

04-019

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF SYNERGIES IN COGENERATION WITH INDUSTRIAL GAS

García García, Sergio; Luiña Fernández, Rocío; Ortega Fernández, Francisco;
Rodríguez Montequín, Vicente
Universidad de Oviedo

The utilization of polluting by-products derived from any industrial activity using cogeneration techniques is an excellent resource for waste management and the production of sustainable energy. One of the most singular cases is the steel industry, where a by-product is produced in the form of potentially inflammable gas with a high GHG effect. Its utilization has a double approach: it enables to reduce global costs and, in addition, it represents a significant reduction in polluting emissions of the installation. Nevertheless, this utilization also presents some issues. It is dirty gas with a low heat level which is discontinuously produced. Few installations have been developed for this purpose and their real influence on the process sustainability is yet unknown. In this study, the energy, resources, emissions and waste generated during a cogeneration process in the steel industry is quantified applying the Life Cycle Analysis (LCA) tools. The case is developed over an installation that produces electricity and steam combining the cogeneration technology in simple cycle with specially adapted engines.

Keywords: *Cogeneration; Life Cycle Assessment; Industrial gas*

EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LAS SINERGIAS EN COGENERACIÓN CON GASES SIDERÚRGICOS

El aprovechamiento de subproductos contaminantes procedentes de cualquier actividad industrial mediante técnicas de cogeneración supone un excelente recurso para gestión de los residuos y la producción de energía sostenible. Uno de los casos más especiales es la industria siderúrgica en la que como subproducto, se producen unos gases potencialmente combustibles con alto efecto GEI. Su aprovechamiento tiene una doble vertiente: permite disminuir los costes globales de producción pero además supone una importante reducción en las emisiones contaminantes de la instalación. No obstante este aprovechamiento no está exento de problemas. Son gases sucios con bajo nivel calorífico que son producidos de forma discontinua. Pocas instalaciones han sido desarrolladas al efecto y su influencia real sobre la sostenibilidad del proceso es aún una incógnita. En este trabajo, aplicando las herramientas de inventario del Análisis del Ciclo de Vida (ACV), se cuantifica la energía, recursos, emisiones, vertidos y residuos originados durante un proceso de cogeneración siderúrgica. El caso se desarrolla sobre una instalación que produce electricidad y vapor combinando la tecnología de cogeneración en ciclo simple con motores especialmente adaptados.

Palabras clave: *Cogeneración,; Análisis de Ciclo de Vida; Gases siderúrgicos*

Correspondencia: Vicente Rodríguez Montequín montequi@api.uniovi.es

1. Introducción

El acero tiene un papel esencial en el desarrollo sostenible siendo un material con un alto porcentaje reciclado. Sin embargo, su producción sigue teniendo importantes impactos ambientales. Por lo tanto, la eficiencia en el uso de materias primas, agua y energía así como la reducción de las emisiones a la atmósfera y la valorización de los residuos del proceso son líneas estratégicas fundamentales del sector en materia de sostenibilidad. En los últimos años se han logrado grandes avances al respecto, pero indudablemente es necesario seguir buscando nuevos caminos hacia una producción sostenible (UNESID, 2015).

El intento de conectar inputs y outputs del proceso siderúrgico ofrece la cogeneración como posible solución frente a la producción de unos gases altamente contaminantes pero potencialmente combustibles. Estos gases se producen de manera inevitable en el proceso siderúrgico. Dada su composición, rica tanto en gases tóxicos (CO), como en gases que contribuyen al efecto invernadero (CH₄), o como en gases autoinflamables (H₂), no pueden ser vertidos a la atmósfera de forma libre, sino que deben ser quemados de forma controlada.

Desde hace muchos años la existencia de los gases siderúrgicos suponen una gran fuente de polémica entre los diferentes colectivos afectados por los mismos debido al elevado impacto ambiental originado al quemar dichos gases en las antorchas cuando estos no pueden ser aprovechados o almacenados en sus respectivos gasómetros.

Por otra parte, la energía consumida en todo el proceso productivo llega a suponer un porcentaje muy significativo del coste económico, entre el 20% y el 40% en algunos países, y, por supuesto, del coste ambiental. Son varios los vectores mediante los cuales se obtiene dicha energía. Aproximadamente el 50% de la misa proviene del carbón, el 5% del gas natural y el 5% de otros gases (Worldsteel Association 2014).

Además, las medidas acordadas dentro de la política energética de la Unión Europea, con sus tres objetivos 20-20-20, para 2020, consistente en reducir un 20% el consumo de energía primaria; reducir otro 20% las emisiones de gases de efecto invernadero; y elevar la contribución de las energías renovables al 20% del consumo, contribuyen a perseguir una mejora continua en cuanto a sostenibilidad se refiere.

2. Objetivo

La cogeneración con gases siderúrgicos evita importantes emisiones a la atmósfera, a la vez que permite un aprovechamiento térmico de los mismos generando vapor y energía eléctrica. Esto se traduce en una gran reducción en el consumo de recursos no renovables como el gas natural o el carbón, que a su vez implica una reducción de los impactos debidos a la producción de los mismos y evita su agotamiento, algo muy relevante en un sector tan intensivo en el consumo energético como el siderúrgico.

No obstante, el bajo poder calorífico, escasa presión, toxicidad y contenido en sustancias sucias y potencialmente contaminantes de los gases siderúrgicos, reducen en gran medida las tecnologías disponibles para su utilización así como su eficiencia.

Por lo tanto, la influencia real sobre el comportamiento ambiental del proceso no es del todo obvio y requiere de una evaluación. Se utiliza para ello la herramienta de Análisis del Ciclo

de Vida (ACV) mediante la cual se cuantifica el impacto de la energía, recursos, emisiones, vertidos y residuos originados durante un proceso de cogeneración siderúrgica. El caso se desarrolla sobre una instalación conectada a la factoría siderúrgica integral a la que da servicio.

3. Producción de gases siderúrgicos valorizables energéticamente

Los gases siderúrgicos con posibilidad de ser valorizados en una planta de cogeneración están directamente relacionados con dos etapas concretas del proceso de fabricación del acero como son la obtención del arrabio y la conversión de hierro en acero (Enríquez Berciano & Trempe Guerra 2007).

3.1. Gas de coque o gas rico (GC)

El proceso de obtención de coque se basa en un calentamiento en ausencia de aire del carbón en un rango de temperaturas de 500 a 1100°C (pirólisis). Este proceso se lleva a cabo en hornos denominados baterías de coque diseñados especialmente para las propiedades del carbón. Además el carbón empleado debe poseer unas características particulares con el fin de obtener un coque de buena calidad. Durante este proceso se produce una destilación del carbón originándose productos como alquitranes o breas, agua y gases. Estos gases poseen con un contenido apreciable en H₂ (50 %), así como con CH₄ y otros inertes. El gas de coque se caracteriza por tener un poder calorífico apreciable (4.000 kcal/Nm³), poco menos de la mitad que el gas natural, un contenido no despreciable de sustancias potencialmente contaminantes (SH₂, NH₃,...) y abundancia de aceites pesados de origen orgánico, que dificultan su aprovechamiento energético.

3.2. Gas de alto horno o gas pobre (GHA)

El proceso de obtención del arrabio (hierro líquido con alto contenido en C) se lleva a cabo en los altos hornos, reduciéndose el mineral de hierro (óxido de hierro) gracias al empleo de carbono en forma de coque siderúrgico. Como consecuencia se obtiene un gas rico en CO y CO₂, fruto de la combinación del carbono (el del coque) con el oxígeno del mineral de hierro, y un alto contenido en N₂, por lo que son ricos en inertes y tienen un poder calorífico muy bajo (apenas 800 kcal/Nm³, menos de la décima parte del gas natural).

3.3. Gas de acería (GLD)

El arrabio obtenido en los altos hornos se introduce en un convertidor donde se oxida parte del carbono formando CO, que a su vez oxida a otros carbonos formando CO₂ para obtener el acero de la máxima calidad.

Los convertidores más utilizados en la actualidad son de tipo LD, a los que se sopla oxígeno puro a alta presión. Como resultado de la reacción entre el oxígeno soplado al convertidor LD y el carbono contenido en el arrabio se forma un gas que contiene CO combustible en aproximadamente un 70 %, y el 30 % restante CO₂ inerte. Este gas se denomina gas de acería y tiene un poder calorífico bajo (sobre 2.100 kcal/Nm³, entre la cuarta y la quinta parte que el gas natural). Es bastante limpio pero, por su alto contenido en CO, es altamente tóxico.

4. Cogeneración como sinergia en la industria siderúrgica

La cogeneración es una tecnología que permite un importante ahorro de energía primaria mediante la producción conjunta de energía térmica y mecánica. La energía térmica generada es aprovechable en forma de gases o líquidos calientes mientras que la energía

mecánica se convierte en energía eléctrica por medio de un alternador. El mayor rendimiento respecto a las tecnologías convencionales se basa en el aprovechamiento de energías residuales, lo que a su vez se traduce también en un menor impacto ambiental.

El proceso de generación de energía eléctrica supone el aprovechamiento térmico del combustible para generar energía mecánica en los motores de gas, mediante la utilización del ciclo Otto clásico y la generación de energía eléctrica en los alternadores mediante la transformación de la energía mecánica entregada por los motores.

Por otro lado, el proceso de generación de vapor supone el aprovechamiento térmico del calor del agua de refrigeración de los motores para el calentamiento del agua de aporte a las calderas, el aprovechamiento térmico de los gases de escape de los motores de gas para generar vapor en la caldera de recuperación y el aprovechamiento térmico del combustible para generar energía calorífica y producir vapor en las calderas de combustión.

Las ventajas, tanto técnicas como de política energética que la cogeneración presenta están relacionadas con un elevado rendimiento global, menores pérdidas en la red eléctrica por transporte y distribución debido a su cercanía al punto de consumo y diversificación de las fuentes energéticas. Por otra parte, también cuenta con una serie de inconvenientes como el riesgo técnico inherente a toda modificación de las instalaciones, posibles cambios en la normativa vigente y la incertidumbre en la política de precios energéticos.

El aprovechamiento de los gases siderúrgicos que se producen de forma inevitable en cogeneración supone un ahorro de combustibles convencionales, ya que cada millón de metros cúbicos de gas de acería se pueden transformar en unos 707 MWh de energía eléctrica. Si se trata de gas de batería de coque, cada millón de metros cúbicos se convertirán en aproximadamente 11.800 toneladas de vapor.

Además, dada su composición, rica tanto en gases tóxicos (CO), como en gases que contribuyen al efecto invernadero (CH₄), así como en gases autoinflamables (H₂), no pueden ser vertidos a la atmósfera de forma libre, sino que deben ser quemados de forma controlada.

Por lo tanto, la instalación de una planta de cogeneración anexa a la planta siderúrgica permitirá tener como inputs los gases comentados y obtener como outputs energía térmica que se enviará a la propia siderurgia y energía eléctrica, volcada a la red eléctrica que a su vez dará servicio a la producción del acero.

5. Descripción del caso de estudio

Se propone como caso de estudio una instalación compleja y singular que produce electricidad y vapor mediante una combinación de la tecnología de cogeneración en ciclo simple, con motores especialmente adaptados para su funcionamiento con gas de acería, y la generación de vapor en calderas que consumen fundamentalmente gas de baterías de coque, además de gas de acería y gas natural.

5.1. Infraestructura y funcionamiento

La planta consta de una parte eléctrica y de una térmica, ocupando una superficie de 8.233 m². En la parte eléctrica se produce la conversión de energía mecánica en energía eléctrica a través de 12 motores de combustión a gas tipo JENBACHER JMS 620E GS-S/N.L. Estos motores están alimentados con gas de acería procedente del proceso siderúrgico o, de forma alternativa, con gas natural (de forma esporádica y únicamente posible en 3 de ellos). Tienen 19.440 kW de potencia eléctrica neta total.

Adicionalmente y a modo de cogeneración esta planta cuenta con una caldera de recuperación capaz de producir 30 t/h de vapor sobrecalentado, con quemador adicional.

Trabaja normalmente aprovechando el calor de los gases de escape del proceso de combustión en los motores (cogeneración) o quemando gas de coque o gas natural, bien en modo aire ambiente (combustión convencional) o en modo post-combustión (calor de recuperación + combustión convencional).

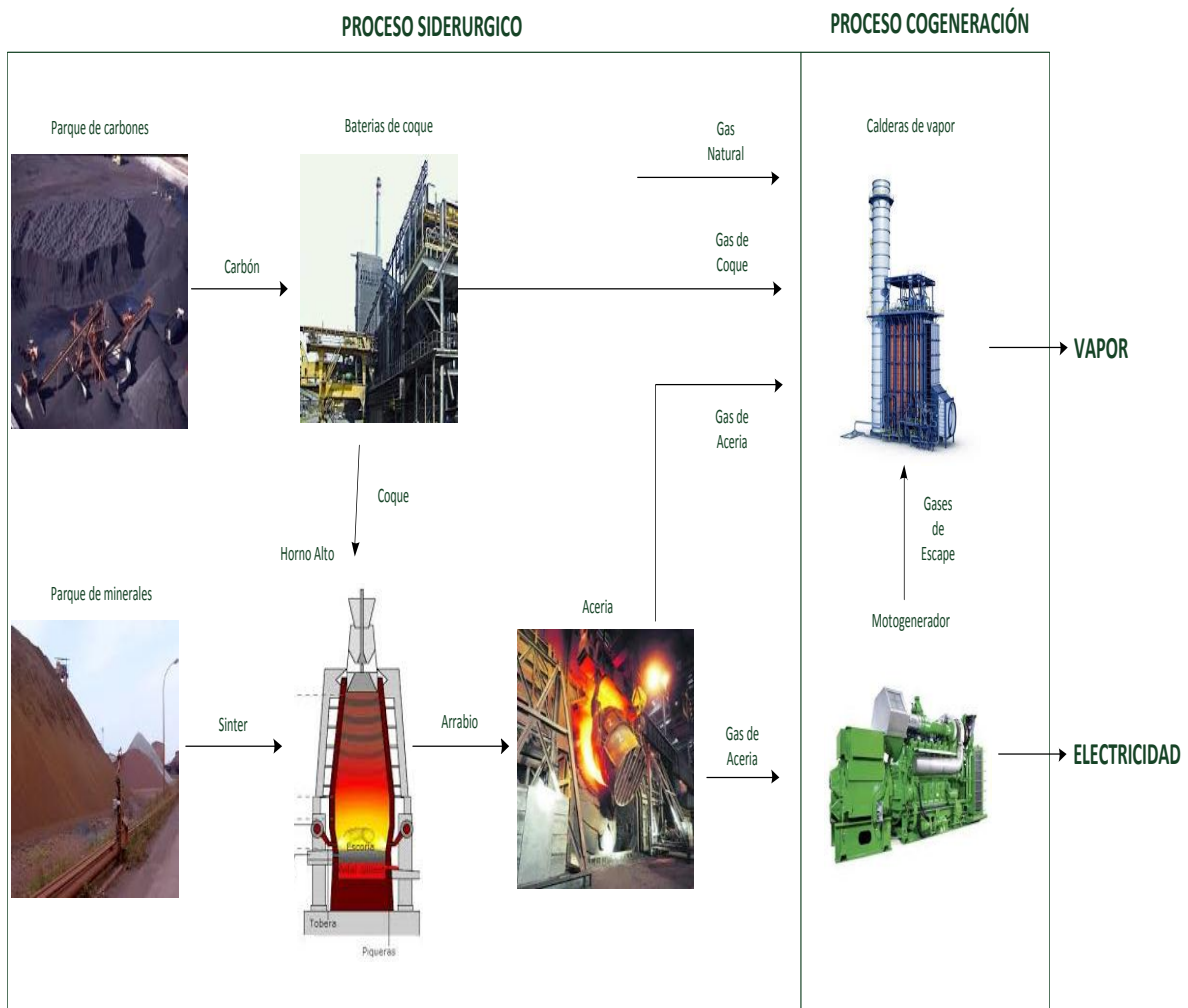
La parte térmica está compuesta por 3 calderas acuotubulares convencionales mixtas para producir hasta 35 t/h de vapor sobrecalentado cada una. Pueden quemar indistintamente gas procedente del proceso de coquización del carbón, gas natural, el anteriormente citado gas de acería o cualquier combinación o proporción de los mismos.

Tanto los gases siderúrgicos como el gas natural se transportan mediante tubería. Lo mismo ocurre con el vapor, el agua y el nitrógeno. Sin embargo, los productos químicos son suministrados en recipientes de 1.000 litros a pie de camión en la instalación, con procedencia de Madrid y el aceite en camiones cuba de 12.000 litros de capacidad, procedencia Algeciras (Cádiz).

5.2. Combustibles

El consumo y reparto de los gases es función de la oferta de gases siderúrgicos por parte de la factoría, utilizándose el gas natural únicamente como complemento cuando la demanda de energía térmica supera los recursos disponibles de gases residuales.

Figura 1. Aprovechamiento de gases siderúrgicos



5.3 Agua

El agua que consume la planta es fundamentalmente utilizada en la producción de vapor, pero es necesario acondicionarla mediante un proceso de ósmosis inversa de alta eficiencia. También se utiliza en los circuitos de refrigeración y para otros usos comunes (red sanitaria, contraincendios, potable, etc). Por tanto, es fácil asociar que a una mayor demanda de energía térmica (vapor) se producirá un mayor consumo de este recurso.

El 100% del agua empleada en la instalación es agua potable procedente de la ETAP de la factoría y distribuida a través de su anillo interno. No existe posibilidad de entrada alguna de otro tipo de agua en la instalación.

5.4. Aceite, productos químicos y nitrógeno

El funcionamiento de la planta requiere de aceite para lubricar los motores y de diversos productos químicos utilizados también en los motores, en el tratamiento de agua (reductor de cloro, bisulfito sódico,), en el circuito de refrigeración (biocida) y en el circuito de vapor (capturador de oxígeno, monoetanol Amina).

El nitrógeno es empleado en las maniobras de inertización y barrido de las tuberías que contienen los gases siderúrgicos, evitando que estos gases altamente explosivos entren en contacto con el oxígeno (comburente) dando lugar a una reacción en cadena.

5.5. Energía producida

En la instalación existe un punto de conexión eléctrica bi-direccional con la red de distribución en 132 kV que permite exportar la energía eléctrica generada por los grupos motogeneradores y en el caso de que la planta no se encuentre generando energía la electricidad sería importada de la red de distribución.

En cuanto a la energía térmica que se produce en el proceso de cogeneración, ésta es entregada en forma de vapor a 300°C y 19 bar de presión para su aprovechamiento en las diferentes instalaciones de la factoría.

5.6. Emisiones, vertidos y residuos

Esta planta de cogeneración cuenta con cuatro focos de emisión autorizados que, en condiciones normales, lanzan a la atmósfera al año 185,43 t de SO₂, 417,82 t de NO_x y 316.346,22 t de CO₂.

Además, también cuenta con cuatro puntos de autorizados de vertido, tres de los cuales son vertidos directos a cauce y uno de ellos, el relativo al agua de los aseos, por infiltración al terreno a través de una zanja filtrante previa depuración.

Los residuos peligrosos que fundamentalmente se originan en planta son aquellos en estado líquido procedente de las labores de limpieza y por tanto diluido en agua, unas 18 toneladas anuales de agua con aceite procedente de los separadores agua/aceite previos al vertido final y fosos de los trafos y unas 77 toneladas de aguas de limpieza ácidas/alcalinas procedentes fundamentalmente de la limpieza química de la calderas. También hay que añadir unas 8,5 toneladas de aceite usado, libre de PCB's, procedentes del sistema de lubricación de los motores de cogeneración.

Por otra parte, existe una serie de residuos no peligrosos relacionados con el funcionamiento de las instalaciones de la planta, es decir, residuos asimilables a residuos sólidos urbanos.

6. Análisis del caso de estudio

Para realizar la evaluación de la sostenibilidad de la instalación descrita se ha aplicado la metodología de ACV definida por la norma UNE-EN ISO 14.040 como “una técnica para evaluar los aspectos medioambientales y los potenciales impactos asociados con un producto, proceso, o actividad mediante: la recolección de un inventario de las entradas y salidas relevantes de un sistema; la evaluación de los potenciales impactos medioambientales asociados con esas entradas y salidas; y la interpretación de los resultados de las fases de análisis y evaluación de impacto de acuerdo con los objetivos del estudio” (AENOR, 2006).

6.1. Definición del análisis

Para seleccionar la unidad funcional de evaluación se revisaron diferentes estudios (C. Perilhon, 2012, R. Parajuli, 2014, P. Adams, 2014) en los que se hacía un ACV de procesos de cogeneración o similares, para decidir finalmente seguir a R. Turconi (2013) y tomar como unidad funcional la producción de 1MWh térmico.

En cuanto a los escenarios analizados, para determinar si el envío de los gases siderúrgicos a un proceso de cogeneración supone un beneficio ambiental, a pesar de las características negativas de los mismos, se han planteado tres escenarios:

- Escenario 0: el impacto de producción de 1 MWh térmico a partir de gas natural, es decir, sin aprovechamiento de gases siderúrgicos, los cuales han de ser quemados en antorcha.
- Escenario 1: el impacto de producción de 1 MWh térmico en la instalación de cogeneración descrita a partir de gas natural, cuando, por razones de funcionamiento de la factoría, no se están recibiendo gases de proceso.
- Escenario 2: el impacto de producción de 1 MWh térmico en la instalación de cogeneración descrita, funcionando ésta de forma exclusiva con los gases generados en la fabricación del acero.

Dado que en el proceso de cogeneración se obtienen dos productos simultáneamente, vapor y electricidad, existe un problema de asignación que se resuelve mediante sustitución ampliando los límites del sistema.

6.2. Inventario del ciclo de vida (ICV)

Los datos utilizados en el ICV son, principalmente datos primarios, tomados de los procesos que se llevan a cabo en la instalación descrita anteriormente. Sin embargo, en algún caso, como por ejemplo para la modelización de la infraestructura, se han tomado datos de la base de datos suiza Ecoinvent 2.1., adaptándolos al caso particular de estudio.

Para la construcción del inventario del escenario 0 se tendrán en cuenta, tanto el proceso como la infraestructura, de la combustión de gas natural en una caldera tomada de Ecoinvent.

Además de las emisiones generadas durante la combustión del gas natural, es necesario contabilizar las emisiones que se producen en antorcha al quemar aquellos gases procedentes del proceso siderúrgico por no ser derivados a cogeneración (593,008 kg CO₂, 0,660 kg NO_x y 0,0,1888 kg SO₂). El gas natural utilizado se corresponde con el que ofrece Ecoinvent para España.

El escenario 1 se construye a partir de la instalación descrita en el punto 5, pero funcionando de forma exclusiva con gas natural para producir el vapor demandado en la factoría. Como se explicaba anteriormente, esta situación se corresponde con esos

momentos en los cuales la factoría de acero no tienen gases siderúrgicos para enviar a la planta de cogeneración, por lo tanto tampoco habrá gases para quemar en antorcha y no se contabilizarán estas emisiones. El gas natural que se utiliza será el mismo que en el escenario 0.

La planta se modeliza a partir de componentes de una planta de cogeneración de Ecoinvent que se adaptan a la instalación propuesta, teniendo en cuenta la superficie ocupada 8.233 m² y una vida útil de la misma de 30 años (Dones, R. et al, 2007). En cuanto a las emisiones, dado que en este escenario sólo se está quemando gas natural, se tomarán 308,182 kg CO₂, 0,412 kg NO_x y 0,309 kg SO₂.

En el escenario 2 se utiliza la misma planta que en el escenario 1, pero en este caso, el funcionamiento se llevará a cabo con gases siderúrgicos de forma exclusiva. Se contabiliza también la producción de electricidad. Dado que se ha decidido resolver el problema de asignación de impacto mediante sustitución, la energía eléctrica generada aparecerá como evitada.

Tabla 1. Datos de inventario de funcionamiento de la planta de cogeneración

ENTRADAS	Unidades	1 MWh térmico
Gas de Cok (GCK) - Calderas	Nm3	72,9706416
Gas de Aceria (GLD) - Calderas	Nm3	58,3248764
Gas de Aceria (GLD) - Motores	Nm3	238,040541
Nitrogeno	Nm3	0,06742254
Agua Total	m3	2,01250759
P.Q. Tratamiento de agua	Kg	0,01199124
P.Q. Circuito de Refrigeracion	Kg	0,00510632
P.Q. Circuito de vapor	Kg	0,00198898
P.Q. Motores	Kg	0,00023906
Aceite	Tn	0,00013636
Infraestructura	Pcs	0,0000600
SALIDAS		
Producción Eléctrica	MWh	0,17966594
Vertido V1 - Proceso	m3	0,60862889
Vertido V2 - Aseos	m3	0,00068886
SO₂ (Planta Térmica)	Tn	0,00035462
NO_x (Planta Térmica)	Tn	0,00079908
CO₂ (Planta Térmica)	Tn	0,60534432
SO₂ (Planta Eléctrica)	Tn	2,3235E-05
NO_x (Planta Eléctrica)	Tn	0,00043207
CO₂ (Planta Eléctrica)	Tn	0,39275213
Residuos Peligrosos	Tn	0,00020194
Residuos No Peligrosos	Tn	0,00012814

6.3. Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida (EICV)

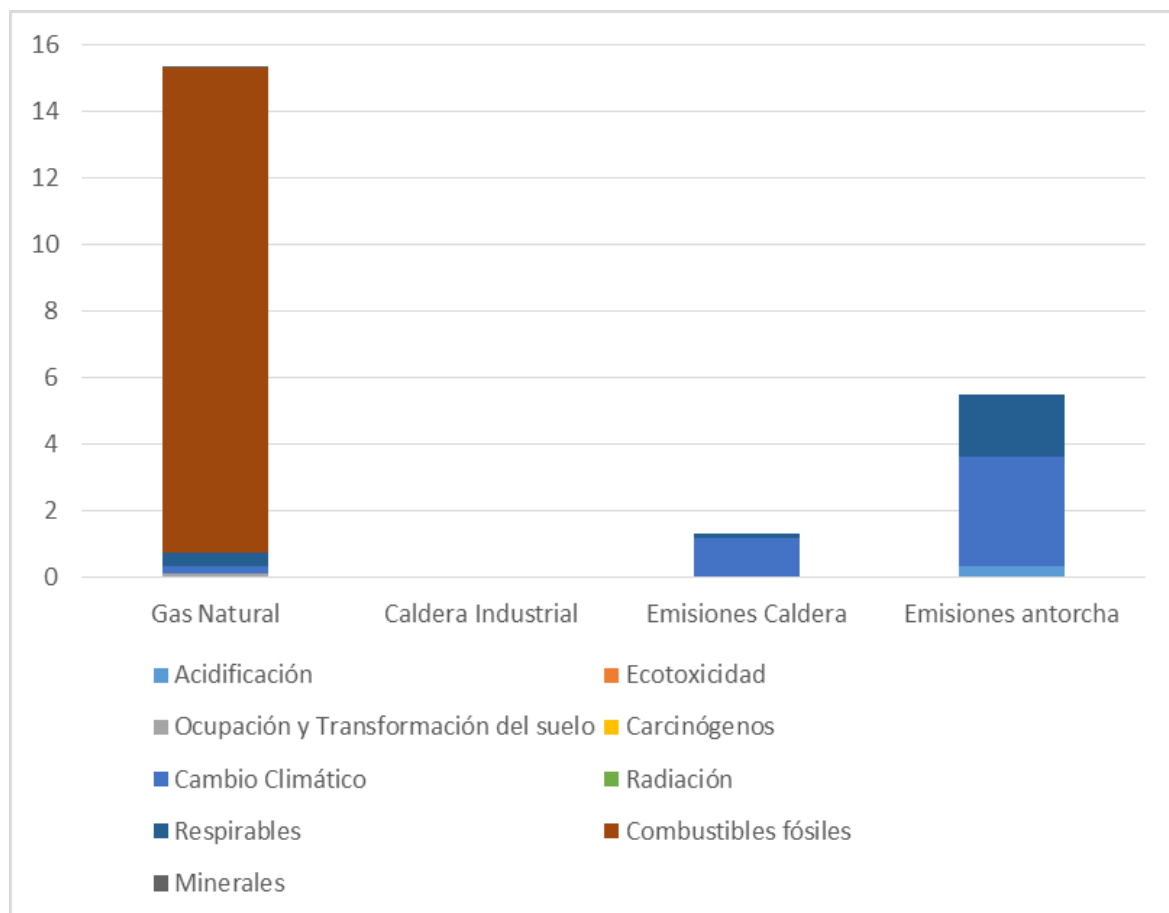
Para realizar el Análisis del Impacto del Ciclo de Vida se ha empleado como método de evaluación Ecoindicador 99 por ser uno de los indicadores más difundido en la actualidad y que ofrece resultados en efectos sobre la salud de las personas, la calidad de los ecosistemas y el consumo de recursos.

A continuación se muestran los resultados obtenidos con el software GaBi 4.4 con el que se ha realizado el análisis de cada escenario y la comparación de los mismos.

La Figura 2 muestra una distribución del impacto generado en la producción de 1MWh de vapor en el escenario 0, es decir, cuando no existe un aprovechamiento de los gases siderúrgicos en la cogeneración, sino que son quemados de forma controlada en antorcha.

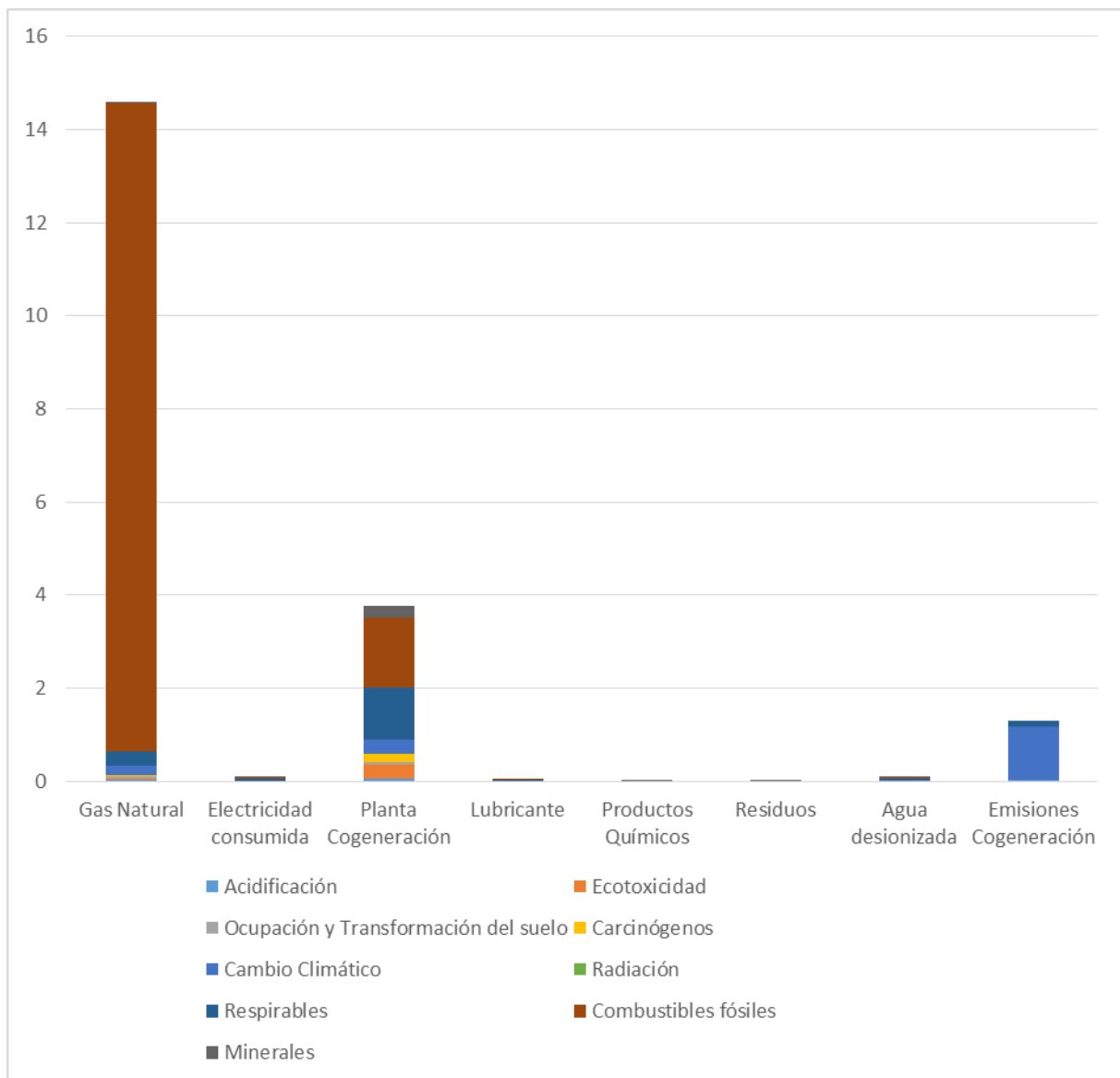
Como se puede ver, el mayor impacto recae sobre el consumo del gas natural en la categoría de combustibles fósiles. Los siguientes impactos con más relevancia se deben a las emisiones producidas durante la combustión del gas natural para la producción de vapor y durante la quema controlada de los gases en antorcha, siendo superior este último. Las emisiones a la atmósfera afectan fundamentalmente a las categorías de impacto de cambio climático y respirables (orgánicos e inorgánicos), ambas incluidas dentro de la categoría final de salud humana. Por otro lado, el impacto debido a la caldera industrial resulta completamente irrelevante frente a los impactos ya comentados.

Figura 2. Evaluación del impacto de la producción de 1MWh de vapor en el escenario 0



La **Figura 3** muestra los resultados obtenidos en la evaluación del escenario 1, el cual se corresponde a aquellas situaciones en las que, aunque existe una planta de cogeneración diseñada para funcionar con gases siderúrgicos, está funcionando con gas natural por no haber disponibilidad de dichos gases. Podría ser por ejemplo el caso de una parada en alguna de las partes de la factoría para mantenimiento. La variación con el escenario 0 radica en que en este caso el impacto por las emisiones a la atmósfera sólo se debe a la combustión del gas natural en la planta térmica. Por otra parte, aumenta el impacto de la planta de cogeneración. Esto se debe a que es una planta especialmente diseñada para quemar gases siderúrgicos. Además, sólo se está utilizando para producir vapor, por lo tanto no existe la compensación del impacto por la electricidad evitada.

Figura 3. Evaluación del impacto de la producción de 1MWh de vapor en el escenario 1

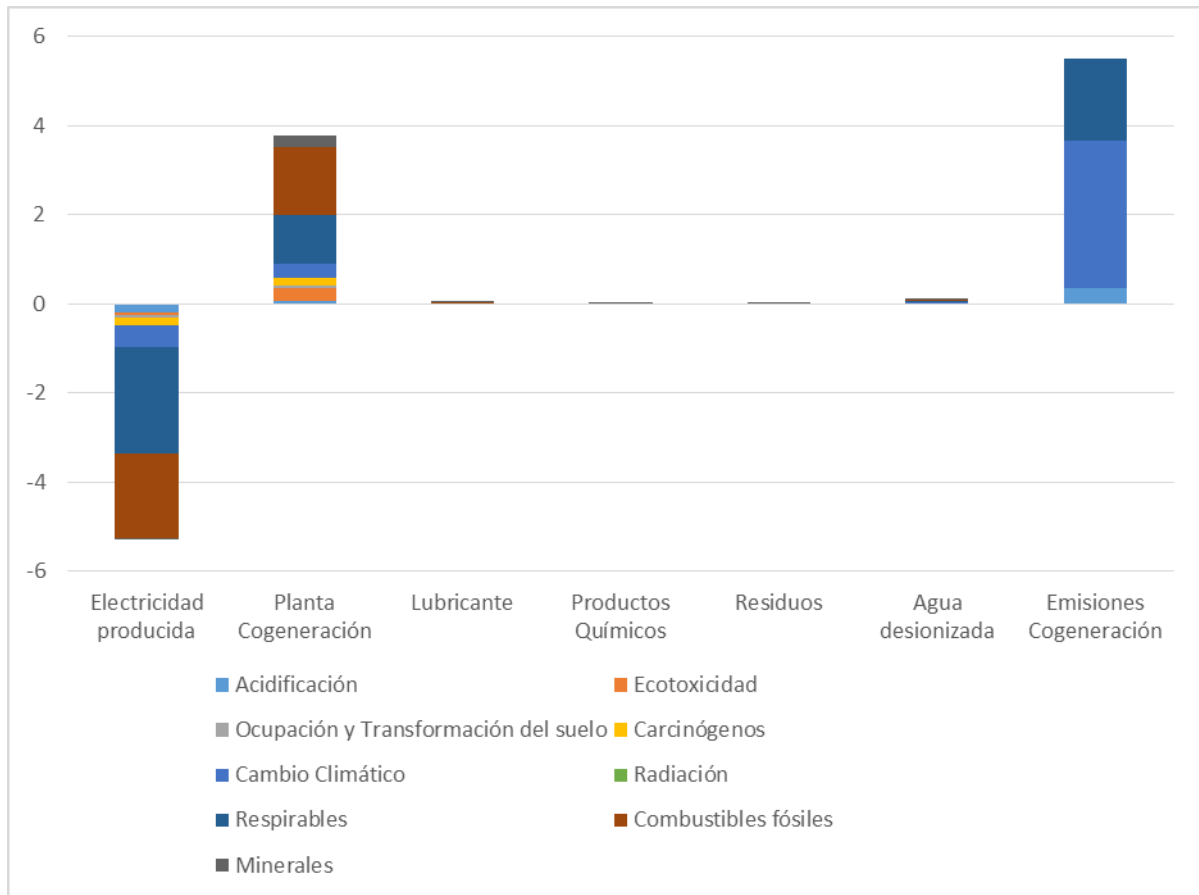


La **Figura 4** muestra los impactos generados cuando la planta de cogeneración está produciendo el vapor demandado por el proceso de fabricación de acero a partir de gases siderúrgicos. Por lo tanto, no existe el impacto debido al consumo del gas natural, que era el más importante en los otros dos escenarios. La siguiente diferencia importante es que el impacto negativo derivado de la producción de la electricidad, ya que se introduce como

electricidad evitada. Respecto a las emisiones, en este escenario el impacto relacionado con las mismas es muy superior a los primeros. Esto se debe a que, a pesar de que los gases siderúrgicos tienen un importante contenido energético, éste nunca será equiparable al del gas natural. Es decir, el rendimiento de la planta de cogeneración con los gases siderúrgicos es muy inferior al del que se consigue cuando funciona con gas natural.

En cuanto al siguiente impacto más relevante, la planta de cogeneración, el resultado es similar al caso anterior, ya que es la misma planta.

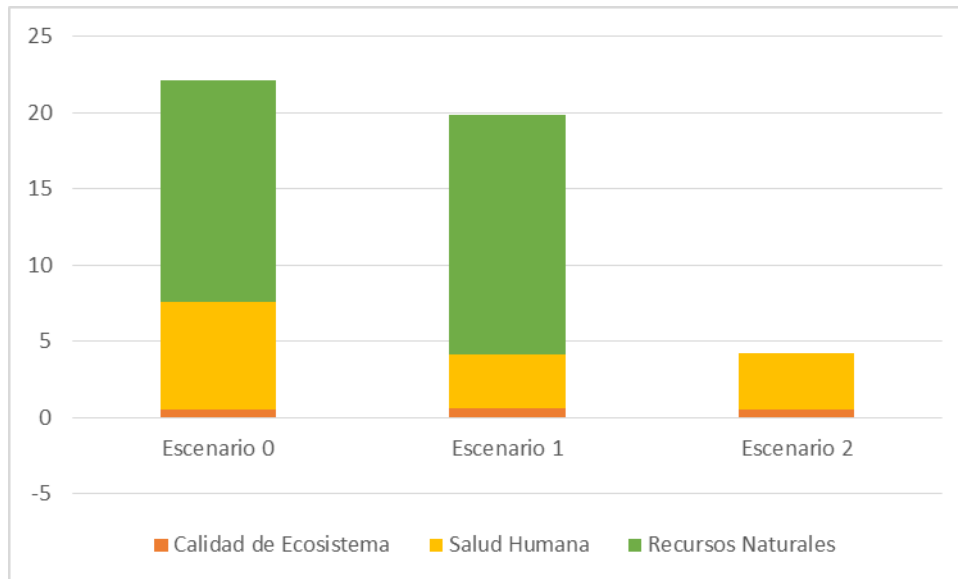
Figura 4. Evaluación del impacto de la producción de 1MWh de vapor en el escenario 2



Finalmente, si se compara el impacto global de los tres escenarios (**Figura 5**), se puede concluir que, a pesar de que el envío de los gases siderúrgicos a cogeneración supone la necesidad de una planta especialmente diseñada para ello, un rendimiento menor que si funcionara con gas natural y unas emisiones más contaminantes, se consigue una reducción de casi 20 puntos en el impacto global de la producción de 1 tonelada de vapor (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Por lo tanto, el escenario 2 es una vía más sostenible que los escenarios 0 y 1.

Sin embargo, en aquellas situaciones en las que no se disponga de gases siderúrgicos para enviar a la planta de cogeneración y se requiera de gas natural, tan sólo se estará consiguiendo una reducción del impacto de unos 3 puntos aproximadamente. Esto se debe, principalmente, al impacto alcanzado en la categoría de recursos naturales por el consumo de gas natural.

Figura 5. Comparativa del impacto global de escenarios



7. Conclusiones

El acero es un material fundamental en las sociedades desarrolladas y, sin embargo, su proceso de fabricación lleva asociados importantes impactos ambientales. Por lo tanto, se hace necesario buscar y aplicar las mejores técnicas disponibles que permitan avanzar hacia un desarrollo sostenible.

Los gases siderúrgicos, como el de acería, coque y horno alto, son subproductos peligrosos que han de ser quemados de forma controlada en antorcha. Este hecho genera una serie de emisiones a la atmósfera que se transforman en importantes impactos ambientales como se ve en los resultados del escenario 0.

Por otra parte, la industria siderúrgica tiene una alta demanda energética, tan sólo de vapor demanda, aproximadamente, 1 tonelada por cada 7 toneladas de acero producido. La producción de este vapor requiere del consumo de gas natural, lo que también se traduce en fuertes impactos ambientales.

Tras la aplicación de la herramienta de ACV, los resultados obtenidos demuestran que el aprovechamiento de los gases siderúrgicos en cogeneración, los cuales tienen un contenido energético nada despreciable, resulta ser una vía muy interesante, ya que permite eliminar el impacto de las emisiones al ser quemados los gases en antorcha y obtener vapor y electricidad sin un consumo de recursos fósiles.

8. Referencias

Adams, P. & McManus, M. 2014. Small- scale biomass gasification CHP utilisation in industry: Energy and environmental evaluation. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2014.

- AENOR (2006). ISO14040 Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y Marco de referencia. ISO14044 Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Requerimientos.
- Dones, R., Bauer, C., Bolliger, R., Burger, B., Heck, T., Röder, A., Scherrer, P., Frischknecht, R., Jungbluth, N. & Tuchschnid, M., 2007. Life Cycle Inventories of Energy Systems: Results for Current Systems in Switzerland and other UCTE Countries. Ecoinvent report N°5. Ecoinvent Center.
- Enríquez Berciano, J.L. & Tremps Guerra, E., 2007. Metalurgia Secundaria. Available at: http://oa.upm.es/1000/1/Berciano_Tremps_01.pdf [Accedido abril 27, 2015].
- Parajuli, R., Loke, S & Ostergaard, P., 2014. Life cycle assessment of district heat production in straw fired CHP plant. Biomass and Bioenergy. 2014.
- Payno M.L. & Seitén, J. 2014. Metalurgia y siderurgia. Open Course Ware. Dpto. de Ciencia e Ingeniería del Terreno y de los Materiales. Universidad de Cantabria. Creative Commons BY-NC-SA 3.0
- Turconi, R, Boldrin, A. & Astrup, T., 2013. Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: overview, comparability and limitations. s.l. : Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, Vol. 28.
- UNESID, 2015. La industria siderúrgica, en el corazón de la economía verde. Available at: <http://www.unesid.org/acero-y-sociedad-medio-ambiente.php> [Accedido abril 16, 2015].
- Worldsteel Association, 2014. Energy use in the steel industry, Available at: http://www.worldsteel.org/publications/fact-sheets/content/02/text_files/file0/document/fact_energy_2014.pdf [Accedido abril 17, 2015].

