

FABRICACIÓN DE FERROALEACIONES (EMISIONES DE PROCESO)

ACTIVIDADES CUBIERTAS SEGÚN NOMENCLATURA	
NOMENCLATURA	CÓDIGO
SNAP 97	04.03.02
CRF	2C2
NFR	2C2

Descripción de los procesos generadores de emisiones

En esta ficha se describen los procesos que tienen lugar en la producción ferroaleaciones, así como los contaminantes asociados a esta actividad.

Ferroaleación es un término genérico para designar las aleaciones de hierro que poseen un elemento constitutivo además del carbón y que se caracterizan por conferir cualidades distintivas al acero y al hierro fundido. La ventaja para el acero, al introducir los elementos de aleación en esta forma, reside en que las ferroaleaciones tienen puntos de fusión más bajos que los propios elementos de aleación, de manera que la colada los absorbe más fácilmente. Su desarrollo, por tanto, está íntimamente ligado a la industria siderúrgica.

Las ferroaleaciones más conocidas y ampliamente utilizadas son las denominadas “ferroaleaciones en masa”, por su producción a gran escala, y están constituidas por silicio, manganeso y cromo, cada una con sus propiedades características:

- **Ferrosilicio:** Se utiliza como desoxidante y descarburizante. Mejora las características mecánicas de las piezas fundidas. En la fundición de acero inoxidable ayuda a mantener el nivel de inclusiones y el contenido de carbono final en niveles muy bajos. Los principales consumidores de ferrosilicio son las acerías, seguidas a gran distancia por los fundidores de hierro de piezas moldeadas.
- **Ferromanganeso:** Se utiliza también como desoxidante y desulfurante. El manganeso mejora la resistencia a la tracción, la maniobrabilidad, la resistencia mecánica, la dureza y la resistencia a la abrasión. Además, mejora enormemente la capacidad de soldadura.
- **Silicomanganeso:** Aporta las cualidades del manganeso y del silicio en una sola ferroaleación. Ambos, silicio y manganeso, son buenos agentes desoxidantes, pero combinados en forma de SiMn su efecto desoxidante es mayor y se produce un acero más limpio.
- **Ferrocromo:** El cromo proporciona resistencia a la corrosión y a la oxidación. También mejora la resistencia al desgaste. Los productores de acero son los mayores consumidores de ferrocromo, especialmente los productores de acero inoxidable, cuyo contenido en cromo se encuentra entre el 10 y el 20%.

En España sólo se producen ferrosilicio, ferromanganeso y silicomanganeso. No obstante, los minerales de manganeso han de ser importados, ya que los existentes a nivel nacional no son aprovechables. El ferrocromo, por su parte, se produce fundamentalmente en Sudáfrica, Kazajstán y la India, donde existen grandes yacimientos de cromo.

El proceso productivo de las ferroaleaciones es común a todas ellas, con pequeñas variaciones y consiste, básicamente, en mezclar los minerales en bruto, los reductores carbonosos y los fundentes en un horno de arco eléctrico, donde se calientan a altas temperaturas para su reducción y fundición. Este proceso se puede resumir según la siguiente fórmula:



- **Minerales metálicos:** La mayoría de los metales se encuentran en la naturaleza formando parte de minerales, en formas oxidadas, por lo que para su obtención se hace necesario someterlos a un proceso de reducción.
- **Reductores:** Son generalmente carbones (hulla y antracita) y coques, pero el biocarbono (carbón vegetal y madera) también es ampliamente utilizado. El carbono de estos agentes es capaz de unirse al oxígeno y liberar los metales, generando monóxido de carbono en el proceso que, posteriormente, puede convertirse en CO₂.
- **Fundentes:** Los más empleados son la caliza y dolomía. Su función principal es ayudar a disminuir el punto de fusión de la mezcla, así como formar una escoria que recoja las impurezas que acompañan a los minerales, haciendo que esta flote por encima del material fundido y se pueda eliminar fácilmente. Además de las emisiones procedentes de los agentes reductores y electrodos, la calcinación de los carbonatos da lugar a CO₂ por descarbonatación.

A continuación se presentan sendos esquemas que ilustran los procesos productivos del ferromanganeso y silicomanganeso por un lado y del ferrosilicio por otro:

SNAP 04.03.02

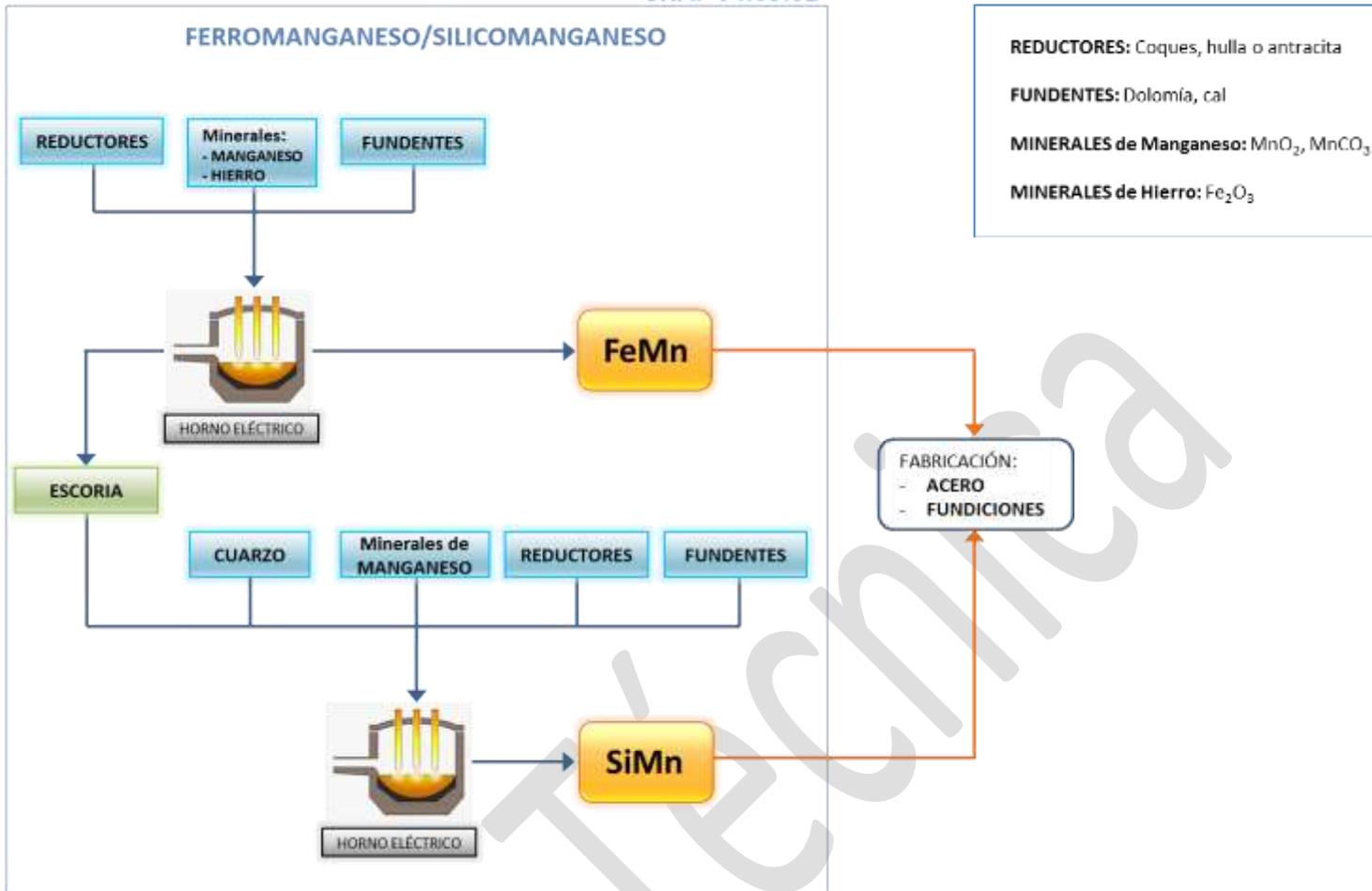


Figura 1. Proceso productivo del Ferromanganeso y Silicomanganeso (elaboración propia)

SNAP 04.03.02

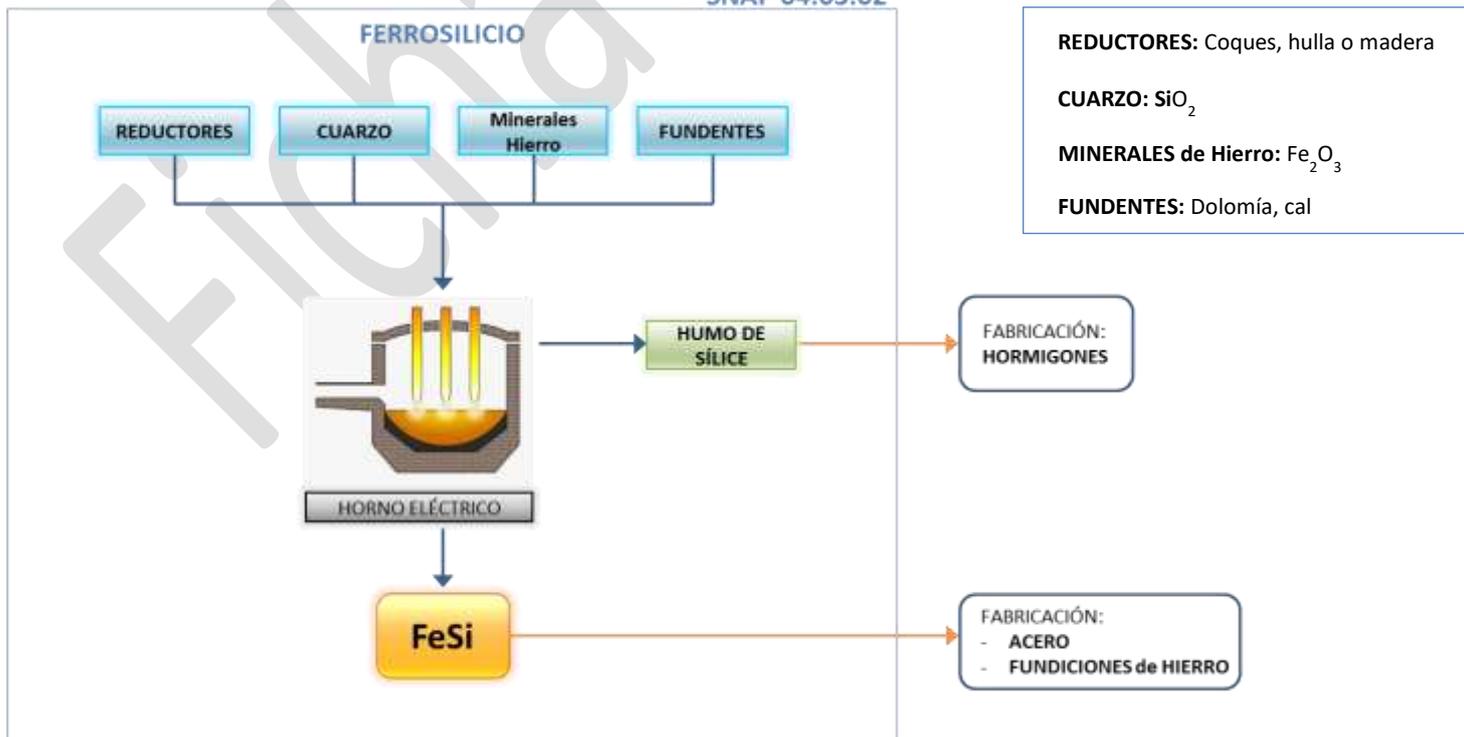


Figura 2. Proceso productivo del Ferrosilicio (elaboración propia)

Por otro lado, igual que ocurre en otros procesos de la industria metalúrgica, las ferroaleaciones se pueden obtener también de forma secundaria, mediante el reciclado y fusión de chatarra. En este caso el proceso se resume en esta otra fórmula:

Chatarra metálica + Chatarra de hierro → Ferroaleación

Además, existe en el mercado otro grupo de ferroaleaciones denominadas “ferroaleaciones especiales”, basadas en diferentes metales: bario, cobalto, cobre, molibdeno, níquel, fósforo, titanio, tungsteno, vanadio y zirconio, que buscan conferir características muy específicas a los metales aleados. Aunque producidas en menores cantidades que las anteriores, su importancia es cada vez mayor y tienen un uso más variado que el exclusivo de la industria siderúrgica.

En España los hornos de fundición más utilizados en la fabricación de ferroaleaciones son los **hornos eléctricos de arco sumergido**, dotados de electrodos de acción conjunta. Estos, a su vez, se clasifican en tres tipos, de los que se señalan sus principales ventajas e inconvenientes:

Tipo	Ventajas	Inconvenientes
Abierto	- Diseño sencillo - Costes de inversión y mantenimiento bajos	- Consumo alto de energía - Volumen elevado de emisiones a la atmósfera
Semiabierto	- Recuperación de E ^a como E ^a eléctrica - Menores emisiones	- Consumo de energía relativamente alto - Coste de mantenimiento alto - Sistema complejo
Cubierto	- Recuperación de E ^a en forma de gas rico en CO como combustible secundario - Volumen bajo de emisiones - Sistema sencillo	- Emisiones constituidas mayoritariamente por CO

Las emisiones principales en la producción de ferroaleaciones son el CO, el CO₂ y las partículas.

Las emisiones primarias en los hornos de arco cubiertos consisten casi completamente en CO, en contraposición al CO₂, debido a la intensidad del medio reductor. Este CO se emplea para producir energía en calderas, o bien se quema en antorcha. Se supone que la energía producida se utiliza internamente en la planta y que el contenido de carbono del CO se convierte ulteriormente en CO₂ dentro de la planta.

El gas CO producido en los hornos abiertos o semicubiertos se quema en CO₂ por encima del nivel de la carga. Se supone que todo el CO que se emite hacia la atmósfera se convierte en CO₂ algunos días más tarde.

Es necesario señalar que las emisiones de CO₂ derivadas del empleo de biocarbono (carbón vegetal y madera) como agente reductor no se contabilizan en el reporte.

Contaminantes inventariados

Gases de efecto invernadero

CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	SF ₆
✓	✓	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 _x	NM _{VOC}	SO ₂	NH ₃	PM _{2,5}	PM ₁₀	TSP	BC	CO	Pb	Cd	Hg	As	Cr	Cu	Ni	Se	Zn	DIOX	PAH	HCB	PCB
NE	NE	NE	NE	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	NE	✓	✓	✓	✓	NE	✓	NE	✓	NA	NA

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
04.03.03	2C7	2C7c	Producción silicio metal

Descripción metodológica general

Contaminante	Tier	Fuente	Descripción
CO ₂	T2	IQ	Balace 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
CH ₄	T1	Guía IPCC 2006 (Vol 3, Cap. 4, tabla 4.7)	Aplicación de un factor de emisión por defecto a la producción de ferrosilicio
PM	T1	Guía EMEP 2019 (Cap. 2C2, tabla 3.1)	Aplicación de un factor de emisión por defecto a la producción de ferroaleación tipo
CO	T1	Comunicación técnica de CORINAIR a Noruega	Aplicación de un factor de emisión por defecto a la producción de ferroaleación tipo
HM	T1	“Experiences With The Heavy Metals Inventory in Slovakia”	Aplicación de un factor de emisión por defecto a la producción de ferromanganeso
PAH	T1	Holoubek I. et al. (1993),	Aplicación de un factor de emisión por defecto a la producción de ferroaleación tipo

Variable de actividad

Variable	Descripción
Producción de ferroaleaciones	Expresada en toneladas

Fuentes de información sobre la variable de actividad

Producción de acero	
Periodo	Fuente
1990-2018	Cuestionarios individualizados (IQ) facilitados por las plantas productoras

En la actualidad existen en España 4 plantas productoras de ferroaleaciones que pertenecen a una única compañía.



Empresa	Nombre	Provincia	Producto
FERROATLÁNTICA	Cee	A Coruña	Ferrosilicio
			Ferromanganeso
			Silicomanganeso
	Dumbría	A Coruña	Ferrosilicio
	Boo	Cantabria	Ferromanganeso
			Silicomanganeso
	Monzón	Huesca	Ferromanganeso
			Silicomanganeso

Figura 3. Distribución de las plantas productoras de ferroaleaciones en España (elaboración propia)

Fuente de los factores de emisión

Contaminante	Tipo	Fuente	Descripción
CO ₂	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 ₂ se derivan de la masa de este carbono diferencial elevada a la ratio 44/12
CH ₄	D	Guía IPCC 2006 (Vol 3, Cap. 4, tabla 4.7)	Factor de emisión por defecto
PM	D	Guía EMEP 2019 (Cap. 2C2, tabla 3.1)	Factor de emisión por defecto
CO	D	Comunicación técnica de CORINAIR a Noruega	Factor de emisión por defecto
HM	D	"Experiences With The Heavy Metals Inventory in Slovakia"	Factor de emisión por defecto
PAH	D	Holoubek I. et al. (1993),	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 2C2 es la recogida en la siguiente tabla.

Contaminante	Inc. VA (%)	Inc. FE (%)	Descripción
CO ₂	5	5	<u>Variable de actividad:</u> se sitúa en un 5%, al tratarse de información directa de las plantas <u>Factor de emisión:</u> se sitúa en el 5%, por ser los datos de contenido en carbono de los materiales proporcionados por las plantas (Guía IPCC 2006, volumen 3, capítulo 4, epíg. 4.3.3.1)
CH ₄	5	37,5	<u>Variable de actividad:</u> se sitúa en un 5%, al tratarse de información directa de las plantas <u>Factor de emisión:</u> incertidumbre obtenida a partir de los límites superior e inferior del intervalo de confianza establecido por la Guía IPCC 2006 en el volumen 3, capítulo 4, epíg. 4.3.3.1

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

Contaminante	Inc. VA (%)	Inc. FE (%)	Descripción
CO	-	-	Para estos contaminantes no se realizan análisis de incertidumbre. Para más información consultar la metodología para el cálculo de incertidumbres del reporte CRLTAP
TSP, PM ₁₀ , PM _{2,5} , 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 lo 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

Junio 2020.

Ficha Técnica

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

AÑO	CO ₂	CH ₄	PM2.5	PM10	TSP	BC	CO	Pb	Cd	As	Cr	Cu	Ni	Zn	PAH
	kt	t	t	t	t	t	t	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
1990	285,35	37,59					49.767,20	63,57	1,93	4,51	1,24	2,43	0,59	307,47	1.421,92
1991	250,22	43,81					38.819,20	16,66	0,51	1,18	0,32	0,64	0,16	80,58	1.109,12
1992	157,87	20,16					26.360,95	18,91	0,57	1,34	0,37	0,72	0,18	91,46	753,17
1993	243,39	31,64					41.622,70	36,11	1,10	2,56	0,70	1,38	0,34	174,64	1.189,22
1994	303,59	35,69					54.769,05	57,03	1,73	4,04	1,11	2,18	0,53	275,82	1.564,83
1995	354,57	38,13					64.437,10	73,66	2,24	5,22	1,43	2,81	0,69	356,26	1.841,06
1996	374,19	38,77					69.721,05	58,96	1,79	4,18	1,15	2,25	0,55	285,15	1.992,03
1997	424,97	42,40					84.210,00	82,96	2,52	5,88	1,62	3,17	0,78	401,24	2.406,00
1998	472,72	43,47					94.790,15	131,82	4,00	9,34	2,57	5,03	1,23	637,56	2.708,29
1999	444,75	44,07					85.635,55	121,18	3,68	8,59	2,36	4,62	1,13	586,09	2.446,73
2000	500,14	49,96	168,95	239,35	281,58	16,89	98.554,05	116,07	3,53	8,23	2,26	4,43	1,08	561,36	2.815,83
2001	514,08	53,70	173,07	245,18	288,45	17,31	100.955,75	136,63	4,15	9,68	2,66	5,21	1,28	660,81	2.884,45
2002	537,36	58,74	183,66	260,18	306,09	18,37	107.132,90	156,51	4,75	11,09	3,05	5,97	1,46	756,94	3.060,94
2003	566,90	66,49	190,66	270,11	317,77	19,07	111.220,90	161,32	4,90	11,43	3,14	6,16	1,51	780,21	3.177,74
2004	592,04	67,34	204,55	289,78	340,92	20,45	119.320,25	203,83	6,19	14,45	3,97	7,78	1,90	985,83	3.409,15
2005	635,54	64,17	217,10	307,56	361,84	21,71	126.643,97	198,73	6,04	14,08	3,87	7,58	1,86	961,13	3.618,40
2006	624,75	62,35	213,79	302,87	356,32	21,38	124.712,00	183,13	5,56	12,98	3,57	6,99	1,71	885,70	3.563,20
2007	655,51	66,56	228,57	323,81	380,96	22,86	133.334,64	195,43	5,94	13,85	3,81	7,46	1,83	945,17	3.809,56
2008	681,28	69,11	235,15	333,14	391,92	23,52	137.173,40	219,48	6,67	15,56	4,27	8,38	2,05	1.061,51	3.919,24
2009	269,99	32,01	84,67	119,95	141,12	8,47	49.392,35	34,58	1,05	2,45	0,67	1,32	0,32	167,24	1.411,21
2010	620,62	67,79	203,47	288,25	339,12	20,35	118.692,35	150,38	4,57	10,66	2,93	5,74	1,41	727,32	3.391,21
2011	655,87	68,88	207,38	293,79	345,64	20,74	120.974,07	132,45	4,02	9,39	2,58	5,05	1,24	640,58	3.456,40
2012	640,76	65,90	203,27	287,97	338,79	20,33	118.575,81	119,79	3,64	8,49	2,33	4,57	1,12	579,36	3.387,88
2013	606,13	70,67	220,05	311,74	366,75	22,00	128.362,06	174,98	5,31	12,40	3,41	6,68	1,64	846,27	3.667,49
2014	637,51	81,30	243,62	345,12	406,03	24,36	142.109,12	213,12	6,47	15,10	4,15	8,13	1,99	1.030,76	4.060,26
2015	595,34	76,54	214,26	303,54	357,11	21,43	124.987,65	183,25	5,57	12,99	3,57	6,99	1,71	886,26	3.571,08
2016	571,95	71,71	200,33	283,80	333,88	20,03	116.859,47	178,10	5,41	12,62	3,47	6,80	1,66	861,39	3.338,84
2017	646,45	75,65	227,79	322,70	379,65	22,78	132.876,45	203,90	6,19	14,45	3,97	7,78	1,91	986,15	3.796,47
2018	669,75	88,35	219,06	310,33	365,09	21,91	127.782,59	128,25	3,90	9,09	2,50	4,89	1,20	620,27	3.650,93