

## HORNOS ELÉCTRICOS DE LAS ACERÍAS

ACTIVIDADES CUBIERTAS SEGÚN NOMENCLATURA	
NOMENCLATURA	CÓDIGO
SNAP 97	04.02.07
CRF	2C1a
NFR	2C1

### Descripción de los procesos generadores de emisiones

En esta ficha se describen los procesos que tienen lugar en los hornos eléctricos de las acerías, así como los contaminantes asociados a esta actividad. Los contaminantes derivados de la combustión de las calderas que complementan a los hornos eléctricos están recogidos en la ficha [“Combustión estacionaria industrial no específica”](#).

El acero se fabrica y recicla mediante dos rutas que son complementarias, dado que la primera parte del mineral de hierro, siderurgia integral<sup>1</sup>, y la segunda, objeto de esta ficha, recicla los múltiples residuos de acero al final de su vida útil (siderurgia no integral o ruta eléctrica).

La fabricación de acero a través de la ruta eléctrica se lleva a cabo en dos etapas:

- i. Fundición de la chatarra (HORNO DE ARCO ELÉCTRICO)
- ii. Afinamiento del acero bruto y adición de ferroaleaciones (METALURGIA SECUNDARIA)

A continuación, se detalla cada uno de estos procesos:

#### i. Horno arco eléctrico:

El horno de arco eléctrico emplea energía eléctrica para fundir la chatarra de acero. Entre la materia prima y los electrodos se genera un arco eléctrico cuyo calor desprendido funde la chatarra. El horno se compone de tres partes (solera, cuba y bóveda) y puede inclinarse hidráulicamente. Estas tres partes están revestidas en su interior de material refractario. Además, los muros exteriores de la solera, la cuba y la bóveda poseen una estructura de acero que normalmente está refrigerada por agua. Justo al lado del horno de arco eléctrico se sitúa un transformador especial de potencia, por lo general refrigerado por aceite y alojado en una carcasa para su protección. El conjunto se completa con una unidad hidráulica para el movimiento de los electrodos y el mecanismo de elevación de la bóveda, un sistema de refrigeración de agua, uno de aire comprimido, otro de extracción de los gases resultantes y un carro de transporte de cucharas.

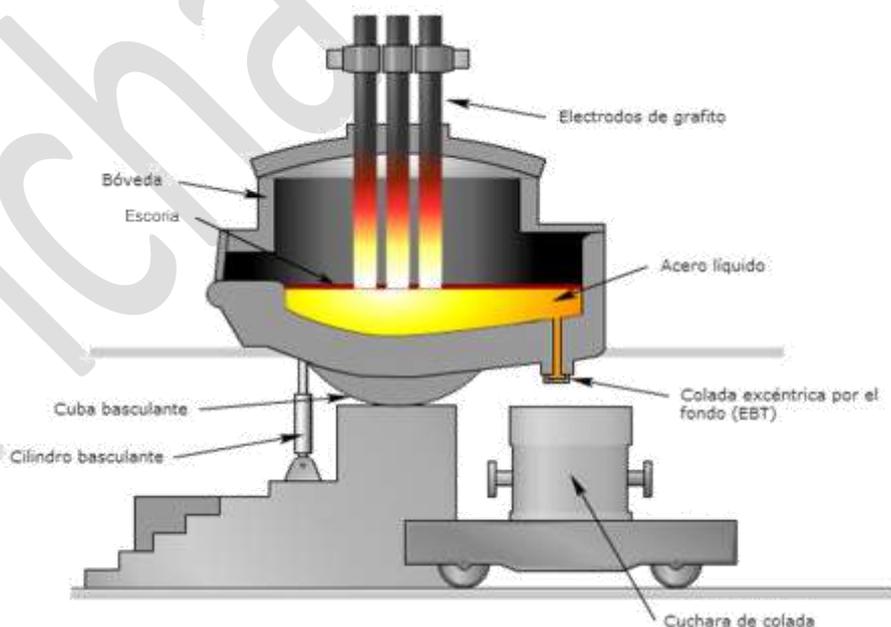


Figura 1. Esquema de un horno de arco eléctrico (Fuente: <https://metfusion.wordpress.com>)

<sup>1</sup> Se conoce como siderurgia integral a la planta industrial dedicada al proceso completo de producir acero a partir del mineral de hierro (hornos altos).

El control de calidad de la chatarra resulta esencial en el proceso. La acería eléctrica utiliza como materia prima fundamentalmente, y hasta en un 100%, chatarra férrica. La capacidad del horno eléctrico de arco puede ir de unas pocas hasta 300 toneladas, pero lo habitual es una capacidad de entre 60 y 150 toneladas, con un tamaño de cuba de 5 a 8 metros.

La chatarra se transporta hasta el horno en cestas que se abren por la zona inferior. Las cestas incluyen, además, los fundentes y agentes carbonosos. En el momento en que la chatarra se ha cargado en el horno, se procede a un precalentamiento de la misma con la ayuda de unos quemadores de gas natural, tras lo cual, se bajan los electrodos del horno y se conecta la corriente para iniciar la fusión. Cuando se ha completado parte de la fusión, se libera espacio en el horno y se añade entonces una nueva cesta de chatarra.

El proceso de fusión se completa con la oxidación de ciertas impurezas con el fin de eliminarlas, ayudado por la inyección de oxígeno. El proceso implica la formación de una costra de óxidos, que evita las pérdidas de energía y protege el acero líquido. Esta costra se retira posteriormente formando la escoria, que se aprovechará en distintas aplicaciones. Después de la fusión el acero pasa a un segundo horno más pequeño, en el cual se ajusta la composición de los múltiples aleantes que determinarán los distintos tipos de acero.

## ii. Metalurgia secundaria:

En esta fase el acero en bruto debe afinarse todavía más, ajustando su composición y temperatura. Las operaciones que se llevan a cabo en esta fase, conocida como metalurgia secundaria, son:

Ajuste de la composición: se añaden los elementos de aleación necesarios (cromo, boro, wolframio, molibdeno, cobre, níquel, cobalto, plomo, manganeso, etc.) para que la composición sea la especificada, a la vez que se inyecta un gas inerte para homogeneizar el baño.

Desulfuración: el azufre confiere gran fragilidad al acero; para eliminarlo se añade un agente desulfurante mientras se sopla un gas inerte.

Eliminación de gases: la presencia de gases puede dar lugar a sopladuras o huecos en la masa; para extraerlos se introduce en la cuchara una campana conectada al vacío.

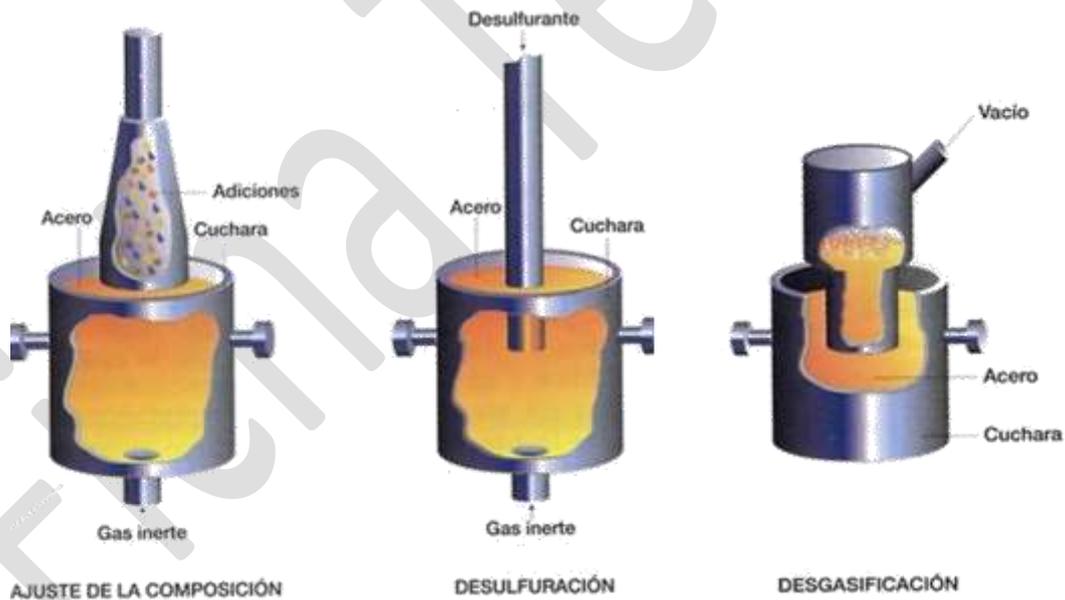


Figura 2. Esquema de un horno de afinado (Fuente: <https://metfusion.wordpress.com>)

Finalmente, el acero que resulta de este proceso de afinado se envía a los trenes de laminación, donde se les dará la forma requerida.

A continuación, la Figura 2 ilustra, de manera esquemática, el proceso llevado a cabo en un horno de arco eléctrico, así como su relación con otros procesos dentro y fuera de la industria siderúrgica.

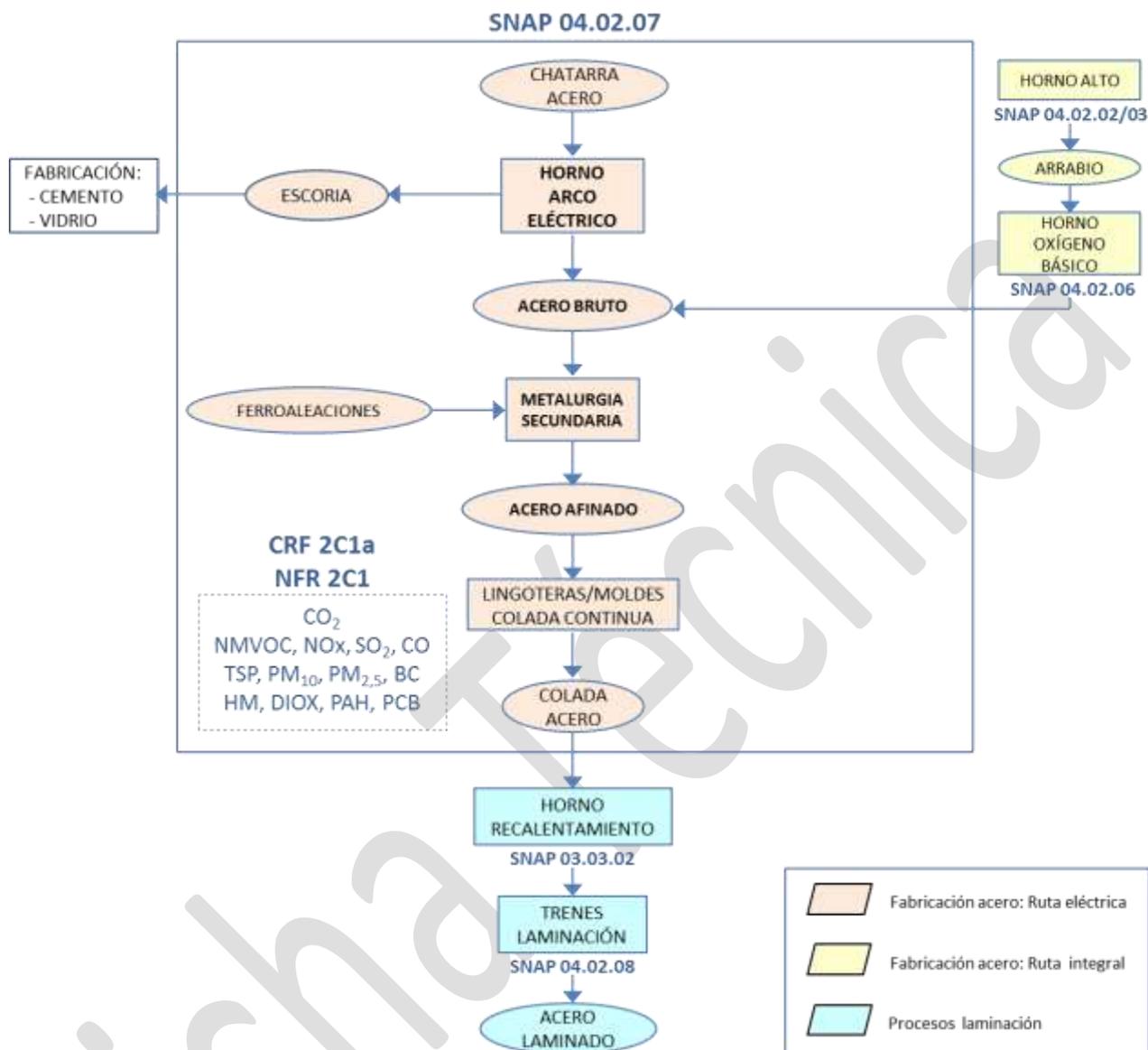


Figura 3. Esquema proceso de producción de acero en los HORNOS ELÉCTRICOS y su relación con otras actividades (Elaboración propia)

La metodología empleada para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> en los hornos eléctricos ha sido desarrollada por la asociación UNESID. Se basa en la realización de un balance de masa de carbono entre las entradas y las salidas a dichos hornos, asumiendo que el carbono aportado por algunos compuestos de entrada (chatarra de acero, recarburantes de ajuste final<sup>2</sup> y las ferroaleaciones, aleantes, aditivos e inoculantes de baño de baja representatividad (en carbono o en materialidad)) es equivalente al carbono que sale en forma de productos y subproductos de acero, escorias y polvos de acería (materiales representados en color naranja en la figura 4). De esta forma, las emisiones de CO<sub>2</sub> se derivan del consumo de: arrabio, prerreducidos de hierro, otras chatarras férricas<sup>3</sup>, carbones como insumos de proceso, electrodos de grafito, calizas y dolomías, determinadas ferroaleaciones (FeCr, FeNi, FeNiMo, FeMo, FeMn), carburos de silicio y calcio, así como aquellos materiales cuyo

<sup>2</sup> Grafitos y antracitas u otros compuestos de muy elevado carbono, generalmente molido, usados durante la metalurgia secundaria para ajustar en centésimas el contenido en carbono requerido por cada acero. Si se usaran los propios electrodos para dicho ajuste (sumergiéndolos en el baño), entonces sí sería contabilizadas sus emisiones.

<sup>3</sup> La chatarra de acero NO incluye chatarras férricas de fundición, arrabio, escarpas de las anteriores, lingotillos de fundición y similares que deben calcular las emisiones que llevan asociadas. Todos estos materiales tienen contenidos de carbono a partir del 2 %.

contenido en carbono sea superior al 0,15% o cuya presencia esté en una proporción superior a 1/4000 la producción de acero útil colado.

La siguiente figura representa el balance de carbono considerado en las acerías eléctricas:

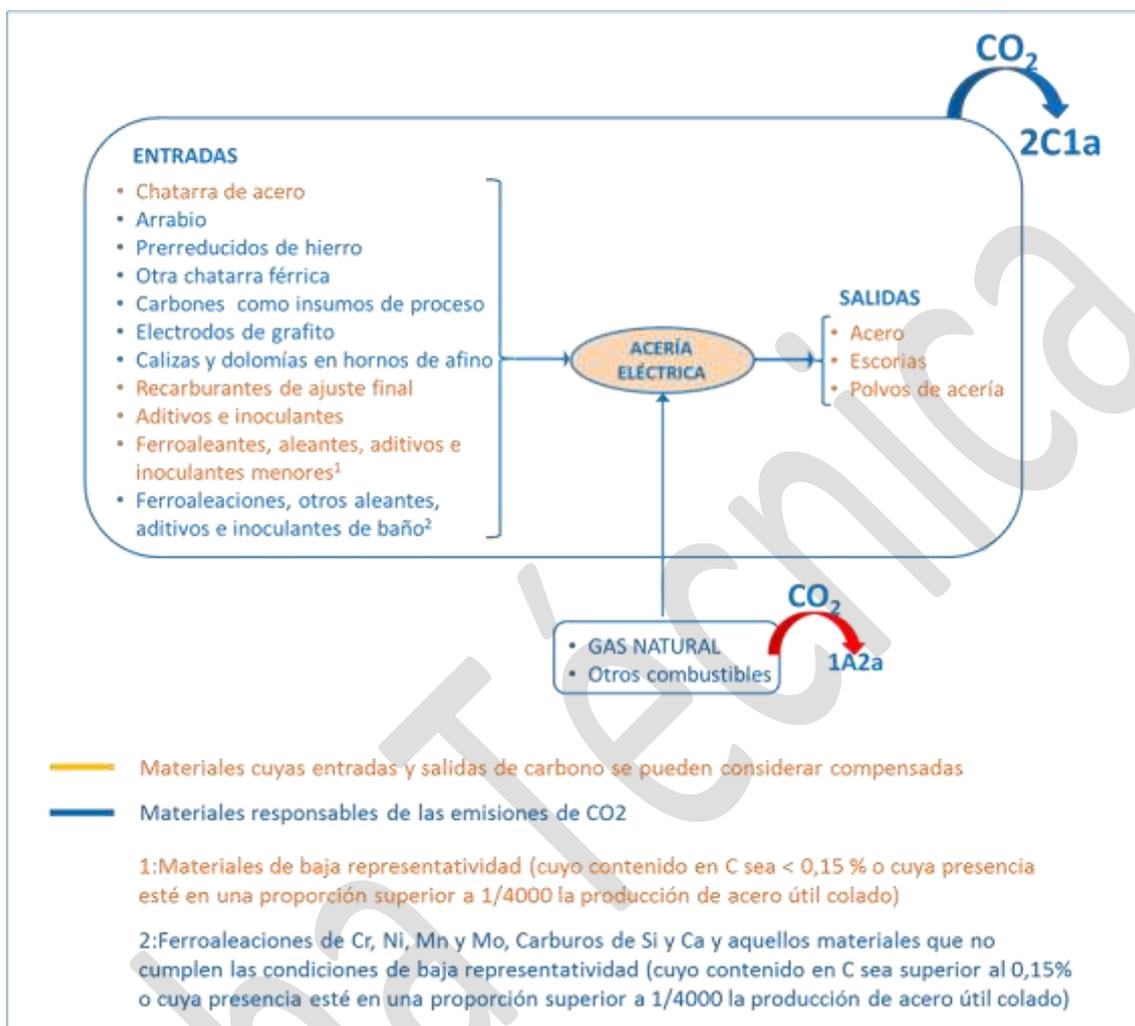


Figura 4. Esquema del balance de carbono considerado en las acerías eléctricas (Elaboración propia)

## 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 NFR 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 Keys* 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
03.01.03	1A2a	1A2a	Combustión estacionaria industrial no específica
03.03.02	1A2a	1A2a	Hornos de recalentamiento de hierro y acero
04.02.06	2C1a	2C1	Hornos de oxígeno básico
04.02.08	2C1f	2C1	Laminación de acero

## Descripción metodológica general

Contaminante	Tier	Fuente	Descripción
CO <sub>2</sub>	T2	IQ	Balance de masa de carbono entre las entradas y salidas a la acería, 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
NO <sub>x</sub> , NM <sub>VOC</sub> , SO <sub>2</sub>	T2	Guía EMEP 2016 (Cap. 2C1, tablas 3.19)	Aplicación de un factor de emisión por defecto a la producción de acero
PM	T2	Guía EMEP 2016 (Cap. 2C1, tablas 3.19)	Aplicación de un factor de emisión por defecto a la producción de acero
CO	T2	Guía EMEP 2016 (Cap. 2C1, tablas 3.19)	Aplicación de un factor de emisión por defecto a la producción de acero
HM	T2	Guía EMEP 2016 (Cap. 2C1, tablas 3.19)	Aplicación de un factor de emisión por defecto a la producción de acero
DIOX	T2	Guía EMEP 2016 (Cap. 2C1, tablas 3.19)	Aplicación de un factor de emisión por defecto a la producción de acero
PAH	T2	Guía EMEP 2016 (Cap. 2C1, tablas 3.19)	Aplicación de un factor de emisión por defecto a la producción de acero
PCB	T2	Guía EMEP 2016 (Cap. 2C1, tablas 3.19)	Aplicación de un factor de emisión por defecto a la producción de acero

## Variable de actividad

Variable	Descripción
Producción de acero	Expresada en toneladas

En España la producción de acero a través de la ruta eléctrica supone entre un 65-70 % de la producción total de acero, siendo el 30-35% restante producido por la vía integral.

## Fuentes de información sobre la variable de actividad

Producción de acero	
Periodo	Fuente
1990	"Informe sobre la Industria Española"
1991-1993	Subdirección General de Industrias Básicas y de Proceso del Ministerio de Industria y Energía (MINER)
1994-2017	Cuestionarios individualizados (IQ) facilitados por la asociación UNESID

En la actualidad existen en España 26 plantas de siderurgia no integral, pertenecientes a la asociación de empresas productoras de acero y de productos de primera transformación del acero de España, UNESID (Unión de Empresas Siderúrgicas).

## Fuente de los factores de emisión

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
NMVOC, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub>	D	Guía EMEP 2016 (Cap. 2C1, tablas 3.19)	Factor de emisión por defecto
PM	D	Guía EMEP 2016 (Cap. 2C1, tablas 3.19)	Factor de emisión por defecto
CO	D	Guía EMEP 2016 (Cap. 2C1, tablas 3.19)	Factor de emisión por defecto
HM	D	Guía EMEP 2016 (Cap. 2C1, tablas 3.19)	Factor de emisión por defecto
DIOX	D	Guía EMEP 2016 (Cap. 2C1, tablas 3.19)	Factor de emisión por defecto
PAH	D	Guía EMEP 2016 (Cap. 2C1, tablas 3.19)	Factor de emisión por defecto
PCB	D	Guía EMEP 2016 (Cap. 2C1, tablas 3.19)	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	<u>Variable de actividad:</u> se sitúa en un 5%, al tratarse de información directa de las plantas y de la asociación sectorial UNESID <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

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>	3,43	64	<u>Variable de actividad</u> : se sitúa en un 3,43%, al tratarse de información directa las plantas y de la asociación sectorial UNESID <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 EMEP 2016 en el capítulo 2C1, tabla 3.19
NMVOC, NOx	-	-	No estimada. El Inventario contempla en su estimación de incertidumbre total, aquellos sectores que más emiten hasta completar el 97% de las emisiones totales, quedando esta actividad y contaminantes fuera del cómputo. Para más información consultar la metodología para el cálculo de incertidumbres del reporte a CRLTAP
TSP, PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , BC	-	-	
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 ubica cada planta.

### Juicio de experto asociado

No procede.

### Fecha de actualización

Octubre 2019.

## ANEXO I

### Datos de la variable de actividad

Año	Producción de acero (toneladas)
1990	7.342.900
1991	7.313.700
1992	7.277.100
1993	7.476.900
1994	7.917.494
1995	8.643.836
1996	7.950.487
1997	9.642.203
1998	10.537.576
1999	10.690.770
2000	11.656.949
2001	12.282.612
2002	12.303.394
2003	12.664.169
2004	13.643.032
2005	12.967.792
2006	13.924.650
2007	14.268.194
2008	13.684.139
2009	10.891.734
2010	12.392.825
2011	11.237.305
2012	10.051.802
2013	10.085.456
2014	10.142.180
2015	10.130.908
2016	9.143.098
2017	9.702.163

## ANEXO II

### Datos de factores de emisión

CO <sub>2</sub>	NOX	NMVOC	SO <sub>2</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	TSP	BC	CO	Pb	Cd	Hg	As	Cr	Cu	Ni	Zn	DIOX	PAH	PCB
kg	g	g	g	g	g	g	g	kg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	ng	mg	mg
(a)	130	46	60	21	24	30	0,0756	1,7	1500	120	76	8,1	105	20	410	2300	3000	480	2,5

Unidades referidas a tonelada de acero producido.

(a) Información por planta proporcionada anualmente por UNESID.

Ficha Técnica

## ANEXO III

### Cálculo de emisiones

Las emisiones de CO<sub>2</sub> se calculan realizando un balance de masa de carbono entre las entradas y salidas a la acería, 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.

Para el resto de contaminantes las emisiones se obtienen multiplicando los factores de emisión indicados en el anexo II por la producción de acero en cada año, según la ecuación:

$$Emisiones = M_{ac} * FE / 1000000$$

$$Emisiones \text{ de NMVOC } 2017 (t) = 9.702.163 * \frac{46}{1000000} = 446$$

$M_{ac}$  = Masa de acero producido (t)

$FE$  = Factor de emisión (g NMVOC/t acero)

## ANEXO IV

### Emisiones

AÑO	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	NM <sub>VOC</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	TSP	BC	CO	Pb	Cd	Hg	As	Cr	Cu	Ni	Zn	Diox	PAH	PCB
	kt	t	t	t	t	t	t	t	t	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	g	kg	kg
1990	357,97	954,58	337,77	440,57					12.482,93	11.014,35	895,83	558,06	59,48	771,00	146,86	2.973,87	16.888,67	22,03	3.524,59	18,36
1991	356,55	950,78	336,43	438,82					12.433,29	10.970,55	892,27	555,84	59,24	767,94	146,27	2.962,05	16.821,51	21,94	3.510,58	18,28
1992	354,77	946,02	334,75	436,63					12.371,07	10.915,65	887,81	553,06	58,94	764,10	145,54	2.947,23	16.737,33	21,83	3.493,01	18,19
1993	364,51	972,00	343,94	448,61					12.710,73	11.215,35	912,18	568,24	60,56	785,07	149,54	3.028,14	17.196,87	22,43	3.588,91	18,69
1994	385,99	1.029,27	364,20	475,05					13.459,74	11.876,24	965,93	601,73	64,13	831,34	158,35	3.206,59	18.210,24	23,75	3.800,40	19,79
1995	421,39	1.123,70	397,62	518,63					14.694,52	12.965,75	1.054,55	656,93	70,02	907,60	172,88	3.500,75	19.880,82	25,93	4.149,04	21,61
1996	387,59	1.033,56	365,72	477,03					13.515,83	11.925,73	969,96	604,24	64,40	834,80	159,01	3.219,95	18.286,12	23,85	3.816,23	19,88
1997	470,07	1.253,49	443,54	578,53					16.391,75	14.463,30	1.176,35	732,81	78,10	1.012,43	192,84	3.905,09	22.177,07	28,93	4.628,26	24,11
1998	513,72	1.369,88	484,73	632,25					17.913,88	15.806,36	1.285,58	800,86	85,35	1.106,45	210,75	4.267,72	24.236,42	31,61	5.058,04	26,34
1999	521,18	1.389,80	491,78	641,45					18.174,31	16.036,16	1.304,27	812,50	86,60	1.122,53	213,82	4.329,76	24.588,77	32,07	5.131,57	26,73
2000	568,29	1.515,40	536,22	699,42	244,80	279,77	349,71	0,88	19.816,81	17.485,42	1.422,15	885,93	94,42	1.223,98	233,14	4.721,06	26.810,98	34,97	5.595,34	29,14
2001	598,79	1.596,74	565,00	736,96	257,93	294,78	368,48	0,93	20.880,44	18.423,92	1.498,48	933,48	99,49	1.289,67	245,65	4.974,46	28.250,01	36,85	5.895,65	30,71
2002	599,80	1.599,44	565,96	738,20	258,37	295,28	369,10	0,93	20.915,77	18.455,09	1.501,01	935,06	99,66	1.291,86	246,07	4.982,87	28.297,81	36,91	5.905,63	30,76
2003	617,39	1.646,34	582,55	759,85	265,95	303,94	379,93	0,96	21.529,09	18.996,25	1.545,03	962,48	102,58	1.329,74	253,28	5.128,99	29.127,59	37,99	6.078,80	31,66
2004	665,11	1.773,59	627,58	818,58	286,50	327,43	409,29	1,03	23.193,15	20.464,55	1.664,45	1.036,87	110,51	1.432,52	272,86	5.525,43	31.378,97	40,93	6.548,66	34,11
2005	800,67	1.685,81	596,52	778,07	272,32	311,23	389,03	0,98	22,05	19.451,69	1.556,14	985,55	105,04	1.361,62	259,36	5.316,79	29.825,92	38,90	6.224,54	32,42
2006	842,12	1.810,20	640,53	835,48	292,42	334,19	417,74	1,05	23,67	20.886,97	1.670,96	1.058,27	112,79	1.462,09	278,49	5.709,11	32.026,69	41,77	6.683,83	34,81
2007	816,75	1.854,87	656,34	856,09	299,63	342,44	428,05	1,08	24,26	21.402,29	1.712,18	1.084,38	115,57	1.498,16	285,36	5.849,96	32.816,85	42,80	6.848,73	35,67
2008	754,34	1.778,94	629,47	821,05	287,37	328,42	410,52	1,03	23,26	20.526,21	1.642,10	1.039,99	110,84	1.436,83	273,68	5.610,50	31.473,52	41,05	6.568,39	34,21
2009	595,36	1.415,93	501,02	653,50	228,73	261,40	326,75	0,82	18,52	16.337,60	1.307,01	827,77	88,22	1.143,63	217,83	4.465,61	25.050,99	32,68	5.228,03	27,23
2010	635,18	1.611,07	570,07	743,57	260,25	297,43	371,78	0,94	21,07	18.589,24	1.487,14	941,85	100,38	1.301,25	247,86	5.081,06	28.503,50	37,18	5.948,56	30,98
2011	602,78	1.460,85	516,92	674,24	235,98	269,70	337,12	0,85	19,10	16.855,96	1.348,48	854,04	91,02	1.179,92	224,75	4.607,29	25.845,80	33,71	5.393,91	28,09
2012	478,66	1.306,73	462,38	603,11	211,09	241,24	301,55	0,76	17,09	15.077,70	1.206,22	763,94	81,42	1.055,44	201,04	4.121,24	23.119,15	30,16	4.824,87	25,13
2013	502,63	1.311,11	463,93	605,13	211,79	242,05	302,56	0,76	17,15	15.128,18	1.210,25	766,49	81,69	1.058,97	201,71	4.135,04	23.196,55	30,26	4.841,02	25,21
2014	466,27	1.318,48	466,54	608,53	212,99	243,41	304,27	0,77	17,24	15.213,27	1.217,06	770,81	82,15	1.064,93	202,84	4.158,29	23.327,01	30,43	4.868,25	25,36
2015	504,53	1.317,02	466,02	607,85	212,75	243,14	303,93	0,77	17,22	15.196,36	1.215,71	769,95	82,06	1.063,75	202,62	4.153,67	23.301,09	30,39	4.862,84	25,33
2016	398,11	1.188,60	420,58	548,59	192,01	219,43	274,29	0,69	15,54	13.714,65	1.097,17	694,88	74,06	960,03	182,86	3.748,67	21.029,13	27,43	4.388,69	22,86
2017	425,67	1.261,28	446,30	582,13	203,75	232,85	291,06	0,73	16,49	14.553,24	1.164,26	737,36	78,59	1.018,73	194,04	3.977,89	22.314,98	29,11	4.657,04	24,26