

## CARGA DE HORNOS ALTOS Y COLADAS DE ARRABIO

ACTIVIDADES CUBIERTAS SEGÚN NOMENCLATURA	
NOMENCLATURA	CÓDIGO
SNAP 97	04.02.02/04.02.03
CRF	2C1b
NFR	2C1

### Descripción de los procesos generadores de emisiones

En esta ficha se describen los procesos que tienen lugar en los hornos altos, así como los contaminantes asociados a esta actividad.

Los hornos altos son elementos fundamentales en las plantas de siderurgia integral; se conoce como siderurgia integral a la planta industrial dedicada al proceso completo de producir acero a partir del mineral de hierro, mientras que la siderurgia no integral (acera eléctrica) utiliza como materia prima fundamental la chatarra férrica.

La mena o mineral de hierro que se extrae de las minas es un óxido de hierro (un compuesto formado por hierro y oxígeno mezclado con otras sustancias acompañantes). Para separar el oxígeno del hierro es necesario someter al mineral a un proceso que se denomina reducción. El **horno alto es un reactor vertical que emplea carbono para reducir estos óxidos de hierro**. Su objetivo es producir arrabio de una manera uniforme, tanto en composición como en cantidad. El arrabio es hierro líquido al que acompañan otros elementos, en una proporción aproximada de: 4,5% de carbono, 0,5% de silicio, 0,05% de azufre y 0,5% de manganeso <sup>(1)</sup>, apto para su transformación posterior en acero.

El horno alto está constituido por una torre de ladrillos refractarios formada, a su vez, por dos conos truncados reunidos por sus bases. Tiene un diámetro que oscila entre los 6 y los 10 metros y alcanza una altura total de 20 a 30 metros. Exteriormente está sostenido por una robusta armazón de hierro. La parte superior se denomina CUBA y la parte inferior la forman el ETALAJE y el CRISOL. Ambas partes se encuentran unidas por una zona intermedia denominada VIENTRE. El CRISOL es cilíndrico y termina con la DAMA, donde se encuentra el orificio de salida (PIQUERA) para el metal fundido. La parte superior de la cuba, llamada TRAGANTE, se mantiene cerrada herméticamente por medio de una tapa metálica de forma cónica. En la parte superior del horno se encuentran también los colectores (PANTALONES) que recogen los gases residuales que se originan durante todo el proceso. Asimismo, en lo alto del crisol, existen unas hileras de TOBERAS por donde penetra el aire comprimido que, previamente calentado en las estufas, se encarga de activar la combustión.

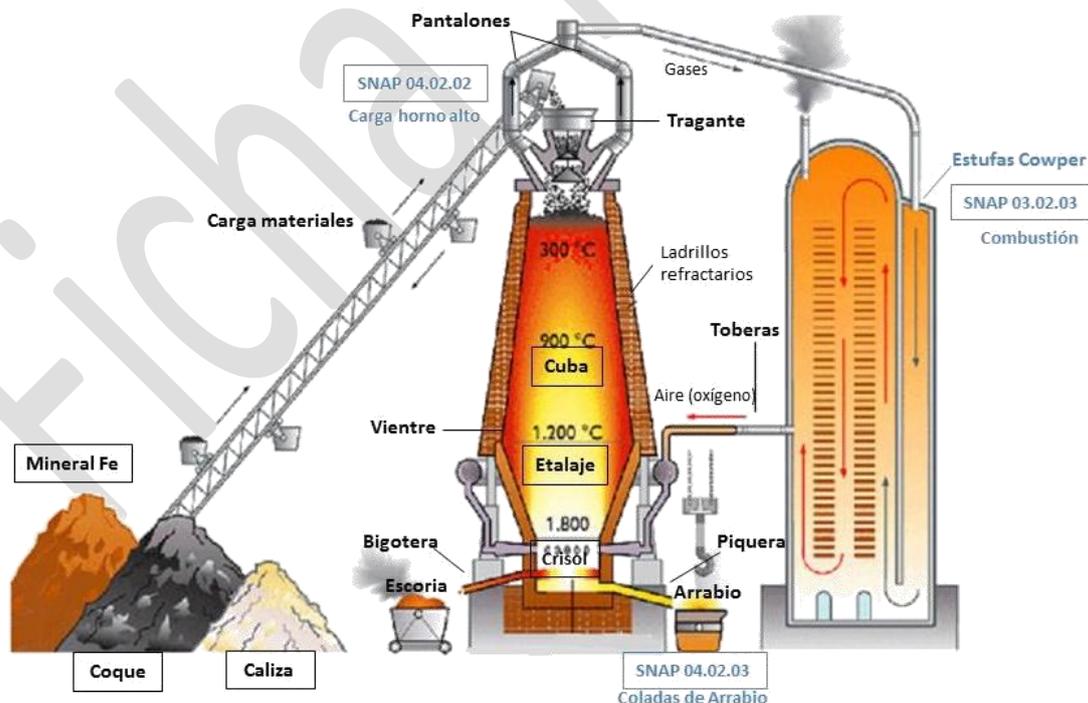


Figura 1. Partes de un horno alto (Fuente: CATEDU "Centro Aragonés de Tecnologías para la Educación")

<sup>1</sup> Fuente: Universidad de Oviedo - Departamento de Ciencias de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica-

El proceso que tiene lugar en el interior del horno es el que sigue:

- Por la parte superior (tragante) se introduce la carga formada por:
  - El **mineral de hierro**: Magnetita, limonita, siderita o hematita. Antes de su introducción en el horno, se somete a un tratamiento que le confiere las características de tamaño y fuerza necesarias para servir de alimento al horno alto, formando los productos conocidos como sinter y pellets.
  - El carbón de **coque**: obtenido por destilación del carbón de hulla, tiene un alto poder calorífico. Actúa tanto de combustible como de agente reductor de los óxidos de hierro. Asimismo, soporta el peso de la materia prima para que pueda arder en la parte inferior y salgan los gases hacia la parte superior del horno.
  - El **fundente** (caliza o dolomía): Ayuda a disminuir el punto de fusión de la mezcla, así como a formar una mezcla con la sílice presente en el mineral que dará lugar a la escoria.
- Al mismo tiempo se inyecta, por la parte inferior del horno (toberas), **aire caliente**, a menudo enriquecido con oxígeno. Este aire, en contacto con el coque (o con otro combustible complementario que se haya introducido también a través de las toberas: carbón pulverizado, gas, aceite pesado, etc), produce monóxido de carbono (CO). El monóxido de carbono, en su ascenso a través de la carga, "sustra" el oxígeno al mineral (fenómeno de reducción), formando dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que sale por los colectores de gas. El espacio libre generado por la combustión del coque sólido frente a las toberas, se rellena con material procedente de las cotas superiores, dando lugar a un descenso progresivo de la carga.
- Los óxidos de hierro que constituyen la carga mineral se funden gradualmente, dando lugar al arrabio y la escoria líquidos que percolan (gotean) por gravedad a través del lecho de coque caliente hasta alcanzar el crisol, a la vez que generan un espacio libre para rellenar con el descenso de la carga. A lo largo de este recorrido los líquidos también consumen coque, creando por tanto un espacio vacío adicional a los ya mencionados.
- Durante el tiempo de permanencia del arrabio en el crisol, éste sufre una recarburación final, captando carbono del lecho de coque. El arrabio y la escoria, cuya densidad es menor que la del hierro fundido y por tanto flota sobre su superficie, se extraen del crisol a través de sus respectivas piqueras, en una operación denominada sangría.
- El arrabio obtenido del sangrado, bien se recoge en vagones torpedo que lo conducirán, todavía fundido, a la acería para ser transformado en acero, o bien se moldea en forma de lingotes para su uso posterior, por ejemplo, en fundiciones. La escoria, por su parte, se puede aprovechar como material de construcción o en la fabricación de cemento y vidrio y el polvo de botellón, resultante de la depuración del gas de horno alto, se reaprovecha como materia prima en los hornos de sinterización.

A continuación se presenta un esquema con las reacciones principales que se producen en el interior de un horno alto:

**Materias primas:** mineral de Fe, chatarra, coque y carbonato cálcico



La reacción global al final del proceso es la siguiente:

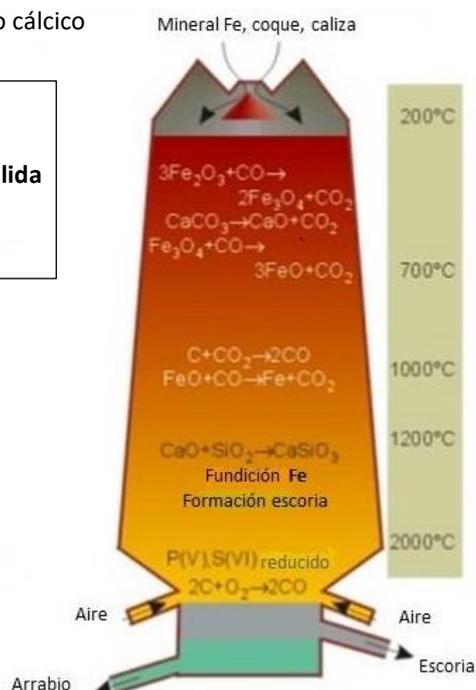
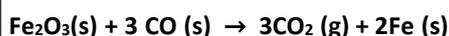


Figura 2. Reacciones en un horno alto (Fuente: Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales)

La Figura 3 ilustra, de manera esquemática, el proceso llevado a cabo en un horno alto, así como su relación con otros procesos dentro y fuera de la industria siderúrgica.

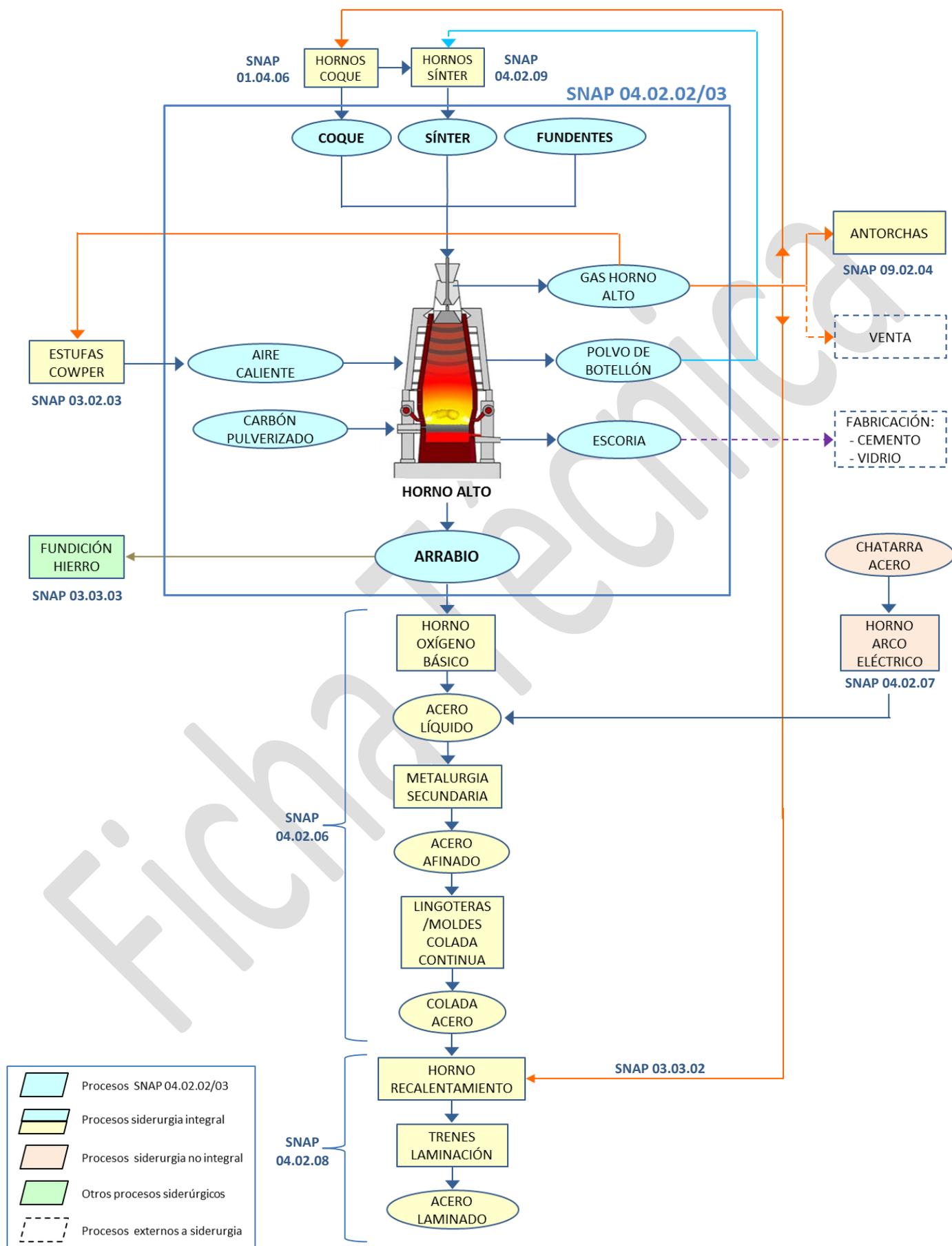


Figura 3. Esquema proceso en el horno alto dentro de la ruta de siderurgia integral y relación con otras actividades (Fuente: Elaboración propia)

Los contaminantes asociados tanto a la carga de hornos altos como al proceso de sangrado del arrabio (coladas de arrabio) se resumen en la siguiente figura:

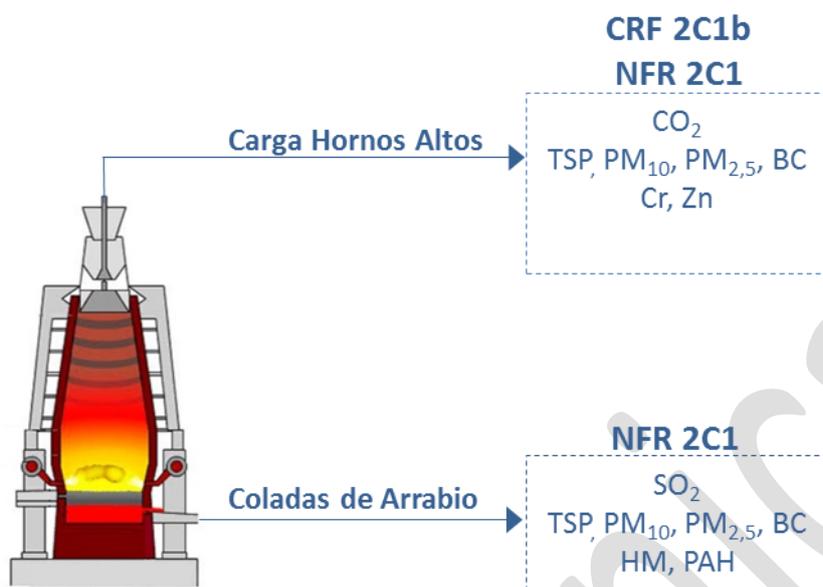


Figura 4. Esquema de los contaminantes asociados a los procesos llevados a cabo en los hornos altos (Fuente: Elaboración propia)

## Contaminantes inventariados

### Gases de efecto invernadero

CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs	PFCs	SF <sub>6</sub>
✓	-	NA	NA	NA	NA

#### OBSERVACIONES:

- *Notation Keys* correspondientes al último reporte a UNFCCC
- Las celdas que no incluyen *Notation Keys* son casos en los que se reportan emisiones en la categoría CRF correspondiente, pero no son atribuibles a esta actividad

### Contaminantes atmosféricos

Contaminantes principales				Material particulado				Otros	Metales pesados prioritarios			Metales pesados adicionales					Contaminantes orgánicos persistentes				
NO <sub>x</sub>	NM <sub>VOC</sub>	SO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	TSP	BC	CO	Pb	Cd	Hg	As	Cr	Cu	Ni	Se	Zn	DIOX	PAH	HCB	PCB
✓	✓	✓	NE	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	-	-

#### OBSERVACIONES:

- *Notation Keys* correspondientes al último reporte a CLRTAP
- Las celdas que no incluyen *Notation Key* son casos en los que se reportan emisiones en la categoría NFR correspondiente, pero no son atribuibles a esta actividad

## Sectores del Inventario vinculados

Las actividades del Inventario relacionadas con la presente ficha metodológica son las siguientes:

RELACIÓN CON OTRAS FICHAS METODOLÓGICAS			
ACTIVIDAD SNAP	ACTIVIDAD CRF	ACTIVIDAD NFR	DESCRIPCIÓN
01.04.06	1A1ci	1A1c	Plantas de transformación de combustibles sólidos
03.01.03	1A2a	1A2	Combustión estacionaria industrial no específica
03.02.03	1A2a	1A2a	Cowpers de hornos altos
03.03.01	1A2a		Plantas de sinterización (combustión)
03.03.02	1A2a		Hornos de recalentamiento de hierro y acero (*)
03.02.05	1A2a/1A2b		1A2a/1A2b
04.02.01	1B1b	1B1b	Apertura y extinción de los hornos de coque
04.02.06	2C1a		Hornos de oxígeno básico de las acerías
04.02.08	2C1f		Laminación de acero
04.02.09	2C1d		Plantas de sinterización (emisiones de proceso)
09.02.04	2C1f		Antorchas en siderurgia y coquerías

\*: En esta actividad se han computado las emisiones de ciertas instalaciones auxiliares en los procesos de las plantas siderúrgicas integrales (acería LD, hornos altos, etc.), al no disponer en la nomenclatura SNAP de una actividad específica para estas instalaciones

## Descripción metodológica general

Contaminante	Tier	Fuente	Descripción
<b>04.02.02 (Carga de hornos altos)</b>			
CO <sub>2</sub>	T2	IQ	Balace de masa de carbono entre las entradas y salidas a los hornos altos, computando el carbono diferencial que quedaría tras descontar de la masa de carbono de las entradas, la masa de carbono de los productos inventariados en las salidas
TSP, PM <sub>10</sub>	T2/T3	IQ	- Emisiones medidas - Aplicación de un factor de emisión implícito basado en emisiones medidas
PM <sub>2,5</sub>	T2	Guías CEPMEIP	Aplicación, sobre las emisiones de PM <sub>10</sub> , de la ratio propuesta por CEPMEIP de relación entre emisiones de PM <sub>2,5</sub> con respecto a PM <sub>10</sub>
BC	T2	Guías CEPMEIP	Aplicación, sobre las emisiones de PM <sub>2,5</sub> , de la ratio propuesta por CEPMEIP de relación entre emisiones de BC con respecto a PM <sub>2,5</sub>
Cr, Zn	T2/T3	IQ	- Emisiones medidas - Aplicación de un factor de emisión implícito basado en emisiones medidas
<b>04.02.03 (Coladas de arrabio)</b>			
SO <sub>2</sub>	T2/T3	IQ	- Emisiones medidas - Aplicación de un factor de emisión implícito basado en emisiones medidas
TSP, PM <sub>10</sub>	T2/T3	IQ	- Emisiones medidas - Aplicación de un factor de emisión implícito basado en emisiones medidas
PM <sub>2,5</sub>	T2	Guías CEPMEIP	Aplicación, sobre las emisiones de PM <sub>10</sub> , de la ratio propuesta por CEPMEIP de relación entre emisiones de PM <sub>2,5</sub> con respecto a PM <sub>10</sub>
BC	T2	Guías CEPMEIP	Aplicación, sobre las emisiones de PM <sub>2,5</sub> , de la ratio propuesta por CEPMEIP de relación entre emisiones de BC con respecto a PM <sub>2,5</sub>
As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn	T2/T3	IQ	- Emisiones medidas - Aplicación de un factor de emisión implícito basado en emisiones medidas
	T2	Guía EMEP/CORINAIR 2006	Aplicación de un factor de emisión por defecto a la producción de arrabio
PAH	T2	Guía EMEP/CORINAIR 2006	Aplicación de un factor de emisión por defecto a la producción de arrabio

## Variable de actividad

Variable	Descripción
----------	-------------

<b>04.02.02 (Carga de hornos altos)</b>	
Producción de arrabio	Expresada en toneladas
<b>04.02.03 (Coladas de arrabio)</b>	
Producción de arrabio	Expresada en toneladas

## Fuentes de información sobre la variable de actividad

<b>Producción de acero</b>	
<b>Periodo</b>	<b>Fuente</b>
1990-2016	Cuestionarios individualizados (IQ) facilitados por las plantas de siderurgia integral existentes en España

En la actualidad existen en España 2 plantas de siderurgia integral y 26 de siderurgia no integral.

Las plantas siderúrgicas integrales consideradas en el periodo se resumen en la siguiente Figura. Cabe señalar que actualmente sólo están en funcionamiento los hornos altos de Gijón.



Figura 5. Distribución de las plantas siderúrgicas integrales en España (Fuente: Elaboración propia)

## Fuente de los factores de emisión

<b>04.02.02 (carga de hornos altos)</b>			
Contaminante	Tipo	Fuente	Descripción
CO <sub>2</sub>	CS	IQ	Se realiza el balance de carbono con la información facilitada por la planta, computando el carbono diferencial que quedaría tras descontar de la masa de carbono de las materias entrantes, la masa de carbono de los productos inventariados en las salidas. Las emisiones de CO <sub>2</sub> se derivan de la masa de este carbono diferencial elevada a la ratio 44/12
TSP, PM <sub>10</sub>	CS	Factores emisión implícitos	Aplicación de un factor de emisión implícito, basado en las emisiones medidas
PM <sub>2,5</sub>	D	Guías CEPMEIP	Aplicación, sobre las emisiones de PM <sub>10</sub> , de la ratio propuesta por CEPMEIP de relación entre emisiones de PM <sub>2,5</sub> con respecto a PM <sub>10</sub>
BC	D	Guías CEPMEIP	Aplicación, sobre las emisiones de PM <sub>2,5</sub> , de la ratio propuesta por CEPMEIP de relación entre emisiones de BC con respecto a PM <sub>2,5</sub>
Cr, Zn	CS	Factores emisión implícitos	Aplicación de un factor de emisión implícito obtenido a partir de emisiones medidas
<b>04.02.03 (coladas de arrabio)</b>			
Contaminante	Tipo	Fuente	Descripción
SO <sub>2</sub>	CS	Factores emisión implícitos	Aplicación de un factor de emisión implícito obtenido a partir de emisiones
TSP, PM <sub>10</sub>	CS	Factores emisión implícitos	Aplicación de un factor de emisión implícito basado en emisiones medidas
PM <sub>2,5</sub>	D	Guías CEPMEIP	Aplicación, sobre las emisiones de PM <sub>10</sub> , de la ratio propuesta por CEPMEIP de relación entre emisiones de PM <sub>2,5</sub> con respecto a PM <sub>10</sub>
BC	D	Guías CEPMEIP	Aplicación, sobre las emisiones de PM <sub>2,5</sub> , de la ratio propuesta por CEPMEIP de relación entre emisiones de BC con respecto a PM <sub>2,5</sub>
As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn	D	Guía EMEP/CORINAIR 2006 (tabla 8.1.a "unabated")	Factores de emisión por defecto
	CS	Factores emisión implícitos	Aplicación de un factor de emisión implícito obtenido a partir de emisiones medidas
PAH	D	Guía EMEP/CORINAIR 2006 (tabla 8.2 "fabric filter")	Factor de emisión por defecto
Observaciones: D: por defecto (del inglés "Default"); CS: específico del país (del inglés "Country Specific"); OTH: otros (del inglés "Other"); M: modelo (del inglés "Model"); IQ: cuestionario individualizado de las plantas			

## Incertidumbres

La incertidumbre de esta actividad a nivel de CRF 2C1 es la recogida en la siguiente tabla.

Contaminante	Inc. VA (%)	Inc. FE (%)	Descripción
CO <sub>2</sub>	5	4,9	<p><u>Variable de actividad:</u> se sitúa en un 5%, al tratarse de información directa de las plantas</p> <p><u>Factor de emisión:</u> incertidumbre obtenida a partir de los límites superior e inferior del intervalo de confianza del 95% establecido por la Guía IPCC 2006 en el volumen 2, capítulo 2, tabla 2.3</p>

La incertidumbre de esta actividad a nivel de NFR 2C1 es la recogida en la siguiente tabla.

Contaminante	Inc. VA (%)	Inc. FE (%)	Descripción
SO <sub>2</sub>	40	190	<p><u>Variable de actividad:</u> Dado que la información procede de IQ se considera que la incertidumbre tiene un valor bajo</p> <p><u>Factor de emisión:</u> Se calcula con las incertidumbres agregadas de los factores de emisión propuestos en la Guía EMEP/EEA 2019</p>
PM <sub>2,5</sub>	3,1	472	<p><u>Variable de actividad:</u> Dado que la información procede de IQ se considera que la incertidumbre tiene un valor bajo</p> <p><u>Factor de emisión:</u> Se calcula con las incertidumbres agregadas de los factores de emisión propuestos en la Guía EMEP/EEA 2019</p>
TSP, PM <sub>10</sub> , BC	-	-	Para estos contaminantes no se realizan análisis de incertidumbre. Para más información consultar la metodología para el cálculo de incertidumbres del reporte CRLTAP
Metales pesados	-	-	
PAH	-	-	

## Coherencia temporal de la series

La serie se considera coherente al cubrir el conjunto de plantas del sector en el periodo inventariado y provenir la información directamente de las plantas.

## Observaciones

No procede

## Criterio para la distribución espacial de las emisiones

El Inventario recibe la información a nivel de planta por los que las emisiones se asignan directamente a la provincia en la que se ubican cada planta

## Juicio de experto asociado

No procede

## Fecha de actualización

Marzo 2022

## ANEXO I

### Datos de la variable de actividad

Los datos de variable de actividad correspondientes no se muestran por razones de confidencialidad.

Ficha Técnica

## ANEXO II

### Datos de factores de emisión

Los datos de factores de emisión correspondientes no se muestran por razones de confidencialidad.

Ficha Técnica

## ANEXO III

### Cálculo de emisiones

No procede.

Ficha Técnica

## ANEXO IV

### Emisiones

#### 04.02.02 (Carga de hornos altos)

AÑO	CO <sub>2</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	TSP	BC	Cr	Zn
	kt	t	t	t	t	kg	kg
1990	246	-	-	-	-	3,41	6,87
1991	247	-	-	-	-	3,42	6,90
1992	223	-	-	-	-	3,09	6,23
1993	237	-	-	-	-	3,29	6,63
1994	240	-	-	-	-	3,33	6,72
1995	183	-	-	-	-	2,54	5,12
1996	167	-	-	-	-	2,31	4,66
1997	188	-	-	-	-	2,61	5,26
1998	197	-	-	-	-	2,74	5,52
1999	188	-	-	-	-	2,60	5,25
2000	220	1,75	3,50	15,28	1,75	2,60	5,25
2001	115	1,77	3,54	15,47	1,77	2,64	5,32
2002	226	1,70	3,40	14,84	1,70	2,53	5,10
2003	227	1,57	3,14	13,73	1,57	2,35	4,71
2004	347	1,68	3,36	14,66	1,68	2,50	5,04
2005	453	1,72	3,43	14,99	1,72	2,55	5,15
2006	533	1,47	2,93	12,81	1,47	2,18	4,40
2007	458	1,70	3,40	14,83	1,70	2,53	5,09
2008	438	1,58	3,15	13,77	1,58	2,35	4,73
2009	432	1,20	2,41	10,51	1,20	1,79	3,61
2010	462	1,53	3,07	13,39	1,53	2,28	4,60
2011	372	1,48	2,95	12,88	1,48	2,20	4,43
2012	232	1,32	2,64	11,53	1,32	1,96	3,96
2013	295	1,63	3,26	14,22	1,63	2,42	4,89
2014	356	1,62	3,25	14,17	1,62	2,41	4,87
2015	336	1,83	3,65	15,94	1,83	2,72	5,48
2016	304	1,69	3,38	14,74	1,69	2,51	5,06
2017	334	1,83	3,66	15,97	1,83	2,72	5,49
2018	344	1,85	3,71	16,19	1,85	2,76	5,56
2019	346	1,59	3,18	13,89	1,59	2,38	4,76

04.02.03 (coladas de arrabio)

AÑO	SO <sub>2</sub> t	PM <sub>2,5</sub> t	PM <sub>10</sub> t	TSP t	BC t	Pb kg	Cd kg	Hg kg	As kg	Cr kg	Cu kg	Ni kg	Zn kg	PAH kg
1990	76,34	-	-	-	-	0,78	0,005	0,11	0,39	26,21	0,67	-	47,28	5.309
1991	76,58	-	-	-	-	0,78	0,005	0,11	0,39	26,29	0,67	-	47,43	5.326
1992	69,21	-	-	-	-	0,71	0,004	0,10	0,35	23,76	0,61	-	42,86	4.813
1993	73,62	-	-	-	-	0,75	0,004	0,11	0,38	25,28	0,65	-	45,60	5.120
1994	74,60	-	-	-	-	0,76	0,004	0,11	0,38	25,61	0,66	-	46,20	5.188
1995	56,81	-	-	-	-	0,58	0,003	0,08	0,29	19,50	0,50	-	35,18	3.951
1996	51,80	-	-	-	-	0,53	0,003	0,08	0,27	17,78	0,46	-	32,08	3.602
1997	58,38	-	-	-	-	0,60	0,003	0,09	0,30	20,04	0,51	-	36,15	4.060
1998	61,26	-	-	-	-	0,63	0,004	0,09	0,31	21,03	0,54	-	37,94	4.260
1999	58,29	-	-	-	-	0,60	0,003	0,09	0,30	20,01	0,51	-	36,10	4.054
2000	58,29	6,15	6,49	29,23	6,15	0,60	0,003	0,09	0,30	20,01	0,51	-	36,10	4.054
2001	59,03	6,22	6,57	29,60	6,22	0,61	0,004	0,09	0,30	20,27	0,52	-	36,56	4.106
2002	56,63	5,97	6,30	28,40	5,97	0,58	0,003	0,08	0,29	19,44	0,50	-	35,07	3.938
2003	52,43	5,52	5,83	26,27	5,53	0,55	-	0,09	0,25	18,01	0,44	6,75	32,48	3.645
2004	55,94	5,90	6,22	28,05	5,90	0,57	-	0,08	0,29	19,21	0,49	7,21	34,64	3.890
2005	57,19	6,03	6,36	28,68	6,03	0,59	-	0,08	0,29	19,64	0,50	7,37	35,42	3.978
2006	48,88	5,15	5,44	24,51	5,15	0,50	-	0,07	0,25	16,78	0,43	6,30	30,27	3.399
2007	56,58	5,96	6,30	28,37	5,96	0,58	-	0,08	0,29	19,43	0,50	7,29	35,04	3.935
2008	52,52	5,54	5,84	26,34	5,54	0,54	-	0,08	0,27	18,03	0,46	6,77	32,53	3.653
2009	40,11	4,23	4,46	20,11	4,23	0,41	-	0,06	0,21	13,77	0,35	5,17	24,84	2.790
2010	51,10	5,39	5,69	25,62	5,39	0,52	-	0,07	0,26	17,54	0,45	6,58	31,64	3.553
2011	49,15	5,18	5,47	24,65	5,18	0,50	-	0,07	0,25	16,88	0,43	6,33	30,44	3.419
2012	43,99	4,64	4,90	22,06	4,64	0,45	-	0,06	0,23	15,10	0,39	5,67	27,24	3.059
2013	54,26	5,72	6,04	27,21	5,72	0,56	-	0,08	0,28	18,63	0,48	6,99	33,60	3.774
2014	54,07	5,70	6,02	27,11	5,70	0,55	-	0,08	0,28	18,56	0,48	6,97	33,49	3.760
2015	60,80	6,41	6,77	30,49	6,41	0,62	-	0,09	0,31	20,88	0,53	7,83	37,66	4.229
2016	56,23	5,93	6,26	28,20	5,93	0,58	-	0,08	0,29	19,31	0,49	7,24	34,82	3.911
2017	60,95	6,42	6,78	30,56	6,42	0,62	-	0,09	0,31	20,93	0,54	7,85	37,75	4.239
2018	61,76	6,51	6,87	30,97	6,51	0,63	-	0,09	0,32	21,20	0,54	7,96	38,25	4.295
2019	53,00	5,59	5,90	26,58	5,59	0,54	-	0,08	0,27	18,20	0,47	6,83	32,83	3.686