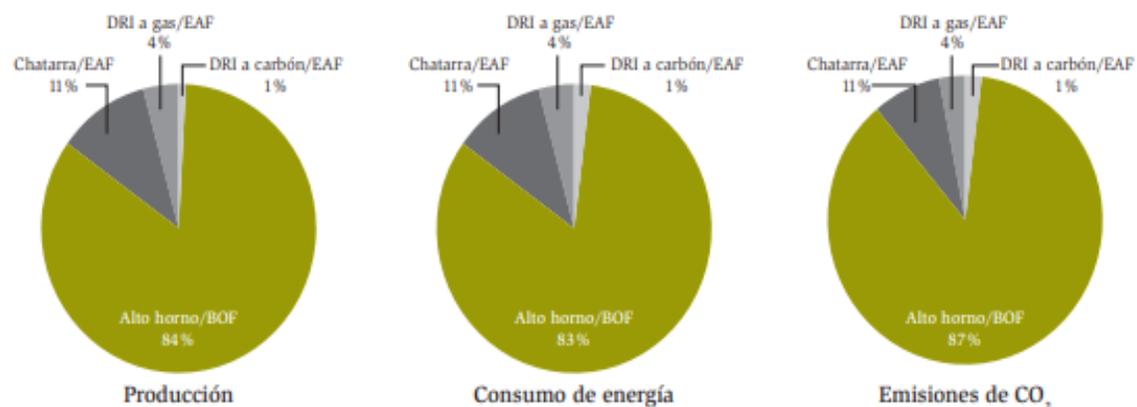
Los productos de salidas son los gases y calor, el aprovechamiento de estos productos de manera de no ser entregados al ambiente lo cual disminuye la calidad del ambiente contribuyendo con el cambio climático.

La industria mundial del acero ha definido ocho indicadores de sustentabilidad, que contemplan el desempeño ambiental, social y económico de la siderurgia. Los índices ambientales son las emisiones de CO<sub>2</sub> y la energía consumida por tonelada de acero producida, el porcentaje de materia prima convertida en productos y subproductos, y el porcentaje de empleados y contratistas incluidos en un sistema de gerenciamiento ambiental. La emisión de gas de efecto invernadero informada se basa en las intensidades de CO<sub>2</sub> específicas para tres rutas de producción de acero: convertidor (BOF, por sus siglas en inglés), horno eléctrico de arco y horno Siemens Martin. Para el indicador se tiene en cuenta la proporción de producción por cada una de estas tres rutas. Se incluyen solo las emisiones de CO<sub>2</sub> porque constituyen el 93% de las emisiones de gas de efecto invernadero de la industria siderúrgica. Los aumentos producidos en las emisiones de 2014 y 2015 se deben al incremento de la proporción de la producción vía BOF. hasta el 2015 (Madias, 2018)

De esta manera en la Figura 5 se muestra la comparación de las rutas integradas basadas en alto horno Vs. Las Acerías eléctricas.

**Figura 5.**

*Comparación de las rutas integradas basadas en alto horno vs Acerías Eléctricas.*

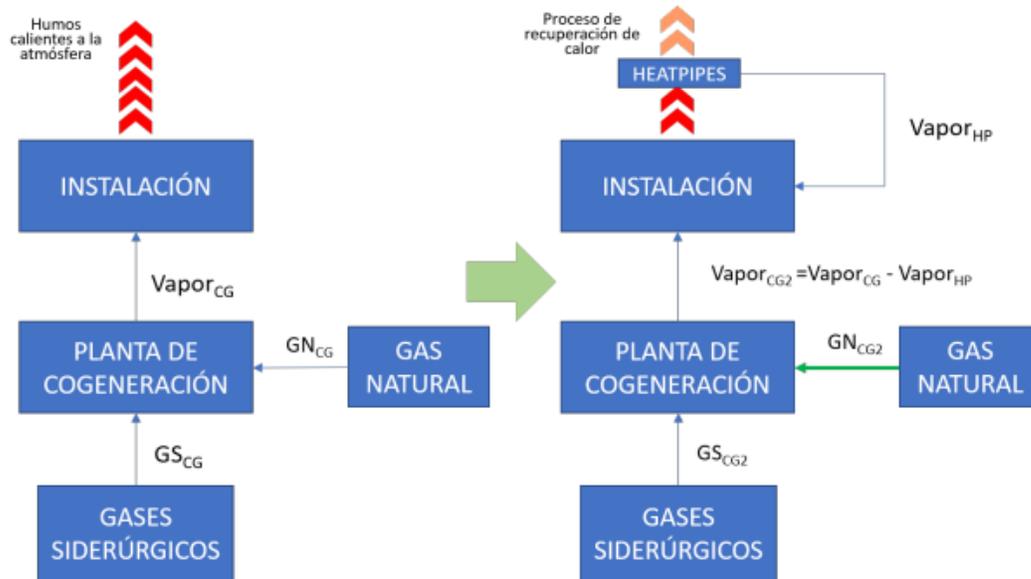


\* Producción, consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> [3]. Incluye el CO<sub>2</sub> de la electricidad necesaria; asume el mismo mix de energías primarias para la producción de electricidad (informe de Laplace Conseil).

**Fuente:** (Madias, 2018)

**Figura 6.**

*Producción Actual vs Producción con Heat Pipe.*

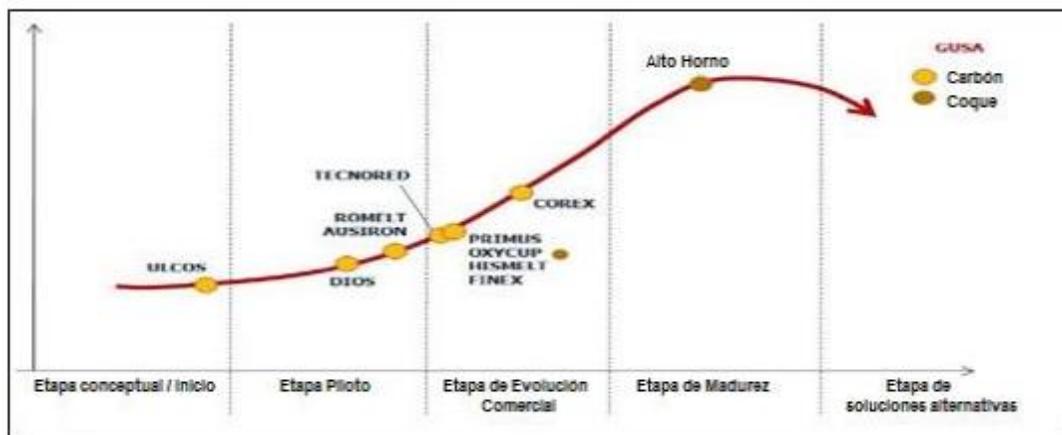


**Fuente:** Llera et al., (2021)

Las incorporaciones de los tubos intercambiadores de calor (HP) (Ver Figura 6) permiten la transformación de los gases de las plantas siderúrgicas en ahorro para el proceso ya que permiten realizar precalentamientos, así como también la generación de energía, este método es el que se llama cogeneración.

**Figura 7.**

*Evolución de las nuevas tecnologías de reducción en comparación al Alto Horno.*

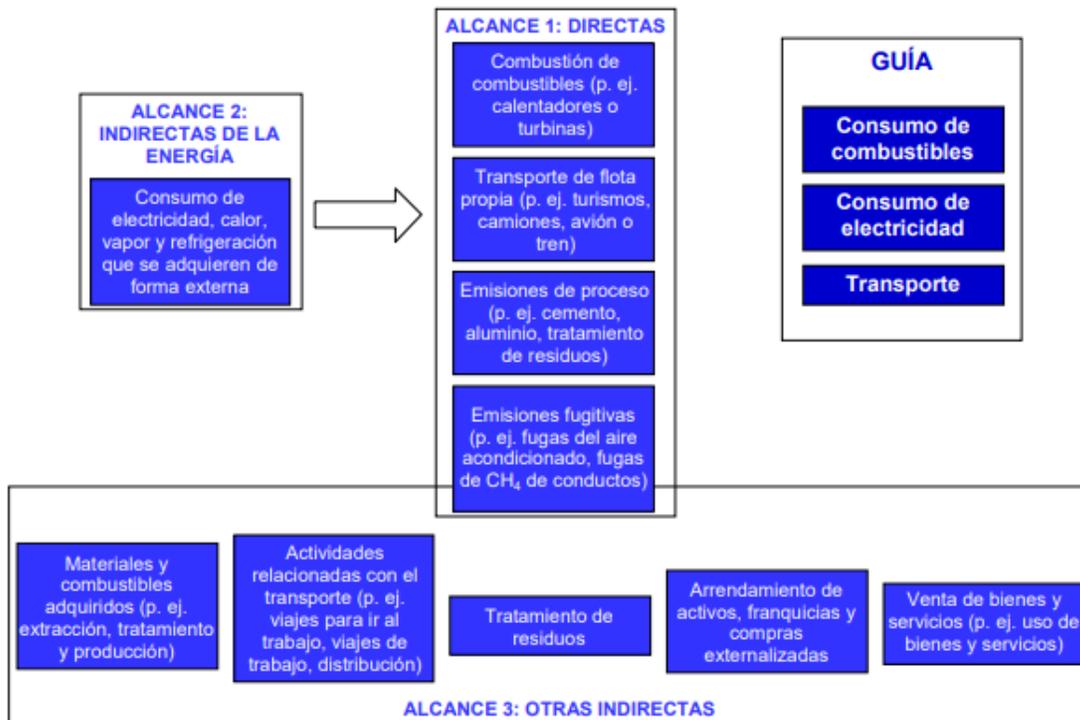


**Fuente:** (Alvarado, 2018)

Las nuevas tecnologías en las primeras etapas de desarrollo comparadas con el alto Horno que ya está en la etapa de madurez es por eso su alta presencia a nivel global de 75%, pero estas nuevas tecnologías disminuyen el uso de coque y carbón (Ver Figura 7). De igual manera se muestra en la Figura 8 la clasificación de las emisiones de GEI.

**Figura 8.**

*Clasificación de las emisiones de GEI.*



**Fuente:** CICC (2021)

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los gases aportados por las siderúrgicas son el CO<sub>2</sub> producto de las reacciones de los combustibles y de los insumos como el carbonato de calcio, de igual manera el azufre también es transformado en SO<sub>2</sub> y arrojado al ambiente en una proporción menor.

Existen métodos para que productos y procesos sean evaluados en función de los gases que emiten al ambiente, esto son el ciclo de vida y la huella de carbono que permite medir el estado actual y las mejoras que pueden tener estos procesos siderúrgicos con tomando decisiones acertadas.

El uso de los gases desechados por el proceso siderúrgico, para la generación de calor y electricidad denominado ciclo de cogeneración se plantea como una de las soluciones acertadas en la disminución del aporte de los gases al ambiente.

El método para medir la emisión de gases puede ser a través de cálculos teóricos en las reacciones estequiometrias debidamente balanceadas donde se relacionan la materias primas e insumos con los gases generados y el instrumento de medición de gases de combustión allí se observa que la diferencia es despreciable.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, J. (2018). Efecto de la temperatura y flojo de dióxido de carbono en la reactividad de los reductores sólidos usados en la Siderúrgica Integrada. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa. Obtenido de <http://190.119.145.154/bitstream/handle/UNSA/6328/IMalquje.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aristizábal-Alzate, C., González-Manosalva, J., & Gutiérrez-Cano, J. (2020). Análisis del ciclo de vida y cálculo de la huella de Carbono para un proceso de reciclaje de botellas PET en Medellín (ANT). *Produccion + limpia*, 15(1). doi:<https://doi.org/10.22507/pml.v15n1a1>
- Comision Interdepartamental del Cambio Climatico. (2021). Guia Practica para calculo de Gases de efecto Invernadera (GEI). Generalitat de Catalunya, Cataluña. Obtenido de [https://canvclimatic.gencat.cat/web/.content/04\\_ACTUA/Com\\_calcular\\_emissions\\_GEH/guia\\_de\\_calcul\\_demissions\\_de\\_co2/2106\\_DIB\\_Guia-de-calcul-emissions\\_CA\\_DEF.pdf](https://canvclimatic.gencat.cat/web/.content/04_ACTUA/Com_calcular_emissions_GEH/guia_de_calcul_demissions_de_co2/2106_DIB_Guia-de-calcul-emissions_CA_DEF.pdf)
- Feijoo, G., & Moreira, M. (2020). Análisis del Ciclo de Vida y Huella del carbono. Casos Prácticos. España: BioGroup; CRETUS; USC. Obtenido de [https://dspace.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/21411/acv\\_hc\\_casos\\_practicos.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/21411/acv_hc_casos_practicos.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Florentino, L. (2019). Reducción del impacto ambiental del coque siderúrgico mediante briqueteado de carbón, biomasa y ligante. Tesis doctoral, Instituto de Ciencias y Tecnología del Carbono, Ciudad de Oviedo, España. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10261/227163>
- García, S., Luiña, R., Ortega, F., & Rodríguez, V. (2015). Evaluación ambiental de las sinergias en cogeneración con gases siderúrgicos. 19th International Congress on Project Management and Engineering, (págs. 1295-1308). Granada. Obtenido de [http://dspace.aepro.com/xmlui/bitstream/handle/123456789/665/CIDIP2015\\_04019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.aepro.com/xmlui/bitstream/handle/123456789/665/CIDIP2015_04019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Gavilánez, J. (2021). Selección de un material alternativo sostenible para una viga de acero estructural en la construcción utilizando un análisis de ciclo de vida, métodos multicriterio y simulacion de esfuerzos-deformación para optimizar el material. Universidad Internacional SEK, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Quito. Obtenido de <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4247>

- Gigoux, G. (2015). Adaptación de metodologías específicas para el inventario de gases de efecto invernadero en una industria productora de acero reciclado en Chile. Proyecto presentado a la facultad de Ingeniería de la Universidad del Desarrollo de la Universidad del Desarrollo para optar al grado de Magíster en Gestión de la Sustentabilidad, Universidad del Desarrollo. Obtenido de <https://repositorio.udd.cl/bitstream/handle/11447/3709/Adaptaci%20de%20metodolog%20espec%20adfcas%20para%20el%20inventario%20de%20gases%20de%20efecto%20invernadero%20en%20una%20industria%20productora%20de%20acero%20reciclado%20en%20Chile>.
- Llera, R., Vigil, M., & Ortega, F. (2021). La importancia de la huella carbono para la evaluación de inversiones: Uso de heat pipes para la producción de vapor. 25th International Congress on Project Management and Engineering, (págs. 1690-1700). Alcoi.
- Madias, J. (2018). Disminucion de las emisiones de CO2 de los altos hornos. Avances tecnológicos. (560), 48-63. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7320736>
- Mariños, D., Rojas, S., De los Santos, Y., & Chucuya, R. (2016). Optimización del combustible por precalentamiento de la carga y enriquecimiento con oxígeno en los hornos de recalentamiento de la industria siderúrgica. SCIENDO, 19(2). doi: <https://doi.org/10.17268/sciendo.2016.005>
- Meneses-Ruiz, E., Alina, R.-R., Ernesto, P., Diosdado, A., & Jorge, A. (2018). Factores de emision de CO, CO2, NOx y SO2 para instalaciones . Revista Cubana de Meteorologia, 1-9.
- Paella, S., & Martins, F. (2010). Metodologia de la investigacion. Caracas: FEDUPEL.
- Sun, W., Wang, Q., Zhou, Y., & Wu, Y. (2018). Material and energy flows of the iron and steel industry: Status quo, challenges and perspectives. Applied Energy, 268. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114946>
- Venturini, L. (2018). Análisis de la aplicación de decarbonización de gas natural en acerías. Trabajo de fin de grado, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. Obtenido de [https://oa.upm.es/53791/1/TFG\\_LAURA\\_VENTURINI\\_VALLEJO.pdf](https://oa.upm.es/53791/1/TFG_LAURA_VENTURINI_VALLEJO.pdf)