

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

Huella de Carbono de los municipios andaluces



Años 2000–2012



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional

Huella de Carbono de los municipios andaluces. Año 2000-2012

El presente informe ha sido preparado por Miguel Méndez Jiménez. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.

Fotografía portada: Curro Cassillas

Edita: Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Sevilla, septiembre 2015.

METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO



ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Introducción.....	19
2. Generalidades sobre contabilidad de emisiones de gases de efecto invernadero.....	21
2.1. Gases de efecto invernadero.....	22
2.2. Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero	24
2.3. Huella de Carbono municipal.....	26
3. Metodología de cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero.....	27
3.1. Emisiones del sector transporte.....	29
3.2. Emisiones del sector residuos.....	41
3.3. Emisiones del sector aguas residuales.....	53
3.4. Emisiones del sector agricultura.....	63
3.5. Emisiones del sector ganadería.....	75
3.6. Emisiones del sector consumo de combustibles.....	83
3.7. Emisiones del sector consumo de energía eléctrica.....	89
3.8. Sumideros.....	93

1. INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN

La Huella de Carbono es una herramienta que calcula un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de Andalucía ofreciendo resultados a nivel municipal. Se calculan las emisiones de los principales gases de efecto invernadero, para los sectores emisores difusos más relevantes y las derivadas del consumo de energía eléctrica.

Una de las características fundamentales de este inventario a escala local es su homogeneidad, dado que se aplican las mismas fuentes de datos y las mismas metodologías de cálculo para todos los municipios andaluces. Esta característica asegura la coherencia intermunicipal, permitiendo la comparación de resultados, así como la optimización de recursos de las distintas administraciones.

En el presente documento se describen las metodologías de cálculo de las emisiones de los distintos sectores emisores y se identifican las fuentes de información.



2. GENERALIDADES SOBRE CONTABILIDAD DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO



2. GENERALIDADES SOBRE CONTABILIDAD DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

2.1. GASES DE EFECTO INVERNADERO

El Protocolo de Kioto contempla 6 tipos de gases de efecto invernadero. En la Huella de Carbono Municipal no se contabilizan todos ellos, solo los siguientes:

- Dióxido de carbono (CO_2).
Gas que se produce de forma natural, como subproducto de la combustión de combustibles fósiles y biomasa y como subproducto de otros procesos industriales. Es el principal gas de efecto invernadero antropogénico que afecta a los procesos de forzamiento radiativo del planeta.
- Metano (CH_4).
Producido por la descomposición anaerobia de residuos en vertederos, digestión animal, descomposición de residuos animales, producción y distribución de gas natural y petróleo, producción de carbón, y combustión incompleta de combustibles fósiles.
- Óxido nitroso (N_2O).
Potente gas de efecto invernadero que se origina por el metabolismo del nitrógeno por los microorganismos del suelo, la combustión de combustibles fósiles y de biomasa, y la producción de ácido nítrico.

Otros gases de efecto invernadero del Protocolo de Kioto son los siguientes:

- HFCs (Hidrofluorocarbonos).
Utilizados sobre todo en refrigeración, extinción de incendios, como propelentes de espumas y fabricación de componentes electrónicos.
- PFCs (Perfluorocarbonos).
Se usa en la fundición del aluminio.
- Hexafluoruro de azufre (SF_6).
Se utiliza principalmente como gas aislante en equipos para distribución de energía eléctrica por su alta constante dieléctrica, y en la industria electrónica.

2.1.1. POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Cada uno de los gases de efecto invernadero afecta a la atmósfera en distinto grado y permanece allí durante un periodo de tiempo diferente. La medida en la que un gas de efecto invernadero determinado contribuye al calentamiento global se define como su Potencial de Calentamiento Global.

Para hacer comparables los efectos de los diferentes gases, el Potencial de Calentamiento Global expresa el potencial de calentamiento de un determinado gas en comparación con el que posee el CO_2 durante el mismo periodo de tiempo, por lo que el Potencial de Calentamiento Global del CO_2 es siempre 1.

Algunos gases provocan mucho más calentamiento que el CO_2 pero desaparecen de la atmósfera más rápidamente que éste, de modo que pueden representar un problema considerable durante unos pocos años pero pasan a ser un problema menor más adelante. Por el contrario, otros pueden tener una persistencia mayor, planteando así problemas durante un largo periodo de tiempo.

En la siguiente tabla se muestran los valores del potencial de calentamiento del Inventario Nacional de Emisiones serie 1990-2012.

Tabla 1. Potenciales de Calentamiento Global de gases de efecto invernadero

Gas	Fórmula	Potencial de Calentamiento Global
Dióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	21
Óxido nitroso	N ₂ O	310
Hidrofluorocarburos		
HFC-23	CHF ₃	11700
HFC-32	CH ₂ F ₂	650
HFC-41	CH ₃ F	150
HFC-43-10mee	C ₅ H ₂ F ₁₀	1300
HFC-125	C ₂ HF ₅	2800
HFC-134	C ₂ H ₂ F ₄ (CHF ₂ CHF ₂)	1000
HFC-134a	C ₂ H ₂ F ₄ (CH ₂ FCF ₃)	1300
HFC-152a	C ₂ H ₄ F ₂ (CH ₃ CHF ₂)	140
HFC-143	C ₂ H ₃ F ₃ (CHF ₂ CH ₂ F)	300
HFC-143a	C ₂ H ₃ F ₃ (CF ₃ CH ₃)	3800
HFC-227ea	C ₃ HF ₇	2900
HFC-236fa	C ₃ H ₂ F ₆	6300
HFC-245ca	C ₃ H ₃ F ₅	560
Perfluorocarburos		
Perfluorometano	CF ₄	6500
Perfluoroetano	C ₂ F ₆	9200
Perfluoropropano	C ₃ F ₈	7000
Perfluorobutano	C ₄ F ₁₀	7000
Perfluorociclobutano	c-C ₄ F ₈	8700
Perfluoropentano	C ₅ F ₁₂	7500
Perfluorohexano	C ₆ F ₁₄	7400
Hexafluoruro de azufre		
Hexafluoruro de azufre	SF ₆	23900

Fuente: *Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012.*

2.1.2. UNIDAD DE MEDIDA: TONELADAS DE CO₂ EQUIVALENTE

Una tonelada de CO₂ equivalente es una unidad de medida creada para homogeneizar los efectos individuales de cada uno de los gases de efecto invernadero, ponderados en función del poder de calentamiento de cada uno. La fórmula de cálculo es la siguiente:

$$\text{Emisiones CO}_2\text{equivalente (t)} = \sum_i E_i \times \text{PCG}_i$$

Donde:

- E_i : Emisiones del gas de efecto invernadero i (t)
 - PCG_i : Poder de calentamiento global del gas de efecto invernadero
- i : gases de efecto invernadero, CO_2 , CH_4 , N_2O

2.2. INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

La elaboración periódica de inventarios de emisiones de contaminantes a la atmósfera se inició en España hace casi dos décadas con la finalidad de servir de fuente de información para el diseño y revisión de políticas ambientales. Ha de permitir el cumplimiento de los compromisos de información contraídos por España en el marco de la Unión Europea y en diversos Convenios Internacionales, entre los cuales se encuentran:

- **Convenio de Ginebra** sobre Contaminación Atmosférica Transfronteriza y a Larga Distancia y sus Protocolos. Evaluación anual e Informe de emisiones de contaminantes acidificantes y precursores de ozono, metales pesados, partículas y contaminantes orgánicos persistentes.
- **Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático y Protocolo de Kioto**. Evaluación anual e informe de emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Directiva 2001/81/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre, sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos. Evaluación anual e informe de emisiones de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles y amoníaco.
- **Decisión 280/2004/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de febrero, relativa a un mecanismo para el seguimiento de las emisiones de efecto invernadero en la Comunidad y para la aplicación del Protocolo de Kioto. Evaluación anual e informe de emisiones.

Conforme lo previsto en el Protocolo de Kioto y de acuerdo también con lo dispuesto en el art. 4.4 de la Decisión 280/2004/CE, los Estados miembros debían establecer, a más tardar el 31 de diciembre de 2005, un Sistema de Inventario Nacional, para la estimación de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero por las fuentes y la absorción de dióxido de carbono por los sumideros.

El Inventario Nacional se elabora siguiendo la **nomenclatura SNAP** "Selected Nomenclature for sources of Air Pollution" de EMEP/CORINAIR, pero también se presenta siguiendo la clasificación **CRF** "Formato Común para Informes".

La desagregación de las emisiones conseguida con la clasificación SNAP es la máxima posible. Las clasificación CRF supone un tratamiento de la anterior agregando epígrafes y por lo tanto perdiendo detalle.

Al comparar las cifras de emisiones en formato SNAP y formato CRF se comprueba que éstas no coinciden. Esto se debe a que dentro del grupo *SNAP 11 Otras fuentes y sumideros (naturaleza)*, se calculan emisiones que no se consideran en el informe enviado a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático en formato CRF porque se trata de emisiones no antropogénicas.

En la siguiente tabla se muestra la correspondencia entre las clasificaciones SNAP y CRF del Inventario y como se agrupan en la clasificación por sectores que se realiza en la Huella de Carbono Municipal.

Tabla 2. Correspondencia entre clasificaciones SNAP y CRF del Inventario Nacional y Huella de Carbono Municipal.

Epígrafes Huella	Correspondencia CRF	Correspondencia SNAP
Agricultura	4C Cultivo de arroz	10 01 (CH ₄) Cultivos con fertilizantes (excepto con estiércol animal)
	4D Suelos agrícolas	10 01 (N ₂ O) Cultivos con fertilizantes (excepto con estiércol animal)
		10 02 Cultivos sin fertilizantes
		11 05 (N ₂ O) Zonas húmedas (pantanales - marismas)
		11 06 (N ₂ O) Espacios acuáticos
Ganadería	4A Fermentación entérica	10 04 Ganadería (fermentación entérica)
	4B Gestión del estiércol	10 05 Gestión de estiércol con referencia a Comp. Orgánicos
		10 09 Gestión de estiércol con referencia a Comp. Nitrogenados
Tráfico	1A3b Transporte por carretera	07 Transporte por carretera
Residuos	6A Depósito en vertederos	09 04 Vertederos
ARU	6B Tratamiento de aguas residuales (sólo la parte residencial)	09 10 02 Tratamiento de aguas residuales en sectores residencial y comercial
Consumo combustibles ⁽¹⁾	1 Energía	01 Combustión en la producción y transformación de energía
	3 Procesos Industriales	02 Plantas de combustión no industrial
		03 Plantas de combustión industrial
Consumo eléctrico ⁽²⁾	1 Energía	01 Combustión en la producción y transformación de energía
Sumideros	5A Cambios en bosques y otros almacenes de biomasa maderera	11 21 Cambios de los stocks de biomasa en bosques y en otros depósitos de biomasa leñosa
	5B Conversión de bosques y praderas	11 22 Reconversión de bosques a herbazales
	5C Abandono de tierras gestionadas	11 23 Abandono de tierras cultivadas
	5D Emisiones y captaciones de CO ₂ en suelos	11 24 Emisiones o captaciones de CO ₂ en suelos
	5E Otros	11 25 Otras fuentes y sumideros - otros

Fuente: Elaboración propia

Notas:

(1) Prácticamente la totalidad de las emisiones por consumo de combustibles se encuentran en los epígrafes SNAP y CRF indicados, aunque podría haber alguna emisión residual incluida en algún otro subepígrafe del Inventario.

(2) Las emisiones del sector eléctrico se recogen en el Inventario en los epígrafes de Energía, pero desde el sector de la generación. Las emisiones de la Huella de carbono son emisiones por consumo, que se diferencian de las de generación por las pérdidas en el transporte y la distribución.

2.3. HUELLA DE CARBONO MUNICIPAL

La Huella de Carbono Municipal es un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de Andalucía que ofrece resultados con una desagregación municipal.

Se calculan las emisiones de los principales gases de efecto invernadero, para los sectores emisores difusos más relevantes y las derivadas del consumo de energía eléctrica.

Los gases considerados son el CO_2 , el CH_4 y el N_2O , y los sectores emisores son los siguientes:

- Transporte
- Residuos
- Aguas residuales
- Agricultura
- Ganadería
- Consumo de Combustibles
- Consumo eléctrico

La incorporación de las **emisiones indirectas por consumo de energía eléctrica** a este inventario de emisiones se debe a la necesidad de dar soporte a los municipios andaluces que se han adherido al Pacto de los Alcaldes, para que puedan emplear los resultados de la Huella de Carbono como Inventario de Referencia en la redacción de sus Planes de Acción de Energía Sostenible.

La herramienta también incluye cálculos sobre la capacidad de **sumidero**, incorporando los datos de absorciones de CO_2 por los sumideros de carbono en Andalucía.

La información de partida para los cálculos son datos estadísticos oficiales de publicación periódica y proceden mayoritariamente del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía a través del Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA). También se emplean como fuentes de datos la propia Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural o la Agencia Andaluza de la Energía.

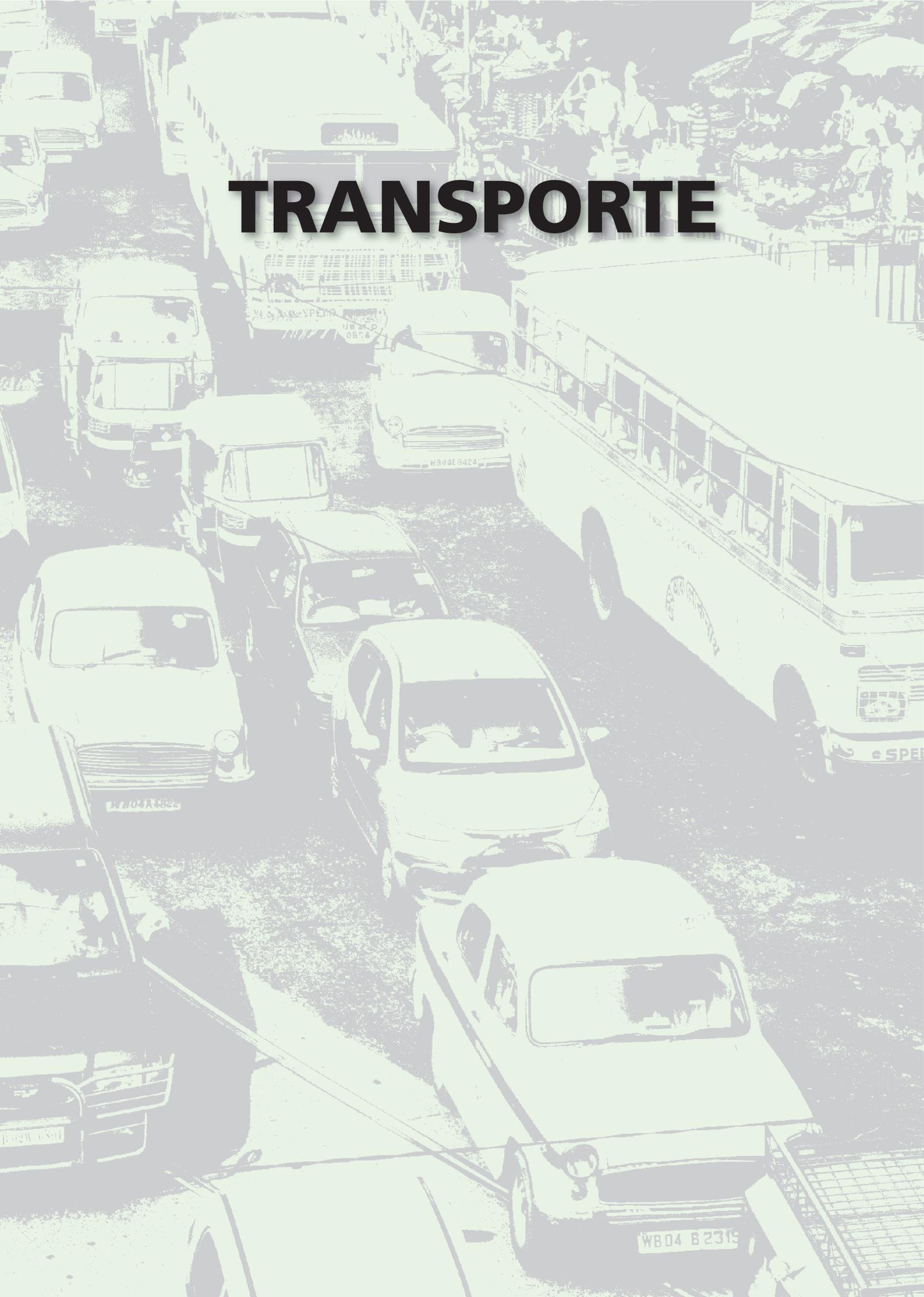
Las metodologías de cálculo de la Huella de Carbono se basan en las metodologías empleadas por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente para la elaboración del Inventario Nacional de Emisiones que da cumplimiento a las obligaciones de comunicación de España a la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático y al Unión Europea, en materia de seguimiento y notificación de gases de efecto invernadero.

A continuación se describen las metodologías de cálculo empleadas y se identifican los datos de partida y sus fuentes de información, para cada uno de los sectores emisores considerados en la Huella de Carbono Municipal de Andalucía.

3. METODOLOGÍAS DE CÁLCULO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO



TRANSPORTE



3. METODOLOGÍAS DE CÁLCULO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

3.1. EMISIONES DEL SECTOR TRANSPORTE

3.1.1. QUÉ EMISIONES SE CALCULAN

El transporte genera emisiones, principalmente de dióxido de carbono (CO₂), que se producen por la combustión de combustibles fósiles en los motores de los automóviles.

Estos combustibles fósiles, formados por una mezcla de hidrocarburos, se combinan con oxígeno (O₂), generando CO₂ y vapor de agua en el proceso de combustión.

Sin embargo, la combustión en los motores no es perfecta debido a varios factores, tales como la variabilidad de la mezcla, la baja temperatura de la combustión cuando los motores inician su ciclo de funcionamiento y los cortos tiempos de residencia en la cámara de combustión. Como consecuencia se produce la emisión de contaminantes, además de CO₂ y agua.

En el sector Transporte de la Huella de Carbono Municipal se calculan las emisiones de los principales Gases de Efecto Invernadero (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso) debidas al transporte por carretera, teniendo en cuenta solamente el tráfico de vehículos automóviles para el transporte de viajeros o mercancías.

La combustión de biocarburantes también produce CO₂, pero no se contabiliza por ser biogénico. Es pertinente señalar que los carburantes que se repostan en las gasolineras son en realidad una mezcla de hidrocarburos fósiles y biocarburantes. Los objetivos en biocarburantes se fijan periódicamente a través de disposiciones de la Administración General del Estado. En 2012 se tuvo un objetivo en biocarburantes de 6,5%, que se redujo posteriormente para 2013 y siguientes al 4,1% (Orden ITC 2877/2008, RD 459/2011, RDL 4/2013)

Para efectuar el cálculo de estas emisiones atribuibles al transporte por carretera en Andalucía ha sido necesario tener en cuenta:

- El consumo de carburante, el parque automovilístico,
- El tipo de combustibles empleado (gasolina o gasóleo),
- Las pautas de conducción
- Los distintos factores de emisión específicos para cada contaminante, combustible y categoría de vehículo.

En la siguiente tabla se muestra la correspondencia con el Inventario Nacional siguiendo las nomenclaturas SNAP y CRF.

Tabla 3. Correspondencia HCM-SNAP-CRF. Sector Transporte

HCM	INV. NAC. – SNAP	INV. NAC. - CRF
Transporte por carretera	07 Transporte por carretera	1A3b Transporte por carretera

Fuente: *Elaboración propia*

3.1.2. FUENTES DE INFORMACIÓN

En la siguiente tabla se indican la información de partida y las fuentes para el cálculo de las emisiones del transporte por carretera.

Tabla 4. Datos de partida y fuentes de información. Sector Transporte

Información de partida	Fuente de información
Datos de actividad	
Parque de vehículos municipal por tipo	Sistema Multiterritorial de Andalucía, SIMA (Instituto de Estadísticas y Cartografía de Andalucía, IECA)
Parque de vehículos nacional por tipo, combustible y tecnología	Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2006, Serie 1990-2007, Serie 1990-2008. Volumen 2 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)
Recorridos medios por categoría de vehículo y pauta nacionales	Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2006, Serie 1990-2007, Serie 1990-2008. Volumen 2 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)
Consumos municipales de combustibles de automoción	Web Info-Energía (Agencia Andaluza de la Energía)
Factores y constantes	
Factores de emisión de combustibles de automoción, por tonelada de combustible	Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)
Factores de emisión por categoría de vehículo y pauta de conducción, por km recorrido	Modelo COPERT III (Agencia Europea de Medio Ambiente)
	Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2007. Volumen 2 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)

Fuente: *Elaboración propia*

3.1.3. METODOLOGÍA APLICADA

La metodología de cálculo de las emisiones del transporte por carretera empleada en la Huella de Carbono se basa en la metodología del Inventario Nacional de Emisiones y en las directrices del IPCC para la elaboración de Inventarios de gases de efecto invernadero (2006).

3.1.3.1 Emisiones dióxido de carbono (CO₂)

La fórmula de cálculo de las emisiones anuales de CO₂ en un municipio es la siguiente:

$$\text{Emisiones (t CO}_2\text{/año)} = \sum_j Q_j \times FE_j$$

Donde:

- Q_j : Cantidad de combustible j consumido en un municipio en un año (t/ año)
 - FE_j : Factor de emisión del combustible j (tCO₂/t)
- j: gasoil, gasolina, otros combustibles fósiles.

A su vez, el consumo anual de un municipio de un tipo de combustible se calcula con la siguiente fórmula:

$$Q_j (t) = \sum_i \sum_p Nveh_i \times Recor_{i,p} \times Fc_{i,p}$$

Donde:

- $Nveh_i$: Número de vehículos de la categoría i del municipio
 - $Recor_{i,p}$: Recorrido medio de un vehículo de categoría i en la pauta p (km)
 - $Fc_{i,p}$: Factor corrector que transforma km recorridos en t de combustible consumido, para cada categoría de vehículo i y pauta p (t combustible/km recorrido)
- i: categorías de vehículos
- p: pautas urbana, interurbana, rural

Además, el valor total de un tipo de combustible consumido en un municipio en un año, calculado según esta fórmula, se corrige con los datos de consumos municipales estimados a partir de los datos de consumo provincial publicados por la Agencia Andaluza de la Energía.

A continuación se describe como se obtienen cada uno de estos factores para los distintos municipios. Tanto la clasificación en categorías de los vehículos, como la estimación de los recorridos por categoría de vehículo y pauta de conducción son necesarias para la utilización de los factores de emisión establecidos en el Inventario Nacional de Emisiones.

Número de vehículos de la categoría i del municipio ($Nveh_i$)

Un vehículo de categoría i se define como un vehículo de un tipo determinado, que consume un combustible determinado y de una tecnología determinada.

En la Huella de Carbono se consideran los siguientes tipos de vehículos:

- Camiones y furgonetas
- Autobuses
- Turismos

- Motocicletas
- Ciclomotores
- Tractores industriales

Esta clasificación en tipologías no coincide con la clasificación que se hace en el Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA), ni con la clasificación del Inventario Nacional de Emisiones, por lo que ha sido necesario establecer relaciones entre las tres clasificaciones.

En cuanto a los combustibles de automoción, se consideran los siguientes:

- Gasoil
- Gasolina
- Otros combustibles fósiles

Por último, la clasificación por tecnología se realiza en función de lo establecido en la Directiva EURO por la que está afectada el vehículo, y que está relacionada con la antigüedad del mismo.

Las Directivas de la Unión Europea que regulan las emisiones de los vehículos automóviles son de obligado cumplimiento para los países firmantes del Tratado de Roma, lo cual permite a los Gobiernos respectivos impedir la comercialización en su territorio de vehículos no conformes con las exigencias medioambientales planteadas en ellas.

Tabla 5. Normativa de la Unión Europea acerca de las emisiones de los vehículos automóviles

Normativa	Tipos de vehículo	Carburante	Control de las emisiones
2007/46/CE			Directiva marco
R(CE) 715/2007	Pesados	Gasolina	Emisiones por el tubo de escape de humo negro
R(CE) 715/2007	Turismos y ligeros	Gasolina	Emisiones por el tubo de escape
R(CE) 715/2007	Turismos y ligeros	Gasolina y gasóleo	Emisiones por el tubo de escape
88/77/EEC	Pesados	Gasóleo	Emisiones por el tubo de escape
2005/55/CE	Pesados	Gasóleo	Emisiones por el tubo de escape
R(CE) 715/2007	Turismos	Gasolina y gasóleo	Emisiones por el tubo de escape más evaporativas
2005/55/CE	Pesados	Gasóleo	Emisiones por el tubo de escape
R(CE) 715/2007	Ligeros	Gasolina y gasóleo	Emisiones por el tubo de escape
R(CE) 715/2007	Turismos	Gasolina y gasóleo	Emisiones por el tubo de escape
2002/51/CE	Motocicletas	Gasolina	Emisiones por el tubo de escape
2002/51/CE	Ciclomotores	Gasolina	Emisiones por el tubo de escape

Fuente: Tabla 7.1.2 Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012. Volumen 2

Así, un automóvil del tipo Turismo, que consume como combustible gasoil, puede pertenecer a las siguientes tecnologías, en función de su antigüedad:

- CONVENCIONAL
- EURO I - 91/441/EEC
- EURO II - 94/12/EC
- EURO III - 98/69/EC S 2000
- EURO IV - 98/69/EC S 2005

El número de vehículos total de cada municipio se obtiene del Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA). Para algunos años y algunos municipios el dato ha tenido que extrapolarse linealmente porque las series pueden no estar completas.

A partir del número de vehículos total de un municipio, el número de vehículos de categoría i, para cada tecnología y combustible, se ha obtenido suponiendo que la distribución en cada municipio es igual a la distribución nacional (que se obtiene del Inventario Nacional de Emisiones).

Es decir, el número de vehículos de categoría i de un municipio se calcula según la siguiente fórmula:

$$N^{\circ}\text{veh}_i = N^{\circ}\text{ veh municipal total} \times \frac{N^{\circ}\text{ veh}_i\text{ nacional}}{N^{\circ}\text{ veh}_i\text{ nacional total}}$$

Ejemplo de cálculo: N° vehículos de la categoría i de un municipio

Cómo ejemplo se va a calcular el número de turismos por tipo de combustible y tecnología EURO de la ciudad de Sevilla para el año 2012.

Se parte de los valores nacionales de la distribución de turismos según combustibles, clase (cilindrada) y tecnología.



Tabla 6. Datos nacionales sobre turismos: número y distribución por tecnología y combustible.

Categoría	Combustible	Clase	Tecnología	Nº vehículos Nacional	% tecnología
Turismos	Gasóleo	≤2	CONVENCIONAL	1.839.667	7,9%
			EURO I - 91/441/EEC	519.542	2,2%
			EURO II - 94/12/EC	1.166.083	5,0%
			EURO III - 98/69/EC S 2000	2.853.143	12,2%
			EURO IV - 98/69/EC S 2005	2.902.415	12,4%
		>2	CONVENCIONAL	346.206	1,5%
			EURO I - 91/441/EEC	96.108	0,4%
			EURO II - 94/12/EC	173.443	0,7%
			EURO III - 98/69/EC S 2000	448.411	1,9%
			EURO IV - 98/69/EC S 2005	451.599	1,9%
	Gasolina	<1,4	ECE 15/04	2.143.993	9,2%
			EURO I - 91/441/EEC	625.679	2,7%
			EURO II - 94/12/EC	637.815	2,7%
			EURO III - 98/69/EC S 2000	1.066.670	4,6%
			EURO IV - 98/69/EC S 2005	815.472	3,5%
		1,4-2	ECE 15/04	835.083	3,6%
			EURO I - 91/441/EEC	1.095.431	4,7%
			EURO II - 94/12/EC	1.260.152	5,4%
			EURO III - 98/69/EC S 2000	2.160.012	9,2%
			EURO IV - 98/69/EC S 2005	1.229.297	5,3%
		2	ECE 15/04	126.151	0,5%
			EURO I - 91/441/EEC	121.912	0,5%
			EURO II - 94/12/EC	118.789	0,5%
			EURO III - 98/69/EC S 2000	207.475	0,9%
			EURO IV - 98/69/EC S 2005	139.798	0,6%

Fuente: Extracto de la tabla 7.3.7 del documento *Inventario Nacional de Emisiones. Series 1990-2008. Volumen 2*

Teniendo en cuenta que el número total de turismos en la ciudad de Sevilla para el año 2012 era de 330.517, se obtiene el número de turismos en Sevilla por combustible y tecnología.

Tabla 7. Datos ciudad de Sevilla sobre turismos: número y distribución por tecnología y combustible. Año 2012

Categoría	Combustible	Clase	Tecnología	nº vehículos por tecnología. Sevilla
Turismos	Gasóleo	≤2	CONVENCIONAL	28.929
			EURO I - 91/441/EEC	8.170
			EURO II - 94/12/EC	18.337
			EURO III - 98/69/EC S 2000	44.866
			EURO IV - 98/69/EC S 2005	45.641
		>2	CONVENCIONAL	5.444
			EURO I - 91/441/EEC	1.511
			EURO II - 94/12/EC	2.727
			EURO III - 98/69/EC S 2000	7.051
			EURO IV - 98/69/EC S 2005	7.101
	Gasolina	<1,4	ECE 15/04	27.387
			EURO I - 91/441/EEC	7.992
			EURO II - 94/12/EC	8.147
			EURO III - 98/69/EC S 2000	13.625
			EURO IV - 98/69/EC S 2005	10.417
		1,4-2	ECE 15/04	10.667
			EURO I - 91/441/EEC	13.993
			EURO II - 94/12/EC	16.097
			EURO III - 98/69/EC S 2000	27.591
			EURO IV - 98/69/EC S 2005	15.703
>2	ECE 15/04	1.611		
	EURO I - 91/441/EEC	1.557		
	EURO II - 94/12/EC	1.517		
	EURO III - 98/69/EC S 2000	2.650		
	EURO IV - 98/69/EC S 2005	1.786		

Fuente: Elaboración propia

Recorrido medio de un vehículo de categoría i en la pauta p (Recor_{i,p})

Una pauta de conducción es una forma de clasificar los recorridos llevados a cabo por un vehículo en función de la velocidad. Es importante esta clasificación porque la velocidad en la que se realizan los distintos recorridos influye en la cantidad de contaminante emitida.

Se definen tres pautas de conducción: interurbana, rural y urbana.

Aunque no hay una norma europea que indique las velocidades representativas de cada pauta, en el Inventario Nacional de Emisiones se pueden consultar los rangos de cada una de ellas, y los valores de referencia en la determinación de los factores de emisión.

A nivel nacional, los recorridos en pauta interurbana y rural se obtienen a partir de aforos en los distintos tipos de carreteras. El Inventario Nacional de Emisiones desglosa estos recorridos del siguiente modo:

- Pauta interurbana: recorridos en la red estatal de carreteras + 50% recorridos de la red autonómica
- Pauta rural: recorridos en la red de las Diputaciones + 50% recorridos de la red autonómica

A partir de los datos de la Corporación de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos, a los recorridos anteriores se les asocia un consumo de combustibles.

Al consumo total anual de la Corporación de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos, se les resta los consumos asociados a las pautas interurbana y rural, obteniéndose el combustible consumido en pauta urbana.

- Pauta urbana: los recorridos en esta pauta se obtienen a partir de la estimación del consumo de combustibles. También se asocian a pauta urbana todos los turismos que consumen Gases Licuados del Petróleo y los autobuses urbanos.

Del Inventario Nacional de Emisiones se pueden obtener los kilómetros medios recorridos por cada categoría de vehículo en cada una de las pautas de conducción.

Se considera que los valores municipales de recorrido unitario por categoría de vehículo y la distribución de los kilómetros totales entre las distintas pautas de conducción en un municipio son iguales a la nacional. A partir de esta hipótesis se calculan los kilómetros totales por categoría de vehículo y pauta de conducción del municipio.

Es decir, para un determinado combustible, los kilómetros recorridos en un municipio en un año se calculan de la siguiente forma:

$$\text{Recor}_{i,p} \text{ (Km)} = \text{N}^\circ \text{ veh}_i \times \text{Recor}_i \text{ unit nac} \times \frac{\text{Recor}_{i,p} \text{ nac}}{\text{Recor}_i \text{ nac}}$$

Ejemplo de cálculo: Kilómetros medios anuales recorridos por los vehículos de la categoría i de un municipio

En la siguiente tabla se muestran los datos de partida del Inventario Nacional de Emisiones sobre recorridos totales, y distribuidos por pautas de conducción, de turismos distinguiendo por combustible consumido y tecnología.

Las columnas sombreadas de la izquierda muestran los cocientes definidos en la fórmula anterior: recorridos unitarios por tipo de vehículo y porcentaje de los kilómetros recorridos en una pauta con respecto al total por categoría de vehículo.

En la tabla posterior se aplican estos cocientes al caso de la ciudad de Sevilla.

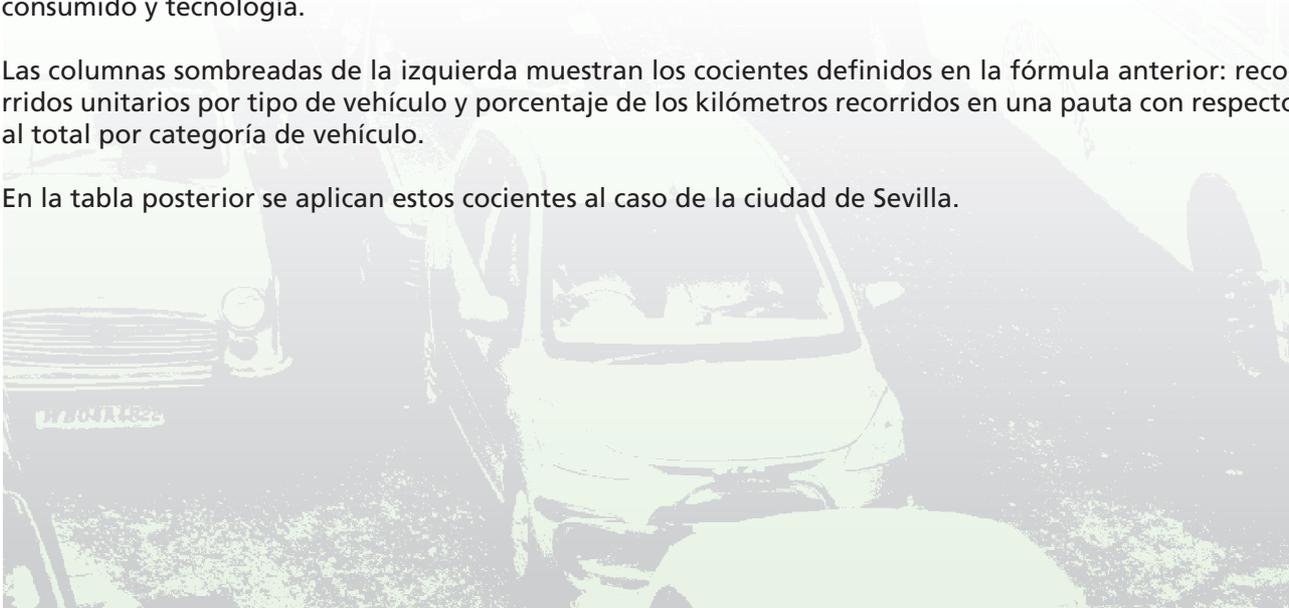


Tabla 8. Datos nacionales sobre recorridos de turismos según pauta de conducción.

Cat.	Cble.	Clase	Tecnología	n° veh. Nac.	Recor total (miles km)	Recor I (miles km)	Recor R (miles km)	Recor U (miles km)	Recorrido unitario calculado (km/veh.)	% Recor I	% Recor R	% Recor U	
TURISMOS	Gasóleo	≤2	CONVENCIONAL	1.839.667	811.944	425.754	168.091	218.098	441	0,5244	0,2070	0,2686	
			EURO I - 91/441/EEC	519.542	3.625.690	1.907.565	753.123	965.002	6.979	0,5261	0,2077	0,2662	
			EURO II - 94/12/EC	1.166.083	14.646.013	7.512.867	2.966.144	4.167.001	12.560	0,5130	0,2025	0,2845	
			EURO III - 98/69/EC S 2000	2.853.143	69.422.969	33.085.346	13.062.377	23.275.245	24.332	0,4766	0,1882	0,3353	
			EURO IV - 98/69/EC S 2005	2.902.415	87.686.544	42.703.709	16.859.789	28.123.047	30.212	0,4870	0,1923	0,3207	
		>2	CONVENCIONAL	346.206	382.448	201.215	79.441	101.791	1.105	0,5261	0,2077	0,2662	
			EURO I - 91/441/EEC	96.108	1.069.820	562.859	222.221	284.740	11.131	0,5261	0,2077	0,2662	
			EURO II - 94/12/EC	173.443	2.591.246	1.353.211	534.259	703.776	14.940	0,5222	0,2062	0,2716	
			EURO III - 98/69/EC S 2000	448.411	11.604.418	6.021.530	2.377.351	3.205.537	25.879	0,5189	0,2049	0,2762	
			EURO IV - 98/69/EC S 2005	451.599	18.471.624	9.636.509	3.804.576	5.030.539	40.903	0,5217	0,2060	0,2723	
		Gasolina	<1,4	ECE 15/04	975.592	2.288.095	975.592	385.172	927.331	1.067	0,4264	0,1683	0,4053
				EURO I - 91/441/EEC	625.679	2.701.690	1.151.940	454.796	1.094.955	4.318	0,4264	0,1683	0,4053
	EURO II - 94/12/EC			637.815	4.224.372	1.801.177	711.120	1.712.075	6.623	0,4264	0,1683	0,4053	
	EURO III - 98/69/EC S 2000			1.066.670	12.183.816	5.194.905	2.050.993	4.937.918	11.422	0,4264	0,1683	0,4053	
	EURO IV - 98/69/EC S 2005			815.472	8.452.782	3.604.076	1.422.920	3.425.786	10.366	0,4264	0,1683	0,4053	
	1,4-2		ECE 15/04	835.083	2.225.344	948.837	374.609	901.899	2.665	0,4264	0,1683	0,4053	
			EURO I - 91/441/EEC	1.095.431	4.703.299	2.002.735	790.697	1.909.867	4.294	0,4258	0,1681	0,4061	
			EURO II - 94/12/EC	1.260.152	7.333.878	3.113.683	1.229.309	2.990.886	5.820	0,4246	0,1676	0,4078	
			EURO III - 98/69/EC S 2000	2.160.012	17.871.434	7.617.497	3.007.453	7.246.484	8.274	0,4262	0,1683	0,4055	
			EURO IV - 98/69/EC S 2005	1.229.297	11.625.013	4.907.649	1.937.582	4.779.783	9.457	0,4222	0,1667	0,4112	
	>2		ECE 15/04	126.151	646.689	275.734	108.862	262.093	5.126	0,4264	0,1683	0,4053	
			EURO I - 91/441/EEC	121.912	1.188.928	506.932	200.141	481.855	9.752	0,4264	0,1683	0,4053	
		EURO II - 94/12/EC	118.789	1.970.907	840.350	331.777	798.779	16.592	0,4264	0,1683	0,4053		
		EURO III - 98/69/EC S 2000	207.475	5.613.875	2.392.977	944.768	2.276.130	27.058	0,4263	0,1683	0,4054		
EURO IV - 98/69/EC S 2005		139.798	4.456.878	1.900.312	750.260	1.806.306	31.881	0,4264	0,1683	0,4053			

Fuente: Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2008. Volumen 2

Tabla 9. Datos ciudad de Sevilla sobre recorridos de turismos según pautas de conducción. Año 2012.

Cat.	Cble.	Clase	Tecnología	Recorrido total (km) = n° vehículos* Recorrido unitario	Recorrido Pauta I (km) = % I* Recorrido total	Recorrido Pauta R (km) = % R* Recorrido total	Recorrido Pauta U (km) = % U* Recorrido total
TURISMOS	Gasóleo	≤2	CONVENCIONAL	12.767.743	6.694.950	2.643.218	3.429.575
			EURO I - 91/441/EEC	57.013.706	29.996.318	11.842.803	15.174.585
			EURO II - 94/12/EC	230.307.450	118.139.275	46.642.394	65.525.781
			EURO III - 98/69/EC S 2000	1.091.671.013	520.264.607	205.404.908	366.001.498
			EURO IV - 98/69/EC S 2005	1.378.864.404	671.512.651	265.118.929	442.232.824
		>2	CONVENCIONAL	6.013.951	3.164.091	1.249.204	1.600.656
			EURO I - 91/441/EEC	16.822.840	8.850.916	3.494.409	4.477.515
			EURO II - 94/12/EC	40.747.150	21.279.142	8.401.183	11.066.825
			EURO III - 98/69/EC S 2000	182.478.611	94.688.112	37.383.668	50.406.831
			EURO IV - 98/69/EC S 2005	290.464.915	151.533.388	59.826.675	79.104.852
	Gasolina	<1,4	ECE 15/04	29.227.479	12.461.937	4.920.078	11.845.464
			EURO I - 91/441/EEC	34.510.638	14.714.556	5.809.436	13.986.646
			EURO II - 94/12/EC	53.960.934	23.007.726	9.083.646	21.869.562
			EURO III - 98/69/EC S 2000	155.632.624	66.358.249	26.198.805	63.075.570
			EURO IV - 98/69/EC S 2005	107.973.450	46.037.449	18.175.978	43.760.023
		1,4-2	ECE 15/04	28.425.929	12.120.176	4.785.150	11.520.603
			EURO I - 91/441/EEC	60.078.613	25.582.371	10.100.140	24.396.102
			EURO II - 94/12/EC	93.680.886	39.773.307	15.702.846	38.204.733
			EURO III - 98/69/EC S 2000	228.284.650	97.303.755	38.416.355	92.564.540
			EURO IV - 98/69/EC S 2005	148.494.645	62.688.922	24.750.125	61.055.598
		>2	ECE 15/04	8.260.622	3.522.148	1.390.572	3.347.902
			EURO I - 91/441/EEC	15.187.031	6.475.406	2.556.545	6.155.080
			EURO II - 94/12/EC	25.175.797	10.734.394	4.238.026	10.203.377
			EURO III - 98/69/EC S 2000	71.710.054	30.567.212	12.068.200	29.074.642
		EURO IV - 98/69/EC S 2005	56.930.901	24.274.049	9.583.609	23.073.243	

Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio

Factores correctores que transforman km recorridos en t de combustible consumido, para cada categoría de vehículo i y pauta p ($F_{c,i,p}$)

Los factores correctores se calculan según la siguiente fórmula:

$$F_{c,i,p} \text{ (t combustible fósil/Km recorrido)} = FE_{1,i,p} / FE_{2,i,p}$$

Donde:

- $FE_{1,i,p}$: Factor de emisión de CO_2 , expresado en t de contaminante por km recorrido para cada categoría de vehículo i y pauta p (t CO_2 /km recorrido).
- $FE_{2,i,p}$: Factor de emisión de CO_2 , expresado en t de contaminante por t de combustible consumido para cada categoría de vehículo i y pauta p (t CO_2 /t combustible fósil).

En ambos casos los factores de emisión se obtienen del Inventario Nacional de Emisiones.

3.1.3.2 Emisiones de óxido nitroso (N_2O) y metano (CH_4)

Las emisiones anuales de N_2O y CH_4 en un municipio, se calculan de una forma muy similar a las CO_2 , pero sin incluir en el cálculo el consumo de combustibles. Se hace directamente a partir de los valores estimados de kilómetros recorridos y aplicando factores de emisión por kilómetro recorrido, para cada categoría de vehículo y para cada pauta de conducción. El cálculo se realiza aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Emisiones}_k \text{ (t / año)} = \sum_i \sum_p N_{veh_i} \times \text{Recor}_{i,p} \times FE_{k,i,p}$$

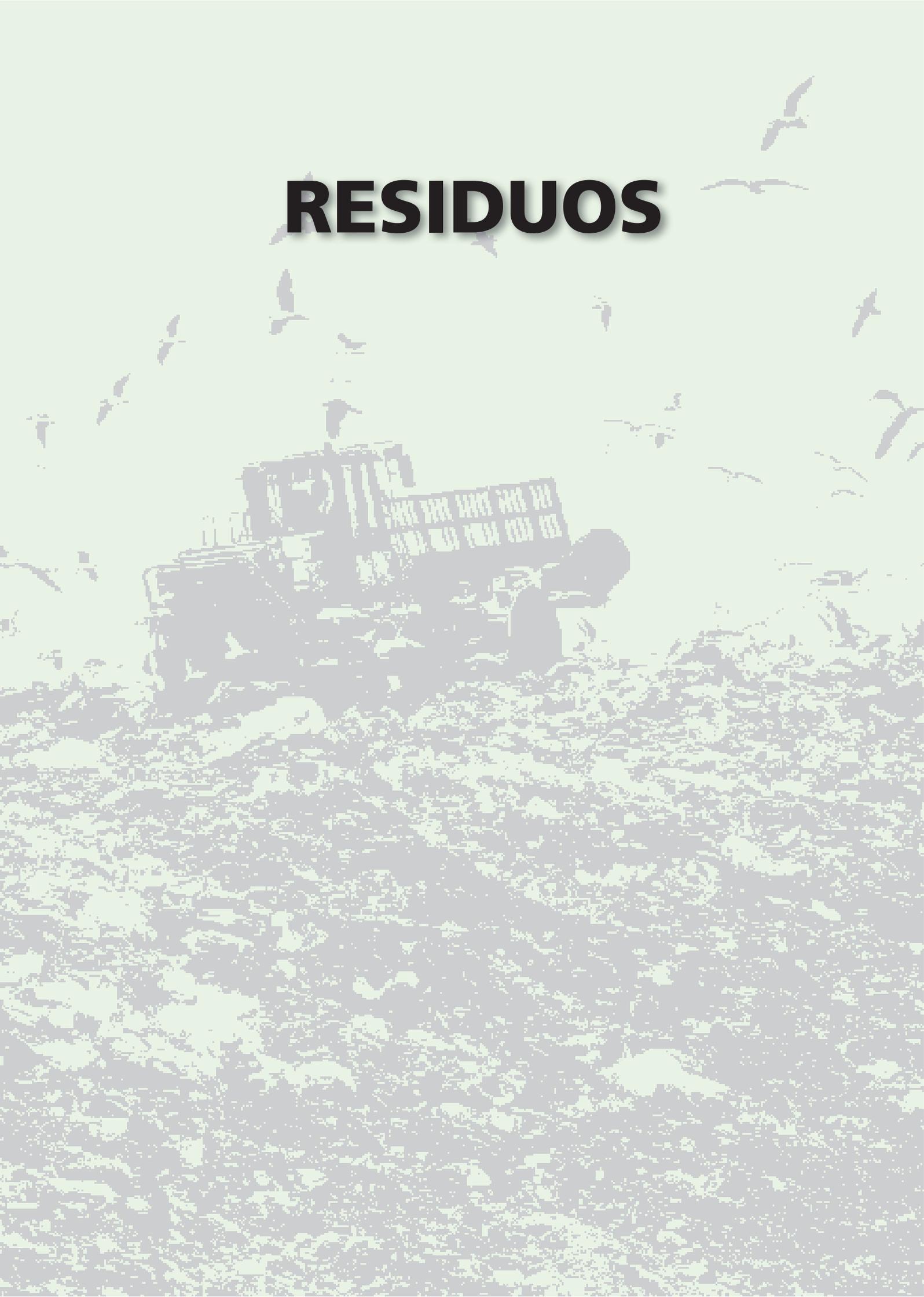
Donde:

- N_{veh_i} : número de vehículos de la categoría i del municipio
- $\text{Recor}_{i,p}$: kilómetros anuales recorridos por cada vehículo de la categoría i en la pauta p(km)
- $FE_{k,i,p}$: factor de emisión del contaminante k para los vehículos de la categoría i por kilómetro recorrido en la pauta p (t contaminante/km)

i: categoría de vehículo
p: pauta de conducción
k: contaminante N_2O , CH_4

En el caso de las emisiones de CH_4 , se tienen en cuenta emisiones "en frío" y "en caliente". Las emisiones producidas con el motor frío se estiman como emisiones adicionales a las producidas con el motor en caliente. Para ello, se estiman los kilómetros que los vehículos recorren en frío y se aplica un factor de incremento de las emisiones en relación con las emisiones en caliente.

RESIDUOS



3.2. EMISIONES DEL SECTOR RESIDUOS

3.2.1. QUÉ EMISIONES SE CALCULAN

Los residuos orgánicos biodegradables se descomponen por la acción bacteriana a través de una serie de etapas que resultan en la formación de CH₄ y CO₂. Esta combinación de gases resultante se denomina gas de vertedero o biogás, y la proporción de ambos gases está en torno al 50% en volumen.

Los vertederos controlados pueden disponer de sistemas de captura y valorización energética del biogás producido. Los sistemas de combustión del biogás captado son eliminación (combustión en antorchas) o valorización energética (combustión en calderas, turbinas o motores).

En Andalucía el destino final de los residuos es su depósito en vertederos o la fabricación de compost en plantas de recuperación y compostaje. No se considera la existencia de vertederos no controlados. En el sector Residuos de la Huella de Carbono Municipal se calculan las emisiones de metano generadas por la degradación de la materia orgánica de residuos urbanos depositada en vertederos y las emisiones de la combustión del biogás capturado en vertederos e incinerado en antorcha o valorizado energéticamente.

Siguiendo las directrices del IPCC, tanto las emisiones de CO₂ procedentes de la degradación de la materia orgánica como de la combustión del biogás, no se contabilizan porque se consideran biogénicas.

En la siguiente tabla se muestra la correspondencia con el Inventario Nacional de Emisiones siguiendo las nomenclaturas SNAP y CRF.

Tabla 10. Correspondencia HCM-SNAP-CRF. Sector Residuos.

HCM	INV. NAC. – SNAP	INV. NAC. - CRF
Residuos urbanos depositados en vertederos (incluye incineración de biogás en antorcha y valorización energética)	09 04 Tratamiento y eliminación de residuos: Vertederos (incluye las emisiones de incineración de biogás en antorcha)	6A Residuos: depósito en vertederos (incluye las emisiones de incineración de biogás en antorcha)

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. FUENTES DE INFORMACIÓN

En la siguiente tabla se indican la información de partida y sus fuentes, para el cálculo de las emisiones de la gestión de residuos.



Tabla 11. Datos de partida y fuentes de información. Sector Residuos.

Información de partida	Fuente de información
Datos de actividad	
Cantidad de residuo generado por municipio para la serie 2000-2012	Sistema Multiterritorial de Andalucía, SIMA (Instituto de Estadísticas y Cartografía de Andalucía, IECA) Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio
Tasas de generación de residuos por habitante para algunos municipios y años de la serie 1970-1999	Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio
Destino de residuos municipales para la serie 2006-2012	Sistema Multiterritorial de Andalucía, SIMA (Instituto de Estadísticas y Cartografía de Andalucía, IECA)
Año de inicio de operación de Plantas de Recuperación y Compostaje (PRyC)	Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio
Porcentaje de residuos destinados a vertedero de apoyo en cada PRyC. Año 2008	Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio
Volúmenes de biogás recuperado en vertederos de Andalucía para los años 2006-2012	Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio
Volúmenes de biogás captado y quemado en cada tipo de equipo de combustión para los años 2006-2012	Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio
Factores y constantes	
Factor de oxidación del metano generado y no recuperado	Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)
Constante de reacción para el cálculo de la masa de carbono orgánico disuelto descompuesto	Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)
Fracción del carbono orgánico degradable que se descompone en condiciones anaerobias	Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)
Factor de corrección de metano para el cálculo del carbono orgánico disuelto depositado	Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)
Valores de composición de Residuos Sólidos Urbanos de Andalucía. Año 2004	Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio
Carbono Orgánico Degradable para el rechazo de las plantas de compostaje	Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2007 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)
Concentración en volumen de metano en el biogás recuperado	Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio
Densidad del metano existente en el biogás recuperado	Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio
Factores de emisión de biogás quemado por tipo de equipo de combustión y gas	Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)

Fuente: *Elaboración propia*

3.2.3. METODOLOGÍA APLICADA

Las emisiones del sector Residuos tienen dos procedencias, la emisión de metano por degradación de la materia orgánica de los residuos depositados en vertederos, y las emisiones por la combustión del biogás recuperado de los vertederos. Las emisiones del sector resultan de la suma de ambas.

3.2.3.1 Emisiones de metano (CH₄) generadas por la degradación de la materia orgánica de residuos urbanos depositada en vertederos

La Huella de Carbono Municipal calcula las emisiones de Gases de Efecto Invernadero de los residuos depositados en vertedero distinguiendo entre aquellos cuyo destino inicial es el propio vertedero, y aquellos cuyo destino inicial es una Planta de Recuperación y Compostaje, por lo que la cantidad de residuo que llega al vertedero es el denominado rechazo de la Planta de Recuperación y Compostaje.

Existen dos metodologías básicas para la estimación de las emisiones de metano procedentes de los residuos depositados en los vertederos:

- Balance teórico de generación instantánea, que considera la degradación instantánea de la materia orgánica presente en los residuos. El mismo año que un residuo se deposita se contabilizaría el metano generado estequiométricamente a partir de su contenido de carbono degradable. Esta consideración es irreal, porque en la naturaleza la degradación de la materia orgánica de los residuos no ocurre de forma instantánea.
- Cinética de primer orden, que considera que un residuo depositado en vertedero libera el metano procedente de su degradación siguiendo una evolución temporal regida por una ecuación cinética de primer orden.

Tanto la Huella de Carbono como el Inventario Nacional de Emisiones siguen el método de cinética de primer orden. La característica principal de esta metodología es que trata de seguir la pauta temporal natural de generación de metano en el tiempo tras el depósito de los residuos en el vertedero. En general, los procesos de biodegradación de los residuos en vertedero tienen un periodo de maduración que oscila desde 1 año para los componentes más lábiles hasta más de 35 años para los de menor velocidad de biodegradación. La aplicación de esta metodología conlleva la necesidad de conocer las cantidades de residuos depositadas en vertedero de una serie histórica que se remonta hasta el año 1970.

La fórmula de cálculo de las emisiones de CH₄ en el año t es la siguiente:

$$\text{Emisiones}_t \text{ (t CH}_4\text{/año)} = (\text{G}_t - \text{R}_t) \times (1 - \text{OX})$$

Donde:

- **G_t**: Cantidad de CH₄ generado en el año t (t CH₄/año)
- **R_t**: Cantidad de CH₄ procedente de biogás recuperado en el año t (t CH₄)
- **OX**: Factor de oxidación del CH₄ generado y no recuperado. Adopta el valor fijo de 0,1. (Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012).

A continuación se describe como se obtiene cada uno de estos factores para los distintos municipios.

Cantidad de metano generado en el año t (Gt)

Para calcular el metano generado en el año t de estudio, se aplica el modelo de cálculo IPCC Model Waste, que aplica las Directrices del IPCC para la elaboración de inventarios de gases de efecto invernadero del año 2006 (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories).

El dato básico para realizar los cálculos es la cantidad de carbono orgánico degradable disuelto, que representa la parte del carbono orgánico que se degrada en condiciones anaerobias en los vertederos.

La cantidad de metano generado en el año t se calcula según la siguiente fórmula:

$$G_t \text{ (t CH}_4\text{/año)} = \text{DDOCm descomp}_t \times F \times 16 / 12$$

Donde:

- **F**: Fracción en volumen de metano en el biogás. Se aplica el valor constante de 0,55. (Consejería de Medio ambiente y Ordenación del Territorio).
- **16/12**: Relación de pesos moleculares para pasar de masa de carbono a masa de metano (t CH₄/t C).
- **DDOCm descomp_t**: Masa de carbono orgánico disuelto descompuesto durante el año t. (t C)

$$\text{DDOCm descomp}_t \text{ (tC)} = \text{DDOCma}_{t-1} \times (1 - e^{-k})$$

- **k**: Constante de reacción que toma el valor de 0,05 años⁻¹ (Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012).
- **DDOCma_{t-1}**: Masa de carbono orgánico disuelto acumulado al final del año t-1 (t C)

$$\text{DDOCma}_{t-1} \text{ (tC)} = \text{DDOCmd}_{t-1} + (\text{DDOCma}_{t-2} \times e^{-k})$$

- **DDOCmd t-1**: Masa de carbono orgánico disuelto depositado durante el año t-1 (t C)

$$\text{DDOCmd}_{t-1} \text{ (tC)} = W_{t-1} \times \text{DOC} \times \text{DOCf} \times \text{FCM}$$

- **W_{t-1}**: Cantidad de residuo depositado en el año t -1 (t C).
- **DOC**: Fracción de carbono orgánico degradable contenido en los residuos depositados.
- **DOCf**: Fracción del DOC que se descompone en condiciones anaerobias. Adopta el valor constante de 0,55 (Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012).
- **FCM**: Factor de corrección de metano. Se aplica el valor de 1,0 correspondiente a vertedero controlado. (Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012).

De toda la formulación expuesta se deduce que siguiendo un modelo de cinética de primer orden para modelizar la descomposición de la materia orgánica de los residuos, el residuo depositado en un año

determinado no tiene incidencia sobre las emisiones de metano de ese año, que dependerán de la masa de residuo en descomposición acumulado en el vertedero en años anteriores.

A continuación se describe como se obtienen los términos variables de la ecuación anterior.

Cantidad de residuos depositada en el año t-1. (W_{t-1})

La cantidad de residuos depositada en vertedero procedente de un municipio ha de obtenerse para todos los años de la serie histórica, desde 1970 hasta el año t-1, siendo t el año de cálculo del Inventario. Además habrá que determinar el destino inicial de las cantidades de residuos depositadas en vertederos, identificando que cantidades se depositan directamente en vertedero y que cantidades provienen del rechazo de una Planta de Recuperación y Compostaje.

La diferencia entre ambos tipos de residuos es el contenido en carbono orgánico degradable, que en el rechazo del compost cae hasta 0,09 (Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2007).

En relación con las cantidades se distinguen dos procedimientos, uno para los residuos depositados cada año de la serie 1970-1999, y otro para los depositados en los años de la serie 2000-2012. Las cantidades de residuos depositadas en vertederos se determinan a partir de datos de generación municipal y los destinos considerados, que son vertedero controlado o Planta de Recuperación y Compostaje.

- Generación municipal de residuos de los años de la 1970-1999

No existen datos estadísticos de cantidades de residuos generadas de los años de la serie 1970-1999, por lo que ha sido necesario reconstruir las series históricas a nivel municipal utilizando datos de referencia municipal, provincial y regional de distinto tipo. Concretamente, se han empleado datos de población y tasas de generación de residuos por habitante que existen para años concretos de la serie.

- Generación municipal de residuos de los años de la serie 2000-2012

Las cantidades de residuos municipales generadas para esta serie se obtienen de correlacionar los datos disponibles en el Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA), y los publicados por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio en sus Informes de Medio Ambiente Anuales. Se trabaja con datos a nivel municipal y provincial.

Puede ocurrir que para algún municipio y para algunos años no existan datos en ninguna de las dos fuentes de información, o que existan datos sin llegar a una desagregación municipal. En estos casos se han calculado los datos en base a tasas de generación regionales y municipales de otros años.

También se han llevado a cabo correcciones de los datos obtenidos tanto del Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA), como de los Informes de Medio Ambiente, en base a tasas de generación por habitante mínimas, tasas regionales o la evolución de las tasas municipales en los distintos años de la serie histórica.

- Destino de los residuos municipales generados para la serie completa (1970-2012)

El destino de los residuos municipales puede ser directamente el depósito en vertedero, o bien se destinan inicialmente a una Planta de Recuperación y Compostaje (PRyC) y una parte de ellos (el rechazo) finalmente se depositan a vertedero.

Para los años de la serie 2006-2012 se pueden obtener del Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA), las plantas de destino de los residuos de cada municipio.

Para determinar el destino de los residuos en los años anteriores, se establecen los siguientes criterios e hipótesis de cálculo:

- Si para todo el periodo 2006-2012 el destino es vertedero: para todos los años del periodo 1970-2005 se considera que el destino es vertedero.
- Si para todo el periodo 2006-2012 el destino es Planta de Recuperación y Compostaje: se establece que el primer año que el municipio empezó a destinar los residuos a compostaje es el año de inicio de actividad de la Planta de Recuperación y Compostaje. En los años anteriores el destino era vertedero.
- Si en el periodo 2006-2012 hay un cambio en el destino, de vertedero a Planta de Recuperación y Compostaje: se considera que todos los años de la serie hasta el de cambio de destino, el destino fue vertedero controlado.
- En los casos en los que un municipio destina sus residuos a dos tipos de plantas (vertedero y Planta de Recuperación y Compostaje) se establece la hipótesis de que los destina únicamente a Planta de Recuperación y Compostaje.

En la Tabla 12 se indican las fechas de entrada en funcionamiento consideradas para cada Planta de Recuperación y Compostaje (PRyC).



Tabla 12. Fecha de inicio de operación de las Planta de Recuperación y Compostaje (PRyC)

Provincia	Planta	Año de inicio de operación
Almería	PRyC Albox	2002
Almería	PRyC Almería	2004
Almería	PRyC Gádor	2003
Cádiz	PRyC Las Calandrias (Jerez de la Frontera)	2003
Cádiz	PRyC Los Barrios	2004
Cádiz	PRyC Miramundo-Medina Sidonia	2004
Córdoba	PRyC Córdoba	2002
Córdoba	PRyC Montalbán	2002
Granada	PRyC Alhendín	1999
Granada	PRyC Vélez de Benaudalla	1997
Huelva	PRyC Tharsis-Andévalo	2008
Huelva	PRyC Villarrasa	1996
Jaén	PRyC Jaén	1996
Jaén	PRyC Jaén-Sierra Sur	2009
Jaén	PRyC Linares	2006
Málaga	PRyC Casares	2002
Málaga	PRyC Málaga	2002
Málaga	PRyC Mijas	2004
Sevilla	PRyC Alcalá del Río	2002
Sevilla	PRyC Estepa	2004
Sevilla	PRyC Marchena	2003
Sevilla	PRyC Montemarta Cónica (A. de Guadaíra)	1997
Sevilla	PRyC Utrera	2003

Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio

El destino final de los residuos tratados inicialmente a una Planta de Recuperación y Compostaje es la fabricación de compost o el depósito en vertedero, ya sea el vertedero de apoyo a la Planta de Recuperación y Compostaje donde se destinan residuos producto de un proceso de criba inicial, o vertedero donde se destinan los residuos que conforman el rechazo de la Planta de Recuperación y Compostaje. En ambos casos, se trata de vertederos controlados.

Es necesario determinar para cada Planta de Recuperación y Compostaje, qué porcentaje de residuos se destina al vertedero de apoyo y qué porcentaje sale como rechazo de compost.

El porcentaje de residuos que se deposita en el vertedero de apoyo depende de cada Planta de Recuperación y Compostaje y se ha considerado constante para todos los años de funcionamiento e igual al del año 2008. En la Tabla 13 se indican los valores de 2008 empleados para todas las Planta de Recuperación y Compostaje de Andalucía. Por último, para estimar el rechazo se considera que un porcentaje

de un 76%¹ de la cantidad de residuo que entra en el proceso de compostaje constituye el rechazo que finalmente también se destina a vertedero, aunque con un porcentaje de carbono orgánico degradable inferior al de los residuos de entrada a la Planta de Recuperación y Compostaje.

Tabla 13. Porcentajes de residuos destinados a vertedero de apoyo en Planta de Recuperación y Compostaje. Año 2012

Provincia	Planta	Cantidad residuos (t)	Cantidad a compostaje (t)	Cantidad destinada a Vertedero de apoyo (t)	% Vertedero de apoyo
Almería	PRyC de Albox	71.398	71.398	0	0
Almería	PRyC de Almería	115.607	83.254	32.353	28
Almería	PRyC de Gádor	175.672	154.541	21.131	12
Cádiz	PRyC de Miramundo-Medina Sidonia	386.481	165.606	220.875	57
Cádiz	PRyC Las Calandrias	148.859	148.859	0	0
Cádiz	PRyC Los Barrios	233.936	176.468	57.468	25
Córdoba	PRyC de Córdoba	204.404	149.910	54.494	27
Córdoba	PRyC de Montalbán	328.399	192.815	135.584	41
Granada	PRyC Alhendín	388.797	368.191	20.606	5
Granada	PRyC de Vélez de Benaudalla	108.432	94.336	14.096	13
Huelva	PRyC de Villarrasa	273.666	273.655	11	0
Huelva	PRyC Tharsis-Andévalo	11.620	11.620	0	0
Jaén	PRyC de Jaén	62.453	40.729	21.724	35
Jaén	PRyC Jaén-Sierra Sur	--	--	--	--
Jaén	PRyC de Linares	139.136	131.298	7.838	6
Málaga	PRyC de Casares	351.641	239.726	111.915	32
Málaga	PRyC de Málaga	254.680	121.750	132.930	52
Málaga	PRyC de Mijas	53.068	53.068	0	0
Sevilla	PRyC de Alcalá del Río	132.034	23.457	108.577	82
Sevilla	PRyC de Estepa	45.540	25.247	20.293	45
Sevilla	PRyC de Marchena	51.590	42.366	9.224	18
Sevilla	PRyC de Utrera	70.546	57.639	12.907	18
Sevilla	PRyC Montemarta Cónica. Alcalá de Guadaíra	515.988	200.110	315.878	61

Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio

¹ Según el Plan Director Territorial de Gestión de Residuos No Peligrosos de Andalucía 2010-2019, el 76% de la entrada en plantas de compostaje se convierte en rechazo, cuyo destino es también depósito en vertedero.

Fracción de carbono orgánico degradable contenido en los residuos depositados en vertedero (DOC)

El valor de la fracción de carbono orgánico degradable de los residuos depositados directamente en vertedero es distinto del valor que toma para los residuos que han pasado antes por una Planta de Recuperación y Compostaje.

Para los residuos que se depositan directamente en vertedero el valor de la fracción de carbono orgánico degradable se calcula según la siguiente expresión:

$$\text{DOC} = 0,4 (A) + 0,17 (B) + 0,15 (C) + 0,3 (D)$$

Los valores de las constantes A, B, C y D representan el contenido en carbono de distintas fracciones de residuos que se detallan en la siguiente tabla, al igual que los valores adoptados para el cálculo, que se corresponden con los datos de composición de los residuos urbanos de Andalucía del año 2004.

Tabla 14. Valores de composición de los residuos sólidos urbanos aplicados para el cálculo de fracción de carbono orgánico degradable de Andalucía

Parámetro	Descripción	Valor Andalucía (%)
A	Papel y textiles	23
B	Residuos vegetales y de otros productos orgánicos degradables alimentarios	0 ⁽¹⁾
C	Residuos alimentarios	48,9
D	Madera, paja y biomasa	1 ⁽²⁾

Fuente: Informe de Datos básicos de Medio Ambiente en Andalucía (edición 2008), Inventario Nacional de Emisiones, Serie 1900-2012.

Notas:

(1) se adopta el mismo valor que en el Inventario nacional

(2) valor supuesto, cercano al valor del Inventario nacional (0,96)

Con estos valores, se obtiene un valor de la fracción de carbono orgánico degradable para Andalucía de 0,16835, que se aplica para los residuos depositados en vertedero de todos los municipios, para todos los años de la serie 1970-2012.

Respecto al valor de la fracción de carbono orgánico degradable para el rechazo de las plantas de compostaje, se aplica el valor de 0,09 procedente del Inventario Nacional de Emisiones.

Cantidad de metano procedente de biogás recuperado en el año t (R_t)

La cantidad de metano procedente de biogás captado se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$R_t(\text{t/año}) = VR_t \times \%CH_4 \times p_{CH_4}$$

Donde:

- VR_t : Volumen de biogás recuperado para un municipio en el año t (Nm³).
- $\%CH_4$: Concentración en volumen de metano en el biogás recuperado. Se adopta el valor constante de 55% (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio)
- p_{CH_4} : Densidad del metano existente en el biogás recuperado. Se adopta el valor constante de 0,7143 kg/m³ (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio)

A continuación se describe como se obtienen estos factores:

Volumen de biogás recuperado (VR_t)

La cantidad de biogás recuperado en los vertederos de Andalucía se ha obtenido de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Son datos de volumen de biogás incinerado o valorizado energéticamente, pero se han considerado como biogás recuperado.

Se trata de datos por vertedero por lo que ha sido necesario desagregarlos por los municipios que depositan residuos en cada uno ellos. La desagregación se ha realizado mediante ponderación en función de los residuos depositados por cada municipio frente al total.

Sólo existen datos para la serie de años 2006-2012 y se ha supuesto que para los años iniciales de la serie histórica no se ha realizado recuperación de biogás.

3.2.3.2 Emisiones de la combustión del biogás de vertedero

El biogás recuperado en los vertederos puede ser quemado en distintos dispositivos de combustión, generando emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O. Las emisiones de CO₂ se consideran de origen biogénico y no se contabilizan en los Inventarios.

Respecto de las emisiones de CH₄ y N₂O, las cantidades emitidas dependerán del dispositivo de combustión en que se quemen, que pueden ser: antorchas, calderas, motores o turbinas.

Los factores de emisión disponibles se expresan en función del CH₄ contenido en el biogás, por lo que es necesario partir de este dato para el cálculo, que se realiza siguiendo la siguiente ecuación.

$$\text{Emisiones}_{t,j} \text{ (t gas}_j \text{ / año)} = \sum_i R_{t,i} \times FE_{i,j}$$

Donde:

- $R_{t,i}$: Cantidad de metano quemado en el año t en el equipo de combustión i para un municipio (t CH₄/año)
- $FE_{i,j}$: Factor de emisión del biogás quemado en el equipo i para el gas j.
 j: Gases de efecto invernadero, que pueden ser CH₄, N₂O.
 i: Tipo de equipo de combustión, que pueden ser antorcha, caldera o turbina

A continuación se describe como se obtienen estos factores:

Cantidad de metano quemado en cada tipo de equipo de combustión ($R_{t,i}$)

Es necesario conocer para cada municipio que cantidad de metano se quema en cada uno de los posibles equipos de combustión. Esta información es aportada por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.

Factor de emisión del biogás quemado en el equipo i para el gas j ($FE_{i,j}$)

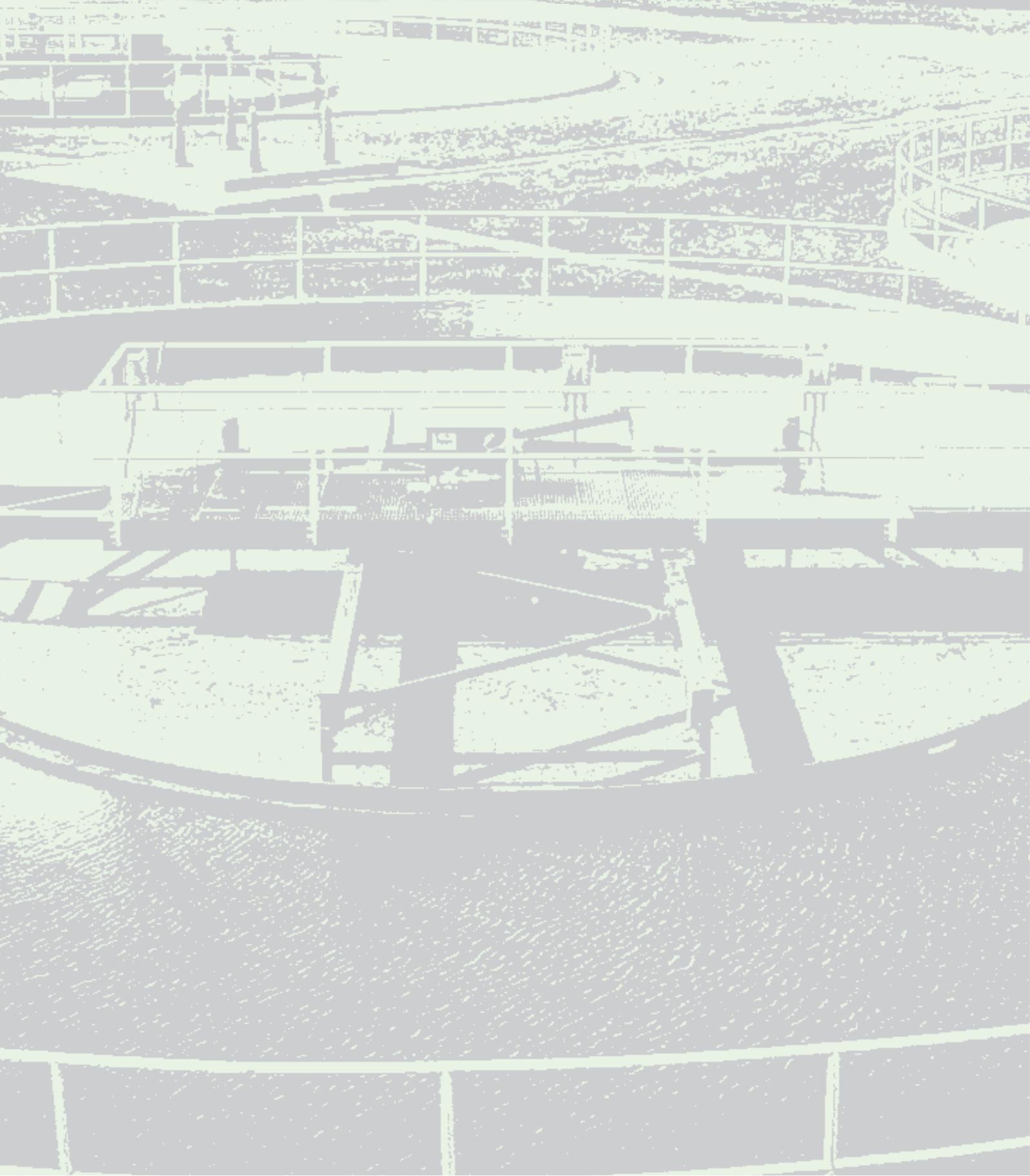
Los valores se indican en la siguiente tabla (Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012)

Tabla 15. Factores de emisión por combustión del biogás recuperado

Dispositivo combustión	g CH ₄ /t CH ₄ (x10 ⁻⁶)	g N ₂ O/t CH ₄ (x10 ⁻⁶)
Antorchas	8.000	90
Calderas	20.000	90
Motores	28.000	90
Turbinas	56.000	90

Fuente: Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012

AGUAS RESIDUALES



3.3. EMISIONES DEL SECTOR AGUAS RESIDUALES

3.3.1. QUÉ EMISIONES SE CALCULAN

El proceso de depuración se realiza en Estaciones de Depuración de Aguas Residuales y se distinguen tres tipos de tratamiento: primario, secundario y terciario. En el tratamiento primario, los sólidos de gran volumen son separados mediante barreras físicas al tiempo que las partículas de menor tamaño se dejan sedimentar. El tratamiento secundario consiste en un proceso biológico que promueve la biodegradación de la materia orgánica por microorganismos. Estos tratamientos pueden incluir lagunas de estabilización, filtros percoladores o procesos de lodos activados. Los tratamientos terciarios incluyen los procesos destinados a depurar las aguas de otros contaminantes y elementos patógenos, por ejemplo mediante lagunas de maduración, filtración avanzada, adsorción de carbono, intercambio iónico y desinfección. Los tratamientos indicados constituyen la denominada línea de aguas.

Los lodos se producen en las etapas primaria y secundaria. El lodo del tratamiento primario está compuesto por los sólidos separados de la línea de aguas. El lodo generado en el tratamiento secundario es el resultado de un crecimiento biológico de la biomasa así como de la agregación de pequeñas partículas. Estos lodos deben ser tratados con posterioridad para ser depositados de forma segura. Los métodos de tratamiento de lodos pueden incluir estabilización, digestión aerobia o anaerobia, acondicionado, centrifugado, compostaje y/o secado. Los tratamientos aquí indicados constituyen la denominada línea de fangos.

Cada Estación de Depuración de Aguas Residuales vendrá definida por los tratamientos que tenga implantados tanto en la línea de aguas, como en la línea de fangos. En ambas se generan emisiones de metano en forma de biogás, pero la mayoría provienen de las digestiones anaerobias de la línea de fangos. Al igual que en el caso de los vertederos, existen sistemas de recuperación del biogás generado en las Estaciones de Depuración de Aguas Residuales, que posteriormente es quemado, bien en antorcha o bien valorizado energéticamente en dispositivos de combustión.

Por otra parte, las evacuaciones humanas a los sistemas de saneamiento generan emisiones de N₂O procedentes de su contenido en proteínas.

En el sector Aguas Residuales de la Huella de Carbono Municipal se calculan las emisiones de CH₄ generadas por la degradación de la materia orgánica de las aguas residuales de origen residencial y comercial, las emisiones de la combustión del biogás capturado en las Estaciones de Depuración de Aguas Residuales e incinerado en antorcha o valorizado energéticamente, y las emisiones de N₂O procedentes del contenido en proteínas de las evacuaciones humanas a la red de saneamiento.

En la siguiente tabla se muestra la correspondencia con el Inventario Nacional siguiendo las nomenclaturas SNAP y CRF.

Tabla 16. Correspondencia HCM-SNAP-CRF. Sector Aguas Residuales.

HCM	INV. NAC. – SNAP	INV. NAC. - CRF
Aguas Residuales de origen residencial y comercial. (incluye incineración de biogás en antorcha y valorización energética)	09 10 02 Tratamiento de aguas residuales en sectores residencial y comercial	6B2. Residuos: Tratamiento de aguas residuales de los sectores residencial y comercial

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. FUENTES DE INFORMACIÓN

En la siguiente tabla se indican la información de partida y las fuentes para el cálculo de las emisiones del tratamiento de las aguas residuales.

Tabla 17. Datos de partida y fuentes de información. Sector Aguas Residuales.

Información de partida	Fuente de información
Datos de actividad	
Población municipal	Sistema Multiterritorial de Andalucía, SIMA (Instituto de Estadísticas y Cartografía de Andalucía, IECA)
Consumo anual per cápita de proteínas	Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2008. Volumen2, y Serie 1990-2012 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)
Factores y constantes	
Factor de conversión de habitantes empadronados a habitantes equivalentes	Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2008. Volumen 2 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)
Demanda biológica de oxígeno por habitante y día	Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)
Capacidad máxima de producción de CH ₄	Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)
Factor de corrección del metano	Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2008. Volumen 2 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)
	Directrices del Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC 2006 (Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático)
Factores de emisión de biogás quemado por tipo de equipo de combustión y gas	Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)
Fracción de nitrógeno en la proteína	Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)
Factor de emisión óxido nitroso	Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)

Fuente: *Elaboración propia*



3.3.3. METODOLOGÍA APLICADA

La metodología de cálculo de las emisiones del tratamiento de aguas residuales empleada en la Huella de Carbono se basa en la metodología del Inventario Nacional de Emisiones.

Las emisiones del sector Aguas Residuales tienen tres procedencias, las emisiones de CH₄ por degradación de la materia orgánica de las líneas de aguas y fangos de las Estaciones de Depuración de Aguas Residuales, las de combustión del biogás recuperado en las Estaciones de Depuración de Aguas Residuales y las de N₂O del contenido de proteínas de las evacuaciones humanas a la red de saneamiento. Las emisiones del sector resultan de la suma de todas ellas.

3.3.3.1. Emisiones de metano generadas por la degradación de la materia orgánica en las Estaciones de Depuración de Aguas Residuales.

La ecuación empleada para el cálculo de emisiones de metano en los diferentes tratamientos de aguas residuales es:

$$\text{Emisiones CH}_4 \text{ (t/año)} = G_t - R_t$$

Donde:

- G_t : Cantidad de metano generado en el año t (t CH₄/año)
- R_t : Metano recuperado en el año t (t CH₄/año)

Cantidad de metano generado (G_t)

El cálculo del metano generado corresponde a la siguiente ecuación:

$$G_t \text{ (t/año)} = \sum_j (\text{TOW} \times S_j \times \text{FE}_j)$$

Donde:

- **TOW**: Carga orgánica contaminante total (t DBO/año)
 - S_j : Porcentaje de la carga contaminante dirigida al tratamiento j. Aplica únicamente cuando hay línea de fangos en la Estación de Depuración de Aguas Residuales.
 - FE_j : Factor de emisión del tratamiento j (t CH₄/t DBO)
- j: Tipo de tratamiento

Para poder aplicar la metodología de cálculo, en primer lugar es necesario identificar la Estación de Depuración de Aguas Residuales que da servicio a cada municipio. Y en segundo lugar es necesario relacionar los distintos tipos de tratamiento de las aguas que se llevan a cabo en las Estaciones de Depuración

de Aguas Residuales de Andalucía según la denominación aportada por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, con las denominaciones de los tratamientos recogidos en las Directrices IPCC, para los cuales se dispone de factores de emisión. El objetivo es relacionar cada municipio con un tipo de tratamiento reconocido en las Directrices del IPCC.

En la siguiente tabla se muestra la relación establecida entre las categorías de tratamientos:

Tabla 18. Equivalencia entre los tipos de tratamientos de aguas

Tipos de tratamiento CMAOT	Categorías asimiladas del IPCC
Aireación Prolongada	Tratamiento aerobio bien gestionado
Fangos Activados	Tratamiento aerobio bien gestionado
Doble Etapa	Tratamiento aerobio bien gestionado
Carroussel	Tratamiento aerobio bien gestionado
Contactores biológicos rotativos	Tratamiento aerobio bien gestionado
Lechos Bacterianos	Tratamiento aerobio bien gestionado
Filtro de turba	Tratamiento aerobio bien gestionado
Escorrentía	Tratamiento aerobio bien gestionado
Filtro Verde	Tratamiento aerobio bien gestionado
Canal de plantas emergentes	Tratamiento aerobio bien gestionado
Compacta	Tratamiento aerobio bien gestionado
Físico-Químico	Emisiones asociadas a la línea de fangos, no hay reacción orgánica en la línea de aguas
Lagunaje	Lagunas anaerobias con profundidad superior a 2m
Lecho Inundado	Lagunas anaerobias con profundidad inferior a 2m
Tanque Imhoff - Fosa séptica	Reactor anaerobio
Sin datos	Sin tratamiento, vertido directo al medio receptor

Fuente: *Elaboración propia*

A continuación se describe como se obtienen estos factores:



Carga orgánica contaminante total (TOW)

Para el cálculo de la carga contaminante total se aplica la siguiente ecuación:

$$\text{TOW (t/año)} = \text{Población} \times \text{Feq} \times \text{DBO} \times 10^{-6} \times 365$$

Donde:

- **Población:** N° de habitantes promedio municipal durante el año de estudio.
- **Feq:** Factor de conversión de habitantes empadronados a habitantes equivalentes. Se aplica un valor de 1,68 calculado a partir de los datos de 2008 de habitantes equivalentes de Andalucía (Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2008. Volumen 2) y la población de Andalucía.
- **DBO:** Demanda biológica de oxígeno por habitante y día. Se aplica el valor de 60 gDBO5/hab/día, del Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012.

Porcentaje de la carga contaminante dirigida al tratamiento j (S_j)

El reparto de la carga contaminante en distintos tratamientos en un mismo municipio puede adoptar dos distribuciones:

- Si la Estación Depuradora de Aguas Residuales que le da servicio NO dispone de línea de fangos, las aguas de ese municipio reciben un solo tratamiento y por tanto el valor S_j adopta un valor de 1.
- Si la Estación Depuradora de Aguas Residuales que le da servicio dispone de línea de fangos, se considera que un porcentaje de las aguas del municipio reciben el tratamiento que corresponda en cada caso, y el 25% restante recibe tratamiento de fangos. Por tanto S_j toma los valores de 0,75 y 0,25. De esta forma, a cada porcentaje de las aguas tratadas se le aplica un factor de emisión distinto.

Factores de emisión por tratamiento j (FE_j)

Para el cálculo del factor de emisión de cada tratamiento se aplica la siguiente expresión:

$$FE_j \text{ (kg CH}_4\text{/kg DBO)} = B_o \times FCM_j$$

Donde:

- B_o : Capacidad máxima de producción de CH_4 . Se aplica el valor del Inventario Nacional de Emisiones 0,6 kg CH_4 /kg DBO.
- FCM_j : Factor de corrección del metano. Este factor adopta distintos valores según el tipo de tratamiento j , en la siguiente tabla se indican los valores:

Tabla 19. Factores de corrección de metano según el tipo de tratamiento

Tipo de tratamiento	FCM	Fuente de los datos
Sistema sin tratamiento con vertido directo al medio receptor	0,1	Directrices IPCC 2006
Sistemas sépticos	0,5	
Lagunas anaerobias con profundidad inferior a 2 metros	0,2	
Lagunas anaerobias con profundidad superior a 2 metros	0,8	
Tratamiento aerobio en una planta sobrecargada o mal gestionada	0,3	
Reactor anaerobio	0,8	
Tratamiento aerobio bien gestionado	0,005	Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2008. Volumen 2.
Tratamiento anaerobio de los fangos	0,3	
Tratamiento aerobio de los fangos	0	

Fuente: Elaboración propia

Cantidad de metano procedente de biogás recuperado en el año t (R_t)

La cantidad de metano recuperado se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$R_t \text{ (t/año)} = VR_t \times \%CH_4 \times \rho_{CH_4}$$

Donde:

- VR_t : Volumen de biogás recuperado para un municipio en el año t (m^3 /año).
- $\%CH_4$: Concentración en volumen de metano en el biogás recuperado. Se adopta el valor constante de 64% (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio)
- ρ_{CH_4} : Densidad del metano existente en el biogás recuperado. Se adopta el valor constante de $0,7143 \times 10^{-3} \text{ t/m}^3$ (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio)

A continuación se describe como se obtienen estos factores:

Volumen de biogás recuperado para un municipio en el año t (VR_t)

La cantidad de biogás recuperado de las Estaciones de Depuración de Aguas Residuales de Andalucía se ha obtenido de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Son datos de volumen de biogás incinerado o valorizado energéticamente, pero se han considerado como biogás recuperado. Se trata de datos por Estación de Depuración de Aguas Residuales por lo que ha sido necesario desagregarlos por los municipios que destinan a ella sus aguas. La desagregación se ha realizado proporcional a la población de los municipios. En los casos en los que un municipio dirige sus aguas a varias Estaciones de Depuración de Aguas Residuales de Andalucía, el reparto se ha realizado sumando el biogás consumido en todas ellas y repartiendo proporcional a la población entre todos los municipios servidos.

Sólo existen datos para la serie de años 2007-2012 y se ha supuesto que para el resto de años de la serie histórica no se ha realizado recuperación de biogás.

3.3.3.2 Emisiones de la combustión del biogás recuperado en las Estaciones de Depuración de Aguas Residuales de Andalucía

El biogás recuperado es quemado en distintos dispositivos de combustión, generando emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O. Las emisiones de CO₂ se consideran de origen biogénico y no se contabilizan en la Huella de Carbono.

Respecto de las emisiones de CH₄ y N₂O, las cantidades emitidas dependerán del dispositivo de combustión en que se queman, que pueden ser: antorchas, calderas, motores o turbinas.

Los factores de emisión disponibles se expresan en función del CH₄ contenido en el biogás, por lo que es necesario partir de este dato para el cálculo, que se realiza siguiendo la siguiente ecuación.

Es necesario conocer para cada municipio que cantidad de metano se quema en cada uno de los posibles equipos de combustión. Esta información es aportada por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.

$$\text{Emisiones}_{t,j} \text{ (t gas}_j\text{/año)} = \sum_i R_{t,i} \times FE_{i,j}$$

Donde:

- $R_{t,i}$: Cantidad de metano quemado en el año t en el equipo de combustión i para un municipio (t CH₄)
- $FE_{i,j}$: Factor de emisión del biogás quemado en el equipo i para el gas j. Los valores se indican en la siguiente tabla (Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012)

j: Gases de efecto invernadero, que pueden ser CH₄, N₂O.

i: Tipo de equipo de combustión, que pueden ser antorcha, caldera o turbina

t: Año de cálculo del Inventario

A continuación se describe como se obtienen estos factores:

Cantidad de metano quemado en cada tipo de equipo de combustión j ($R_{i,j}$)

Es necesario conocer para cada municipio que cantidad de metano se quema en cada uno de los posibles equipos de combustión. Esta información es aportada por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.

Factor de emisión del biogás quemado en el equipo i para el gas j ($FE_{i,j}$)

Los valores se indican en la siguiente tabla (Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012)

Tabla 20. Factores de emisión por combustión del biogás recuperado

Dispositivo combustión	g CH ₄ /t CH ₄ (x10 ⁻⁶)	g N ₂ O/t CH ₄ (x10 ⁻⁶)
Antorchas	8.000	90
Calderas	20.000	90
Motores	28.000	90
Turbinas	56.000	90

Fuente: Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012.

3.3.3.3. Emisiones de óxido nitroso procedentes de las aguas residuales

La fórmula de cálculo de las emisiones de óxido nitroso en aguas residuales es la siguiente:

$$\text{Emisiones N}_2\text{O (t/año)} = C_{\text{proteína}} F_{\text{NPR}} \times P \times FE_6 \times 44/28 \times 10^{-3}$$

Donde:

- $C_{\text{proteína}}$: Consumo anual per cápita de proteínas (kg/hab*año) (Inventario Nacional de Emisiones)
- F_{NPR} : Fracción de nitrógeno en la proteína. Valor por defecto aplicado en el Inventario Nacional de Emisiones 0,16 kg N/kg proteína x 10⁻³
- P : Población del municipio (hab)
- FE_6 : Factor de emisión. Valor por defecto aplicado en el Inventario Nacional de Emisiones 0,01 kg N₂O-N/kg N

A continuación se describe como se obtienen estos factores:

Consumo anual per cápita de proteínas ($C_{\text{proteína}}$)

El consumo per cápita de proteínas es un valor que varía anualmente y se obtiene del Inventario Nacional de Emisiones.

Tabla 21. Consumo per cápita de proteínas (2000-2012)

Año	kg/hab/año
2000	34,05
2001	34,49
2002	35,15
2003	34,97
2004	34,93
2005	34,71
2006	34,13
2007	34,65
2008	34,69
2009	34,71
2010	34,75
2011	34,78
2012	34,82

Fuente datos 2000-2006: Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2008. Volumen 2
Fuente datos 2007-2012: Datos calculados. Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012.

AGRICULTURA



3.4. EMISIONES DEL SECTOR AGRICULTURA

En el sector Agricultura de la Huella de Carbono se calculan emisiones directas e indirectas de óxido nítrico y emisiones directas de metano.

Las emisiones de óxido nítrico consideradas son las emisiones directas debidas al aporte de nutrientes al suelo y derivadas de las excreciones animales en pastoreo, y las emisiones indirectas por deposición atmosférica, lixiviación y escorrentías.

Las emisiones directas de óxido nítrico por los suelos agrícolas son fundamentalmente de origen biogénico y resultan básicamente de los procesos de nitrificación y desnitrificación. El aporte de nitrógeno a estos suelos tiene lugar generalmente por la incorporación de fertilizantes químicos-sintéticos nitrogenados o el aporte de fertilizantes orgánicos procedentes de los estiércoles animales.

En cuanto a las emisiones de óxido nítrico provenientes de las excreciones animales en pastoreo, en este apartado se tienen en cuenta solamente los estiércoles excretados en establecimientos ganaderos con un posterior uso como abono en suelos agrícolas.

Las emisiones indirectas de óxido nítrico atribuibles al nitrógeno utilizado en la agricultura ocurren por dos mecanismos:

- Parte del nitrógeno entra en la atmósfera en forma de amoníaco y óxidos de nitrógeno. Luego retorna a los suelos por deposición atmosférica, aumentando así la producción de óxido nítrico.
- Otra parte se pierde de los suelos a través de las escorrentías y la lixiviación, uniéndose a los sistemas de aguas subterráneas y superficiales, de las cuales se emite una proporción de óxido nítrico.

Las emisiones de metano consideradas en el cálculo son emisiones directas procedentes del cultivo de arroz. Durante el tiempo que dura el cultivo de arroz se origina gas metano como consecuencia de la descomposición anaerobia por los microorganismos del suelo de la materia orgánica que queda bajo las aguas de anegamiento. Las emisiones varían mucho durante el crecimiento del cultivo y dependen de la tecnología aplicada, de la disponibilidad de nutrientes, de las condiciones de insolación y del tipo de suelo. El metano producido en los campos de arroz se incorpora a la atmósfera por transporte difuso a través de tres vías: por burbujeo en las aguas de anegamiento, por difusión desde la superficie del agua de anegamiento y a través de los tejidos de las plantas durante el crecimiento.

En la siguiente tabla se muestra la correspondencia con el Inventario Nacional siguiendo las nomenclaturas SNAP y CRF:

Tabla 22. Correspondencia HCM-SNAP-CRF. Sector Agricultura

HCM	INV. NAC. – SNAP	INV. NAC. - CRF
Agricultura	10 01 (CH ₄) Cultivos con fertilizantes (excepto con estiércol animal)	4C Cultivos de arroz
	10 01 (N ₂ O) Cultivos con fertilizantes (excepto con estiércol animal)	4D Suelos agrícolas
	10 02 Cultivos sin fertilizantes	
	11 05 (N ₂ O) Zonas Húmedas (pantanales- marismas)	
	11 06 (N ₂ O) Espacios acuáticos	

Fuente: Elaboración propia

3.4.1 FUENTES DE INFORMACIÓN

En la siguiente tabla se indican la información de partida y las fuentes para el cálculo de las emisiones del sector agricultura.

Tabla 23. Datos de partida y fuentes de información. Sector Agricultura

Información de partida	Fuente de información
Datos de actividad	
Superficies de cultivos municipales	Sistema Multiterritorial de Andalucía, SIMA (Instituto de Estadísticas y Cartografía de Andalucía, IECA)
Superficie de pastoreo para cada municipio	Anuario de Estadísticas Agrarias y Pesqueras de Andalucía (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural)
Hectáreas cultivadas de arroz en el municipio	Sistema Multiterritorial de Andalucía, SIMA (Instituto de Estadísticas y Cartografía de Andalucía, IECA)
Factores y constantes	
Fracción de los aportes de nitrógeno en fertilizantes y estiércoles que se volatilizan como NH_3 y NO_x	Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012. Volumen 2 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)
Toneladas de nitrógeno de fertilización mineral aplicadas en un determinado cultivo	Balance de Nitrógeno de la Agricultura Española. Año 2006 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)
Toneladas de nitrógeno de fertilización orgánica aplicadas en un determinado cultivo	
Toneladas de nitrógeno de fijación biológica en un determinado cultivo	
Toneladas de nitrógeno de excrementos (pastoreo) en el cultivo	
Factor de emisión de N_2O correspondiente a las emisiones procedentes de aportes directos de nitrógeno a los suelos anualmente	Orientación IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change (Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático), año 2000, capítulo 4
Factor de emisión correspondiente a las emisiones procedentes de aportes de nitrógeno a los suelos por el pastoreo	
Fracción de nitrógeno lixiviada	Directrices IPCC para los gases de efecto invernadero, versión 1996
Factor de emisión de N_2O de la deposición atmosférica de Nitrógeno en las superficies acuáticas y suelos	
Factor de emisión de N_2O correspondiente a la lixiviación y escorrentía de Nitrógeno	
Factor de emisión de metano por hectáreas cultivadas de arroz	

Fuente: *Elaboración propia*

3.4.2. METODOLOGÍA APLICADA

Las emisiones del sector Agricultura tienen varias procedencias, las emisiones de óxido nitroso procedentes de los suelos agrícolas, de las excreciones animales en pastoreo y de fenómenos de deposición atmosférica, lixiviación y escorrentías, y las emisiones de metano procedentes del cultivo de arroz. Las emisiones del sector resultan de la suma de todas ellas.

3.4.2.1 Emisiones directas de óxido nitroso de los suelos agrícolas

Para el cálculo de las emisiones directas de N₂O se emplea la siguiente expresión:

$$\text{Emisiones N}_2\text{O (t/año)} = (F_{SN} + F_{EA} + F_{NB}) \times FE_1 \times 44/28$$

Donde:

- F_{SN} : Cantidad anual de nitrógeno aportado en los fertilizantes sintéticos (t N/año)
- F_{EA} : Cantidad anual de nitrógeno en el estiércol animal (t N/año)
- F_{NB} : Cantidad de nitrógeno fijado (t N/año)
- FE_1 : Factor de emisión de N₂O correspondiente a las emisiones procedentes de aportes directos de nitrógeno a los suelos anualmente. Se aplica el valor 0,0125 t N₂O –N/t N
- **44/28**: Factor de conversión del N₂ en N₂O.

A continuación se describe como se calculan cada uno de los factores anteriores:

Cantidad anual de nitrógeno aportado en los fertilizantes sintéticos (F_{SN})

La cantidad anual de nitrógeno aportado en los fertilizantes sintéticos aplicados al suelo (t N), se ajusta para tener en cuenta la volatilización de NH₃ y NO_x, y se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$F_{SN} \text{ (t/año)} = \sum_c [SC_{c,m} \times TFM_c] \times (1 - \text{Frac}_{\text{gasF}})$$

- $SC_{c,m}$: Superficie dedicada al cultivo c en el municipio m (ha)
 - TFM_c : Ratio de fertilización mineral por hectárea de cultivo c (t N/ha cultivada) para Andalucía.
 - $\text{Frac}_{\text{gasF}}$: Fracción de los aportes de nitrógeno en fertilizantes que se volatilizan como NH₃ y NO_x (t de NH₄-N/t de N)
- c: Tipo de cultivo

A continuación se describe como se obtienen estos factores:

Superficie dedicada al cultivo c en el municipio m ($SC_{c,m}$)

Las superficies de cultivos municipales se extraen de las siguientes consultas del Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA), en la categoría "Agricultura":

- "Superficie destinada a cultivos herbáceos de regadío"
- "Superficie destinada a cultivos herbáceos de secano"
- "Superficie destinada a cultivos leñosos de regadío"
- "Superficie destinada a cultivos leñosos de secano"

En las siguientes tablas se muestran las categorías de cultivos que considera la Huella de Carbono y los cultivos que se incluyen en cada una de ellas.

Tabla 24. Agrupación de los distintos tipos de cultivos herbáceos del Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA) en las categorías de la Herramienta Huella de Carbono

HCM	SIMA
Arroz	Arroz
Otros cereales	Avena, cebada, centeno, maíz, mijo y panizo, otros cereales primavera, sorgo, tranquillón, escaña y otros, trigo, triticale, cereales de invierno
Leguminosas	Altramuz, garbanzo, guisante seco, guisante verde, haba seca, haba verde, Haba, guisante, altramuz, alholva, algarrobas y otros, judía seca, cacahuete, lenteja, leguminosas grano, otras leguminosas, veza, yero
Tubérculos	Batata y boniato, patata extratemprana, patata media estación, patata tardía, patata temprana, tubérculos consumo humano, pataca, chirivía y otros
Girasol	Girasol
Otros cultivos industriales	Cultivos industriales, algodón, anís, cártamo, colza, comino, regaliz y otros, Lavanda y lavandín, Lino oleaginoso, otros cultivos industriales, remolacha azucarera, soja, tabaco
Forrajeras	Cultivos forrajeros, alfalfa, calabaza forrajera, cardo y otros forrajes varios, cereales de invierno para forrajes, col forrajera, esparceta, maíz forrajero, nabo forrajero, otras gramíneas, praderas polifitas, remolacha forrajera, sorgo forrajero, trébol, vallico, veza para forraje, zanahoria forrajera, zulla
Hortícolas y Flores	Acelga, achicoria verde, hortalizas, endivia, borraja y otras, ajo, alcachofa, apio, berenjena, berza, calabaza y calabacín, cardo, cebolla, cebolleta, champiñón, clavel, col y repollo, coliflor, escarola, espárrago, espinaca, fresa y fresón, guindilla, judía verde, lechuga, melón, nabo y otras, otras flores, otras hortalizas, pepinillo, pepino, pimiento, pimiento para pimentón, flores y plantas ornamentales, plantas ornamentales, puerro, rábano, remolacha de mesa, rosa, sandía, tomate, zanahoria

Fuente: SIMA. Categorías de cultivos herbáceos



Tabla 25. Agrupación de los distintos tipos de cultivos leñosos del Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA) en las categorías de la Herramienta Huella de Carbono

HCM	SIMA
Cítricos	Limero y otros cítricos, limonero, mandarino, naranjo, naranjo amargo, pomelo
Almendra	Almendra
Otros frutales	Acerolo, serbal y otros, aguacate, albaricoquero, avellano, Azufaifo, guayabo, Kaki, frambueso, grosellero, moral y otros, cerezo y guindo, chirimoyo, chumbera, ciruelo, granado, Higuera, manzano, melocotonero, membrillo, morera y otros, níspero, nogal, Palmera datilera, peral, pistacho
Olivar	Olivar aceituna de aceite, olivar aceituna de mesa
Viña	Viñedo uva de mesa, viñedo uva para vino, viñedo uva para pasas
Otros	Alcaparra, algarrobo, Caña vulgar, mimbrero, vivero

Fuente: SIMA. Categorías de cultivos leñosos

Ratio de fertilización mineral por hectárea de cultivo c (TFM_c)

Este ratio se calcula dividiendo las toneladas de nitrógeno de fertilización mineral aplicadas en el cultivo c en Andalucía entre el número de hectáreas de dicho cultivo en Andalucía.

Los datos de toneladas de nitrógeno de fertilización mineral aplicadas a cada tipo de cultivo se extraen del informe "Balance de Nitrógeno de la Agricultura Española. Año 2006".

Tabla 26. Toneladas de nitrógeno de fertilización mineral aplicadas en cultivos herbáceos, año 2006

Andalucía	Herbáceos						
	Cereales	Legumbres Grano	Tubérculos	Cultivo Industrial	Girasol	Forrajeras	Hortícolas y Flores
Superficies (ha)	766.354	81.303	15.793	105.729	237.780	88.903	124.410
Entradas (t de N)							
Fertilización Mineral	64.583	1.263	2.665	20.152	2.861	1.101	23.060

Fuente: Balance de Nitrógeno de la Agricultura Española. Año 2006

Tabla 27. Toneladas de nitrógeno de fertilización mineral aplicadas en cultivos leñosos, año 2006

Andalucía	Leñosos					
	Cítricos	Frutales	Almendra	Olivar	Viña	Otros
Superficies (ha.)	64.354	37.027	176.577	1.459.662	41.064	3.237
Entradas (t de N)						
Fertilización Mineral	15.516	5.713	2.018	85.810	2.528	31

Fuente: Balance de Nitrógeno de la Agricultura Española. Año 2006

Fracción de los aportes de nitrógeno en fertilizantes que se volatilizan como NH₃ y NO_x (Frac_{gasF})

Se trata de valores adimensionales que se obtienen del Inventario Nacional de Emisiones, serie 1990-2012.

Tabla 28. Fracción de aportes de nitrógeno en fertilizante volatilizado como NH₃ y NO_x

Año	Frac _{gasF}
2000	0,080
2001	0,084
2002	0,086
2003	0,082
2004	0,081
2005	0,077
2006	0,087
2007	0,083
2008	0,088
2009	0,099
2010	0,088
2011	0,090
2012	0,088

Fuente: Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012. Volumen 2

Cantidad anual de nitrógeno en el estiércol animal (F_{EA})

La cantidad anual de nitrógeno en el estiércol animal aplicado intencionadamente a los suelos (t N), ajustada para tener presente el volumen que se emite como NH₃ y NO_x, y excluyendo el abono incorporado durante el pastoreo de los animales. Se calcula a partir de la expresión:

$$F_{EA} \text{ (t/año)} = \sum_c [SC_{c,m} \times TEA_c] \times (1 - \text{Frac}_{\text{gasM}})$$

- SC_{c,m}: Superficie dedicada al cultivo c en el municipio m (ha).
- TEA_c: Ratio de aporte de nitrógeno en estiércol por hectárea de cultivo c (t N/ha cultivada) para Andalucía.
- Frac_{gasM}: Fracción de los aportes de nitrógeno en estiércoles que se emiten como NH₃ y NO_x (t de NH₄-N y NO_x-N/t de N).

c: Tipo de cultivo

A continuación se describe como se obtienen estos factores:

Superficie dedicada al cultivo c en el municipio m (SC_{c,m})

La obtención de los valores de superficie dedicada a cada cultivo en cada municipio se describe en el apartado anterior sobre el nitrógeno aportado en los fertilizantes sintéticos.

Ratio de aporte de nitrógeno en estiércol por hectárea de cultivo c (TEA_c)

Este ratio se calcula dividiendo las toneladas de nitrógeno de fertilización orgánica en el cultivo c en Andalucía entre el número de hectáreas de dicho cultivo en Andalucía. Los datos de nitrógeno de fertilización orgánica aplicadas a cada tipo de cultivo se extraen del informe "Balance de Nitrógeno de la Agricultura Española. Año 2006".

Tabla 29. Toneladas de nitrógeno de fertilización orgánica aplicadas en cultivos herbáceos, año 2006

Andalucía	Herbáceos						
	Cereales	Legum Grano	Tubérculos	C. Indust	Girasol	Forrajeras	Hortícolas y Flores
Superficies (ha.)	766.354	81.303	15.793	105.729	237.780	88.903	124.410
Entradas (t de N)							
Fertilización orgánica	4.539	0	1.296	1.086	1.079	728	16.479

Fuente: Balance de Nitrógeno de la Agricultura Española. Año 2006

Tabla 30. Toneladas de nitrógeno de fertilización orgánica aplicadas en cultivos leñosos, año 2006

Andalucía	Leñosos					
	Cítricos	Frutales	Almendro	Olivar	Viña	Otros
Superficies (ha.)	64.354	37.027	176.577	1.459.662	41.064	3.237
Entradas (t de N)						
Fertilización orgánica	4.035	1.980	799	2.056	2.146	10

Fuente: Balance de Nitrógeno de la Agricultura Española. Año 2006

Fración de los aportes de nitrógeno en estiércoles que se volatilizan como NH₃ y NO_x (Frac_{gasM})

Se trata de valores adimensionales que se obtienen del Inventario Nacional de emisiones a la atmósfera, serie 1990-2012.

Tabla 31. Fracción de aportes de nitrógeno en estiércoles volatilizado como NH₃ y NO_x

Año	Frac _{gasM}
2000	0,191
2001	0,191
2002	0,192
2003	0,192
2004	0,191
2005	0,191
2006	0,191
2007	0,192
2008	0,191
2009	0,191
2010	0,191
2011	0,191
2012	0,192

Fuente: *Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012. Volumen 2*

Cantidad de nitrógeno fijado (F_{NB})

La cantidad de nitrógeno fijado por las variedades fijadoras de nitrógeno que se cultivan anualmente. Se calcula a partir de la expresión:

$$F_{NB} \text{ (t/año)} = \sum_c [SC_{c,m} \times TFB_c]$$

- SC_{c,m}: Superficie dedicada al cultivo c en el municipio m (ha).
- TFB_c: Ratio de aporte de nitrógeno por fijación biológica por hectárea de cultivo c (t N/ha cultivada) para Andalucía.

c: Tipo de cultivo

A continuación se describe como se obtienen estos factores:

Superficie dedicada al cultivo c en el municipio m (SC_{c,m})

La obtención de los valores de superficie dedicada a cada cultivo en cada municipio se describe en el apartado anterior sobre el nitrógeno aportado en los fertilizantes sintéticos.

Ratio de aporte de nitrógeno por fijación biológica por hectárea de cultivo c (TFB_c)

Este ratio se calcula dividiendo las toneladas de nitrógeno de fijación biológica en el cultivo c en Andalucía entre el número de hectáreas de dicho cultivo en Andalucía.

Los datos de nitrógeno de fijación biológica en cada tipo de cultivo se extraen del informe “Balance de Nitrógeno de la Agricultura Española. Año 2006”.

Tabla 32. Toneladas de nitrógeno de fijación biológica aplicadas en cultivos herbáceos, año 2006

Andalucía	Herbáceos							Zonas de pastoreo
	Cereales	Legum Grano	Tubérculos	C. Indust	Girasol	Forrajeras	Hortícolas y Flores	
Superficies (ha.)	766.354	81.303	15.793	105.729	237.780	88.903	124.410	3.656.896
Entradas (t de N)								
Fijación biológica	0	1.771	0	10	0	2.855	1.259	8.509

Fuente: Balance de Nitrógeno de la Agricultura Española. Año 2006

3.4.2.2 Emisiones de óxido nitroso provenientes del pastoreo

Se aplica la siguiente fórmula de cálculo para las emisiones de N₂O en pastoreo:

$$\text{Emisiones N}_2\text{O (t/año)} = N_{\text{past}} \times FE_2 \times 44/28$$

Donde:

- **FE₂**: Factor de emisión correspondiente a las emisiones procedentes de aportes de nitrógeno a los suelos por el pastoreo, 0,02 t N₂O-N/t N.
- **N_{past}**: Cantidad anual de nitrógeno aportado al suelo por el pastoreo (t N/año). Se calcula a partir de la expresión:

$$N_{\text{past}} \text{ (tN/año)} = \sum_c SC_{\text{past},c} \times TPast_c$$

Donde:

- **SC_{past,c}**: Superficie pastoreada en cada municipio por tipo de cultivo c (ha).
 - **TPast_c**: Ratio de aporte de nitrógeno en pastoreo por hectárea de superficie de cultivo c (t de N/ha cultivada) para Andalucía.
- c: Tipo de cultivo o aprovechamiento

A continuación se describe como se obtienen estos factores:

Superficie pastoreada en cada municipio (SC_{past,c})

El dato de superficie dedicada al pastoreo en cada municipio se obtiene de dos posibles fuentes. El dato usado para el cálculo de las emisiones es el obtenido del SIMA, corregido a través de un factor que se calcula a partir de datos de superficies de los Anuarios de Estadísticas Agrarias y Pesqueras de Andalucía.

Ratio de aporte de nitrógeno en pastoreo por hectárea de superficie de cultivo c (TPast_c)

Este ratio se calcula dividiendo las toneladas de nitrógeno de excrementos (pastoreo) en el cultivo c entre el número de hectáreas de dicho cultivo en Andalucía.

Los datos de nitrógeno de excrementos (pastoreo) en cada tipo de cultivo se extraen del informe "Balance de Nitrógeno de la Agricultura Española. Año 2006".

Tabla 33. Toneladas de nitrógeno de excrementos procedentes del pastoreo aplicadas en cultivos herbáceos, año 2006

Andalucía	Herbáceos							Zonas de pastoreo
	Cereal	Legum Grano	Tubérculos	C. Indust	Girasol	Forrajeras	Hortícolas y Flores	
Superficies (ha.)	766.354	81.303	15.793	105.729	237.780	88.903	124.410	3.656.896
Entradas (t de N)								
Excrementos (pastoreo)	4.661	400	0	3.966	1.315	101	2.456	47.088

Fuente: Balance de Nitrógeno de la Agricultura Española. Año 2006

3.4.2.3 Emisiones indirectas de óxido nitroso provenientes de los suelos agrícolas

Las emisiones indirectas de los suelos agrícolas son calculadas a través de la siguiente ecuación:

$$N_2O \text{ (t/año)} = ((SC_{c,m} \times TFM_c \times Frac_{gasF} + SC_{c,m} \times TEA_c \times Frac_{gasM}) \times FE_4 + (SC_{c,m} \times TFM_c + SC_{c,m} \times TEA_c) \times Frac_{lixiv} \times FE_5) \times 44/28$$

Donde:

- $SC_{c,m}$, TFM_c , $Frac_{gasF}$, TEA_c , $Frac_{gasM}$, c: variables y factores descritos en apartados anteriores.
- FE_4 : Factor de emisión de N_2O de la deposición atmosférica de N en las superficies acuáticas y suelos. Toma el valor de 0,01t N_2O -N/t NH_3 -N y NO_x -N (Directrices IPCC para los gases de efecto invernadero, versión 1996)
- $Frac_{lixiv}$: Fracción de nitrógeno lixiviado, 0,3 t N lixiviado/t N aplicado. Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera 1990-2008.
- FE_5 : Factor de emisión de N_2O correspondiente a la lixiviación y escorrentía. Toma el valor de 0,025t N_2O -N/t N perdido por lixiviación y escorrentía. (Directrices IPCC para los gases de efecto invernadero, versión 1996)

3.4.2.4 Emisiones de metano proveniente del cultivo de arroz

Las emisiones de CH₄ del cultivo de arroz se calculan a través de la expresión:

$$\text{Emisiones CH}_4 \text{ (t/año)} = \text{SC}_{\text{arroz,m}} \times \text{FE}_{\text{ar}}$$

Donde:

- **SC_{arroz,m}**: Superficie cultivada de arroz en el municipio m (ha).
- **FE_{ar}**: Factor de emisión de metano por hectáreas cultivadas de arroz. Toma un valor de 0,12 t CH₄/ha-año. (Directrices IPCC para los gases de efecto invernadero, versión 1996).

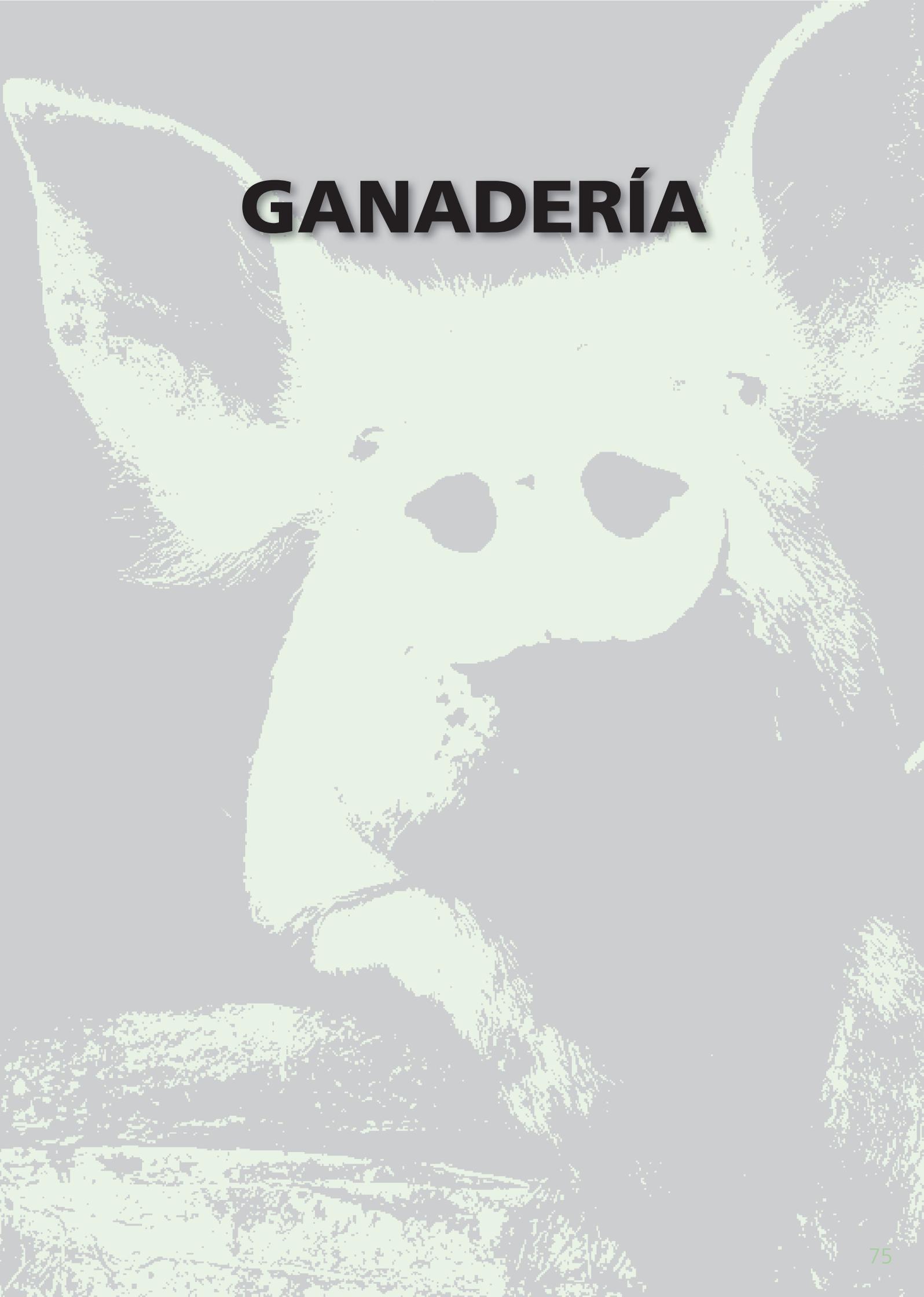
Superficie cultivada de arroz en el municipio m (SC_{arroz,m})

Las superficies de cultivo de arroz de cada municipio se extraen de la siguiente consulta del Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA), en la categoría "Agricultura":

- "Superficie destinada a cultivos herbáceos de regadío"



GANADERÍA

A close-up photograph of a goat's face, showing its large, upright ears and dark eyes. The goat is looking directly at the camera. The background is a blurred natural setting.

3.5. EMISIONES DEL SECTOR GANADERÍA

3.5.1. QUÉ EMISIONES SE CALCULAN

Para el sector ganadería se calculan las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la fermentación entérica y las procedentes de la gestión de los estiércoles.

El proceso de fermentación entérica produce metano como subproducto que es expulsado por el animal. En este caso, la producción de metano es parte de los procesos digestivos normales de los animales, ya que los microorganismos presentes fermentan el alimento consumido.

El tipo de aparato digestivo tiene una influencia determinante en los niveles de emisión de metano. Los animales rumiantes (por ejemplo, el ganado vacuno, caprino y ovino) son la fuente más importante a causa del tipo de fermentación generadora de metano que tiene lugar en su rumen. Entre los no rumiantes (por ejemplo, los cerdos y los caballos) las tasas de emisión son mucho menores. La cantidad de CH₄ liberado depende del tipo, edad y peso del animal, así como de la cantidad y calidad del alimento ingerido.

Por su parte las actividades de manejo del estiércol del ganado generan emisiones de metano y óxido nítrico. El metano se produce mediante la descomposición anaeróbica del estiércol, mientras que el óxido nítrico se forma como parte del ciclo del nitrógeno, a través de la desnitrificación de purines.

Los factores determinantes que afectan al proceso de generación de metano a partir de los estiércoles animales son los sistemas adoptados para la gestión de estiércol y la composición del mismo, que a su vez depende de la dieta de los animales.

La cantidad de óxido nítrico producido es variable, dependiendo de la composición de los residuos, del tipo de bacterias involucradas en el proceso y de la cantidad de oxígeno y líquido en el sistema de manejo.

En la siguiente tabla se muestra la correspondencia con el Inventario Nacional siguiendo las nomenclaturas SNAP y CRF.

Tabla 34. Correspondencia HCM-SNAP-CRF. Sector Ganadería

HCM	INV. NAC. – SNAP	INV. NAC. - CRF
Ganadería	10 04 Ganadería (fermentación entérica)	4A Fermentación entérica
	10 05 Gestión de estiércol con referencia a Comp. Orgánicos	4B Gestión de estiércol
	10 09 Gestión de estiércol con referencia a Comp. Nitrogenados	

Fuente: *Elaboración propia*

3.5.2. FUENTES DE INFORMACIÓN

En la siguiente tabla se indican la información de partida y las fuentes para el cálculo de las emisiones del sector ganadería.

Tabla 35. Datos de partida y fuentes de información. Sector Ganadería

Información de partida	Fuente de información
Datos de actividad	
Número de cabezas de ganado para los años 2005 a 2008	Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural
Desegregación de la cabaña ganadera para el cálculo del Factor de Emisión	Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012. Volumen 2 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)
Factores y constantes	
Factor de emisión de metano generado en la fermentación entérica	Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012. Volumen 2. (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)
Factor de emisión de Metano proveniente de la gestión de estiércol	
Excreción anual media de nitrógeno por cabeza de ganado	
Fracción de la excreción total anual de nitrógeno	
Factor de emisión de N ₂ O directo para el sistema S de gestión de estiércol	

Fuente: Elaboración propia

3.5.3. METODOLOGÍA APLICADA

Las emisiones del sector Ganadería tienen tres procedencias, las emisiones de metano generadas en la fermentación entérica del ganado y en la gestión de estiércol, y las emisiones de óxido nítrico procedentes de la gestión del estiércol. Las emisiones del sector resultan de la suma de todas ellas.

3.5.3.1 Emisiones de metano por fermentación entérica

Las emisiones de metano generadas en la fermentación entérica del ganado doméstico se calculan aplicando la siguiente expresión:

$$\text{Emisiones CH}_4 \text{ (t/año)} = \sum_T N_T \times FE_{T,a} \times 10^{-3}$$

Donde:

- N_T : Número medio de cabezas de ganado en un municipio de la categoría T durante el año de estudio (cabezas y año)
- FE_T : Factor de emisión de metano generado en la fermentación entérica correspondiente a la categoría T en kg de CH₄/(cabeza y año)

T: Categorías de ganado

A continuación se describe como se obtienen estos factores:

Número medio de cabezas de ganado en un municipio de la categoría T (N_T)

Los datos de número de cabezas de ganado por tipo o categoría que existen en cada uno de los municipios andaluces se obtienen de dos formas distintas dependiendo del año al que corresponda el dato:

- Para los años 2005-2008 se emplean los datos municipales facilitados por la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural.
- Para los años 2000-2004, se realiza una estimación asumiendo que se mantiene una progresión lineal entre los datos del periodo 2005-2008 y los datos indicados por el Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA) para el año 1999.

Los factores de emisión disponibles en el Inventario Nacional, lo están para determinadas categorías de ganado que en ocasiones no coinciden con las categorías aportadas por la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural o el Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA). Por ello es necesario adaptar los datos de cabeza de ganado a las categorías para las cuales se dispone de factores de emisión.

Los factores de emisión tienen un mayor nivel de desagregación que la clasificación del Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA), por lo que se han hecho las siguientes consideraciones:

- Se han desagregado las categorías de ganado que no tenían una correspondencia con los factores de emisión del Inventario, concretamente las siguientes.
 - "Ganado bovino" se desagrega en "vacuno de leche" y "otro ganado bovino".
 - "Ganado equino" se desagrega en "ganado caballar" y "otro ganado equino".
 - "Aves" se desagrega en "gallinas ponedoras", "pollos de engorde" y "otras aves de corral".
 - "Ganado porcino" se desagrega en "cerdos de engorde" y "cerdas reproductoras".
- Para determinar el número de cabezas de ganado de las nuevas categorías se considera que se mantienen las proporciones entre el número de cabezas de ganado de esos mismo grupos que existen a nivel nacional. Para ello se emplean los datos publicados por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en el Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012. Volumen 2.

Factor de emisión de metano generado en la fermentación entérica correspondiente a la categoría T ($FE_{T,a}$)

Los valores de los factores de emisión de metano generado en la fermentación entérica para cada categoría de ganado se extraen del Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012. Volumen 2.

Tabla 36. Factor de emisión de metano proveniente de la fermentación entérica por cabeza de ganado (kg CH₄/cabeza y año)

Categorías	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Vacuno de leche	90,07	92,05	93,21	94,62	96,13	97,72	99,15	101,21	101,53	103,88	103,11
Otro ganado vacuno	42,41	42,62	41,91	41,41	41,72	41,58	42,19	43,15	42,06	42,58	41,79
Ganado ovino	8,65	8,76	8,62	8,56	8,60	8,66	8,74	8,83	8,78	8,71	8,64
Cerdos de engorde	0,63	0,63	0,61	0,63	0,65	0,65	0,65	0,67	0,64	0,64	0,62
Ganado caballar	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
Otro ganado equino	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Ganado caprino	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Gallinas ponedoras	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pollos de engorde	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Otras aves de corral	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cerdas reproductoras	2,91	2,90	2,91	2,93	2,96	2,92	2,87	2,94	2,89	2,88	2,75

Fuente: Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera 1990-2012. Volumen 2: Análisis por Actividades SNAP

3.5.3.2 Emisiones de Metano por gestión de estiércoles

La ecuación empleada para calcular las emisiones de metano por gestión de estiércoles es la siguiente:

$$\text{Emisiones CH}_4 \text{ (t/año)} = \sum_T N_T \times FEE_{Ta} \times 10^{-3}$$

Donde:

- N_T : Número medio de cabezas de ganado en el municipio concreto de la categoría T durante el año de estudio (cabezas y año)
- FEE_{Ta} : Factor de emisión de Metano proveniente de la gestión de estiércol por cabeza de ganado correspondiente a la categoría T en kg de CH₄/ (cabeza y año para el año a)

T: Categorías de ganado

A continuación se describe como se obtienen estos factores:

Número medio de cabezas de ganado en un municipio de la categoría T (N_T)

El procedimiento para obtener los datos de cabezas de ganado por categoría y municipio se describen en el apartado de emisiones de metano por fermentación entérica.

Factor de emisión de metano por la gestión de estiércol correspondiente a la categoría T (FEE_{Tb})

Los valores de los factores de emisión de metano por la gestión de estiércol para cada categoría de ganado se extraen del Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012. Volumen 2.

Tabla 37. Factor de emisión de metano proveniente de la gestión de estiércol por cabeza de ganado (kg CH_4 /cabeza y año)

Categorías	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Vacuno de ordeño	60,92	63,56	65,06	66,66	68,05	69,19	70,19	72,02	71,5	73,48	72,68
Otro vacuno	3,14	3,01	3,08	3,01	3,07	2,69	2,74	2,85	2,73	2,96	2,70
Ovino	0,23	0,23	0,23	0,22	0,23	0,23	0,23	0,24	0,22	0,23	0,23
Porcino de engorde	7,87	7,95	7,63	7,6	7,93	7,9	7,89	8,07	7,66	7,69	7,59
Equino	1,72	1,76	1,73	1,68	1,73	1,74	1,75	1,79	1,67	1,73	1,69
Otro equino (Mulos, Asnos)	0,95	0,97	0,96	0,94	0,97	0,96	0,97	0,99	0,94	0,96	0,94
Caprino	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
Gallinas ponedoras	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Pollos para engorde	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Otras aves de corral	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,1	0,09	0,09	0,09
Cerdas reproductoras	19,71	19,76	19,62	19,45	20,08	19,45	18,83	19,61	18,88	18,38	18,76

Fuente: Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera 1990-2012. Volumen 2: Análisis por Actividades SNAP

3.5.3.3 Emisiones de Óxido nítrico de la ganadería provenientes de la gestión de estiércoles

Se aplica la siguiente ecuación para estimar estas emisiones:

$$\text{Emisiones N}_2\text{O (t/año)} = \sum_{S,T} N_T \times \text{Nex}_{Ta} \times \text{MS}_{T,S} \times \text{FE}_{3,S} \times 44/28 \times 10^{-3}$$

Donde:

- **N_T**: Número medio de cabezas de ganado en el municipio concreto de la categoría T durante el año de estudio (cabezas y año)
- **Nex_{Ta}**: Excreción anual media de nitrógeno por cabeza de ganado de la categoría T en kg N/cabeza y año para el año a.
- **MS_{T,S}**: Fracción de la excreción total anual de nitrógeno de cada categoría T de ganado tratada en los sistemas S de gestión de estiércol.
- **FE_{3,S}**: Factor de emisión de N₂O directo para el sistema S de gestión de estiércol en kg de N₂O-N/kg N aportado al sistema S de gestión de estiércol.

T: Categorías de ganado
S: Sistemas de gestión

A continuación se describe como se obtienen estos factores:

Número medio de cabezas de ganado en un municipio de la categoría T (N_T)

El procedimiento para obtener los datos de cabezas de ganado por categoría y municipio se describen en el apartado de emisiones de metano por fermentación entérica.

Excreción anual media de nitrógeno por cabeza de ganado de la categoría T (Nex_{Ta})

Los valores de excreción anual media de nitrógeno para cada categoría de ganado se extraen del Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012. Volumen 2.

Tabla 38. Nitrógeno excretado por tipo de animal (kg N/cabeza y año)

Categorías	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Vacuno de leche	88,19	91,19	93,18	95,38	97,62	100,28	102,98	107,02	107,58	111,22	110,21
Otro ganado vacuno	42,58	42,94	42,79	42,55	42,80	42,20	42,90	43,55	42,97	43,64	42,71
Ganado ovino	5,08	5,14	5,07	5,06	5,08	5,08	5,13	5,18	5,15	5,11	5,09
Cerdos de engorde	7,44	7,44	7,20	7,28	7,48	7,44	7,46	7,56	7,34	7,31	7,25
Ganado caballar	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
Otro ganado equino	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
Ganado caprino	11,17	11,16	11,23	11,20	11,10	11,15	11,28	11,28	11,24	11,15	11,13
Gallinas ponedoras	0,496	0,494	0,491	0,489	0,489	0,489	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Pollos de engorde	0,43	0,431	0,431	0,432	0,432	0,432	0,432	0,432	0,432	0,432	0,432
Otras aves de corral	0,586	0,586	0,585	0,585	0,585	0,585	0,587	0,585	0,608	0,585	0,585
Cerdas reproductoras	20,94	21,02	21	21,07	21,19	21,15	20,95	21,25	21,09	21,13	20,28

Fuente: Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera 1990-2012. Volumen 2: Análisis por Actividades SNAP

Fracción de la excreción total anual de nitrógeno de cada categoría T de ganado tratada en los sistemas S de gestión de estiércol ($MS_{T,S}$)

Los valores de Fracción de la excreción total anual de nitrógeno de cada categoría de ganado tratada en cada sistema de gestión de estiércol se extraen del Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012. Volumen 2.

Tabla 39. Fracción del N total excretado de cada categoría T en los sistemas S de gestión de estiércoles (%)

Categoría de ganado	Sistemas líquidos	Almacenamiento sólido y apilamiento en seco	Pastoreo (praderas y pastizales)	Extendido diario
Vacuno de leche	15	60		25
Otro ganado vacuno		12	88	
Ganado ovino		10	90	
Cerdos de engorde	100			
Ganado caballar	7,5	30	50	12,5
Otro ganado equino	7,5	30	50	12,5
Ganado caprino			100	
Gallinas ponedoras		100		
Pollos de engorde		100		
Otras aves de corral		100		
Cerdas reproductoras	100			

Fuente: Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012. Volumen 2

Factor de emisión de N₂O directo para el sistema S de gestión de estiércol (FE_{3,s})

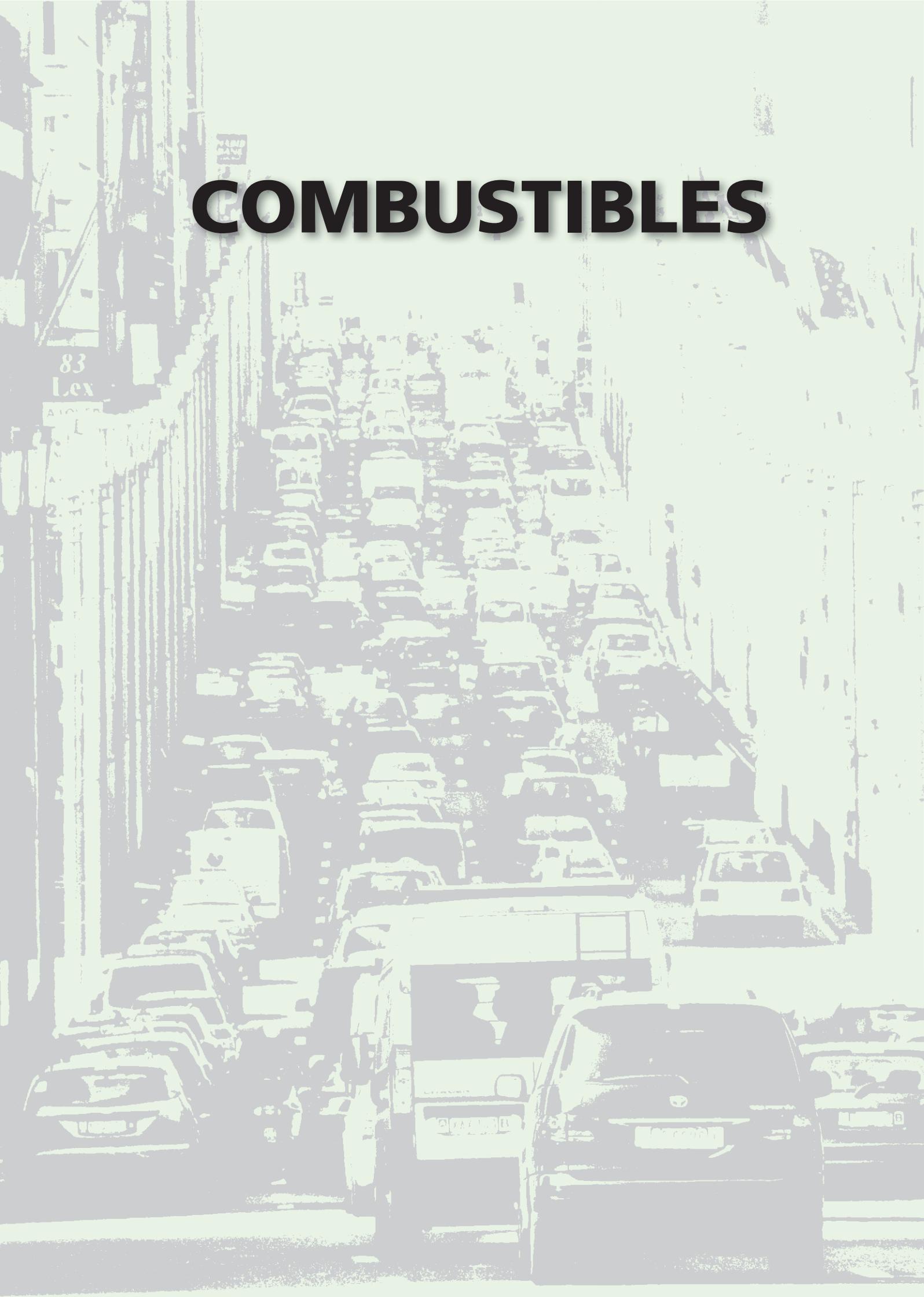
Los valores de Factor de emisión de N₂O directo para los distintos sistemas de gestión de estiércol se extraen del Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012. Volumen 2

Tabla 40. Factores de emisión de N₂O procedentes de los estiércoles animales según su sistema de gestión (kg N₂O N/kg N excretado)

	Factor de emisión
Sistemas líquidos	0,001
Almacenamiento sólido y apilamiento en seco	0,02

Fuente: Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012. Volumen 2.

COMBUSTIBLES



3.6. EMISIONES DEL SECTOR CONSUMO DE COMBUSTIBLES

3.6.1. QUÉ EMISIONES SE CALCULAN

En el sector de Consumo de Combustibles de la Huella de Carbono Municipal se calculan las emisiones de dióxido de carbono debidas a la combustión de los distintos combustibles no de automoción² en los distintos sectores consumidores: sector residencial, sector terciario (comercios, hoteles, servicios), sector agricultura y en la administración. Se excluye el consumo de combustibles de las actividades industriales afectadas por el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión.

El dióxido de carbono (CO₂) es el principal producto de los procesos de combustión de todos los combustibles fósiles. Los combustibles fósiles considerados son los siguientes:

- Gas natural
- Carbón
- Fuelóleo
- Gasóleo no automoción
- Butano
- Propano
- Querosenos de aviación

El tratamiento que hace la Huella sobre el consumo de combustibles no se corresponde directamente con ningún sector del Inventario Nacional de Emisiones, ya que sus emisiones se contabilizan en distintos sectores relacionados con el proceso de la energía y el sector industrial.

Además, la Huella de Carbono incluye información sobre los consumos de energía procedentes de algunas fuentes renovables, como son: la biomasa, la energía solar térmica y otras fuentes renovables. El consumo de estas fuentes no supone la emisión de gases de efecto invernadero.

En este sentido, a continuación se muestra la correspondencia con el Inventario Nacional siguiendo las nomenclaturas SNAP y CRF, teniendo en cuenta que aunque prácticamente la totalidad de las emisiones por consumo de combustibles se encuentran en los epígrafes indicados, podría haber alguna emisión residual incluida en algún otro subepígrafe del Inventario.

Tabla 41. Correspondencia HCM-SNAP-CRF. Sector Consumo de Combustibles

HCM	INV. NAC. – SNAP	INV. NAC. - CRF
Consumo de Combustibles	01 Combustión en la producción y transformación de energía	1 Energía
	02 Plantas de combustión no industrial	3 Procesos Industriales
	03 Plantas de combustión industrial	

Fuente: *Elaboración propia*

² Los combustibles consumidos en automoción se calculan en el sector Transporte, apartado 3.1

3.6.2. FUENTES DE INFORMACIÓN

En la siguiente tabla se indican la información de partida y las fuentes para el cálculo de las emisiones debidas al consumo de combustibles:

Tabla 42. Datos de partida y fuentes de información. Sector Consumo de Combustible

Información de partida	Fuente de información
Datos de actividad	
Consumo provincial por tipo de combustible	Web Info-Energía (Agencia Andaluza de la Energía)
Factores y constantes	
Valor calorífico neto del combustible	Anexo 8 del Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2011 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)
Factor de emisión del combustible	

Fuente: *Elaboración propia*

3.6.3 METODOLOGÍA APLICADA

Las emisiones del sector de Consumo de Combustibles son de dióxido de carbono y proceden de la combustión de combustibles fósiles.

3.6.3.1 Emisiones de dióxido de carbono procedentes de la combustión de combustibles fósiles

Para calcular las emisiones se aplica la siguiente expresión:

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ (t/año)} = \sum_i Q_i \times \text{VCN}_i \times \text{FE}_i$$

Donde:

- Q_i : Consumo del combustible i , (Nm^3 para el gas natural, t para el resto)
 - VCN_i : Valor calorífico neto del combustible i , (TJ/Nm^3 para el gas natural, TJ/t para el resto).
 - FE_i : Factor de emisión del combustible i , ($\text{t CO}_2/\text{TJ}$).
- i : gas natural, gasóleo, fuelóleo, carbón,...

A continuación se describe como se obtienen estos factores:

Consumo del combustible i (Q_i)

Los datos de consumo anual de cada combustible a nivel municipal se obtienen mediante la desagregación de datos de consumo a nivel provincial aportados por la Agencia Andaluza de la Energía.

En primer lugar, del consumo provincial se restan los consumos de combustibles que se producen en las instalaciones industriales afectadas por el régimen de comercio de derechos de emisión en cada provin-

cia, aportado por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.

Una vez obtenido el consumo de combustibles en el sector difuso, se realiza la desagregación a nivel municipal aplicando una metodología propia para cada combustible, que ha sido desarrollada por la propia Consejería. Para cada combustible se tienen en cuenta distintos factores, como las infraestructuras de distribución de gas natural del municipio (uso doméstico y uso industrial), la superficie municipal industrial, las superficies municipales dedicadas a cultivos, la existencia de puertos de pesca o deportivos, o el número de plazas hoteleras.

Valor calorífico neto del combustible i (VCN_i)

Los valores caloríficos netos de cada combustible se obtienen del Anexo 8 del Inventario Nacional de Emisiones, con un especial tratamiento del gas natural.

- Para el combustible gas natural, los valores aplicados para el periodo 2000-2012 se indican en la siguiente tabla³:

Tabla 43. Valor calorífico neto del gas natural. Años 2000-2012

Año	VCN (TJ/Nm ³)
2012	0,03838
2011	0,03854
2010	0,03851
2009	0,03853
2008	0,03854
2007	0,03835
2006	0,03849
2005	0,03879
2004	0,03897
2003	0,03897
2002	0,03897
2001	0,03897
2000	0,03897

Fuente: Inventario Nacional de Emisiones.

³ Para el combustible gas natural, en los años anteriores a 2004 se asume el último valor conocido.

- Para el resto de **combustibles fósiles** los valores se mantienen constantes en el periodo de cálculo:

Tabla 44. Valor calorífico neto de otros combustibles fósiles.

Combustible	VCN (TJ/t)
Carbón ⁽¹⁾	0,03026
Fuelóleo	0,04018
Gasóleo (no automoción)	0,04240
Querosenos de aviación	0,04280
Butano	0,04478
Propano	0,04620

Nota (1): asimilado a "antracita", tabla A8.3 del anexo 8 del Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012.

Factor de emisión del combustible i (FE_i)

Los valores de los factores de emisión se obtienen del Inventario Nacional de Emisiones, Serie 1990-2012 elaborado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Los valores se mantienen constantes para todo el periodo de cálculo.

Tabla 45. Factores de emisión de los combustibles fósiles

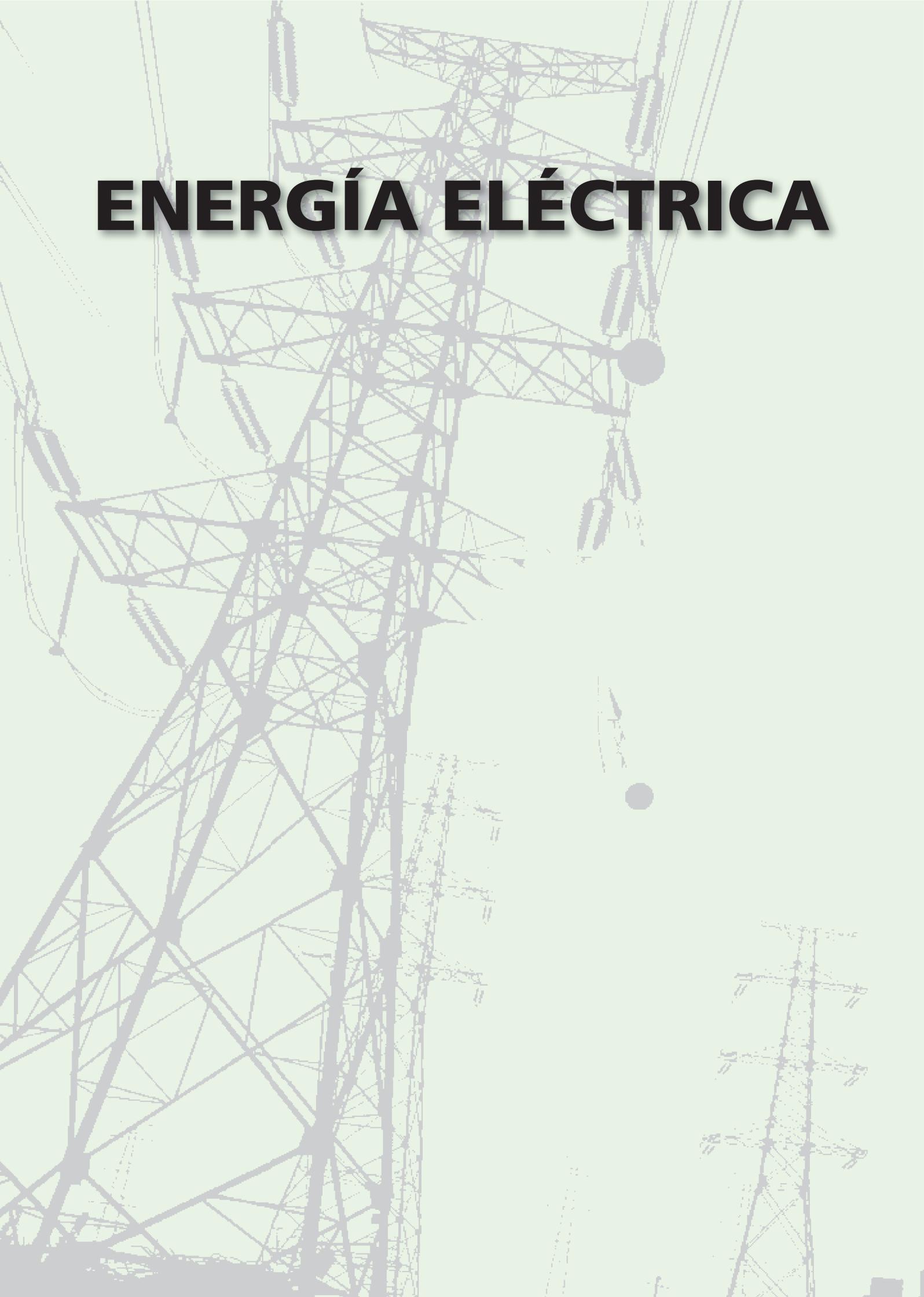
Combustible	Factor de emisión (tCO ₂ /TJ)
Gas natural	56,0
Carbón ⁽¹⁾	96,3
Fuelóleo	76,0
Gasóleo (no automoción)	73,0
Querosenos de aviación	71,5
Butano	66,2
Propano	63,6

Fuente: Anexo 8 del Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012.

Nota (1): asimilado a "antracita"



ENERGÍA ELÉCTRICA



3.7. EMISIONES DEL SECTOR CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

3.7.1. QUÉ EMISIONES SE CALCULAN

Las emisiones por consumo de energía eléctrica son de CO₂ y su origen es la combustión de combustibles fósiles en las centrales de generación de energía eléctrica.

Las emisiones del sector eléctrico en los Inventarios se contabilizan desde el punto de vista de la generación de la energía, no siendo emisiones de carácter difuso sino industrial y en el ámbito del régimen del comercio de derechos de emisión. Aún así, estas emisiones se han incorporado a la Huella de Carbono Municipal, aunque desde el punto de vista del consumo y no de la generación.

El motivo de incorporarlas a este inventario de emisiones difusas ha sido dar soporte a los municipios andaluces que se han adherido al Pacto de los Alcaldes, para que puedan emplear los resultados de la Huella de Carbono como Inventario de Referencia en la redacción de sus Planes de Acción de Energía Sostenible (PAES). Además a nivel de la ciudadanía es útil conocer las emisiones indirectas, esto es, asociadas al propio consumo.

El consumo de energía eléctrica no se corresponde con ningún sector del Inventario Nacional.

3.7.2. FUENTES DE INFORMACIÓN

En la siguiente tabla se indican la información de partida y las fuentes para el cálculo de las emisiones del transporte por carretera.

Tabla 46. Datos de partida y fuentes de información. Sector Consumo de Energía eléctrica

Información de partida	Fuente de información
Datos de actividad	
Consumo de energía eléctrica municipal	Sistema Multiterritorial de Andalucía, SIMA (Instituto de Estadísticas y Cartografía de Andalucía, IECA)
Consumo total de los municipios para los cuales SIMA aporta datos de consumo eléctrico del total de Andalucía	
Población	
Factores y constantes	
Factores de emisión del sistema eléctrico	Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
	Publicación anual de "La Energía en España" (Ministerio de Industria, Energía y Turismo)

Fuente: *Elaboración propia*

3.7.3. METODOLOGÍA APLICADA

Las emisiones del sector de Consumo de Energía Eléctrica son de dióxido de carbono y proceden de la combustión de combustibles fósiles para generación de energía eléctrica.

3.7.3.1 Emisiones de dióxido de carbono procedentes de la combustión de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica

Las emisiones por consumo de energía eléctrica se calculan según la siguiente expresión:

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ (t/año)} = C_{\text{elect,a}} \times FE_a$$

Donde:

- $C_{\text{elect,a}}$: Consumo de electricidad del año a (MWh)
- FE_a : Factor de emisión del sistema eléctrico en términos de energía final del año a (tCO_2/MWh)

A continuación se describe como se obtienen estos factores:

Consumo de electricidad del año a ($C_{\text{elect,a}}$)

El consumo de energía eléctrica municipal se obtiene del Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA), que es alimentado a través de los datos suministrados con periodicidad trimestral por empresas comercializadoras de energía eléctrica, que desagregan los consumos por sectores de actividad a partir de los códigos CNAE de la actividad del cliente. Se pueden obtener los datos desagregados para los siguientes sectores:

- Agricultura.
- Industria.
- Comercio-servicios.
- Sector residencial.
- Administración y servicios públicos,
- Sector residual denominado "resto".

El Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA) aporta los datos de consumo eléctrico de la mayoría de los municipios. En casos puntuales, en los que el SIMA no aporta los datos de alguno de ellos, el consumo se estima a partir de los consumos municipales conocidos y del consumo total de Andalucía, ponderando en términos de población. También se estima la desagregación por sectores, asumiendo que la distribución porcentual entre sectores para estos municipios es igual a la distribución media de Andalucía, calculada a partir de los datos desagregados conocidos. En la tabla siguiente se recogen los porcentajes aplicados:

Tabla 47. Distribución porcentual de los consumos eléctricos adoptada (%)

Agricultura	Industria	Comercio-Servicios	Sector Residencial	Admón. y Servicios públicos	Resto
3,53	24,09	24,32	35,78	9,96	2,31

Fuente: *Elaboración propia*

Factor de emisión del sistema eléctrico en términos de energía final (FE_a)

Los datos de los factores de emisión del sistema eléctrico en términos de energía final se obtienen, dependiendo del año, del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente o del Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Se le da prioridad a los datos aportados por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

En la siguiente tabla se muestran los factores de emisión correspondientes a cada año del periodo 2000-2012

Tabla 48. Factores de emisión del sistema eléctrico

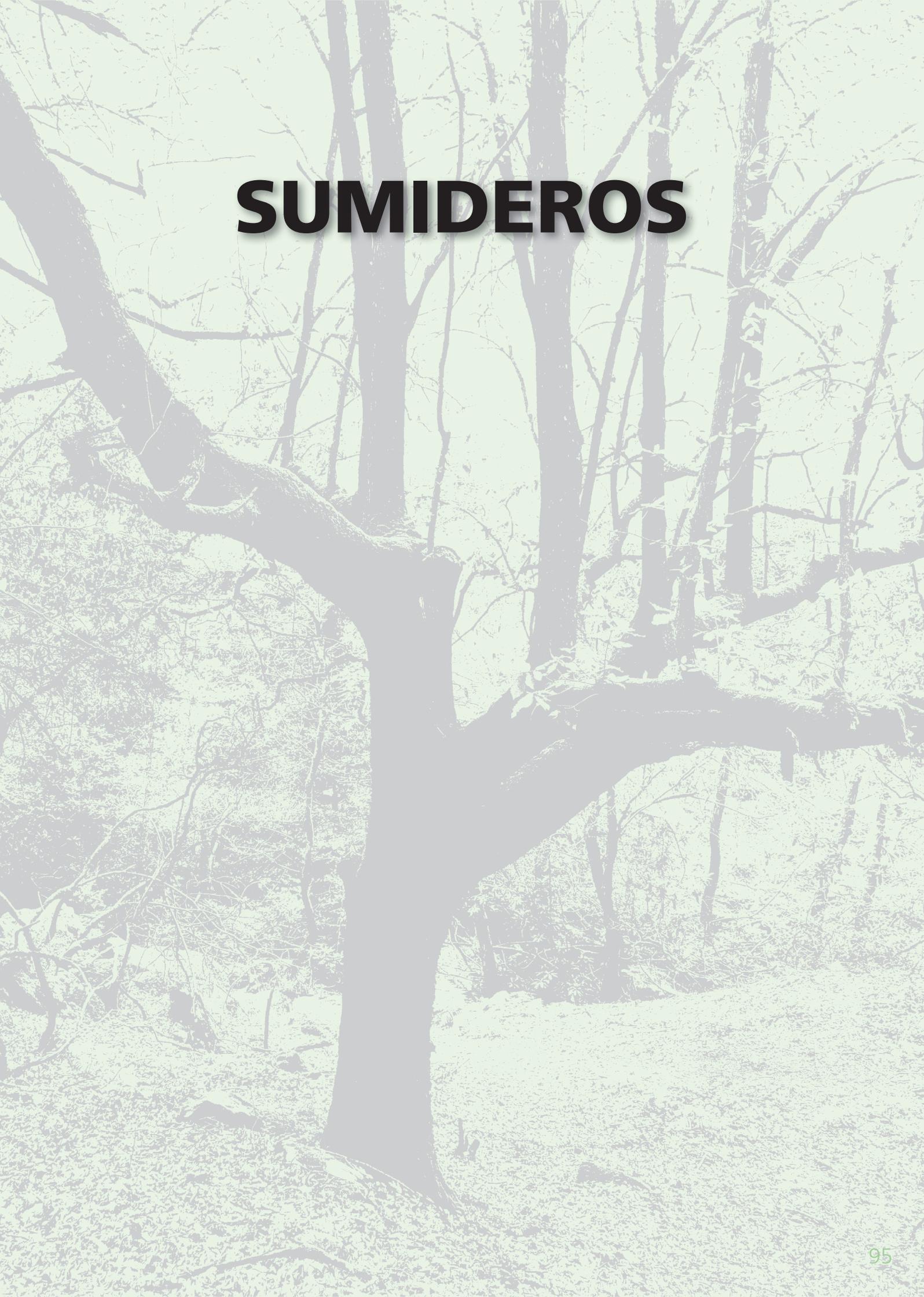
Año	Factor de emisión del sistema eléctrico t CO ₂ /MWh consumido	Fuente
2000	0,509	Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
2001	0,454	
2002	0,515	
2003	0,456	
2004	0,469	
2005	0,489	
2006	0,44	Ministerio de Industria, Energía y Turismo ⁽¹⁾
2007	0,45	
2008	0,40 ⁽²⁾	
2009	0,36	
2010	0,28	
2011	0,33	
2012	0,37	

Nota (1): valores procedentes de las publicaciones "La energía en España"

Nota (2): valor no publicado, facilitado a la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio

Los factores de emisión en términos de energía final se diferencian de los factores de emisión en términos de generación en que los primeros incorporan las emisiones de la energía perdida en las actividades de transporte y distribución.

SUMIDEROS

A photograph of a forest scene. In the foreground, a large, thick tree trunk with a few branches extends from the left side towards the center. The background is filled with numerous thinner, vertical tree trunks and a dense network of bare branches, suggesting a deciduous forest in late autumn or winter. The ground is covered with dry leaves and some small rocks. The overall lighting is soft and diffused, creating a somewhat somber and quiet atmosphere.

3.8. SUMIDEROS

Las actividades de uso de la tierra, cambio del uso de la tierra y la selvicultura, conocidas por sus siglas en inglés como actividades LULUCF, representan un papel relevante en el balance de las emisiones netas de gases de efecto invernadero. Es muy importante el potencial de los sistemas forestales y agrícolas para la fijación de dióxido de carbono y su contribución al ciclo global del carbono.

La Huella de Carbono Municipal ofrece una estimación de los flujos de emisiones de gases de efecto invernadero por el desarrollo de actividades del sector LULUCF a nivel municipal, siguiendo las normas de contabilidad establecidas en el Protocolo de Kioto.

Las actividades LULUCF consideradas son las establecidas como obligatorias en el protocolo de Kioto (Art. 3.3) y algunas de las adicionales (Art. 3.4), y se indican a continuación:

- Obligatorias (artículo 3.3): forestación, reforestación y deforestación.
- Adicionales (artículo 3.4):
 - Gestión de bosques: se contabiliza las actividades de gestión de monte arbolado y la gestión de monte adhesado espeso.
 - Gestión de tierras agrícolas: se contabiliza la actividad de conversión de cultivos anuales a leñosos (olivar, almendro, cítrico).

La capacidad total de absorción de CO₂, se puede obtener a partir de los datos de superficie de cada una de las actividades que se contabilizan y aplicando una tasa de secuestro de carbono para cada una de ellas.

3.8.1. FUENTES DE INFORMACIÓN

En la siguiente tabla se indican la información de partida y las fuentes para el cálculo de la capacidad de absorción de CO₂.

Tabla 49. Datos de partida y fuentes de información. Sector Sumideros

Información de partida	Fuente de información
Datos de actividad	
Superficie dedicada a las distintas actividades	Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio
Factores y constantes	
Factor de absorción de cada actividad	Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio
Factor corrector aplicado sólo a las actividades de "gestión forestal"	Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio

Fuente: *Elaboración propia*

3.8.2. METODOLOGÍA APLICADA

La absorción total anual de cada municipio es la suma de las absorciones asociadas a las cuatro actividades estudiadas.

El cálculo de la captación anual de CO₂ se realizará aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Captación anual (tCO}_2\text{/año)} = \sum_i S_{i,a} \times FA_i \times FC \times 44/12$$

Donde:

- **S_{i,a}**: Superficie de la actividad i en el año a, (ha).
 - **FA_i**: Factor de absorción de la actividad i, (tC/ha año)
 - **FC**: Factor corrector aplicado sólo a las actividades de “gestión forestal”, y es adimensional. Elaboración propia de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.
- i: forestación, reforestación, deforestación, gestión forestal, gestión tierras agrarias.

A continuación se describe como se obtienen estos factores:

Superficie dedicada a la actividad i en el año a (S_{i,a})

Los datos de superficie son aportados por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, y se corresponden con las siguientes actividades:

- Superficie forestal arbolada
- Superficie dehesa espesa
- Superficie cultivo anual convertida a cultivo leñoso
- Superficie de tierras agrícolas convertidas a forestal

Factores de absorción de la actividad i (FA_i)

En la siguiente tabla se recogen los factores de absorción de cada una de las cuatro actividades estudiadas:

Tabla 50. Factores de absorción por actividades aplicados

Actividades	t C/ha año
Superficie forestal arbolada	1,85 ⁽¹⁾
Superficie en dehesa espesa	1,85 ⁽¹⁾
Superficie de cultivo anual convertida a cultivo leñoso	0,42 ⁽²⁾
Superficie de tierras agrícolas convertidas a forestal	1,85 ⁽¹⁾

Fuente: 1^{er} Inventario de Sumideros de CO₂ en Andalucía (CMA, 2007)

Notas:

(1) La tasa de 1,85 tC/ha año está referida al cambio anual de stock de carbono de biomasa viva en terrenos forestales que permanecen como forestales, incluyendo cortas, leñas y pérdidas por incendios.

(2) La tasa de 0,42 tC/ha año está referida al cambio anual de stock de carbono de permanencia de cultivo agrícola no anual + mixto.

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

AAE: Agencia Andaluza de la Energía

CAPDR: Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural

CMAOT: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio

COD: Carbono orgánico degradable

COPERT Programa informático para el cálculo de emisiones del transporte por carretera

CORES: Corporación de reservas estratégicas de productos petrolíferos

CORINAIR: Subprograma CORINE sobre emisiones de contaminantes a la atmósfera

CORINE: Programa de Coordinación de la Información sobre el Medio Ambiente

COV: Compuestos orgánicos volátiles

CRF: Common Reporting Format (Formulario Común para Informes): Nomenclatura para notificación de GEI a instancias internacionales.

DBMA: Informe de Datos Básicos de Medio Ambiente

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DGT: Dirección General de Tráfico (Ministerio del Interior)

DOC: Degradable Organic Carbon (Carbono Orgánico Degradable)

DQO: Demanda Química de Oxígeno

EDAR: Estación Depuradora de Aguas Residuales

EEA: European Environment Agency (Agencia Europea de Medio Ambiente)

EUROSTAT: Oficina Estadística de la Unión Europea

GEI: Gases de Efecto Invernadero

GLP: Gases Licuados del Petróleo

HCFC: Hidroclorofluorocarburos

HFC: Hidrofluorocarburos

IMA: Informe de Medio Ambiente

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change (Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático)

LULUCF: Land Use, Land-Use Change and Forestry (Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura)

MAGRAMA: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

MINETUR: Ministerio de Industria, Energía y Turismo

PCI: Poder Calorífico Inferior

PFC: Perfluorocarburos

PK: Protocolo de Kioto

PRTR: Pollutant Release and Transfer Register (Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes)

PRYC: Planta de recuperación y compostaje

RCDE: Régimen de comercio de derechos de emisión

RU: Residuos Urbanos

SCMNUCC: Secretaría de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático

SIMA: Sistema de información multiterritorial de Andalucía

SNAP: Nomenclatura CORINAIR de actividades potencialmente contaminantes de la atmósfera

UNFCCC: Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



JUNTA DE ANDALUCIA