

VALORACIÓN TECNO-AMBIENTAL DE LAS ESCORIAS DE ACERÍA LD MEDIANTE ANÁLISIS DINÁMICO DE CICLO DE VIDA

Sara Andrés Vizán

Gemma Huerta Martínez

Rocío Llera Traviesa

Rocio Luiña Fernández

Área de Proyectos de Ingeniería – Universidad de Oviedo

Abstract

The process of transforming pig iron into steel is made in a converter where pig iron and various additives are introduced and the main parameters are adjusted depending on the type of steel desirable. Once the process is finished, first the undesirable side in the steel (LD slag) must be separated from the steel produced, to then proceed to separate the usable steel. So far, the composition of this slag was simply a waste product from steel production.

Nevertheless, to produce a material with the required characteristics nowadays is no longer enough; this material must also reduce the environmental impact that the process produces. Given the high quantities of slag produced, the possibility of reusing it as a secondary product could be a substantial improvement in the process. Therefore, an analysis is presented in order to allow the achievement of the desired quality of steel without introducing changes in the process, but also to obtain it from the most adequate slag for later reuse, so that it is possible to improve the environmental impact of steel globally.

Keywords: *Life Cycle Assessment; steel industry; clustering*

Resumen

El proceso de conversión de arrabio en acero se realiza en un convertidor donde se introduce además del arrabio una serie de aditivos y se ajustan los principales parámetros en función del tipo de acero que se desee obtener. Una vez que finaliza el proceso, se separa por un lado la parte no deseable en el acero (escoria LD) del acero fabricado y por otra el acero utilizable. Hasta el momento la composición de esta escoria era simplemente producto de los desechos de la producción de acero.

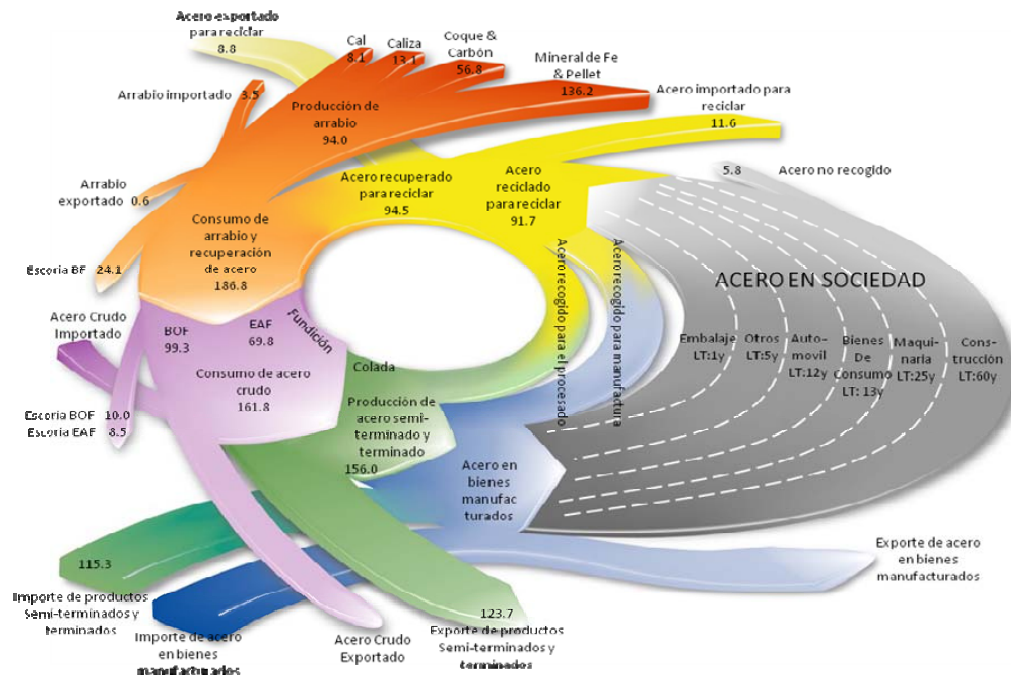
No obstante hoy en día ya no es suficiente con producir un material de las características exigidas, sino que además se debe disminuir el impacto que el proceso produce. Dadas las elevadas cantidades de escoria producida, la posibilidad de reutilizarla como producto secundario supone un beneficio sustancial en el proceso. Por ello, se presenta un análisis que pretende sin introducir variaciones en el proceso, conseguir la calidad de acero deseada y categorizar la escoria con el objetivo de obtener la más adecuada para su posterior reaprovechamiento, de modo que sea posible mejorar el impacto ambiental del acero de forma global.

Palabras clave: *escoria; LCIA; acero; clasificación*

1. Introducción

La producción de acero a lo largo del mundo conlleva la generación anual de miles de toneladas de residuos. En la Figura 1 se muestra un esquema de los flujos que se producen en una industria siderúrgica en Europa. En ella, se muestra de forma esquemática, las principales materias primas e insumos empleados en la producción del propio acero, así como los residuos generados y las posibilidades que existen de reciclado del producto. Los datos se expresan en millones de toneladas (Eurofer, 2004).

Figura 1. Flujos de materiales asociados a la producción de acero (Eurofer, 2004)



El proceso de obtención de acero a partir de arrabio en el convertidor (vía integral) es la vía más utilizada para la producción de acero. En el proceso se generan diversos subproductos y residuos, siendo la parte más significativa en términos de cantidad, la escoria LD o de acería que contiene todos los elementos presentes en el convertidor no deseables en el acero como productos final (Cedex, 2007).

Los continuos esfuerzos por convertir el acero en un producto más sostenible hacen que sea necesario, además de producirlo con las propiedades óptimas exigidas, elaborar una escoria que manteniendo la calidad del propio acero permita disminuir su impacto ambiental asociado.

Dentro de este objetivo global, se pretende con este trabajo mejorar la valorización de la escoria LD mediante un mejor conocimiento de la misma. Para ello, se pretende conseguir una clasificación de la escoria LD producida en función del acero fabricado mediante técnicas de Minería de Datos. Usando dicha clasificación se podrá identificar sus aplicaciones potenciales teniendo en cuenta las restricciones debidas a las características específicas de la escoria considerada. De esta forma se pretende que sea posible optimizar la valorización de la escoria y modificar el escenario de deshecho de la escoria dentro del LCI (Life Cycle Inventory) de la producción de acero.

En este trabajo se comienza presentando el proceso productivo en el que se genera escoria de acería con el objeto de conocer sus principales características y propiedades que influirán en los estudios que se presentarán en futuros apartados.

La metodología empleada para evaluar estos requisitos técnicos y ambientales será el análisis de impactos del ciclo de vida. En el apartado 4 se presentará en qué consiste y cuáles son las fases de este Análisis.

A continuación, en el apartado 5, se procederá a identificar los distintos tipos de escorias que se generan en la fabricación del acero en base a la composición química de la misma. Para ello se dispone de una serie de datos históricos que harán posible mediante análisis con técnicas de Minería de Datos obtener estos grupos con características diferentes.

Por último, se evaluarán los impactos técnicos y ambientales asociados a las valorizaciones de las escorias en cada uno de las aplicaciones potenciales.

3. Escoria de Acería

La producción de acero genera grandes volúmenes de escoria. Entre las Acerías españolas se generaron cerca de 500.000 t en el año 2007. Estas cantidades y el hecho de que en la actualidad su único destino sea el vertido provocan la imperiosa necesidad de actuar, estudiando las distintas posibilidades de valorización y las exigencias en cuanto a composición necesarias para cada una de ellas (Cedex, 2007).

La escoria de acería, también llamada escoria LD o escoria BOF (*Basic Oxygen Furnace*) se produce en el convertidor: el arrabio procedente de los Hornos Altos se carga junto con la chatarra y otros aditivos en el convertidor de acero, oxidando el carbono, el silicio y el fósforo presentes mediante la inyección de oxígeno. El carbono se elimina por oxidación en forma de gas (CO y CO₂) y el resto de impurezas en forma de escoria semipastosa que sobrenada por encima del acero, lo que permite separarla de este y enviarla a un foso donde se riega hasta alcanzar las temperaturas inferiores a 50°C.

Una vez que alcanza la temperatura adecuada para el transporte, se conduce a la planta de procesado de escorias. En esta parte de la gestión de la escoria, se procede en primer lugar

a la separación de la chatarra contenida en la escoria mediante electroimanes, recirculándose esta parte de nuevo al convertidor como aporte de chatarra y clasificándose la escoria en distintas granulometrías que pueden ser del orden de 0/3, 3/7 y mayor de 7 mm (Cedex, 2007).

La composición química que presenta la muestra se encuentra representada en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Composición química de la escoria BOF (Cedex, 2007)

Composición	% presente Escoria BOF
CaO	48.00
SiO ₂	16.00
Al ₂ O ₃	1.20
MgO	5.20
Fe total	16.04
MnO	5.90
K ₂ O	0.20
P ₂ O ₅	0.50
Cu	0.03
Mo	0.08
As	<1ppm
Cd	<0.5ppm
B	0.17

La escoria tiene, por tanto, como misión fundamental atrapar las impurezas, principalmente Fósforo y Azufre. Por cada carga de fundición se añade 75-80 kg de cal y dolomía, y se retiran de 120 a 130 kg de escoria.

Actualmente la mayoría de la escoria producida en el convertidor se mezcla y se trata como una corriente residual de la cual, la mayor parte es enviada a vertedero. La valorización de este tipo de escoria ha sido muy poco exitosa a diferencia del caso de la escoria de horno alto en el que la valorización está muy desarrollada. Lo heterogéneo de la escoria LD y los problemas de expansibilidad explican esta diferencia.

Los esfuerzos por crear un valor añadido a este residuo que hasta este momento se gestiona todo de una forma conjunta sin analizar ninguna de sus características, hace interesante poder generar una clasificación del mismo. Se pretende que además de basarse en la composición química de las escorias valore los distintos requisitos técnicos y ambientales de cada una las aplicaciones potenciales definidas al reciclar este residuo en sus respectivos procesos productivos.

4. Metodología aplicable. Análisis del Ciclo de Vida

De la misma manera que se incrementa el nivel de industrialización, la acumulación de residuos en vertederos autorizados se convierte en un punto problemático en prácticamente todas las sociedades.

Los sectores productivos se consideran como uno de los principales causantes de la contaminación ambiental, por su nivel de generación de impactos que afectan al medioambiente. El grado de estos impactos depende principalmente de las características de las actividades, los productos y procesos que generan o emplean las empresas, también de su ubicación geográfica y de la capacidad de controlar, mitigar o prevenir los impactos ambientales, reflejo de la gestión ambiental que realice la empresa (Hoof, Monroy & Saer, 2008).

SETAC: Es un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad identificando y cuantificando tanto el uso de materia y energía como los vertidos de todo tipo al entorno; para determinar el impacto de ese uso de materia y energía y de esas descargas al medio ambiente; y para evaluar y llevar a la práctica oportunidades de realizar mejoras ambientales. (Setac, 1997)

El Análisis del Ciclo de vida (ACV) es una herramienta metodológica, que determina los impactos medioambientales potenciales asociados con un producto o un servicio, desde que se produce la extracción de las materias primas hasta su disposición final (Güereca, 2006).

Las fases claves asociadas a un estudio de Análisis del Ciclo de vida son:

1. Definición y alcance de los objetivos
2. Análisis del inventario (LCI, life cycle inventory)
3. Evaluación de los impactos (LCIA, life cycle impact assessment)
4. Interpretación de los resultados

Se analizarán las posibilidades que tiene la propia escoria de reciclarse en distintas aplicaciones a través de distintos estudios realizados con la propia escoria.

5. Aplicaciones potenciales de las escoria BOF

Son muchos los proyectos de investigación que se encuentran en proceso de elaboración en la actualidad con el objetivo de conseguir la valorización de este residuo. A partir de diversos estudios realizados se han identificados las principales restricciones que van a presentar cada uno de estos procesos industriales al introducir la escoria como parte del mismo.

Como alternativa al depósito en vertedero, se están estudiando las siguientes alternativas de valorización:

- Reutilización en la instalación del Sinter. Aporte de Hierro que lleva consigo un ahorro en materias primas, mineral de Hierro y Cal necesaria en el proceso.
- Fluidizante en el convertidor. La escoria se añade con el objeto de mantener el baño de acero en estado líquido. El principal problema es que se devuelven las impurezas al convertidor

- Carreteras. Su aplicación como árido contribuye al empleo de menor cantidad de árido natural. Generalmente son obras que requieren volúmenes elevados de materias primas.
- Hormigones. Son muchas las aplicaciones en las que pueden estar presente en forma de árido en la industria del hormigón. Esto conlleva el empleo de un menor porcentaje de árido natural en construcciones de grandes obras.
- Cerámica. La escoria puede reciclarse como materia prima en la construcción de ladrillos refractarios, presentando como único problema el contenido en cal que puede generar eflorescencias.
- Clinker. Debido a su composición química es interesante su uso en la fabricación del clinker. El mayor problema de esta aplicación es que el Hierro metálico presente en la escoria puede dañar las paredes del refractario del horno rotatorio.
- Corrector de Acidez. Por su elevado contenido en Calcio hace que su pH sea muy elevado, de tal manera que pueda neutralizar pH ácidos.

En la **Tabla 2** se resumen los principales parámetros que es necesario tener en cuenta en el momento de valorar la escoria en siete aplicaciones potenciales distintas.

Tabla 2. Requisitos exigidos a las escorias para su aplicación en distintos sectores

Aplicaciones potenciales		Variables de la escoria						
		Si	Mn	P	Fe	Mg	Ca	Al
Reutilización Interna	Recirculación vía Sinter	Bajo		Bajo	Alto		Alto	Bajo
	Fluidizante en el convertidor		Alto	Bajo	Alto			
	Carreteras					Bajo	Bajo	
	Hormigones					Bajo	Bajo	
	Cerámica						Bajo	
	Clinker				Bajo		Alto	Alto
Reciclaje Externo	Corrector de acidez	Bajo					Alto	

Con el objetivo de aumentar la sostenibilidad en la fabricación del acero, es necesario conseguir una valorización de estas escorias, de tal manera que se obtenga en cada momento el mejor destino para el propio residuo.

5. Clasificación de la escoria

En el proceso de conversión de arrabio en acero, se introducen diversos aditivos y se controlan distintas variables que conlleva producir un determinado tipo de producto con unas características concretas. Además de conseguir el acero con las mejores características para su uso final, el objetivo de este trabajo es definir la escoria fabricada para enviar a una o varias de las aplicaciones potenciales ya definidas o que se definan en un futuro.

Evidentemente no se trata de modificar las características del producto, el acero, si no de convertir la propia escoria en otro producto manteniendo la calidad del primero. Es decir, manteniendo los rangos del acero, trabajar en las zonas en las que la escoria productiva es más aprovechable considerando el ciclo de vida integral (Hand, Mannila, & Smyth, 2001).

Para ello, utilizando técnicas de *Data Mining* en un conjunto de datos históricos se localizaron 5 grupos distintos de escoria, que fueron posteriormente evaluados con el objetivo de conocer cuáles de ellos presentan propiedades más favorables para el reciclaje mediante alguna de las aplicaciones identificadas anteriormente.

5.1 Técnicas utilizadas

Para este estudio se han utilizado técnicas de tratamiento de datos tales como: mapas autoorganizados SOM, clusterización mediante k-medias, árboles de decisión y diferentes técnicas estadísticas.

Los mapas autoorganizados SOM, son redes con entrenamiento no supervisado que permiten proyectar un espacio n-dimensional en uno m-dimensional discreto con topología ordenada, es decir, patrones de entrada próximos corresponden a puntos del mapa próximos. Debido a esto, son capaces de encontrar relaciones de interés tales como: patrones, regularidades, correlaciones o categorías en los datos de entrada, trasladando tales relaciones descubiertas, a la salida (Kohonen, 1982).

El método de clusterización mediante k-medias es usado para el análisis de clusters cuyo objetivo partiendo de n observaciones es ser capaz de predecir grupos de datos debido a la observación de comportamientos similares entre datos. Este algoritmo es el referente principal entre los diversos métodos para seleccionar grupos representativos entre los datos.

Los árboles de decisión son una herramienta apropiada a la hora de realizar elecciones adecuadas entre muchas posibilidades. Su estructura permite seleccionar una y otra vez diferentes opciones para explorar las diferentes alternativas posibles de decisión.

5.2 Grupos de escoria encontrados

Tras los procesos de filtrado, de agrupamiento, evaluación, etc, se consigue obtener un total de 5 grupos distintos de escoria basada en los grados de acero que se fabrican en el propio convertidor cuyo comportamiento es importante conocer para poder relacionarlos con las aplicaciones potenciales para realizar el correspondiente análisis técnico y ambiental.

Los grupos definidos de una forma cualitativa y haciendo un estudio de los casos más probables quedan caracterizados en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Caracterización cualitativa de los grupos de escoria localizados

	<i>Fe</i>	<i>Al</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>Si</i>
Grupo 1	Alto	Medio	Bajo	Alto	Alto	Alto	Alto
Grupo 2	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Grupo 3	Bajo	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Grupo 4	Bajo	Medio	Medio	Alto	Alto	Alto	Alto
Grupo 5	Bajo	Medio	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto

Una vez se tienen definidos los grupos de escoria que se han localizado, para aumentar la sostenibilidad del proceso de producción del acero global es necesario hacer un análisis de su ciclo de vida. Se analiza en cada uno de los grupos identificados cuales son las aplicaciones potenciales más favorables para su posible reutilización.

6. Comparación de los grupos de escoria establecidos con las aplicaciones potenciales definidas

Una vez que se ha realizado un estudio detallado de las principales aplicaciones potenciales para la valorización de la escoria y que se han obtenido grupos de los datos históricos aplicando técnicas de minería de datos, se procede a relacionar estas aplicaciones potenciales con cada uno de los grupos establecidos. De esta manera se pretende conocer que grupos de escoria son más apropiados para cada una de las aplicaciones potenciales establecidas.

- Grupo 1

Las características de este grupo de escoria son:

Tabla 4. Características del grupo 1 de escoria

<i>Fe</i>	<i>Al</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>Si</i>
Alto	Medio	Bajo	Alto	Alto	Alto	Alto

Se identifican tres posibles aplicaciones potenciales en base a sus características:

Su alto contenido en Manganeso y en hierro y bajo en Fósforo hace interesante analizar su valorización como fluidificante en el propio proceso de conversión de arrabio en Acero.

Por otro lado, presenta un bajo contenido en Magnesio y Calcio, características beneficiosas para su posible actuación como áridos (en la construcción de carreteras y en la elaboración de hormigón).

El principal problema presente en la industria cerámica son las efluorescencias que se deben a elevados contenidos en Calcio, por lo que este grupo es válido para su posible reutilización en la industria cerámica.

- Grupo 2

Las características de este grupo de escoria son:

Tabla 5. Características del grupo 2 de escoria

<i>Fe</i>	<i>Al</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>Si</i>
Alto	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

Este grupo debido a sus propiedades se hace interesante para 3 aplicaciones potenciales principalmente:

El bajo aporte de Silicio, Fósforo y Aluminio y el alto de Cal y Hierro de este grupo, implica que cumpla los requisitos exigidos para la reutilización de este residuo en la propia planta siderúrgica (en el proceso de sinterización). Esto conllevaría un aporte de Cal y de Hierro, reduciendo el consumo de materias primas asociadas.

Su alto contenido en Manganeseo y en Hierro así como bajo en Fósforo lleva consigo que pueda ser usado como fluidificante en el propio proceso de conversión (al igual que el Grupo 1).

Por último, su alto contenido en Calcio y bajo en Silicio genera un elevado pH de la escoria, lo que lo convierte en un material con buenas propiedades como corrector de medios ácidos.

- Grupo 3

Las características de este grupo de escoria son:

Tabla 6. Características del grupo 3 de escoria

<i>Fe</i>	<i>Al</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>Si</i>
Bajo	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto

Se identifican en base a las propiedades definidas en la **Tabla 6** dos posibles aplicaciones principalmente para este grupo de escoria:

Por su alto contenido en Aluminio y Calcio y bajo en Hierro hace que sea interesante para su valorización en la industria del Clinker.

El bajo aporte de Magnesio y Calcio hace que sea interesante estudiar la viabilidad de su aplicación como árido en construcciones de Carreteras y de Hormigones.

- Grupo 4

Las características de este grupo de escoria son:

Tabla 7. Características del grupo 4 de escoria

<i>Fe</i>	<i>Al</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>Si</i>
Bajo	Medio	Medio	Alto	Alto	Alto	Alto

La aplicación más interesante en este grupo de escoria es como árido en la construcción de Carreteras y Hormigones debido a su bajo contenido en Calcio y Magnesio.

- Grupo 5

Las características de este grupo de escoria son:

Tabla 8. Características del grupo 5 de escoria

<i>Fe</i>	<i>Al</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>Si</i>
Bajo	Medio	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto

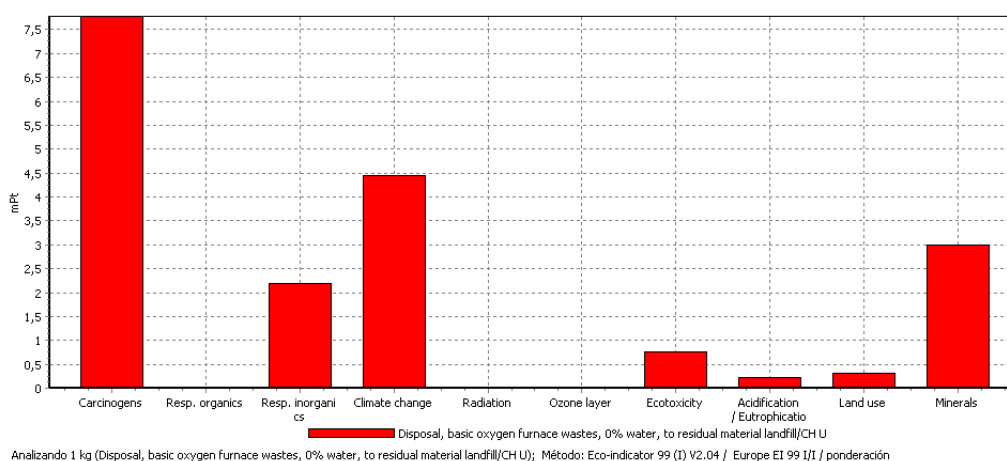
Al igual que el Grupo 4, la aplicación potencial más interesante derivada de sus propiedades y de las restricciones marcadas en cada una de las valorizaciones comentadas sería como árido en la construcción de Carreteras y en la industria del Hormigón.

Se han definido las aplicaciones potenciales adecuadas para cada uno de los grupos de escoria definidos, así en el apartado 7 se evaluarán los principales impactos que tendrían al utilizar la escoria en la aplicación más común.

7. Impacto de las posibles valorizaciones en el LCI del acero

En los LCI habituales del acero, el escenario de desecho de la escoria LD es la retirada a vertedero. En la base de datos Ecoinvent 2.1 (una base de datos de LCI de origen suizo considerada la más completa y actualizada), los resultados del LCIA realizado conforme a la metodología Ecoindicadores 99 para la disposición de 1 kg de escoria LD se muestran en la siguiente figura:

Figura 2. LCIA por Ecoindicadores 99 del desecho de 1kg de escoria LD



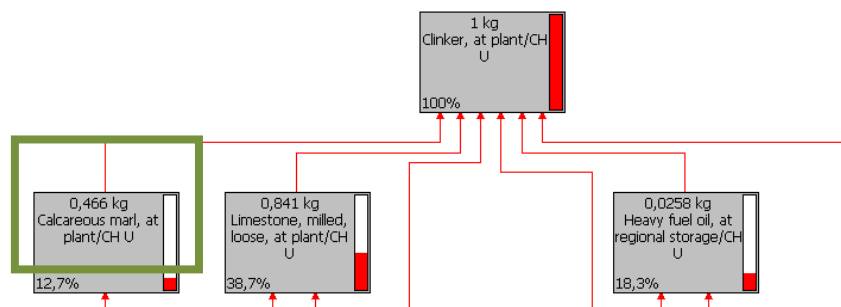
La puntuación global se corresponde con 19 mPt y los efectos ambientales se corresponden con los habituales en un vertedero, producto principalmente de los lixiviados y de la construcción y mantenimiento de la instalación.

Los análisis de inventario asociados a cada uno de los grupos de escoria vienen determinados por los inventarios que se han de realizar previamente en cada una de las aplicaciones potenciales de las que se encontrarán formando parte.

Para obtener de una forma detallada cada uno de los inventarios, se ha recopilado las principales acciones que se debería de llevar a cabo en cada una de las aplicaciones. Por eso se ha considerado de interés comenzar el estudio por los inventarios asociados a estas aplicaciones.

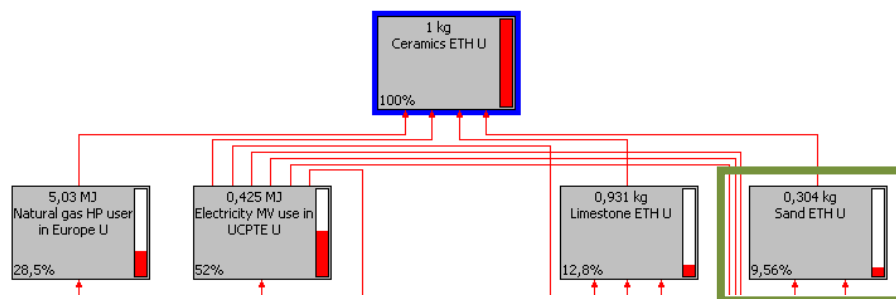
Una de las aplicaciones más importantes vinculadas con el grupo 3 es la producción de clinker. La escoria se utiliza con el objetivo de aportar calcio y alúmina, por lo que interesa que estos valores sean altos. Es necesario evaluar los impactos que conllevaría el introducir este residuo en el proceso de fabricación, que quedaría como se expresa en la **Figura 3**. Como se puede observar el material a sustituir, constituye el 12,7% del impacto total si se realiza el LCIA con Ecoindicador 99. Aunque la sustitución sea parcial, se consigue una reducción del impacto global apreciable.

Figura 3. Extracto del diagrama LCI correspondiente a la producción del clinker (detalle)



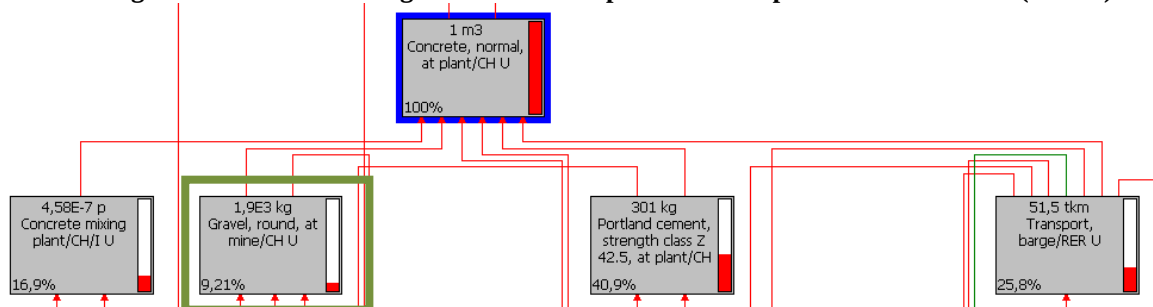
- Aplicación en la industria cerámica, aplicación relacionada con el grupo 1. Se pretende sustituir la arena utilizada en la fabricación de materiales cerámicos por la aportación de escoria procedente del BOF.

Figura 4. Extracto del diagrama LCI correspondiente a la producción de materiales cerámicos



- Aplicación como áridos, esta aplicación está ligada con los grupos 4 y 5 principalmente. La escoria es un material muy interesante para ser utilizado como árido tanto en construcciones de hormigón como en carreteras, es necesario conocer la influencia que tendría en introducir este residuo como material del inventario de la este tipo de construcciones.

Figura 5. Extracto del diagrama LCI correspondiente a la producción de áridos (detalle)



El material árido será reemplazado por la escoria y será necesario conocer la influencia de este hecho.

- Aplicación como fluidizante aplicación vinculada con los grupos 1 y 2. En estos momentos se está realizando en varias plantas siderúrgicas, será necesario conocer los principales impactos asociados que conlleva esta valorización. Estos impactos será necesario considerarlos de acuerdo con las reglas de asignación indicadas por las STAC.
- Reciclaje en la planta de Sinterización, aplicación vinculada con el grupo 2. El sinter, en último lugar, es una materia prima del acero, por lo que se puede considerar que el inventario de esta actividad va a ir asociado con el inventario de la producción de acero.
- Aplicación como neutralizante de medios ácidos, aplicación vinculada con el grupo 2. Esta es una acción teórica, que en el momento actual no se encuentra totalmente desarrollada y que conlleva el tener que realizar un LCI detallado y que será necesario elaborar.

Con ayuda de la clasificación de las escorias, además de tener cuál es el destino más adecuado de cada tipo de escoria producida, se podrá tener un conocimiento más detallado del grado de impacto que provoca este residuo.

8. Impactos asociados a cada grupo de escoria a través de su LCIA

Con objeto de realizar una gestión adecuada de la escoria una vez que esta se encuentra clasificada, existe la posibilidad de utilizar cada uno de los grupos definidos en el apartado anterior en la aplicación potencial para las que presente unas cualidades más favorables.

En la **Tabla 9** se presenta un esquema de las aplicaciones potenciales para las que se prevé y aconseja utilizar cada uno de los grupos de escoria.

Tabla 9. Gestión de la escoria LD de forma óptima

	Sinter	Fluidizante	Carreteras	Hormigones	Cerámica	Clinker	Corrector de acidez
Grupo 1		X			X		
Grupo 2	X						X
Grupo 3						X	
Grupo 4			X	X			
Grupo 5			X	X			

Cada una de estas aplicaciones va a exigir una gestión diferente de la escoria y consecuentemente tendrá una serie de impactos distintos en unos casos que en otros.

En el año objeto de estudio (2007) se identificaron grandes producciones del grupo 3 y 1 siendo el resto de grupos producidos en menor medida tal y como se expresa en la **Tabla 10**.

Tabla 10. Porcentaje de grupos de escoria realizados en el año 2007

Grupos de escoria	% año 2007
Grupo 1	33.77
Grupo 2	5.64
Grupo 3	56.54
Grupo 4	1.43
Grupo 5	2.62

8.1 Evaluación de los impactos en el caso de envío de la escoria a vertedero.

En la actualidad la mayor parte de la escoria producida se envía a un vertedero autorizado. Esto origina una serie de impactos medioambientales que van a ser la referencia de los impactos generados por el resto de aplicaciones potenciales.

En las bases de datos correspondientes a IMPACT 2002 se registra que los principales impactos de la escoria de arco eléctrico (que se puede considerar que produce unos impactos similares a la escoria de convertidor) son (SimaPro 7):

- Sustancias peligrosas para la salud asociadas a sustancias no-cancerígenas.
- El uso de energías no-renovables.

Luego hay otros impactos, aunque en menor medida que los anteriores como pueden ser la ecotoxicidad, partículas que originan problemas respiratorios, etc.

Otro punto importante es el transporte de la propia escoria al vertedero. En la mayoría de los casos los vertederos van a estar situados cerca de la propia producción de acero para minimizar este impacto, aún así es un impacto que es necesario contabilizar, ya que lleva asociado una serie de acciones: gasto de combustible, emisión de partículas en el desplazamiento y desgaste del transporte en la carretera (Legret et al., 2008).

Una vez que se ha definido este marco de referencia será necesario definir los impactos asociados en los grupos de escoria definidos asociados a una serie de aplicaciones potenciales.

8.2 Evaluación de los impactos asociados al grupo 1 en su valorización como fluidificante.

Esta aplicación consiste en recircular la escoria generada dentro del propio proceso de convertidor en la acería. Al poder ir directamente del foso de enfriamiento de escoria a la instalación de conversión los impactos tanto ambientales como económicos asociados al transporte disminuirían. El ahorro en combustible y las emisiones asociadas al movimiento del transporte por las carreteras se minimizarían respecto a la situación de referencia.

Por otro lado se están introduciendo elementos no deseados en el acero en el baño donde el mismo se está formando. Así, el Fósforo, uno de los elementos más perjudiciales en la producción de acero volvería al baño, lo que conlleva un mayor aporte de aditivos que aseguren la eliminación de este y otros elementos. Esto lleva asociado un aumento de

emisiones así como de precios en los fundentes utilizados, pero minimización de costes en el empleo de otro tipo de fluidizantes.

8.3 Evaluación de los impactos asociados al grupo 1 en su valorización en la industria cerámica.

En primer lugar, el impacto más significativo al tratarse de una industria externa es el transporte. Este va a depender de la distancia que se encuentre entre la propia siderurgia objeto de estudio en cada momento y la cerámica donde se envíe este residuo.

Según las bases de datos presentes en IMPACT 2002 se puede ver que hay impactos en peligros globales y en el uso de energías no renovables asociadas a esta actividad. Otros impactos pueden ser el consumo de combustible y la generación de polvo en su transporte por carretera (SimaPro 7).

La necesidad de reducir el tamaño de la escoria a menos de 1mm conlleva el que no se pueda aplicar un tamizado industrial y sea necesario recurrir a procesos de molienda. La escoria contiene en su interior partículas de Hierro metal que impiden utilizar cualquier sistema de molienda que no sea un molino de bolas, pero debido a las mismas partículas el mismo lleva asociados unos gastos de mantenimiento altos, debido al desgaste de las propias bolas. Esta acción tiene otros impactos como altos consumos energéticos y emisiones al medio ambiente localizadas en el proceso de reducción del tamaño el material.

8.4 Evaluación de los impactos asociados al grupo 2 en su reciclado en la planta de Sinter.

Esta aplicación es interesante debido a que el objetivo es recircular la escoria dentro del propio residuo siderúrgico con el objetivo de aprovechar el mineral de Hierro presente en la escoria. Así, se disminuyen los gastos asociados a la adición de este mineral.

Así mismo, la escoria contiene cal, otra de las materias primas necesarias en el proceso de sinterización. Los elevados costes que tiene asociados la cal hace que sea muy interesante encontrar aditivos alternativos que minimicen la compra de esta materia.

Debido a que es interesante introducir el material con una granulometría adecuada es interesante no introducir tamaños de grano superiores a 10mm, esto conlleva la tamización industrial del residuo. Este proceso lleva asociados impactos en cuanto a su transporte a la planta de tamizado (emisiones y consumo de combustible), gasto energético de las cintas transportadoras del propio material y emisiones asociadas en cada una de las cribas establecidas.

Otro impacto que es necesario tener en cuenta es el transporte desde la planta de tamizado a la instalación del sinter (esto varía de unas siderurgias a otras) y en todo caso se supone que el transporte será menor que el que supone enviar la escoria a un vertedero autorizado.

8.5 Evaluación de los impactos asociados al grupo 2 como corrector de medios ácidos.

El elevado contenido en calcio presente en la escoria es el responsable del elevado pH de este residuo. Esto es una característica óptima para la corrección de medios ácidos. Debido a que la localización de estos medios puede estar en lugares muy distintos, los gastos y consumos de transporte asociados dependerán de esta distancia. Por tanto, los consumos

de combustibles y la emisión de polvos asociadas va a depender de este parámetro (en algunos casos será menor que en el caso de envío a vertedero y en otros mayor).

Para provocar un mayor contacto entre el medio ácido y la escoria de acería es necesario elegir un tamaño de escoria bajo, por ejemplo, menor de 20 mm sería correcto (a su vez no interesa que sea demasiado fino porque el aporte de finos en este proceso podría ser perjudicial, ya que en su contacto con agua puede formar una masa). Esto conlleva unos gastos y consumos de tamizado industrial. Estos impactos son las emisiones asociadas al proceso de transporte y de tamizado y los consumos energéticos de cintas transportadoras.

8.6 Evaluación de los impactos asociados al grupo 3 en su valorización en la industria del Clinker.

En primer lugar, el impacto más significativo al tratarse de una industria externa es el transporte. Este va a depender de la distancia que se encuentre entre la propia siderurgia objeto de estudio en cada momento y la cerámica donde se envíe este residuo.

La necesidad de reducir el tamaño de la escoria a menos de 1mm conlleva el que no se pueda aplicar un tamizado industrial y sea necesario recurrir a procesos de molienda. La escoria contiene en su interior partículas de Hierro metal que impiden utilizar cualquier sistema de molienda que no sea un molino de bolas, pero debido a las mismas partículas el mismo lleva asociados unos gastos de mantenimiento altos, debido al desgaste de las propias bolas. Esta acción tiene otros impactos como altos consumos energéticos y emisiones al medio ambiente localizadas en el proceso de reducción del tamaño el material.

El principal problema está asociado al comportamiento del Hierro metálico en el refractario del horno, ya que si su influencia es alta el proceso no será viable.

8.7 Evaluación de los impactos asociados al grupo 4 y 5 en su valorización como árido.

La utilización de áridos reciclados es una práctica más común en la actualidad, debido a que los áridos son un recurso natural que con el tiempo pueden agotarse. Al emplearse en grandes obras, como pueden ser la construcción de una carretera o la fabricación de elementos con base hormigón en un puerto.

El principal impacto asociado se corresponde con los consumos de combustible y emisiones asociadas al proceso de transporte.

9. Conclusiones

La escoria LD, es un subproducto muy voluminoso de la producción de acero. Son muchas las aplicaciones potenciales objeto de estudio en este momento y muchas las toneladas que se envían al vertedero.

Se han identificado 5 grupos de escoria con propiedades diferentes, que los hacen interesantes para su valorización en distintas industrias y en la propia siderurgia. Mediante una evaluación de los impactos asociados a cada grupo teniendo en cuenta cada una de las aplicaciones potenciales establecidas se hace una clasificación de escorias y de opciones asociadas a cada uno de estos grupos.

En total se valoran 7 posibilidades de aplicación distintas con el objeto de evaluar las propiedades de la escoria, a medida que se identifiquen más aplicaciones será necesario ir asociando cada una de ellas con los grupos elaborados. Para cada una de estas aplicaciones se fija su posible impacto de forma cualitativa, como una primera aproximación a lo que será su análisis de ciclo de vida.

Resulta por tanto posible modificar los procedimientos de trabajo para, sin salirse de los rangos actuales, obtener escoria ambientalmente menos impactante.

Se abre además la puerta a futuros estudios, como la evaluación completa del ciclo de vida y la posible modificación de los procesos productivos para conseguir mejoras aún mayores, ambos aspectos actualmente en realización.

10. Agradecimientos

Los autores quieren agradecer la colaboración ofrecida por ArcelorMittal para la realización de los estudios que se muestran en este artículo.

11. Referencias

- CEDEX, (2007) Ficha técnica de escorias de Acería. Consultado el 4 de Enero de 2010 en la web del CEDEX, Centro de estudios y experimentación de obras públicas. <http://www.cedexmateriales.vsf.es/view/archivos/residuos/282.pdf>
- Data Base Manual Simapro 7. Obtenido 15.00h, December 9, <http://www.pre.nl/download/manuals/DatabaseManualMethods.pdf>
- Eurofer (2004). Obtenido 9:00, December 17, 2009, de Eurofer, European Confederation of Iron and Steel industries, <http://www.eurofer.org/index.php/News-Publications/Publications>.
- Güereca, P. (2006). *Desarrollo de una metodología para la valorización en el Análisis del Ciclo de Vida aplicada a la gestión integral de los residuos municipales*. Universidad de Barcelona.
- Hand, D. J. ; Mannila, H. & Smyth P. (2001). Principles of Data Mining. The MIT Pres. Obtenido 1, Mayo 2009 de <http://mitpress.mit.edu/catalog/item/default.asp?ttype=2&tid=3520>
- Kohonen, T. (1982). Self-Organized Formation of Topologically Correct Feature Maps. *Biological Cybernetics*. 43, 59-69
- Legret M., Chaurand P., Domas J., Capowicz Y., Dennee D., Reynard J., Lassabatere L., Yilmaz D., Rose, J., Béchet B., Richard D. & Bottero JY., 2008. Environment assessment of the behavior of a BOF steel slag used in road contruction. *Waste Eng* 08.
- SETAC. (1997) Life-Cycle Impact Assessment: The State of the Art, 2ª edición SETAC Disponible para su venta en <http://www.setac.org>
- Van Hoof, B.; Monroy, N. & Saer, A. (2008). Producción más limpia. Paradigma de gestión ambiental. Herramienta de análisis del ciclo de vida. Universidad de los Andes.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Gestión del Área de Proyectos de ingeniería de la Universidad de Oviedo.

Phone: +34985104272

Fax: +34985104256

E-mail : gestion@api.uniovi.es

URL : <http://www.api.uniovi.es>