

Proyecto Fin de Máster Ingeniería Ambiental

Problemática para la determinación del IER en un Plan de Acción de Energía Sostenible en la UE

Autor: Álvaro Fernández Reina

Tutor: D. Eladio M. Romero González

**Dep. Ingeniería Química y Ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2017



Proyecto Fin de Máster
Ingeniería Ambiental

Problemática para la determinación del IER en un Plan de Acción de Energía Sostenible en la UE

Autor:

Álvaro Fernández Reina

Tutor:

D. Eladio M. Romero González

Profesor asociado

Dep. de Ingeniería Química y Ambiental

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017

Proyecto Fin de Máster: Problemática para la determinación del IER en un Plan de Acción de Energía Sostenible en la UE

Autor: Álvaro Fernández Reina

Tutor: D. Eladio M. Romero González

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal

ÍNDICE

ÍNDICE	vii
Notación	xi
1 INTRODUCCIÓN	11
2 PACTO DE LOS ALCALDES	13
2.1. <i>¿Qué es una Plan de Acción de Energía Sostenible?</i>	13
2.2. <i>Campo de aplicación del PAES</i>	14
3 INVENTARIO DE EMISIONES DE REFERENCIA (IER)	17
3.1 <i>Elaboración de un Inventario</i>	18
3.1.1 Conceptos clave.....	18
3.1.2 Límites, Alcance y Sectores.....	19
3.1.3 Factores de Emisión	20
3.1.4 Gases de Efecto Invernadero Incluidos: Emisiones de CO ₂ o Equivalentes de CO ₂	21
4 METODOLOGIA HUELLA DE CARBONO: El caso de los Municipios Andaluces	25
4.1 <i>Huella de Carbono</i>	25
4.2 <i>Sectores Emisores</i>	29
4.2.1 TRANSPORTE	29
4.2.1.1 Metodología aplicada en Andalucía	30
4.2.1.2 Datos del Inventario de Emisiones: El caso de Sevilla y problemática asociada.	35
4.2.3 RESÍDUOS.....	39
4.2.3.1 Metodología aplicada en Andalucía	39
4.2.3.2 Datos del Inventario de Emisiones: El caso de Sevilla y problemática asociada	46
4.2.4 AGUAS RESIDUALES	49
4.2.4.1 Metodología aplicada en Andalucía	49
4.2.4.2 Datos del Inventario de Emisiones: El caso de Sevilla y problemática asociada	56
4.2.5 AGRICULTURA	58
4.2.5.1 Metodología aplicada en Andalucía	58
4.2.5.2 Datos del Inventario de Emisiones: El caso de Sevilla y problemática asociada	65
4.2.6 GANADERÍA	67
4.2.6.1 Metodología aplicada en Andalucía	67
4.2.6.2 Datos del Inventario de Emisiones: El caso de Sevilla y problemática asociada.	71
4.2.7 CONSUMO DE COMBUSTIBLES	73
4.2.7.1 Metodología aplicada en Andalucía	73

4.2.7.2	Datos del Inventario de Emisiones: El caso de Sevilla y problemática asociada	74
4.2.8	CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	77
4.2.8.1	Metodología aplicada en Andalucía	77
4.2.8.2	Datos del Inventario de emisiones: El caso de Sevilla y problemática asociada.....	78
5	CONCLUSIONES	81
	Referencias	84

Notación

EERR	Energías Renovables
CO ₂	Dióxido de Carbono
PAES	Plan de Acción de Energía Sostenible
PACES	Plan de Acción por el Clima y la Energía Sostenible
IER	Inventario de Emisiones de Referencia
ISE	Inventario de Seguimiento de Emisiones
GEI	Gases de efecto invernadero
CH ₄	Metano
N ₂ O	Óxido nitroso
ACV	Análisis de ciclo de vida
IPCC (inglés)	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
CAC	Captura y Almacenamiento de CO ₂
CMNNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático
PCG	Poder de Calentamiento Global
SIMA	Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía
PRyC	Planta de Recuperación y Compostaje
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
UE	Unión Europea
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
UE	Unión Europea
EUROSTAR	Oficina Estadística de la Unión Europea
GLP	Gases Licuados del Petróleo
HCFC	Hidroclorofluorocarburos
HFC	Hidrofluorocarburos
CORINAIR	Subprograma CORINE sobre emisiones de contaminantes a la atmósfera
COV	Compuestos orgánicos volátiles
CRF (inglés)	Formulario Común para Informes: Nomenclatura para notificación de GEI a estancias internacionales
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DOC	Carbono Orgánico Degradable
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EEA (inglés)	Agencia Europea de Medio Ambiente

1 INTRODUCCIÓN

«Solo cuando el último árbol esté cortado, el último río envenenado y el último pez atrapado, te darás cuenta de que no puedes comer dinero»

Proverbio de los cree (indígenas americanos).

En los últimos años, la problemática del cambio climático ha adquirido una gran importancia y repercusión a nivel global. Este fenómeno asociado al concepto del “calentamiento global” se presenta como uno de los grandes desafíos a los que debe enfrentarse nuestra sociedad.

Consciente de la realidad del cambio climático, la Comisión Europea lanzó en 2008 la iniciativa del Pacto Europeo de los Alcaldes, que pretende incentivar a los municipios de la Unión Europea a mejorar su eficiencia energética, incrementar la producción de EERR, mejorar la gestión de los Residuos Sólidos Urbanos, etc., reduciendo el 20% de las emisiones de CO₂ respecto a un año base, para el año 2020. Posteriormente en 2015, la Comisión Europea lanzó el nuevo Pacto de los Alcaldes para el Clima y la Energía, de carácter conjunto, en una ceremonia celebrada el 15 de octubre de 2015 en la sede del Parlamento Europeo en Bruselas, con unos nuevos objetivos para 2030 de reducir en al menos un 40 % las emisiones de CO₂ y gases de efecto invernadero, y apoyó la integración de estrategias de atenuación del cambio climático y adaptación a este dentro de un marco común.

Las autoridades locales que suscriben el Pacto de los Alcaldes para el Clima y la Energía se comprometen a presentar un **Plan de Acción para el Clima y la Energía Sostenibles (PACES)**, el cual se basa en un:

- **Inventario de Emisiones de Referencia (IER)**
- **Evaluación del riesgo y de la vulnerabilidad climáticos**

El **Inventario de Emisiones de Referencia (IER)**, constituye un requisito previo para la elaboración del PACES, ya que proporcionará información sobre la naturaleza de las entidades emisoras de CO₂

en el territorio municipal y, por tanto, ayudará a seleccionar las acciones más adecuadas.

Inventariar las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI), a priori es fácil, ya que existe mucha bibliografía en la que se presentan consejos y recomendaciones para su elaboración en el ámbito del Pacto de Alcaldes, pero la disparidad de metodologías, y la dificultad para encontrar datos contrastados, bases de datos oficiales e información detallada hace que la elaboración de este inventario sea una tarea ardua y no realista.

En este documento se va analizar la problemática que existe a la hora de determinar el IER de un Plan de Acción de Energía Sostenible. Falta de datos oficiales, escasas bases de datos, factores utilizados no acordes a cada país, en definitiva, problemas que se encuentran cuando se va a elaborar un Inventario de Emisiones.

2 PACTO DE LOS ALCALDES

La Comisión Europea, tras la adopción del paquete de medidas de la UE sobre cambio climático y energía, presentó la iniciativa del **Pacto de los Alcaldes** en 2008 con el fin de respaldar y apoyar el esfuerzo de las autoridades locales en la aplicación de políticas de energía sostenible. Las autoridades locales que suscriben el Pacto de los Alcaldes demuestran un sólido compromiso político con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en su territorio **en al menos un 20 % antes de 2020**, lo que contribuye a cumplir los objetivos energéticos y climáticos de la Unión Europea (UE).

A partir del éxito del Pacto de los Alcaldes, en 2014 se lanzó la iniciativa Mayors Adapt, basada en el mismo modelo de gestión pública, mediante la cual se invitaba a las ciudades a asumir compromisos políticos y medidas para anticiparse a los efectos inevitables del cambio climático. A finales de 2015, ambas iniciativas se fusionaron en el nuevo Pacto de los Alcaldes para el Clima y la Energía, mediante el cual se asumieron los objetivos de la UE para 2030 y se adoptó un enfoque integral de la atenuación del cambio climático y de adaptación a este. De forma simbólica, se dio respaldo a los tres pilares de este pacto reforzado: la atenuación, la adaptación y la energía segura, sostenible y asequible. Este pacto extiende su Marco al 2030, con el objetivo de reducir en al menos un 40 % las emisiones de CO₂ y gases de efecto invernadero, e integra las medidas de adaptación para conseguirlo.

A fin de traducir su compromiso político en medidas prácticas y proyectos, los firmantes del Pacto deberán preparar, en particular, **un Inventario de Emisiones de Referencia y una Evaluación de Riesgos y Vulnerabilidades derivados del Cambio Climático**. De este modo, se comprometen a presentar, en el plazo de dos años a partir de la fecha en que la corporación municipal tome la decisión, un Plan de Acción por el Clima y la Energía Sostenibles (PACES) en el que se resuman las acciones clave que planean llevar a cabo.

2.1. ¿Qué es una Plan de Acción de Energía Sostenible?

Según establece (Guía JRC Scientific and Technical Reports, 2010) [1], el Plan de Acción es un

documento clave que muestra cómo los firmantes del Pacto van a cumplir su compromiso para el 2020 y 2030. Utiliza los resultados del Inventario de Referencia de las Emisiones (IER, en adelante) para identificar los mejores ámbitos de actuación y las mejores oportunidades para alcanzar el objetivo de reducción de CO₂ de las autoridades locales. Define las medidas de reducción concretas, junto con los plazos y las responsabilidades asignadas, que traducirán la estrategia a largo plazo en acciones. Los firmantes se comprometen a presentar el PACES dentro del plazo de dos años desde su adhesión.

Tal y como se plantea en [1] el PAES no debe contemplarse como un documento definitivo e inalterable, ya que las circunstancias van cambiando y, a medida que las acciones en vigor van proporcionando resultados y experiencia, puede ser necesario revisar el plan de manera regular. Recuérdese que las oportunidades para conseguir la reducción de emisiones surgen con cada nuevo proyecto de desarrollo, cuya aprobación es llevada a cabo por las autoridades locales. El impacto de la pérdida de dichas oportunidades puede resultar significativo y tener repercusiones durante un largo periodo de tiempo. Esto significa que las consideraciones relativas a la reducción de emisiones y a la eficiencia energética deben tenerse en cuenta en todos los nuevos desarrollos, incluso si el PAES no ha sido aún finalizado o aprobado

2.2. Campo de aplicación del PAES

El Pacto de Alcaldes supone el desarrollo de acciones a nivel local dentro de las competencias de la autoridad local. El PAES debe concentrarse en las medidas dirigidas a la reducción de emisiones de CO₂ y de consumo de energía final por parte del usuario final. Los compromisos del Pacto cubren toda el área geográfica correspondiente a la autoridad local (municipio, ciudad, región), y por lo tanto el PAES debe incluir acciones relativas tanto al sector privado como al sector público. No obstante, se espera que la autoridad local juegue un papel ejemplarizante y que, consecuentemente, tome medidas excepcionales relativas a los propios edificios e instalaciones, flota de vehículos, etc. La autoridad local puede fijar su objetivo total de reducción de emisiones de CO₂ como una “reducción absoluta” o como una “reducción per cápita”.

Atendiendo a las características principales del medio ambiente urbano en Europa, los principales sectores afectados por el PAES serán el de edificios, el de quipos/instalaciones y el del transporte urbano. El PAES puede incluir también acciones referidas a la producción local de electricidad (desarrollo de instalaciones fotovoltaicas, de energía eólica, de cogeneración, mejora de la generación de energía local), y a los sistemas locales de calefacción/climatización. Asimismo, el PAES debería abarcar aquellos sectores cuyo consumo de energía a largo plazo pueda verse influenciado por la política de la autoridad local (como la planificación urbanística), y debería fomentar la utilización de productos y servicios eficientes desde el punto de vista energético (contratación pública), así como cambios en los modelos de consumo (trabajando con las partes interesadas y los ciudadanos).

Por el contrario, el sector industrial no es un objetivo clave del Pacto de Alcaldes, de manera que la autoridad local puede elegir si incluye acciones en este sector o no. En cualquier caso, las plantas incluidas en el Esquema Europeo de Comercio de Emisiones de CO₂ deberían quedar excluidas, a menos que se encontraran dentro de algún plan previo de la autoridad local.

Recuérdese que las oportunidades para conseguir la reducción de emisiones surgen con cada nuevo

proyecto de desarrollo, cuya aprobación es llevada a cabo por las autoridades locales. El impacto de la pérdida de dichas oportunidades puede resultar significativo y tener repercusiones durante un largo periodo de tiempo. Esto significa que las consideraciones relativas a la reducción de emisiones y a la eficiencia energética deben tenerse en cuenta en todos los nuevos desarrollos, incluso si el PAES no ha sido aún finalizado o aprobado

En relación con la adaptación, se considera que los principales sectores vulnerables son «Edificios», «Transporte», «Energía», «Agua», «Residuos», «Planificación del uso del terreno», «Medio ambiente y biodiversidad», «Agricultura y silvicultura», «Salud», Protección civil y emergencias», «Turismo» y «Otros».

3 INVENTARIO DE EMISIONES DE REFERENCIA (IER)

El Inventario de Emisiones de Referencia (IER) según [1], cuantifica la cantidad de CO₂ emitida debido al consumo de energía en el territorio del municipio (es decir, del Firmante del Pacto)¹, en el año de referencia. El IER permite identificar las principales fuentes de emisiones de CO₂ antropogénico (de origen humano) y priorizar adecuadamente las medidas para su reducción. La autoridad local puede incluir también en el IER emisiones de CH₄ y de N₂O. La inclusión de CH₄ y N₂O depende de si en el Plan de Acción para la Energía Sostenible (PAES) se han aprobado medidas para la reducción de estos gases de efecto invernadero (GEIs), así como del tipo de factor de emisión escogido (estándar o de análisis de ciclo de vida (ACV)). Para simplificar, se referirá principalmente al CO₂, pero puede considerarse que la referencia se hace igualmente extensible a otros GEIs como CH₄ y N₂O, en el caso de que la autoridad local los incluya en el IER y en el PAES de forma general.

La elaboración del IER es de vital importancia, ya que el inventario **será el instrumento que permitirá a la autoridad local medir el impacto de sus acciones relativas al cambio climático**. El IER mostrará la situación inicial en el territorio de la autoridad local, y los sucesivos inventarios de seguimiento de emisiones indicarán los progresos hacia los objetivos establecidos. Los inventarios de emisiones son elementos muy importantes para mantener la motivación de todas las partes interesadas en contribuir al objetivo de reducción de CO₂ de la autoridad local, permitiéndoles apreciar el resultado de sus esfuerzos.

¹“territorio del municipio” se refiere al área geográfica dentro de los límites administrativos del ente local.

El objetivo global de reducción de CO₂ de los firmantes del Pacto de Alcaldes para 2020 y 2030 se logrará a través de la implementación del PAES o PACES en determinadas áreas de actividad en las cuales la autoridad local tiene influencia. El objetivo de reducción se define en comparación con el año de referencia, que es determinado por la autoridad local. Ésta puede decidir si establece el objetivo global de reducción de las emisiones de CO₂ como una “reducción absoluta”, o como una “reducción per cápita”.

De acuerdo con los principios expuestos en el Pacto de Alcaldes, cada firmante es responsable de las emisiones que se producen debido al consumo de energía en su territorio, por tanto, **los bonos de emisiones comprados o vendidos en el mercado del carbono no intervienen en el IER/ISE**. No obstante, esto no impide que los firmantes utilicen los mercados del carbono, e instrumentos afines, para financiar las medidas del PAES.

El IER cuantifica las emisiones producidas en el año de referencia. Además del inventario del año de referencia, se llevarán a cabo inventarios de emisiones adicionales en los años posteriores para hacer seguimiento de los progresos logrados. Este tipo de inventarios de emisiones reciben el nombre de inventarios de seguimiento de emisiones (ISE). El ISE aplicará los mismos métodos y principios que el IER. El acrónimo IER/ISE se utiliza para describir temas comunes a ambos.

En las directrices [1] se presentan consejos y recomendaciones para la elaboración del IER/ISE en el ámbito del Pacto de Alcaldes. Algunas definiciones y recomendaciones son exclusivamente de aplicación a los inventarios elaborados en el ámbito del Pacto de Alcaldes, con el fin de permitir que éstos sirvan para mostrar el progreso hacia el objetivo del Pacto.

No obstante, en la medida de lo posible, en esas directrices se siguen los conceptos, metodologías, y definiciones aceptados por los estándares internacionales. Por ejemplo, se anima a la autoridad local a utilizar factores de emisión que estén en línea con los del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)², o con los de la Base de datos de Ciclo de Vida de Referencia Europea (ELCD). **A pesar de ello, se ofrece a la autoridad local la flexibilidad de utilizar cualquier enfoque o herramienta que considere adecuada para este propósito**

3.1 Elaboración de un Inventario

3.1.1 Conceptos clave

En la elaboración del IER/ISE, son de gran importancia los siguientes conceptos según [1]:

- a) **Año de referencia.** El año de referencia es aquél respecto al cual serán comparados los resultados de la reducción de emisiones conseguida para los objetivos. La UE se ha comprometido a reducir sus emisiones en un 20% en relación a 1990 para el 2020 y un 40% para 2030; 1990 es también el año de referencia para el Protocolo de Kyoto. Con el fin de poder comparar la reducción de emisiones de la UE con la de los firmantes del Pacto, es

² El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) se creó en 1988 con la finalidad de proporcionar evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta.

Desde el inicio de su labor en 1988, el IPCC ha preparado cinco informes de evaluación en varios volúmenes.

necesario un año de referencia común, por lo que 1990 es el año de referencia recomendado para el IER. No obstante, si la autoridad local carece de los datos necesarios para elaborar un inventario para 1990, tendrá que elegir el año posterior más próximo para el que puedan recogerse los datos más fiables y completos. En el caso de Sevilla, el año de referencia es el 2000.

- b) **Datos de actividad.** Los datos de actividad cuantifican la actividad humana que se desarrolla en el territorio del municipio. Son ejemplos de datos de actividad:
- Combustibles fósiles empleados para la calefacción en edificios residenciales [MWh_{combustible}]
 - Electricidad consumida en edificios municipales [MWh_e]
 - Calor consumido por los edificios residenciales [MWh_{calor}]
- c) **Factores de emisión.** Los factores de emisión son coeficientes que cuantifican la emisión por unidad de actividad. Las emisiones se estiman multiplicando el factor de emisión por los datos de actividad correspondientes. Son ejemplos de factores de emisión:
- Cantidad de CO₂ emitida por MWh de combustible fósil consumido [tCO₂/MWh_{combustible}]
 - Cantidad de CO₂ emitida por MWh de electricidad consumida [t CO₂/MWh_e]
 - Cantidad de CO₂ emitida por MWh de calor consumido [t CO₂/MWh_{calor}].

3.1.2 Límites, Alcance y Sectores

Los límites geográficos del IER/ISE son los límites administrativos de la autoridad local.

El IER/ISE se basará fundamentalmente en el consumo de energía final, incluyendo tanto el consumo de energía municipal como no municipal en el territorio del municipio. No obstante, pueden incluirse también en el IER fuentes no relacionadas con el ámbito energético.

El IER cuantifica las siguientes emisiones debidas al consumo de energía que se producen en el territorio del municipio:

- a) Emisiones directas debidas a la combustión en edificios, equipamiento/instalaciones y en el sector del transporte dentro del territorio
- b) Emisiones (indirectas) relacionadas con la producción de la electricidad, del calor o del frío que se consumen en el territorio.
- c) Otras emisiones directas que se producen en el territorio, dependiendo de la elección de los sectores del IER.

Los puntos a) y c) anteriores cuantifican las emisiones que se producen físicamente dentro del territorio. La inclusión de estas emisiones sigue los principios del IPCC empleados en la presentación de informes de los países a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y a su Protocolo de Kyoto³.

Como se explica en el punto b) anterior, las emisiones debidas a la producción de electricidad, calor y frío consumidos en el territorio, quedan incluidas en el inventario independientemente del lugar de producción (dentro o fuera del territorio).

La definición del alcance del IER/ISE garantiza que todas las emisiones relevantes debidas al consumo de energía en el territorio están incluidas, pero no se produce una doble contabilización. Pueden incluirse en las IER/ISE emisiones no relacionadas con la combustión. No obstante, **su inclusión resulta voluntaria**, ya que el principal foco de atención del Pacto es el del sector energético. Además, la importancia de las emisiones no relacionadas con el consumo de energía es probablemente pequeña en relación con las de éste en una gran mayoría de municipios.

La Captura y Almacenamiento de Carbono (CAC), así como la energía nuclear, se encuentran fuera del ámbito del Pacto, y, por tanto, cualquier reducción de emisiones relacionada con dichas actividades debe quedar excluida del IER/ISE.

3.1.3 Factores de Emisión

Pueden seguirse dos enfoques distintos a la hora de seleccionar los factores de emisión según establece [1]:

- a) **Usar factores de emisión “Estándar” en línea con los principios del IPCC**, que abarcan todas las emisiones de CO₂ que se producen por el consumo de energía dentro del territorio del municipio, ya sea directamente debido a la combustión en el territorio de la autoridad local, ya indirectamente por la combustión asociada al uso de la electricidad y del calor/frío también en el territorio de la autoridad local. Los factores de emisión estándar se basan en el contenido en carbono de cada combustible, del mismo modo que en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero dentro del ámbito de la CMNNUCC⁴ y del Protocolo de Kyoto. De acuerdo con este enfoque, el CO₂ es el gas de efecto invernadero más importante, y las emisiones de CH₄ y N₂O no necesitan ser calculadas. Asimismo, las emisiones de CO₂ procedentes de la utilización sostenible de biomasa/biocombustibles, así como las emisiones de electricidad ecológica certificada, se consideran nulas.

³ Son comparables con el “Alcance 1: Emisiones directas de GEF” del Protocolo de Kyoto. Utilizado, por ejemplo, en la metodología del Protocolo Internacional de Análisis de las Emisiones de Gases de efecto invernadero para los Gobiernos Locales (IEAP) (ICLEI, 2009), y en El Protocolo de los Gases de Efecto Invernadero: estándar corporativo sobre contabilidad e informes (WRI/WBCSD, 2004). No obstante, una importante diferencia es que no se incluyen todas las emisiones que se producen en el territorio, por ejemplo, las emisiones de las grandes plantas industriales y de la generación de electricidad están excluidas

⁴ Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático

- b) **Usar factores de emisión ACV (Análisis del Ciclo de Vida)**, que tienen en cuenta el ciclo de vida total de la fuente de energía. Este enfoque incluye no solamente las emisiones debidas a la combustión final, sino también todas las emisiones de la cadena de suministro. Incluye las emisiones de las fases de explotación, transporte y procesado (por ejemplo, refinado), así como de la combustión final, por tanto, esto incluye también las emisiones que tienen lugar fuera del emplazamiento, donde el combustible es utilizado. Según este enfoque, las emisiones de GEI procedentes del uso de biomasa/biocombustibles, así como las emisiones de electricidad ecológica certificada, no son nulas. De acuerdo con este planteamiento, otros gases de efecto invernadero distintos del CO₂ pueden jugar un papel importante. Así, la autoridad local que decida utilizar el enfoque ACV, puede utilizar CO₂ equivalente como unidad de recuento de emisiones. Sin embargo, si la metodología/herramienta utilizada sólo cuantifica las emisiones de CO₂, éstas pueden ser consideradas siempre como CO₂ (en t). El ACV es un método estandarizado internacionalmente (serie ISO 14040), y empleado por un gran número de compañías y gobiernos, incluso para el cálculo de las “huellas de carbono”. El ACV es la base científica utilizada habitualmente para, por ejemplo, las Estrategias Temáticas de Recursos Naturales y Residuos o la Directiva de Ecodiseño y la Reglamentación sobre el etiquetado ecológico.

Tras seleccionar el enfoque a utilizar para la determinación de los factores de emisión, la autoridad local puede, bien utilizar los factores de emisión por defecto suministrados en [1], o bien elegir otros factores de emisión que sean considerados más apropiados. Los factores de emisión estándar dependen del contenido de carbono de los combustibles, y por tanto no varía significativamente de un caso a otro. En el caso del enfoque ACV, obtener información sobre las emisiones en la parte inicial del proceso de producción puede exigir un gran esfuerzo, y pueden darse diferencias considerables incluso para el mismo tipo de combustible.

3.1.4 Gases de Efecto Invernadero Incluidos: Emisiones de CO₂ o Equivalentes de CO₂

Los gases de efecto invernadero que deben incluirse en el IER/ISE dependen de la elección de los sectores, así como de la elección del enfoque del factor de emisión (estándar o ACV).

Según [1] si se eligen los factores de emisión estándar de acuerdo con los principios del IPCC, es suficiente incluir únicamente emisiones de CO₂ porque la importancia del resto de los gases de efecto invernadero es despreciable. No obstante, también pueden incluirse otros gases de efecto invernadero en el inventario de referencia, si se eligen los factores de emisión estándar. Por ejemplo, la autoridad local puede decidir utilizar factores de emisión que tengan en cuenta también las emisiones de CH₄ y N₂O de la combustión. Asimismo, si la autoridad local decide incluir los vertederos y/o el tratamiento de aguas residuales en el inventario, se incluirán también las emisiones de CH₄ y N₂O.

En el caso del enfoque ACV, pueden jugar un papel importante otros gases de efecto invernadero distintos del CO₂, por lo que una autoridad local que decida utilizar el enfoque ACV probablemente incluirá también en el inventario otros GEIs distintos del CO₂, y elegirá la unidad de información “emisiones equivalentes de CO₂”. No obstante, si la autoridad local utiliza una metodología/herramienta que no incluya otros GEIs distintos del CO₂, el inventario se basará únicamente en el dióxido de carbono, y se elegirá la unidad de información “emisiones de CO₂”.

Las emisiones de otros gases de efecto invernadero distintos del CO₂ se convierten en equivalentes de CO₂ utilizando los valores del Potencial de Calentamiento Global (PCG). Por ejemplo, un kg de

CH₄ tiene un impacto similar, en términos de calentamiento global, a 21 kg de CO₂, cuando se considera su impacto sobre un intervalo de tiempo de 100 años, y por tanto el valor PCG del CH₄ es 21 (SAR⁵ - valores de PCG basados en el Informe de la Segunda Evaluación del IPCC (IPCC, 1995). No obstante, el AR4⁶ (valores PCG basados en el informe de la Cuarta Evaluación del IPCC (IPCC, 2007) establece correlaciones con variaciones que en algunos casos son significativas.

Tabla 1. Potencial de calentamiento global para los GEI

GAS	FÓRMULA	SAR	AR4
Dióxido de carbono	CO ₂	1	1
Metano	CH ₄	21	25
Óxido nitroso	N ₂ O	310	298
HIDROFLUOROCARBUROS			
HFC-23	CHF ₃	11.700	14.800
HFC-32	CH ₂ F ₂	650	675
HFC-41	CH ₃ F	150	92
HFC-43-10mee	C ₅ H ₂ F ₁₀	1.300	1.640
HFC-125	C ₂ HF ₅	2.800	3.500
HFC-134	C ₂ H ₂ F ₄ (CHF ₂ CHF ₂)	1.000	1.100
HFC-134a	C ₂ H ₂ F ₄ (CH ₂ FCF ₃)	1.300	1.430
HFC-152a	C ₂ H ₄ F ₂ (CH ₃ CHF ₂)	140	124
HFC-143	C ₂ H ₃ F ₃ (CHF ₂ CH ₂ F)	300	353
HFC-143a	C ₂ H ₃ F ₃ (CF ₃ CH ₃)	3.800	4.470
HFC-227ea	C ₃ HF ₇	2.900	3.220
HFC-236fa	C ₃ H ₂ F ₆	6.300	9.810
HFC-245ca	C ₃ H ₃ F ₅	560	693
HFC-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃		1030
HFC-365mfc	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃		794
PERFLUOROCARBUROS			
Perfluorometano (PFC-14)	CF ₄	6.500	7.390
Perfluoroetano (PFC-116)	C ₂ F ₆	9.200	12.200
Perfluoropropano (PFC-218)	C ₃ F ₈	7.000	8.830
Perfluorobutano (PFC-3-1-10)	C ₄ F ₁₀	7.000	8.860
Perfluorociclobutano (PFC-318)	c-C ₄ F ₈	8.700	10.300
Perfluoropentano (PFC-4-1-12)	C ₅ F ₁₂	7.500	9.160
Perfluorohexano (PFC-5-1-14)	C ₆ F ₁₄	7.400	9.300
HEXAFLUORURO DE AZUFRE	SF ₆	23.900	22.800

Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, 1990-2014. Edición 2016 [2]

⁵ <https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-1995/ipcc-2nd-assessment/2nd-assessment-sp.pdf>

⁶ https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf

En el ámbito del Pacto de Alcaldes, se sugiere que se apliquen los valores PCG que se utilizan en los informes para la CMNNUUCC⁷ y el Protocolo de Kyoto. Estos valores PCG están basados en el informe de la Segunda Evaluación del IPCC (IPCC, 1995) (SAR)⁸, y se presentan en la tabla 1.

⁷ Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

⁸ <https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-1995/ipcc-2nd-assessment/2nd-assessment-sp.pdf>

4 METODOLOGIA HUELLA DE CARBONO: EL CASO DE LOS MUNICIPIOS ANDALUCES

«Puede que seas capaz de engañar a los votantes, pero no a la atmósfera».

Donella Meadows (1941-2001). Científica ambiental estadounidense.

Una vez contextualizado qué es un IER en el ámbito de un Plan de Acción de Energía Sostenible, se procede a analizar la metodología utilizada para su elaboración en la mayoría de municipios andaluces y por ende, en la ciudad de Sevilla, ya que tal y como se mencionó anteriormente, la Guía deja totalmente abierto el uso de cualquier metodología existente para tal fin; [1] **“A pesar de ello, se ofrece a la autoridad local la flexibilidad de utilizar cualquier enfoque o herramienta que considere adecuada para este propósito.”**

Es este uno de los puntos clave por los que el Inventario de Emisiones de Referencia de una ciudad de un punto de la geografía española o de la propia UE, pueda ser diferente al de otra ciudad no muy alejada de la anterior, ya que al tomar diferentes metodologías o enfoques para su realización, es fácilmente posible que puedan existir variaciones entre una y otra.

4.1 Huella de Carbono

Como se describe en la Huella de Carbono (Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015) [3], esta 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 difusos⁹ más relevantes y las derivadas del consumo de energía eléctrica. Los sectores emisores difusos en España fueron responsables en 2014 de la emisión de 201,4 MtCO₂. Esto corresponde aproximadamente al 61% de nuestras emisiones totales de gases de efecto invernadero. (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente) [4]

⁹ Los sectores difusos abarcan las actividades no sujetas al comercio de derechos de emisión. Representan por tanto, aquellos sectores menos intensivos en el uso de la energía. Forman parte de esta categoría los sectores: Residencial, comercial e institucional; Transporte; Agrícola y ganadero; Gestión de residuos; Gases fluorados; Industria no sujeta al comercio de emisiones

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.

Los gases considerados son el **CO₂**, el **CH₄** y el **N₂O**, 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** 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.

En la Tabla 2, se muestra la correspondencia entre las clasificaciones CRF¹⁰ y NRF¹¹ del Inventario Nacional y como se agrupan en la clasificación por sectores que se realiza en la Huella de Carbono Municipal. La desagregación de las emisiones en el formato NRF es la máxima y más detallada posible, perdiendo un poco de detalle en el formato CRF.

¹⁰ El Convenio Marco sobre Cambio Climático estableció el formulario común para informes (CRF, del acrónimo inglés Common Reporting Format) y las guías para informar sobre los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero a la Secretaría del Convenio Marco de Cambio Climático. [8]

¹¹ El formato NRF (NFR, acrónimo inglés de Nomenclature For Reporting) es el adoptado para informar a las distintas instancias internacionales sobre las emisiones del Programa EMEP de la Convención de Ginebra de las Naciones Unidas sobre Contaminación Transfronteriza a Larga Distancia. Entre estas instancias se citan el Programa EMEP, la Secretaría de la Convención, y la Comisión de la Unión Europea en lo referente al seguimiento de la Directiva 2001/81/CE, sobre techos nacionales de emisión. [8]

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

Epígrafes Huella	Correspondencia CRF	Correspondencia NRF
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

Fuente: Junta de Andalucía. Huella de Carbono de los municipios andaluces. Año 2000-2012 [3]

La unidad de medida utilizada en esta metodología es la tonelada de CO₂ equivalente, utilizando como fórmula de cálculo 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, CO₂, CH₄, N₂O

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]

4.2 Sectores Emisores

4.2.1 TRANSPORTE

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 [3] 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. El Consejo de Ministros aprobó en 2015 un Real Decreto (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2015) [5] para fomentar la utilización de biocarburantes en el transporte mediante el establecimiento de objetivos mínimos obligatorios para el periodo 2016-2020.

De esta forma se asegura el cumplimiento del objetivo contra el cambio climático del 20% de penetración de renovables en el 2020 de manera eficiente y con el mínimo coste para el consumidor.

Dentro de este objetivo global, el 10% de la energía utilizada en el transporte - que supone la mitad del consumo energético - debe ser de origen renovable.

En este real decreto se establece una senda de obligación de biocombustibles en el transporte, que va ascendiendo gradualmente hasta alcanzar el 8.5% en el 2020. Los objetivos obligatorios mínimos anuales para la venta o consumo de biocarburantes en el periodo 2016-2020 son los siguientes:

Tabla 3. Objetivos obligatorios mínimos anuales para la venta o consumo de biocarburantes en el periodo 2016-2020.

2016	2017	2018	2019	2020
4,3%	5%	6%	7%	8,5%

Fuente: [5]

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.

4.2.1.1 Metodología aplicada en Andalucía

Tal como se establece [3], 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) [6]

- **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:

$$Q_j(t) = \sum_i \sum_p N_{veh_i} \times Recor_{i,p} \times F_{c_{i,p}}$$

Donde:

- **N_{veh_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)
- **F_{c_{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 (N_{veh_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 afectado 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 4. Normativa de la UE 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: Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012. Volumen 2 [7]

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:

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

- **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 [7] 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 [7] 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:

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

- **Factores correctores que transforman km recorridos en t de combustible consumido, para cada categoría de vehículo i y pauta p ($\text{Fc}_{i,p}$)**

Los factores correctores se calculan según la siguiente fórmula:

$$\text{Fc}_{i,p} \text{ (t combustible fósil/Km recorrido)} = \text{FE}_{1,i,p} / \text{FE}_{2,i,p}$$

Donde:

- **$\text{FE}_{1,i,p}$** : 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).
- **$\text{FE}_{2,i,p}$** : 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. [7]

▪ **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:

$$\text{Emisiones}_k \text{ (t / año)} = \sum_i \sum_p \text{Nveh}_i \times \text{Recor}_{i,p} \times \text{FE}_{k,i,p}$$

Donde:

- **Nveh_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)
- **$\text{FE}_{k,i,p}$** : 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

4.2.1.2 Datos del Inventario de Emisiones: El caso de Sevilla y problemática asociada.

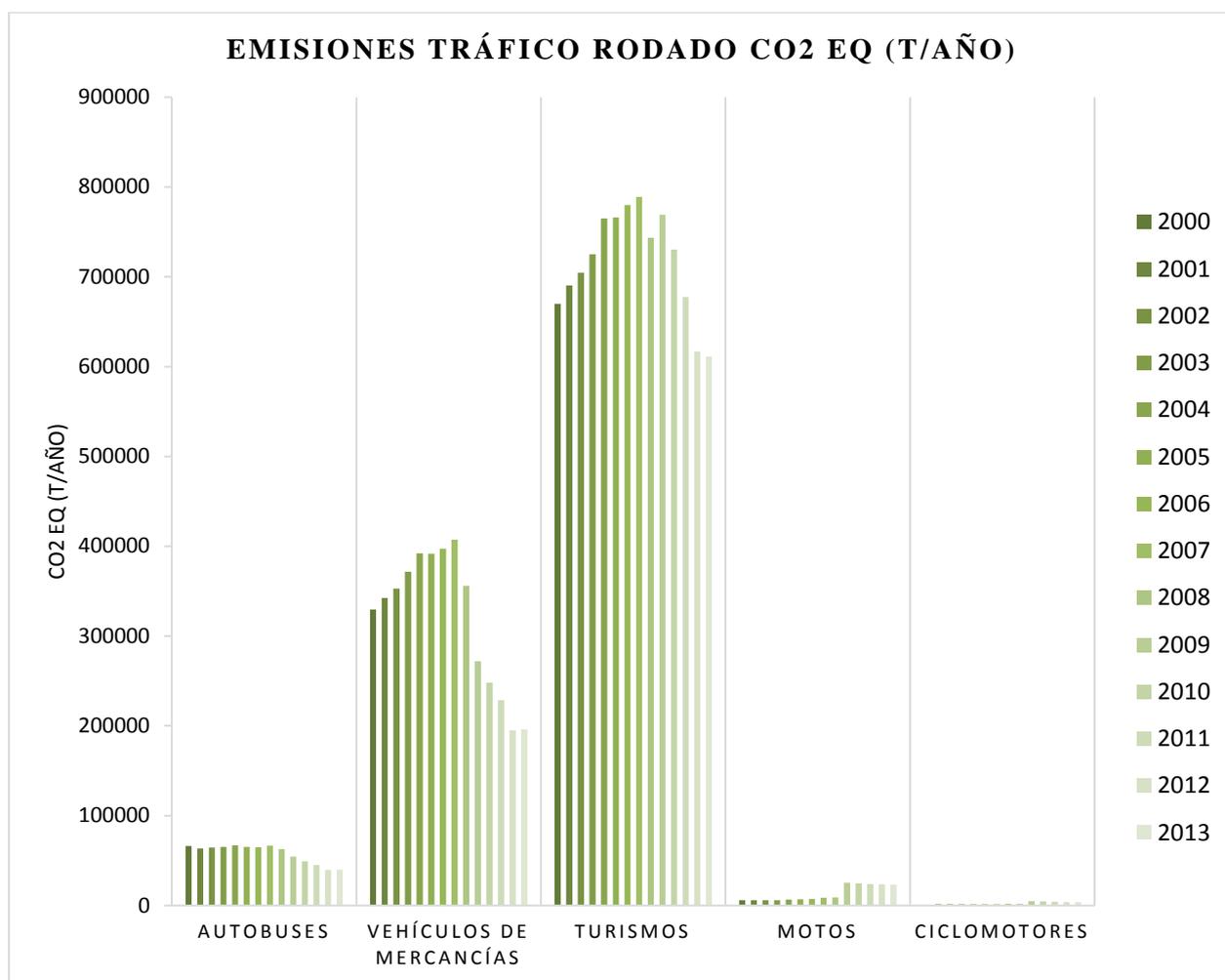
A la hora de realizar el IER existen muchos problemas de falta de datos y escasez de información acerca de diferentes variables que pueden influir en la emisión de más o menos gases de efecto invernadero.

En el sector transporte, uno de los principales problemas a la hora de contabilizar las emisiones debidas al transporte del IER, es que solamente es posible contabilizar el número de vehículos censados en el municipio y no el total de vehículos que en realidad están emitiendo gases dentro del ámbito municipal, por lo que muchas de estas emisiones que se están dando en el municipio quedan sin contabilizar y el dato que de verdad se calcula no es realista. Es muy difícil y costoso disponer de una fuente de datos de estas características, por lo que las metodologías existentes se basan solo en el número de vehículos censados en la población ya que es una de las pocas fuentes de datos que disponen para ello.

En el caso del IER de Sevilla, no están por supuesto contabilizados el gran número de vehículos que emiten gases dentro del territorio municipal y que no están censados en Sevilla, por ejemplo el caso de vehículos que pasan por la red de carreteras que rodean Sevilla, como la S-20, S-30, los turismos cuyos ocupantes trabajan en Sevilla pero tiene su residencia en los pueblos colindantes, etc.

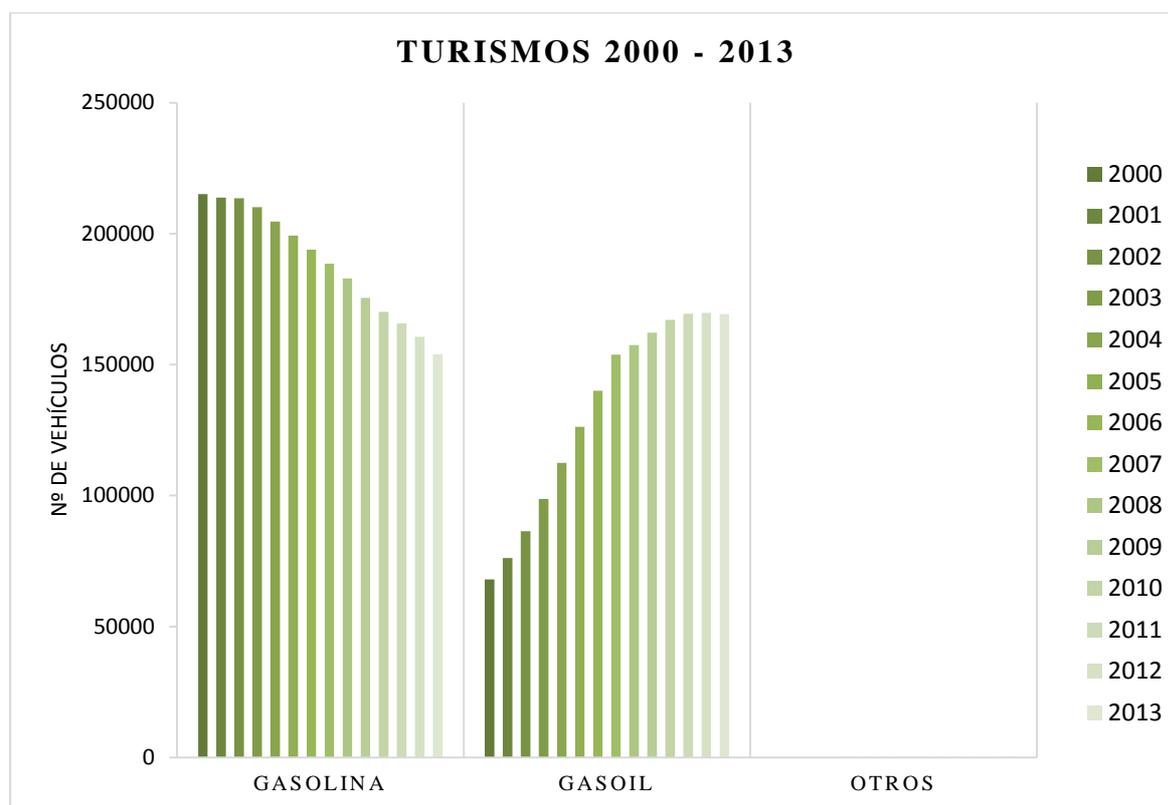
Otro problema que existe también debido a la falta de datos se encuentra a la hora de llevar a cabo **el cálculo de vehículos de categoría i**. Para calcular esto se tiene que suponer que la distribución en cada municipio es igual que la distribución nacional, dato muy relativo, ya que no tiene la misma flota de coches un municipio que tenga el sector de la agricultura como principal fuente de ingresos, que el municipio que tiene como sector principal el turismo. Si en cada municipio existiera un registro con el tipo de vehículo existente en su ámbito municipal, no se tendría que hacer esta correlación que le da aún más incertidumbre a los datos del inventario.

Gráfico 1. Emisiones Tráfico Rodado Inventario Emisiones de Sevilla.



Fuente: IER de Sevilla. Serie 2000-2013

En el siguiente gráfico se puede observar el nº de turismos censados en el municipio según el tipo de combustible consumido, según el ratio nacional, así pues, los datos que aparecen en la siguiente gráfica no son en realidad el número de turismos que de verdad están circulando por el ámbito municipal de Sevilla.

Gráfico 2. Número de Turismos en el inventario de Emisiones de Sevilla.

Fuente: IER de Sevilla. Serie 2000-2013

En el Gráfico 2, se muestra el nº total de vehículos censados en la ciudad de Sevilla para la serie 2000-2013 según el combustible consumido. Esta es la única fuente veraz que puede tomar la administración de Sevilla para la realización del IER, aunque probablemente el número de vehículos circulando por la ciudad sea más alto, principalmente por lo comentado anteriormente. Evidentemente un número más alto de turismos circulando, emiten una mayor cantidad de emisiones GEI, por lo que no se está haciendo un análisis correcto de emisiones en este sector, aunque bien es cierto, que la dificultad y el presupuesto necesario para llevar a cabo una base de dato que muestre la realidad supondría a la administración un esfuerzo considerable.

4.2.3 RESÍDUOS

Los residuos orgánicos biodegradables se descomponen por la acción bacteriana a través de una serie de etapas que resultan en la formación de CH_4 y CO_2 . 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 CO_2 procedentes de la degradación de la materia orgánica como de la combustión del biogás, no se contabilizan porque se consideran biogénicas.

4.2.3.1 Metodología aplicada en Andalucía

Extrayendo la información [3], 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.

- **Emisiones de metano (CH_4) generadas por la degradación de la materia orgánica de residuos urbanos depositada en vertederos**

La Huella de Carbono Municipal [3] 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 [3] como el Inventario Nacional de Emisiones [7] 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 (G_t)**

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. [6]

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.

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. Por último, para estimar el rechazo se considera que un porcentaje de un 76%¹² 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.

▪ **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:

¹² 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.

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

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 5. 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
C	Residuos alimentarios	48,9
D	Madera, paja y biomasa	1

Fuente: [3] [7]

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 (Nm^3).
- **$\%CH_4$:** 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 $0,7143 \text{ kg/m}^3$ (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.

- **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 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio

Ambiente, Mayor 2014) [7]

Tabla 6. Factores de emisión por combustión del biogás recuperado

Dispositivo combustión	$\frac{\text{g CH}_4}{\text{t CH}_4} (\times 10^{-6})$	$\frac{\text{g N}_2\text{O}}{\text{t CH}_4} (\times 10^{-6})$
Antorchas	8.000	90
Calderas	20.000	90
Motores	28.000	90
Turbinas	56.000	90

Fuente: [3] [7]

4.2.3.2 Datos del Inventario de Emisiones: El caso de Sevilla y problemática asociada

Como se ha explicado anteriormente para calcular la cantidad de emisiones procedentes del sector residuos, hacen falta muchos datos y series históricas que no se tienen y que por tanto han sido necesarias reconstruir utilizando otros datos.

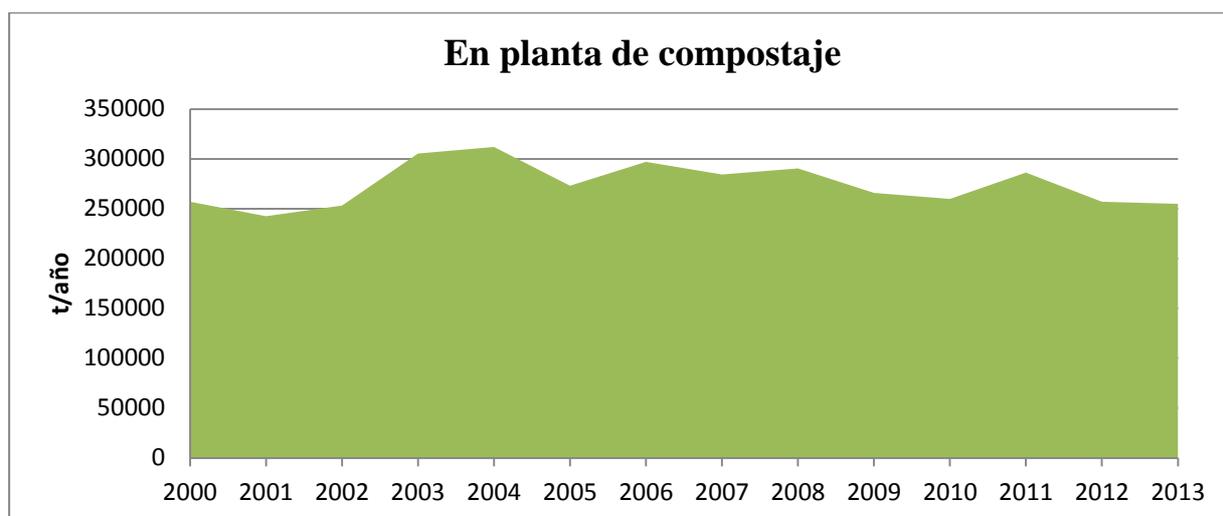
En este sector, hasta hace relativamente pocos años no se consideraba importante tratar los residuos para sacarle un beneficio. Esto se ve claramente en la cantidad de vertederos incontrolados que existían y aunque ahora menos, existen¹³, y que están emitiendo emisiones y contaminando suelos sin cesar, por supuesto, estas emisiones no se contabilizan en ningún inventario debido a que no se sabe a ciencia cierta ni cuantos vertederos incontrolados existen en la actualidad.

Con esto se puede llegar a la conclusión que la toma de datos en este sector no se ha dado en muchas zonas prácticamente nunca y por ello las series históricas necesarias para la contabilización de emisiones en el sector residuos deben ser reconstruidas.

Datos como la generación municipal de residuos de los años de la serie 1970-1999 han tenido que ser reconstruidos con datos de población y tasas de generación de residuos en las zonas donde haya tal dato.

La no existencia de datos de ningún tipo en muchos municipios ha llevado a hacer correlaciones en base a tasas de generación regionales o municipales de otros años.

¹³ La Comisión Europea lleva a España ante el Tribunal de Justicia de la UE (TJUE) por la insuficiente gestión a la que se someten los residuos en las regiones de Andalucía, Islas Baleares, Islas Canarias, Castilla-La Mancha, Castilla y León y Murcia. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-15-5354_es.htm

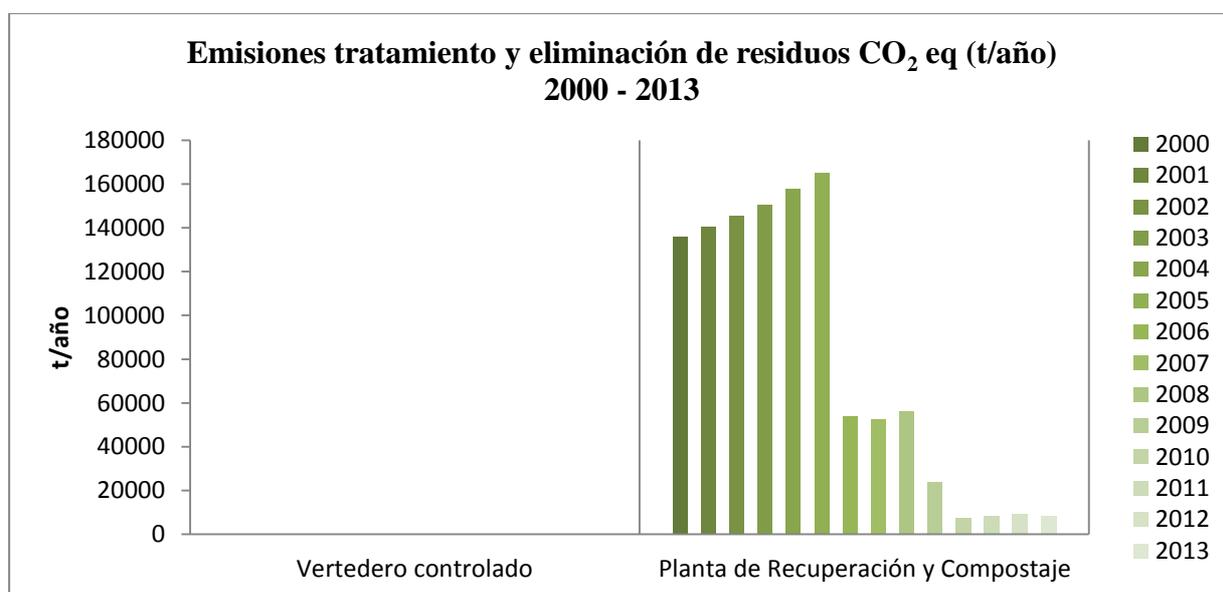
Gráfico 3. Destino de los RSU en plantas de compostaje.

Fuente: IER de Sevilla. Serie 2000-2013

Para el caso de conocer el destino de los residuos municipales generados para la serie (1970-2012), existen datos relativos a la serie 2006-2012 en el Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía, pero no para los años anteriores, por lo que es necesario de nuevo establecer hipótesis que son las se han señalado anteriormente en la metodología utilizada para ello.

Para el caso del IER de Sevilla, todos los RSU han ido a parar a plantas de compostaje, con más o menos la misma proporción de t/año durante toda la serie que en el gráfico 2 se representa.

A continuación en el Gráfico 4, se representa el total de emisiones de tratamiento y eliminación de residuos en toneladas de CO₂ eq, existiendo una gran diferencia en emisiones desde el año 2000 al 2013.

Gráfico 4. Emisiones de tratamiento y eliminación de residuos CO₂ eq. Serie 2000-2013

Fuente: IER de Sevilla. Serie 2000-2013

Gráfico 5. Valores de la composición de los RSU aplicados para el cálculo de fracción de carbono orgánico degradable de Andalucía.

Composición de los RSU en masa		
Materia Orgánica	48,9	% en peso
Papel y Cartón	18,6	% en peso
Plásticos	11,8	% en peso
Vidrios	6,1	% en peso
Metales Féreos	3,5	% en peso
Madera	1	% en peso
Textiles	4,4	% en peso
Goma y Caucho	0	% en peso
Pilas y Baterías	0	% en peso
Otros	5,6	% en peso
Destino de los RSU		
En vertedero controlado	0	t/año
En planta de compostaje	254.924	t/año
Otros	0	t/año

Fuente: IER de Sevilla. Serie 2000-2013

Dato curioso es que los valores de la composición de los RSU aplicados para el cálculo de fracción de carbono orgánico degradable de Andalucía en los inventarios de la metodología Huella de Carbono están establecidos de forma general para todos los municipios de Andalucía y para toda la serie histórica 1970-2012, por lo que son siempre los mismo porcentajes y no varían en ningún momento.

4.2.4 AGUAS RESIDUALES

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 [3] 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.

4.2.4.1 Metodología aplicada en Andalucía

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. [7]

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.**

- **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 7. 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: [3]

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 [7] 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:

$$\text{FE}_j \text{ (kg CH}_4\text{/kg DBO)} = \text{B}_0 \times \text{FCM}_j$$

Donde:

B₀: Capacidad máxima de producción de CH₄. Se aplica el valor del Inventario Nacional de Emisiones 0,6 kg CH₄/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 8. Factores de corrección del metano según el tipo de tratamiento

Tipo de tratamiento	FCM	Fuente de los datos
Sistema sin tratamiento con vertido 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 aerobio de los fangos	0	
Tratamiento anaerobio de los fangos	0,3	

Fuente: [3] [7]

- **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:

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

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)
- **p_{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.

- **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 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.

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_{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 8: [7]

Tabla 9. 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: [3] [7]

- **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:

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

Donde:

- **C_{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)
- **FE₆**: 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_{proteína})**

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

Tabla 10. Consumo per cápita de proteínas.

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: [3] [8]

4.2.4.2 Datos del Inventario de Emisiones: El caso de Sevilla y problemática asociada

En el sector de aguas residuales al igual que en los anteriores no existen datos oficiales de una manera detalla y los que hay, la manera de conseguirlos es muy complicada, como así se desprende del siguiente informe del IDAE [9] “*Con objeto de recopilar datos de la situación actual de las depuradoras en España, se ha llevado a cabo una consulta de la información disponible por parte de las entidades gestoras o propietarias de las mismas. Cabe destacar la falta de información existente al respecto, y en los casos en los que sí se ha podido acceder a la misma, la poca claridad en los datos y la dificultad de acceder a datos básicos que permitan caracterizar las depuradoras como son sus habitantes equivalentes o el tipo de tratamiento que llevan a cabo.*

En el caso de Aragón, se ha podido localizar datos de cada una de las depuradoras existentes, por provincias, en la página Web del Gobierno de Aragón, Instituto del Agua, en la que disponen de un Mapa de depuradoras, y una a una se puede obtener información.

En los casos de la Comunidad de Madrid y Galicia, la información se ha solicitado vía fax y correo electrónico. Únicamente se ha obtenido información por parte de la Xunta de Galicia, en forma de hoja de cálculo en la que figuran datos muy básicos sobre cada una de sus depuradoras. El Canal de Isabel II no ha dado respuesta a la información solicitada.

En el caso de la Región de Murcia, la información está disponible la página Web de La Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales (ESAMUR). Se ha contrastado con los técnicos que realizan el control de la explotación de depuradoras en Murcia, que no se dispone de información sistemática de mayor detalle.”

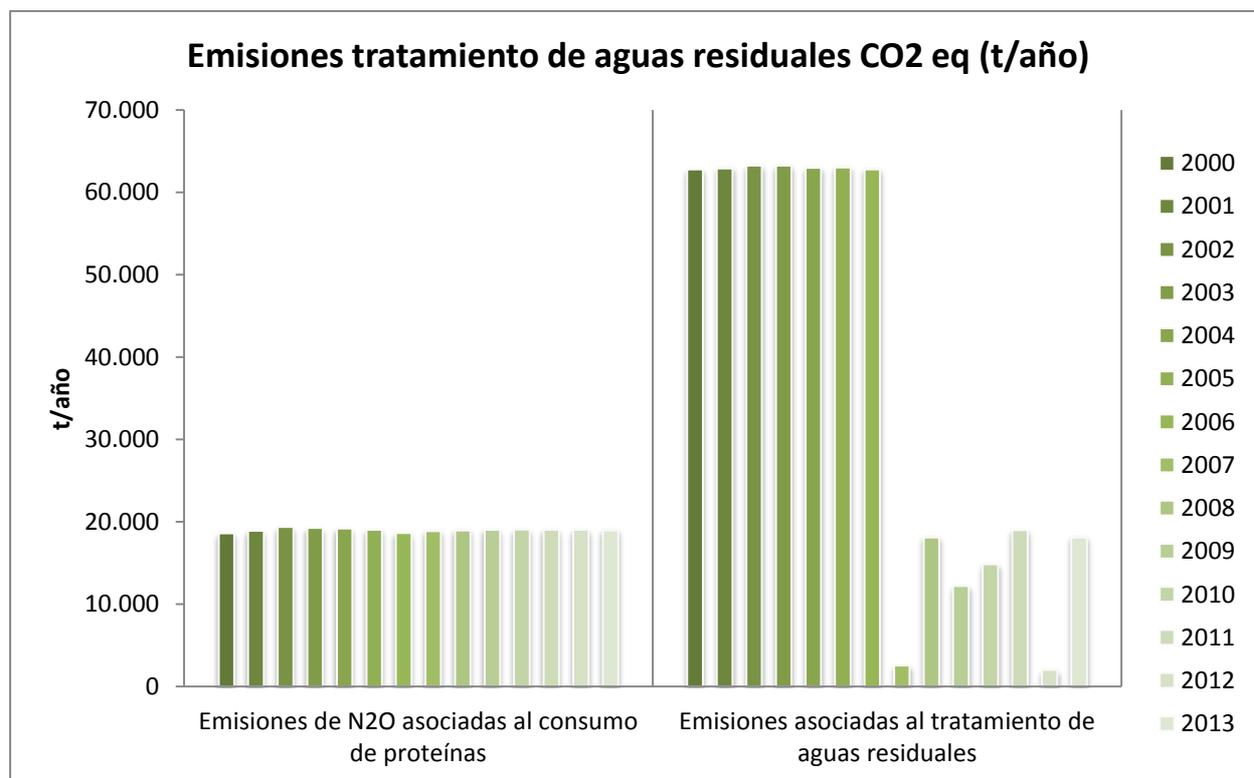
- **DBO:** No disponible para consulta en la mayoría de depuradoras municipales, ya sea bien,

debido a que no existe una plataforma en la que agruparlos y consultarlos, o bien que en muchos municipios, ni se controla este dato de una manera periódica debido al mal uso de las instalaciones. Por lo tanto la metodología [3] debe establecer un valor común para todas las instalaciones del Inventario nacional que ni mucho menos representa la realidad en cada instalación, y por ende sus emisiones.

- **Nº de habitantes equivalentes:** se utiliza en la metodología Huella de Carbono un factor de conversión a habitantes equivalentes en función de los habitantes empadronados en un municipio y el nº de habitantes promedio durante un año en un municipio, lo cual se hace debido a la falta de esos datos en las diferentes EDARs municipales.
- **Factores de emisión:** En esta metodología de la Huella de Carbono se ha tenido que establecer una correlación entre los tipos de tratamientos que se llevan a cabo en las EDARs de Andalucía con las categorías definidas por el [6] para así poder disponer de un factor de emisión muy general, ya que se está hablando de un factor de emisión común para todos los procesos que utilicen ese valor, sin tener en cuenta la especificidad de cada instalación.

Para el Inventario de emisiones de Sevilla, las emisiones referentes a este sector son las siguientes:

Gráfico 6. Emisiones Tratamiento de aguas residuales Inventario Emisiones de Sevilla.



Fuente: IER de Sevilla. Serie 2000-2013

4.2.5 AGRICULTURA

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

Las emisiones de óxido nitroso 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 nitroso 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 nitroso 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 nitroso 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 nitroso.
- 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 nitroso.

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.

4.2.5.1 Metodología aplicada en Andalucía

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.

- **Emisiones directas de óxido nitroso de los suelos agrícolas**

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

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

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 N_2O correspondiente a las emisiones procedentes de aportes directos de nitrógeno a los suelos anualmente. Se aplica el valor 0,0125 t N_2O –N/t N
- **44/28**: Factor de conversión del N_2 en N_2O

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 NH_3 y NO_x , y se obtiene a partir de la siguiente expresión:

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

- $\text{SC}_{c,m}$: 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 NH_3 y NO_x (t de $\text{NH}_4\text{-N}$ /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 ($\text{SC}_{c,m}$)**

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 11. 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 (HdC).

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: [3]

Tabla 12. Agrupación de los distintos tipos de cultivos leñosos del Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA) en las categorías de la HdC.

HCM	SIMA
Cítricos	Limero y otros cítricos, limonero, mandarino, naranjo, naranjo amargo, pomelo
Almendro	Almendro
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: [3]

- 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.”, correspondiente a cada año.

- **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.

Tabla 13. Fracción de aportes de nitrógeno en fertilizante volatilizado como NH₃ y NO_x

AÑO	Frac _{gasF}
2000	0,08
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	0,09
2012	0,088

Fuente: [7]

- **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.

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

- 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 aplicada a cada tipo de cultivo se extraen del informe “Balance de Nitrógeno de la Agricultura Española” correspondiente a cada año.

- **Fracción de los aportes de nitrógeno en estiércoles que se volatilizan como NH_3 y NO_x ($Frac_{gasM}$)**

Se trata de valores adimensionales que se obtienen del Inventario Nacional de emisiones a la atmósfera, serie 1990-2012 [7]

- **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.

- **Emisiones de óxido nitroso provenientes del pastoreo**

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

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

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:

$$N_{\text{past}} \text{ (tN/año)} = \sum_c \text{SC}_{\text{past},c} \times \text{TPast}_c$$

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

- **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 [10]
- $Frac_{lixiv}$: 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. [10]

- **Emisiones de metano proveniente del cultivo de arroz**

Las emisiones de CH_4 del cultivo de arroz se calculan a través de la expresión:

$$\text{Emisiones } CH_4 \text{ (t/año)} = SC_{arroz,m} \times FE_{ar}$$

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 CH_4 /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”:

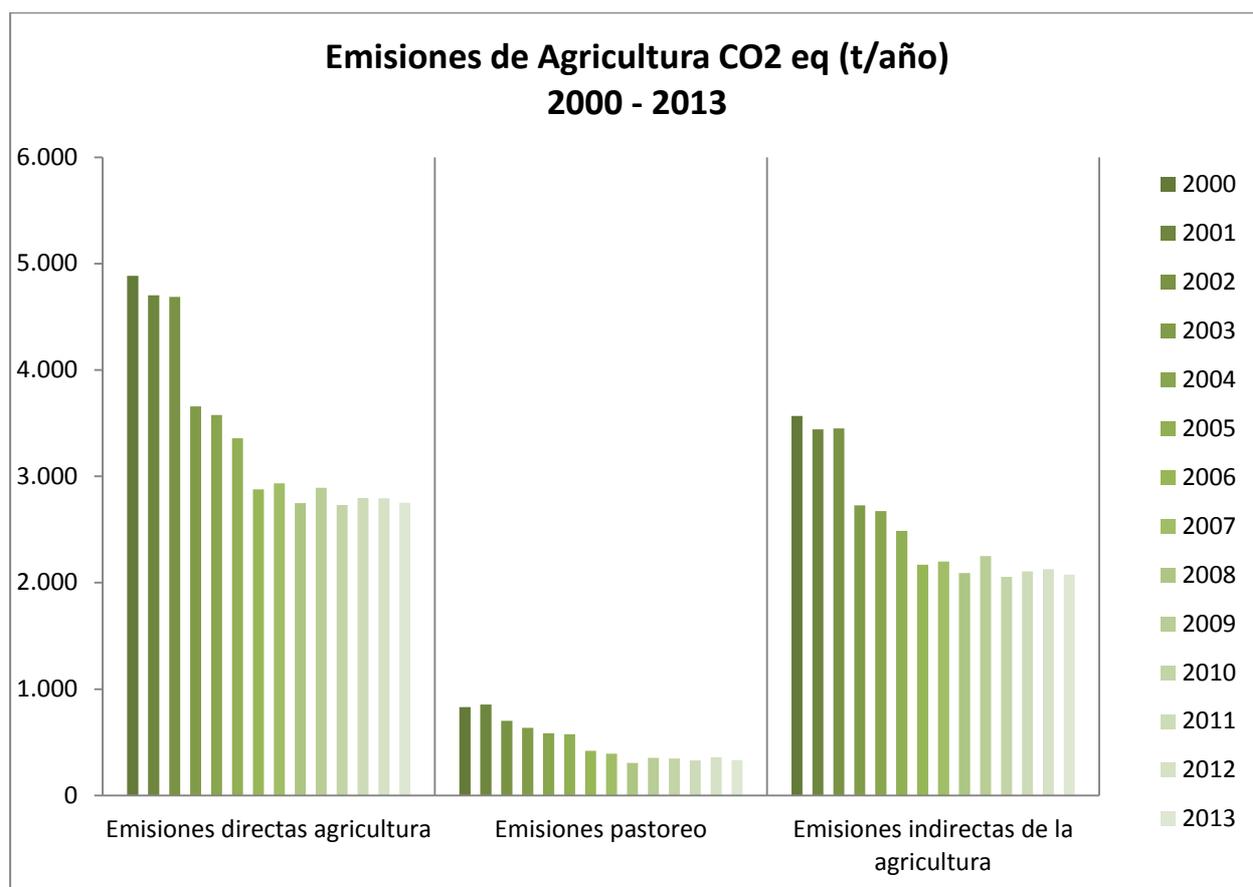
- “Superficie destinada a cultivos herbáceos de regadío”.

4.2.5.2 Datos del Inventario de Emisiones: El caso de Sevilla y problemática asociada

Como se ha ido comentando en los anteriores puntos de diferentes sectores, la falta de datos realistas y oficiales para determinar la cantidad de emisiones provocadas por un determinado sector, en la agricultura es si cabe aún más complejo debido a la diversidad de interacciones que y la cantidad de emisiones no “medibles” que existen

Aunque la metodología Huella de Carbono es muy rigurosa y quiere abarcar todas las emisiones referidas a este sector en general las metodologías de cálculo de la HC desempeñan una función unificadora importante en tanto que delimitan las líneas generales que todo cálculo de huella debiera seguir. Hay que distinguir entre esta función de guía y el nivel de detalle que se exige a una HC, habitualmente mayor, para lo que es necesario contemplar variables más específicas, particulares a cada producto y sector. Por esta razón en el cálculo de la HC no se parte habitualmente de unos parámetros predefinidos y por tanto los resultados pueden presentar variaciones según la particular selección de valores que se haga.

- **Factores de emisión/absorción:** Un factor de emisión utilizado normalmente en el sector es el asociado a la nitrificación y desnitrificación en el suelo generador de N₂O para lo que se emplea el valor del IPCC. No obstante, en España se está investigando sobre valores ajustados al territorio, ya que en algunas zonas podría ser muy inferior. La solución podría ser la de investigar, elaborar y publicar nuevos factores de emisión/absorción adaptados a la realidad española, creando así bases de datos fiables y específicos para el sector agrario.
- **Datos de actividad:** Existe una ausencia así como una dificultad enorme de acceso a a datos primarios de actividad. Para ello una solución posible a adoptar sería la publicación de valores o fuentes de datos secundarios válidos para los estudios, o una propuesta de metodologías de cálculo concreta para cada sector agrario que recojan los criterios de selección de datos de actividad así como tipo de procesos a considerar.
- **Variabilidad climática:** Falta de detalle en las metodologías de cálculo del tratamiento por variaciones climatológicas, es complicado, pero necesario si se quiere llevar a cabo un inventario de emisiones realista.

Gráfico 7. Emisiones Agricultura Inventario Emisiones de Sevilla.

Fuente: IER de Sevilla. Serie 2000-2013

Estos son datos de las emisiones de CO2 eq (t/año) referentes al inventario de emisiones de Sevilla, en el que se han tratado los con las dificultades antes comentadas, así como sin tener en cuenta las fluctuaciones climáticas que se dan constantemente en la naturaleza.

4.2.6 GANADERÍA

Tal como establece [3], 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 nitroso. El metano se produce mediante la descomposición anaeróbica del estiércol, mientras que el óxido nitroso 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 nitroso 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.

4.2.6.1 Metodología aplicada en Andalucía

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 nitroso procedentes de la gestión del estiércol. Las emisiones del sector resultan de la suma de todas ellas.

- **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 CH_4 /(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. [7]
- **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. [7]

- **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_{Ta})**

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. [7]

- **Emisiones de Óxido nítrico de la ganadería provenientes de la gestión de estiércoles**

Se aplica la siguiente ecuación para estimar estas emisiones:

$$\text{Emisiones N}_2\text{O (t/año)} = \sum_{S,T} N_T \times N_{exTa} \times MS_{T,S} \times FE_{3,S} \times 44/28 \times 10^{-3}$$

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)
- **N_{exTa}** : 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 N_2O directo para el sistema S de gestión de estiércol en kg de N_2O-N/kg N aportado al sistema S de gestión de estiércol.

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 (N_{exTa})**

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. [7]

- **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. [7]

- **Factor de emisión de N_2O directo para el sistema S de gestión de estiércol ($FE_{3,S}$)**

Los valores de Factor de emisión de N_2O directo para los distintos sistemas de gestión de estiércol se extraen del Inventario Nacional de Emisiones. Serie 1990-2012. Volumen 2 [7]

4.2.6.2 Datos del Inventario de Emisiones: El caso de Sevilla y problemática asociada.

(Estimación de las Emisiones de los Rumiantes en España: El factor de conversión de Metano, 2008) [11] La cría intensiva de ganado representa una fuente importante de gases de efecto invernadero a la atmósfera, siendo la fermentación entérica una de las principales fuentes de metano de esta actividad, con los rumiantes situados en el primer lugar de importancia. **La producción de metano depende fundamentalmente de la cantidad y calidad del alimento ingerido**, siendo la digestibilidad de la ración uno de los factores más influyentes, por lo que generalmente se establece una correlación negativa entre la digestibilidad de las dietas y la emisión de metano.

La estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero es obligatoria y debe reflejarse en los Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera. Para ello, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) proporciona ecuaciones de cálculo de las emisiones que dependen de una serie de factores, de los cuales el factor de conversión de metano (Y_m) es determinante. Sin embargo, **resulta difícil obtener valores para Y_m , sobre todo en el caso de la ganadería española, donde apenas se han realizado estudios al respecto y donde la alimentación de ciertos rumiantes es muy intensiva, con raciones de alta digestibilidad, y en consecuencia menores emisiones de metano**

Según las últimas directrices del IPCC (IPCC, 2006), en el capítulo destinado a las emisiones de la ganadería, el CH_4 procedente de la fermentación entérica de los rumiantes se calcula multiplicando el número de animales que emiten dicho gas por un factor de emisión anual (FE) para el ganado bovino y ovino. Este factor de emisión, expresado en kilos de CH_4 por cabeza y año, depende de la ingestión de energía bruta (EB) y del **factor de conversión de CH_4 (Y_m)**:

$$FE = \frac{EB \times Y_m \times 365 \text{ días/año}}{55,65 \frac{MJ}{kg_i} CH_4}$$

Donde:

- FE = Factor de emisión de CH_4 (kg CH_4 /cabeza/año)
- EB= Energía bruta ingerida (MJ/cabeza)
- Y_m = Factor de conversión de CH_4 , expresado como la fracción de la EB del alimento que se transforma en CH_4

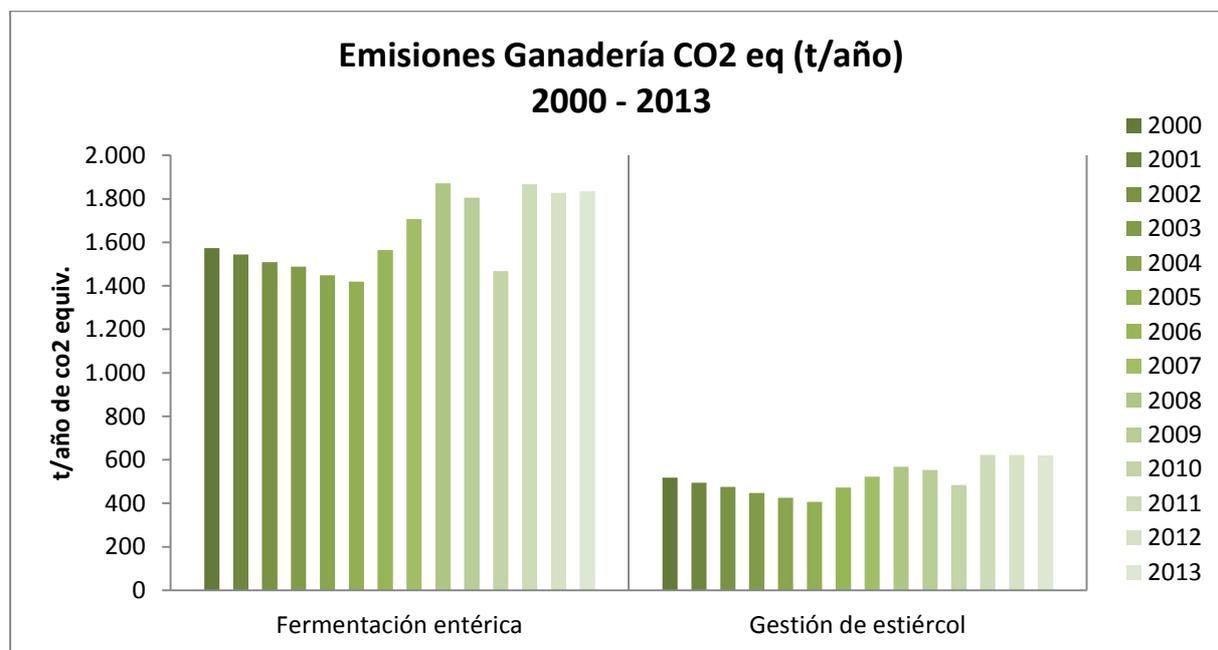
[11] El cálculo para el Y_m es complicado. Estas mismas guías establecen unos rangos de Y_m aplicables por defecto, cuando no existen valores propios del país. Estos rangos están basados principalmente en la digestibilidad de las raciones, y su relación negativa con el Y_m . Esta relación supone implícitamente, que con raciones de buena calidad, alta digestibilidad y valor energético, se han de utilizar los valores de Y_m más bajos del rango. En el caso contrario, cuando se utilizan raciones más pobres, con digestibilidades bajas, los rangos superiores se consideran más apropiados [6].

[11] Los trabajos realizados en España a este respecto son muy escasos, por lo que surge la necesidad de obtener estimaciones de Y_m aplicables a nuestras condiciones. En este sentido, la gran

intensificación de la actividad ganadera en España, conlleva asimismo la utilización de dietas para el ganado muy ricas en concentrados. La alimentación de los rumiantes, especialmente en los sistemas de producción más intensivos, como son aquellos para el vacuno lechero o los cebaderos de corderos, se basa en raciones de alta digestibilidad que, en consecuencia, generan menores emisiones de CH₄. Se trata, pues, de obtener valores de Y_m concordantes con las distintas combinaciones posibles que pueden darse en las raciones españolas, generalmente compuestas de cantidades de concentrado elevadas y poco forraje, muy distintas a las que se utilizan en el resto de países europeos e incluso del continente americano donde se han desarrollado la mayoría de los trabajos experimentales disponibles, sobre todo en lo que se refiere al vacuno lechero y ovino de carne.

Las emisiones debidas a la ganadería en el Inventario de emisiones de Sevilla, están calculadas en base a la metodología detallada anteriormente y que no tiene en cuenta un factor de emisión propio del país o si queremos ser lo bastante riguroso, propio de la propia autonomía. Por ello, las emisiones de CO₂ eq, que aparecen en el gráfico, podrían variar de una manera sustancial.

Gráfico 8. Emisiones Ganadería Inventario Emisiones de Sevilla.



Fuente IER de Sevilla. Serie 2000-2013

La carencia de información completa, consolidada y basada en hecho científico con la cual se pueda llevar a cabo un buen inventario de emisiones es un hecho que en la actualidad, debido al coste para la administración no se lleva a cabo de la manera que fuera necesario.

4.2.7 CONSUMO DE COMBUSTIBLES

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 automoción 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.

4.2.7.1 Metodología aplicada en Andalucía

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

- **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, (Nm³ para el gas natural, t para el resto)
- **VCN_i**: Valor calorífico neto del combustible i, (TJ/Nm³ para el gas natural, TJ/t para el resto).
- **FE_i**: Factor de emisión del combustible i, (t CO₂/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 provincia, 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 Inventario Nacional de Emisiones, con un especial tratamiento del gas natural.

- **Factor de emisión del combustible i (FE_i)**

Los valores de los factores de emisión se obtienen del Inventario Nacional de Emisiones. [7]

4.2.7.2 Datos del Inventario de Emisiones: El caso de Sevilla y problemática asociada

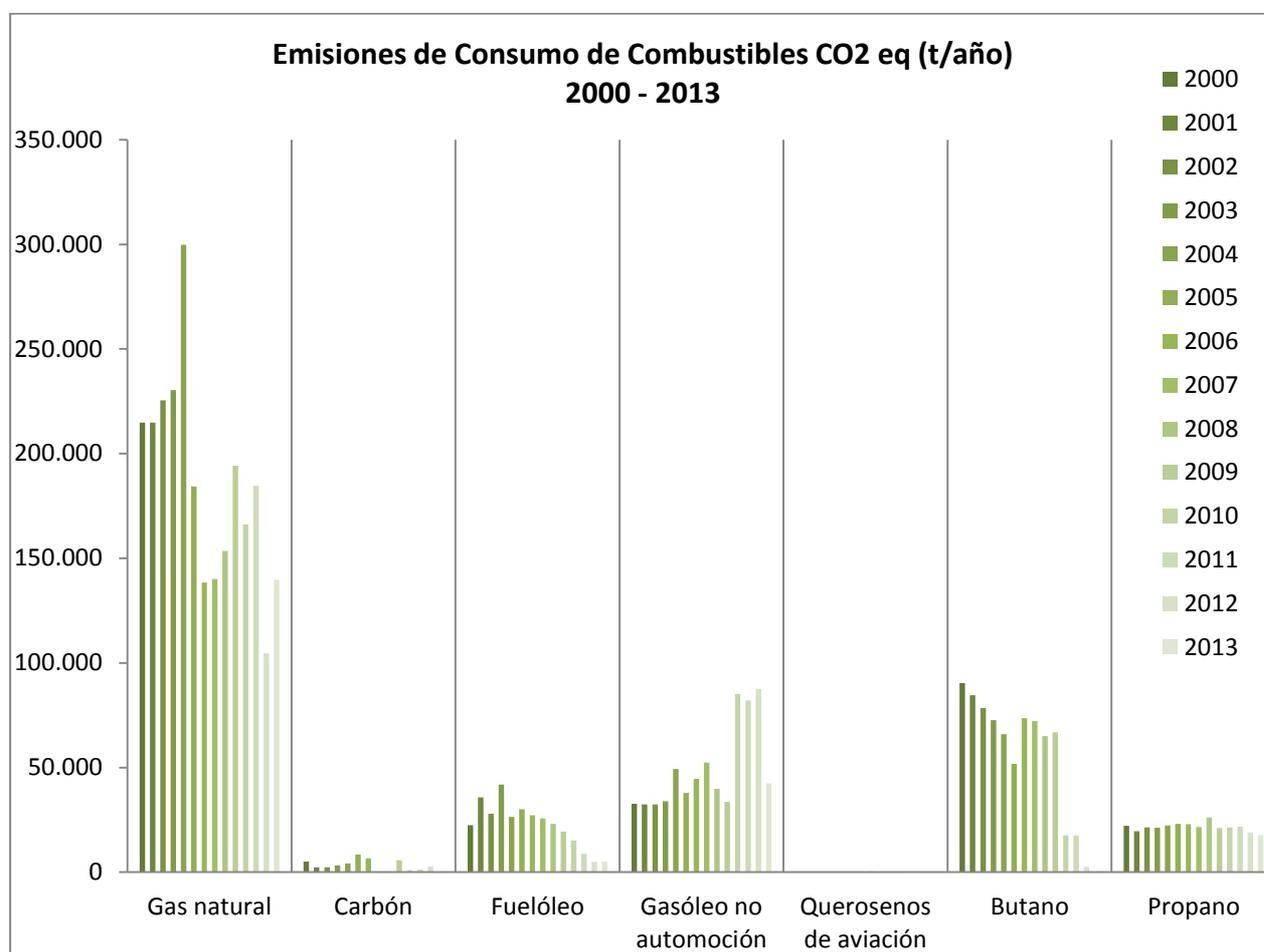
En la metodología para el cálculo de consumo de combustible de la Huella de Carbono Municipal, como se ha dicho anteriormente se calculan las emisiones de dióxido de carbono debidas a la combustión de los distintos combustibles no de automoción en los distintos sectores consumidores: sector residencial, sector terciario (comercios, hoteles, servicios), sector agricultura y en la administración

Este cálculo se lleva a cabo de una forma muy básica y sin entrar en mucho detalle debido a que no se dispone de mucha información para poder analizar correctamente dichas emisiones. Veamos a continuación un ejemplo.

En el consumo de combustible la única base de datos que se dispone para calcular el consumo de combustible es el aportado por la Agencia Andaluza de la Energía el cual está desglosado por

provincias. Este dato hay que desagregarlos a nivel municipal debido a que no se puede consultar ningún tipo de base de dato ni fuente de información que lo especifique, creando un gran margen de error. Como tampoco se dispone de una fuente contrastado para el dato de consumo de combustible del sector difuso, éste se obtiene restando del consumo provincial, el consumo de combustible procedente de las instalaciones industriales afectadas por el régimen de comercio de derechos de emisión en cada provincia, obteniendo así un valor que parece ser el referente al sector difuso. La propia Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio ha tenido que desarrollar una metodología para realizar la desagregación a nivel municipal para cada combustible, teniendo en cuenta factores como las infraestructuras de distribución de gas natural del municipio, la superficie industrial municipal, la superficie dedicada a cultivo municipal y la existencia de puertos de pesa o deportivos o plazas hoteleras.

Gráfica 9: Emisiones Consumo de Combustibles Inventario Emisiones de Sevilla.



Fuente: IER de Sevilla. Serie 2000-2013

Este es uno de los ejemplos claros de las dificultades con las que se encuentra la propia administración para la realización de un inventario de emisiones lo más realista posible, en el que por lo menos existan unos datos con poco margen de variación, aunque viendo la cantidad de hipótesis y correlaciones que hay que llevar a cabo son de dudosa credibilidad.

4.2.8 CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

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. Aun así, estas emisiones se han incorporado a la Huella de Carbono Municipal [3], 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.

4.2.8.1 Metodología aplicada en Andalucía

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.

- **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_{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 (tCO₂/MWh)

A continuación se describe como se obtienen estos factores

- **Consumo de electricidad del año a (C_{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:

- **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

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.

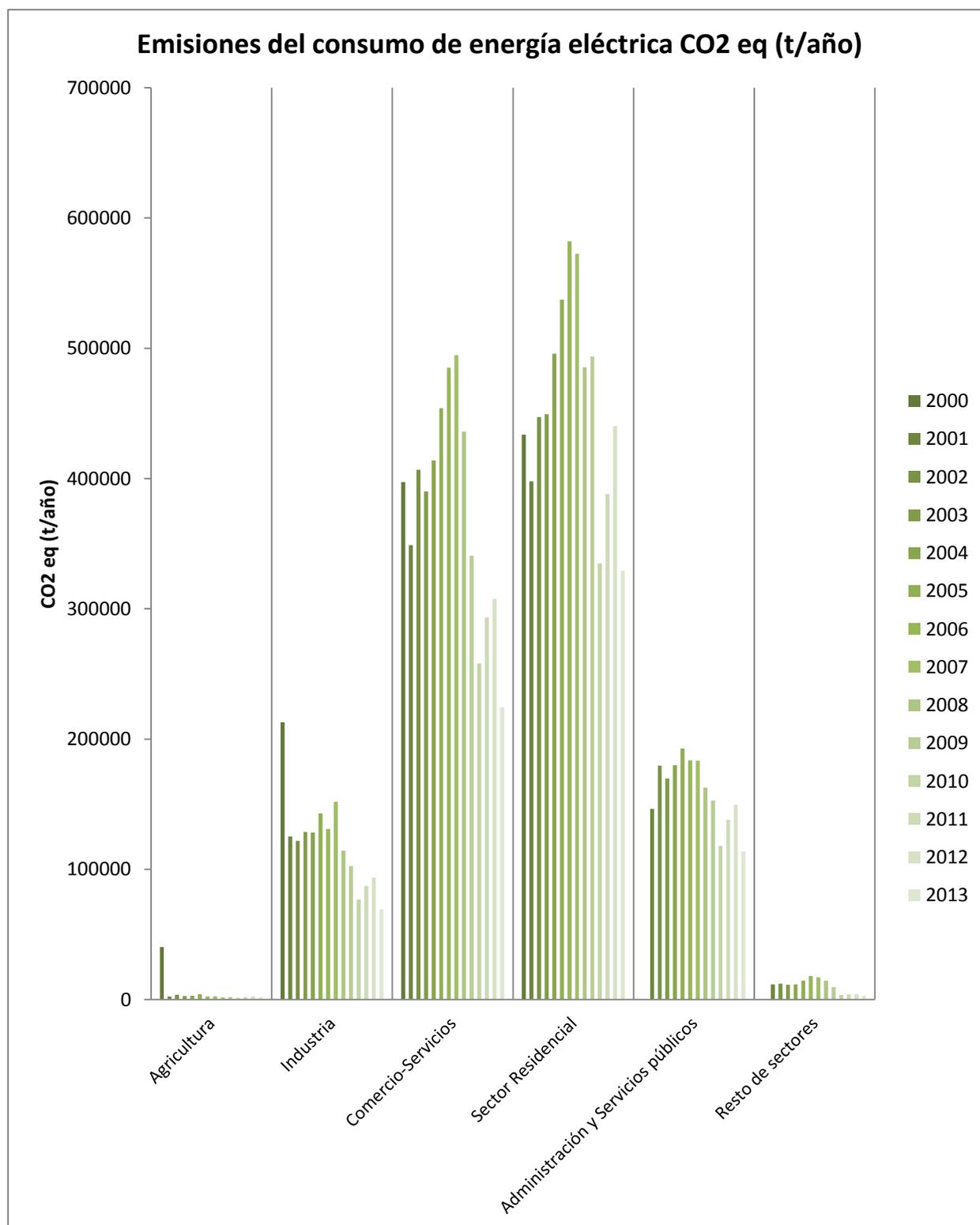
4.2.8.2 Datos del Inventario de emisiones: El caso de Sevilla y problemática asociada.

Como se ha explicado anteriormente, las emisiones del sector eléctrico se contabilizan desde el punto de vista de la generación de la energía, pero en esta metodología [3] se ha incorporado desde el punto de vista del consumo y no de la generación para dar soporte a los municipios adheridos al Pacto de los Alcaldes. Por ello no existen tantos problemas a la hora de contabilizar el consumo de electricidad al año en cada municipio, ya que esta información es suministrada fácilmente por las entidades o empresas del sector eléctrico, aun así hay municipio en los que el Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA) no posee datos referentes a algunos municipios, se debe llevar a cabo una ponderación a partir de datos de consumo municipales conocidos y del consumo total de Andalucía

El factor de emisión también es obtenido por organismos oficiales nacionales por lo que comparando este sector con los anteriores citados, es uno de los que aporta una mayor credibilidad.

En el Inventario de emisiones de Sevilla, las emisiones por parte del consumo de energía eléctrica son las siguientes:

Gráfico 10. Emisiones de Consumo de Energía del IER de Sevilla



Fuente: IER de Sevilla. Serie 2000-2013

5 CONCLUSIONES

«La Tierra es suficiente para todos, pero no para la voracidad de los consumidores»

Mahatma Gandhi (1869-1948). Abogado, político y activista indio

Después de haber analizado el proceso de realización de un IER, se puede concluir que la problemática asociada a este es la indisponibilidad de datos solventes. La elaboración de un IER riguroso se precisan una serie de datos que en la actualidad no existen, datos con detalles, oficiales y basados en pruebas reales, sin tantas correlaciones e hipótesis.

La generación de estos datos es como bien sabemos es costosa, tener datos verificados, acordes y con escasa margen de error necesita mucha mano de obra, gente cualificada y estudios específicos en muchas zonas. En muchos sectores existen bases de datos que cuestan bastante dinero hacerse con ellas (*ECOINVENT, BUWAL, IDEMAT, ETH, IVAM*), y esto es debido a lo que se está comentado, escasa información veraz, que si se quiere utilizar para inventarios, informes o cualquier proyecto de calidad, hay que pagar.

Esto no es un problema local, ni mucho menos estatal, dicha problemática es común a toda la UE y a toda administración que tenga que elaborar un IER. Por muy bien que se lleven a cabo las metodologías, como la que hemos analizado en el documento y las cuales están avaladas y homologadas por la oficina del Pacto de los Alcaldes, la problemática se centra en que no se pueden cumplir los requisitos que tienen los indicadores de los que se nutre la metodología utilizada. Requisitos como el permitir comparaciones y reflejar cambios de los impactos ambientales, ser claros y comprensibles, establecerse con los mismos criterios de recopilación de datos para poder así compararlos entre unos y otros, y al mismo tiempo proporcionar una visión equilibrada de los sectores medioambientalmente problemáticos.

Las administraciones encargadas o implicadas en la recopilación y elaboración de datos para la creación de bases de datos de esta magnitud, en la actualidad necesitarían de una gran cantidad de recursos y medios para abordar este problema. Es un desafío, pues no es fácil llevar a cabo, dada la cantidad de administraciones, países y gobiernos que se deben involucrar y consensuar en dicha tarea. Hay que tener en cuenta que la viabilidad económica es uno de los principales problemas, pues un proceso tan detallado y conciso como este necesitaría gran cantidad de capital, por lo que habría que buscar indicadores de coste razonable y que se basen en datos accesibles.

Por ello, cada ciudad está haciendo lo que está en sus manos, en función de los datos disponibles y estimaciones, hipótesis o correlaciones más o menos acertadas, partiendo de la base de que lo que la UE requiere es muy complejo en esta situación actual.

A favor las ciudades utilizan estos vacíos en las metodologías o faltas de datos para a utilización de metodologías más o menos acordes a lo que necesitan y que le den unos resultados que mejore la realidad de sus emisiones verdaderas, dando así un retoque positivo a su acción por el medio ambiente

Todo esto tiene una repercusión muy importante de cara a lo que los países están haciendo en relación al cambio climático que tanta repercusión está teniendo estos últimos años, pues si a nivel científico es difícil validar con rigurosidad todo lo que se viene explicando, es complicado que los gobiernos o administraciones gestionen acciones acertadas y detalladas para tratar este tema.

La metodología que se ha tomado como base para la elaboración de este trabajo es bastante rigurosa en cuanto a su procedimiento, pero se encuentra con la problemática descrita, la falta de datos actuales como de series históricas que lleva a tener que hacer cálculos con bastante ingenio.

REFERENCIAS

- [1] Guía JRC Scientific and Technical Reports, *Guía "Cómo desarrollar un Plan de Acción para la Energía Sostenible (PAES)*, 2010.
- [2] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, *Comunicación al Secretariado de la Convención Marco de NNUU sobre Cambio Climático*, Edición 2016.
- [3] Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, *Huella de Carbono de los municipios andaluces. Año 2000-2012*, Sevilla, Septiembre, 2015.
- [4] Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, «www.mapama.gob.es/es/,» [En línea]. Available: <http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/definicion-difusos.aspx#para0>. [Último acceso: Abril 2017].
- [5] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, «www.minetad.gob.es/es-ES/Paginas/index.aspx,» 4 Diciembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.minetad.gob.es/es-es/gabineteprensa/notasprensa/2015/documents/np%20biocarburantes%2004%2012%2015.pdf>. [Último acceso: Abril 2017].
- [6] IPCC 2006, «2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,» Publicado por IGES Japón., 2006.
- [7] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, «Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera. 1990-2012. Volumen 2.,» Mayo 2014.
- [8] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente., «Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera. 1990-2013. Volumen 2. Análisis Sectorializado de las Emisiones- Metodologías,» Abril 2015.
- [9] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), «Estudio de prospectiva. Consumo energético en el sector del agua.,» Fundación OPTI.
- [10] Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos., «Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de G.E.I, versión revisada en 1996. Volumen 2.,» 1996.
- [11] M. P. G. R. F. E. y. A. T. Cambra-López, «Estimación de las Emisiones de los Rumiantes en España: El factor de conversión de Metano,» 2008.

