

Proyecto Fin de Máster
Máster en Ingeniería Ambiental

**Análisis y metodología para el cálculo de emisiones
de Gases de Efecto Invernadero en el ambiente
urbano: La ciudad de Sevilla**

Autor: Carlos Alfredo Rivas Cobo

Tutor: Eladio Martín Romero González

**Departamento de Ingeniería Química y Ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2015



Proyecto Fin de Máster
Máster en Ingeniería Ambiental

Análisis y metodología para el cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el ambiente urbano: La ciudad de Sevilla

Autor:

Carlos Alfredo Rivas Cobo

Tutor:

Eladio Martín Romero González

Departamento de Ingeniería Química y Ambiental

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2015

Contenido.

1.	Introducción.	12
2.	Esfuerzos internacionales.	19
2.1.	Políticas internacionales.	19
2.2.	Políticas de la Unión Europea.	22
3.	Problemática.	25
4.	Metodologías de cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero.	30
4.1.	Metodología para el Cálculo del Sistema de Indicadores de Diagnóstico y Seguimiento del Cambio de la FEMP.	33
4.2.	Cálculo de la Huella de Carbono propuesto por la Junta de Andalucía.	34
4.3.	Global Protocol for community-scale Greenhouse Gas emission inventories. An accounting and reporting standard for cities.	35
4.4.	Cálculo de la Huella de Carbono de un ayuntamiento propuesto por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.	36
4.5.	Bilan Carbone elaborado por la ADEME.	37
4.6.	UNE-ISO 1069:2015 IN.	39
4.7.	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de Gases de Efecto Invernadero.	40
5.	Objetivos.	41
6.	Contexto de la ciudad.	42
7.	Metodología y cálculo por sectores.	46
7.1.	Energía eléctrica.	46
7.2.	Combustión móvil.	48
	Tráfico por carretera.	48

Tráfico ferroviario.....	52
Tráfico marítimo y fluvial.....	55
Aviación civil.....	56
Otros tipos de transporte	59
7.3. Otros combustibles fósiles (no automoción).....	61
7.4. Industria.....	62
7.5. Tratamiento y eliminación de residuos.	63
Residuos sólidos urbanos.	63
Aguas residuales.....	67
Incineración de residuos.....	75
Cremación.....	77
7.6. Ganadería.....	79
Fermentación entérica.....	79
Gestión de estiércoles.	81
Pastoreo.	84
7.7. Agricultura.	85
Directas de suelos agrícolas.....	85
Indirectas de la agricultura.	95
Otras fuentes.....	97
7.8. Sumideros.	97
7.9. Energías renovables.....	99
Energías renovables incluidas en el mix eléctrico.....	99

	Energías renovables usadas como combustibles.	100
8.	Sumatorio de emisiones.	102
9.	Análisis de datos.....	107
10.	Conclusiones.....	117
11.	Anexo I.....	123
12.	Anexo II.....	126
13.	Abreviaturas.....	128
14.	Bibliografía.....	131

Índice de ecuaciones.

<i>Ecuación 1: Ecuación fundamental del cálculo de la Huella de Carbono de una actividad o consumo.....</i>	<i>32</i>
<i>Ecuación 2: Fórmula de cálculo de emisión de dióxido de carbono por consumo eléctrico.</i>	<i>47</i>
<i>Ecuación 3: Fórmula de cálculo de emisión de dióxido de carbono por tráfico por carretera por combustible consumido.</i>	<i>49</i>
<i>Ecuación 4: Fórmula de cálculo de emisión de dióxido de carbono procedente de los catalizadores a base de urea.</i>	<i>50</i>
<i>Ecuación 5: Fórmula de cálculo de emisión de metano y óxido nitroso por tráfico por carretera por kilometro recorrido.</i>	<i>50</i>
<i>Ecuación 6: Fórmula de cálculo de emisión de dióxido de carbono por tráfico ferroviario por combustible consumido.</i>	<i>53</i>
<i>Ecuación 7: Fórmula de cálculo de emisión de metano y óxido nitroso por tráfico ferroviario por consumo de combustible.</i>	<i>53</i>
<i>Ecuación 8: Fórmula de cálculo de emisión de Gases de Efecto Invernadero por tráfico marítimo y fluvial por consumible consumido.</i>	<i>55</i>
<i>Ecuación 9: Fórmula de cálculo de emisión de Gases de Efecto Invernadero por aviación civil por consumo de combustible.</i>	<i>57</i>
<i>Ecuación 10: Fórmula de cálculo de emisión de Gases de Efecto Invernadero en la fase de despegue y aterrizaje por consumo de combustible.</i>	<i>57</i>
<i>Ecuación 11: Fórmula de cálculo del consumo de combustible en la fase de despegue y aterrizaje.</i>	<i>57</i>
<i>Ecuación 12: Fórmula de cálculo de emisión de Gases de Efecto Invernadero en la fase de crucero por consumo de combustible.</i>	<i>57</i>
<i>Ecuación 13: Fórmula de cálculo de emisión de Gases de Efecto Invernadero por tractores agrarios por consumo de combustible.</i>	<i>60</i>
<i>Ecuación 14 : Fórmula de cálculo de emisión de Gases de Efecto Invernadero por combustibles fósiles (no automoción).</i>	<i>61</i>
<i>Ecuación 15: Fórmula de cálculo de emisión de metano en residuos sólidos urbanos por descomposición en vertederos.</i>	<i>64</i>
<i>Ecuación 16: Fórmula de cálculo de emisión de dióxido de carbono en residuos sólidos urbanos por descomposición en vertederos.</i>	<i>64</i>
<i>Ecuación 17: Carga orgánica (DBO) en las aguas residuales domésticas y comerciales.</i>	<i>68</i>
<i>Ecuación 18: Carga orgánica (DBO) en los lodos de depuradora de las aguas residuales domésticas y comerciales.</i>	<i>68</i>
<i>Ecuación 19: Factor de emisión de metano de aguas residuales.</i>	<i>69</i>
<i>Ecuación 20: Factor de emisión de metano de lodos de depuradora.</i>	<i>69</i>
<i>Ecuación 21: Fórmula de cálculo de emisión de metano proveniente de aguas residuales.</i>	<i>70</i>
<i>Ecuación 22: Fórmula de cálculo de emisión de metano proveniente de lodos de depuradora.</i>	<i>71</i>
<i>Ecuación 23: Fórmula de cálculo de emisión de metano proveniente de aguas residuales (ecuación alternativa).</i>	<i>71</i>
<i>Ecuación 24: Fórmula de cálculo de emisión de metano proveniente de lodos de depuradora (ecuación alternativa).</i>	<i>71</i>
<i>Ecuación 25: Fórmula de cálculo de la cantidad de metano proveniente de aguas residuales y lodos de depuradora.</i>	<i>72</i>
<i>Ecuación 26: Fórmula de cálculo de emisión de óxido nitroso en aguas residuales por consumo de proteínas por habitante.</i>	<i>74</i>
<i>Ecuación 27 : Fórmula de cálculo de emisión de Gases de Efecto Invernadero por incineración de residuos hospitalarios.</i>	<i>75</i>
<i>Ecuación 28 : Fórmula de cálculo de emisión de Gases de Efecto Invernadero por incineración de cadáveres.</i>	<i>77</i>

<i>Ecuación 29: Fórmula de cálculo de emisión de metano por fermentación entérica por número de cabezas de ganado.</i>	79
<i>Ecuación 30: Fórmula de cálculo de emisión de metano por gestión de estiércoles por número de cabezas de ganado.</i>	81
<i>Ecuación 31: Fórmula de cálculo de emisión de óxido nitroso por gestión de estiércoles por número de cabezas de ganado.</i>	82
<i>Ecuación 32: Fórmula de cálculo de emisión directa de óxido nitroso proveniente de suelos agrícolas por nitrógeno aplicado al suelo.</i>	85
<i>Ecuación 33: Fórmula de cálculo de la cantidad de nitrógeno incorporada en los fertilizantes inorgánicos, descontando el nitrógeno emitido como metano y óxidos de nitrógeno.</i>	87
<i>Ecuación 34: Fórmula de cálculo de la cantidad de nitrógeno incorporada en los fertilizantes inorgánicos, descontando el nitrógeno emitido como metano y óxidos de nitrógeno.</i>	87
<i>Ecuación 35: Fijación biológica de nitrógeno por cultivos.</i>	88
<i>Ecuación 36: Fórmula de cálculo de nitrógeno contenido en los residuos de los cultivos.</i>	89
<i>Ecuación 37: Fórmula de cálculo de nitrógeno contenido en el compost y los lodos de depuradora aplicados en la agricultura.</i>	89
<i>Ecuación 38: Fórmula de cálculo de la fijación biológica de nitrógeno por cultivos.</i>	91
<i>Ecuaciones 39: Fórmulas de cálculo del coeficiente de extracción del nitrógeno según el rendimiento del cultivo.</i>	93
<i>Ecuación 40: Fórmula de cálculo de emisión de óxido nitroso proveniente indirectamente de la agricultura.</i>	95
<i>Ecuación 41: Fórmula de cálculo de óxido nitroso producido por la volatilización del nitrógeno de los fertilizantes sintéticos y el estiércol animal aplicados en agricultura.</i>	96
<i>Ecuación 42: Fórmula de cálculo de óxido nitroso producido por la lixiviación y la escorrentía del nitrógeno procedente del fertilizante y el estiércol aplicados.</i>	96
<i>Ecuación 43: Fórmula de cálculo de emisión proveniente de cultivos de arroz.</i>	97
<i>Ecuación 44: Fórmula de cálculo de absorción de dióxido de carbono en sumideros.</i>	98

Índice de Tablas.

<i>Tabla 1: Comparativa de metodologías usadas para la elaboración de un IRE.</i>	28
<i>Tabla 2: Sectores de cálculo de la metodología Cálculo del Sistema de Indicadores de Diagnóstico y Seguimiento del Cambio de la FEMP.</i>	33
<i>Tabla 3: Sectores de cálculo de la metodología Huella de Carbono de la Junta de Andalucía.</i>	34
<i>Tabla 4: Sectores de cálculo de la metodología Greenhouse Gas protocol.</i>	35
<i>Tabla 5: Sectores de cálculo de la metodología Huella de Carbono de un ayuntamiento por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.</i>	37
<i>Tabla 6: Sectores de cálculo de la metodología Bilan Carbone.</i>	38
<i>Tabla 7: Emisiones de dióxido de carbono equivalente producidas por la generación de energía eléctrica consumida en el municipio de Sevilla en el año 2013.</i>	48
<i>Tabla 8: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero producidas por el tráfico por carretera en el municipio de Sevilla en el año 2013.</i>	52
<i>Tabla 9: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero producidas por el tráfico ferroviario del municipio de Sevilla en el año 2013.</i>	54
<i>Tabla 10: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero producidas por el tráfico marítimo y fluvial del municipio de Sevilla en el año 2013.</i>	56

<i>Tabla 11: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero producidas por la aviación civil del municipio de Sevilla en el año 2013.</i>	58
<i>Tabla 12: Características necesarias para el cálculo de emisiones procedentes de los tractores agrarios.</i>	59
<i>Tabla 13: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero producidas por tractores agrarios en el municipio de Sevilla en el año 2013.</i>	60
<i>Tabla 14: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero producidas por consumo de combustibles (no automoción) en el municipio de Sevilla en el año 2013.</i>	62
<i>Tabla 15: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero producidas por los RSU generados en el municipio de Sevilla depositados en vertederos en el año 2013.</i>	65
<i>Tabla 16: Emisiones Gases de Efecto Invernadero producidas por el gas de vertedero recuperado por los RSU generados en el municipio de Sevilla depositados en vertederos en el año 2013.</i>	66
<i>Tabla 17: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por RSU con revalorización generados en el municipio de Sevilla depositados en vertederos en el año 2013.</i>	67
<i>Tabla 18: Emisiones de metano producidas por aguas residuales y lodos de depuradora generados en el municipio de Sevilla en el año 2013.</i>	72
<i>Tabla 19: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del gas de digestión recuperado de aguas residuales generadas en el municipio de Sevilla en el año 2013.</i>	73
<i>Tabla 20: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por aguas residuales generadas en el municipio de Sevilla en el año 2013 con revalorización de metano.</i>	73
<i>Tabla 21: Emisiones de óxido nitroso de aguas residuales generadas en el municipio de Sevilla en el año 2013.</i>	75
<i>Tabla 22: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por incineración de residuos hospitalarios generados en el municipio de Sevilla en el año 2013.</i>	76
<i>Tabla 23: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por incineración de cadáveres generados en el municipio de Sevilla en el año 2013.</i>	78
<i>Tabla 24: Emisiones de metano por fermentaciones entéricas generadas en el municipio de Sevilla en el año 2013.</i>	80
<i>Tabla 25: Emisiones de metano por gestión de estiércoles generados en el municipio de Sevilla en el año 2013.</i>	82
<i>Tabla 26: Emisiones de óxido nitroso por gestiones de estiércoles generados en el municipio de Sevilla en el año 2013.</i>	83
<i>Tabla 27: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por pastoreo en el municipio de Sevilla en el año 2013.</i>	84
<i>Tabla 28: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el sector ganadero generados en el municipio de Sevilla en el año 2013.</i>	84
<i>Tabla 29: Emisiones de óxido nitroso en agricultura por vía directa generados en el municipio de Sevilla en el año 2013.</i>	94
<i>Tabla 30: Emisiones de óxido nitroso en agricultura por vía indirecta generados en el municipio de Sevilla en el año 2013.</i>	96
<i>Tabla 31: Absorción de dióxido de carbono debido a los sumideros en el municipio de Sevilla en el año 2013.</i>	98
<i>Tabla 32: Emisiones evitadas de dióxido de carbono equivalente debido al uso de energía renovable en la producción de electricidad consumida en el municipio de Sevilla en el año 2013.</i>	100
<i>Tabla 33: Emisiones evitadas de gases de efecto invernadero debido al uso de energía renovable en el consumo de combustibles en el municipio de Sevilla en el año 2013.</i>	101
<i>Tabla 34: Potencial de Cambio Climático de distintos gases.</i>	102
<i>Tabla 35: Sumatorio de emisiones GEI de todos los sectores (elaboración propia).</i>	104
<i>Tabla 36: Sumatorio de emisiones por la metodología de la Federación Española de Municipios y Provincias.</i>	108

<i>Tabla 37: Sumatorio de emisiones por la metodología Huella de Carbono propuesta por la Junta de Andalucía.</i>	109
<i>Tabla 38: Sumatorio de emisiones por la metodología GHG Protocol.</i>	111
<i>Tabla 39: Sumatorio de emisiones por la metodología Huella de Carbono de un ayuntamiento por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.</i>	113
<i>Tabla 40: Sumatorio de emisiones por la metodología Bilan Carbone elaborado por ADEME.</i>	114
<i>Tabla 41: Comparación de sumatorios de emisiones de métodos analizados.</i>	116
<i>Tabla 42: Comparación de sumatorios de emisiones de métodos analizados.</i>	121
<i>Tabla 43: Sectores que deberían ser incluidos en los IRE/ISE por la metodología del Pacto de Alcaldes.</i>	123
<i>Tabla 44: Emisión de óxido nítrico por especie vegetal en el municipio de Sevilla en el año 2013.</i>	126

Índice de ilustraciones.

<i>Ilustración 1: Concentración de niveles de dióxido de carbono (ppm) medidos y estimados entre 1960 y 2009.</i>	14
<i>Ilustración 2 : Concentración de niveles de dióxido de carbono (ppm) medidos y estimados entre 800.000 A.C y 2009 D.C.</i>	15
<i>Ilustración 3: Emisiones mundiales de GEI antropógenos.</i>	16
<i>Ilustración 4: Cambio experimentado por la temperatura a nivel mundial y continental.</i>	17
<i>Ilustración 5: Ubicación de Sevilla en la península Ibérica.</i>	42
<i>Ilustración 6: Tabla resumen de valores medios meteorológicos en Sevilla entre los años 1982-2010.</i>	43
<i>Ilustración 7: Número de establecimientos comerciales por tipo de industria a 1 de enero de 2014.</i>	44
<i>Ilustración 8: Plano del transporte metropolitano de Sevilla en noviembre de 2015.</i>	45
<i>Ilustración 9: Estructura del consumo primario eléctrico por fuente de 2013 en Andalucía.</i>	46
<i>Ilustración 10: Mix de emisiones de Andalucía.</i>	47
<i>Ilustración 11: Regulación de la velocidad del tráfico por contaminación en París.</i>	52
<i>Ilustración 12: Estructura del consumo primario eléctrico por fuente (incluyendo renovables en 2013 en Andalucía).</i>	99
<i>Ilustración 13: Porcentaje de toneladas de dióxido de carbono equivalente emitido por sectores.</i>	106

1. Introducción.

Fueron los científicos quienes atrajeron la atención internacional sobre las amenazas planteadas por el Efecto Invernadero. La historia del descubrimiento científico del Cambio Climático comenzó a principios del siglo XIX cuando se sospechó por primera vez que hubo cambios naturales en el paleoclima y se identificó por primera vez el Efecto Invernadero natural¹. Tyndall descubre en 1859 que algunos gases bloquean la radiación infrarroja. Él sugirió que los cambios en la concentración de los Gases de Efecto Invernadero podrían ocasionar el Cambio Climático. Más tarde, Arrhenius publica en 1896 el primer cálculo del calentamiento global por las emisiones humanas de dióxido de carbono².

En los años 50, 60 y 70 del siglo XX se recogieron datos que demostraban que las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera estaban aumentando muy rápidamente. Al mismo tiempo, las investigaciones sobre los núcleos de hielo y los sedimentos lacustres revelaron que el sistema climático había sufrido otras fluctuaciones abruptas en el pasado lejano, parece que el clima ha tenido “puntos de inflexión” capaces de generar fuertes sacudidas y recuperaciones.

Aunque los científicos todavía están analizando que ocurrió durante esos acontecimientos del pasado. Es evidente que un mundo con miles de millones de personas es un lugar arriesgado para realizar experimentos con el clima. Sin embargo, tuvieron que pasar años para que la comunidad internacional reaccionara. Observar el apartado esfuerzos internacionales.

En 1988 se creó el Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) por iniciativa de la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). En 1990 este grupo presentó un primer informe de evaluación en el que se reflejaban las

¹ [Página web de United Nations Framework Convention on Climate Change.](#)

² <http://www.livescience.com/1292-history-climate-change-science.html>.

² <http://www.livescience.com/1292-history-climate-change-science.html>.

³ **Cambio Climático (2007). Informe del Grupo intergubernamental de expertos sobre el Cambio**

investigaciones de 400 científicos. En él se afirmaba que el calentamiento atmosférico de la Tierra era real y se pedía a la comunidad internacional que tomara cartas en el asunto para evitarlo.

Las conclusiones del IPCC alentaron a los gobiernos a impulsar y aprobar la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. En comparación con lo que suele ocurrir con los acuerdos internacionales, la negociación en este caso fue rápida.

Hoy en día el IPCC tiene una función claramente establecida. En vez de realizar sus propias investigaciones científicas, examina las investigaciones realizadas en todo el mundo, publica informes periódicos de evaluación y elabora tanto informes especiales como documentos técnicos.

Las observaciones del IPCC, por el hecho de reflejar un consenso científico mundial y ser de carácter apolítico, representan un contrapeso útil en el debate, con frecuencia muy politizado, sobre qué se debe hacer con respecto al Cambio Climático. Los informes del IPCC se utilizan con frecuencia como base para las decisiones adoptadas en el contexto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y desempeñaron un papel importante en las negociaciones que dieron lugar al Protocolo de Kyoto⁽¹⁾.

Las concentraciones atmosféricas mundiales de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) han aumentado notablemente por efecto de las actividades humanas. En 1980 se comenzó a medirlas en distintos lugares del mundo (ilustración 1). Se ha observado como los niveles de dióxido de carbono no paran de aumentar.

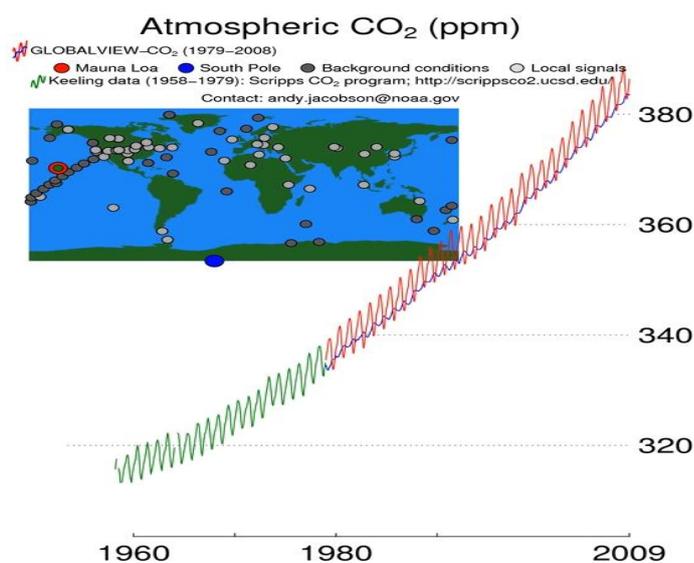


Ilustración 1: Concentración de niveles de dióxido de carbono (ppm) medidos y estimados entre 1960 y 2009.

Fuente: United Nations Framework Convention on Climate Change.

Si calculamos los niveles a partir de núcleos de hielo que abarcan muchos milenios podemos observar que los niveles de dióxido de carbono no han parado de aumentar y son actualmente muy superiores a los valores preindustriales, estos núcleos de hielo abarcan muchos milenios. Las concentraciones atmosféricas en 2005 de dióxido de carbono (379 ppm) y metano (1774 ppm) exceden con mucho el intervalo natural de valores de los últimos 650.000 años (ilustración 2). Los aumentos de la concentración mundial de dióxido de carbono se deben principalmente a la utilización de combustibles de origen fósil y, en una parte apreciable pero menor, a los cambios de uso de la tierra.

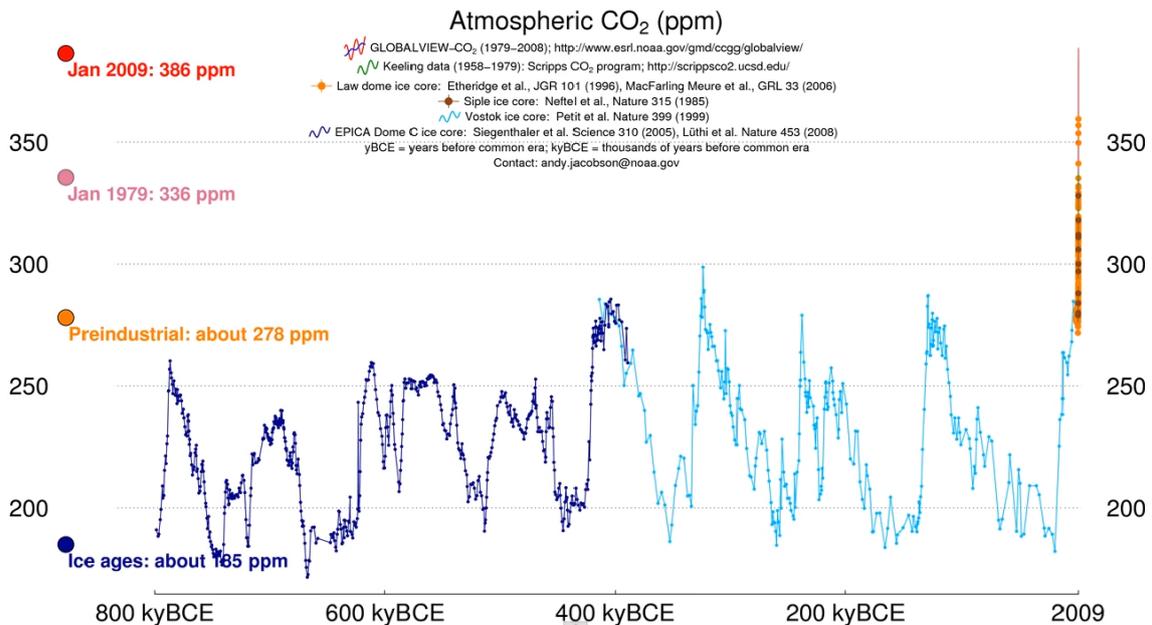
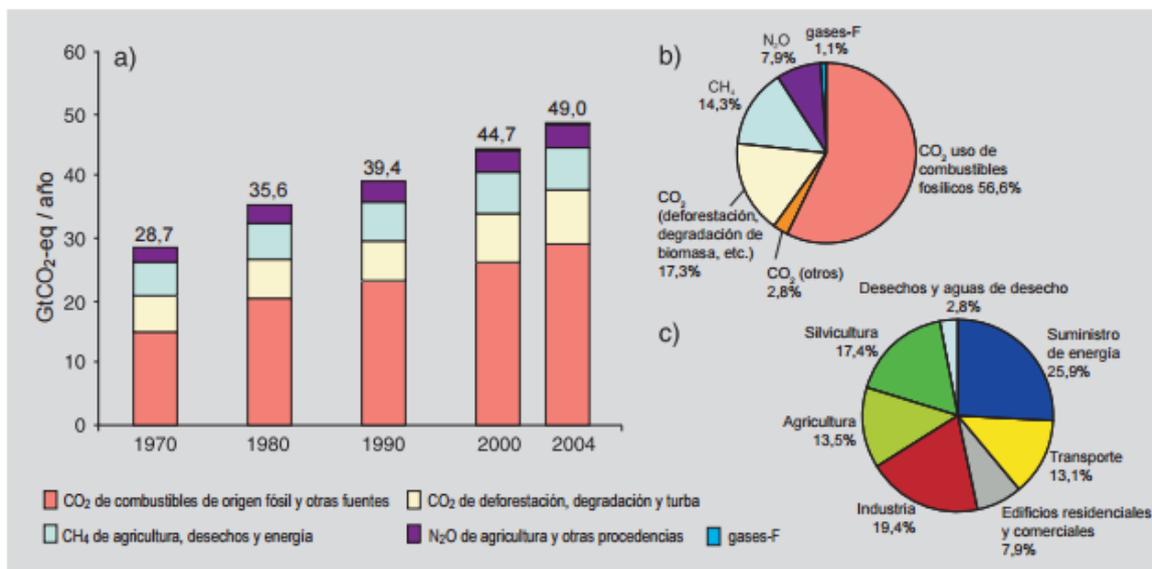


Ilustración 2 : Concentración de niveles de dióxido de carbono (ppm) medidos y estimados entre 800.000 A.C y 2009 D.C

Fuente: United Nations Framework Convention on Climate Change.

Es muy probable que el aumento observado de la concentración de metano se deba predominantemente a la agricultura y a la utilización de combustibles de origen fósil (ilustración 3). El aumento de metano ha sido menos rápido desde comienzos de los años 90, en concordancia con las emisiones totales (como suma de fuentes antropógenas y naturales), que han sido casi constantes durante ese período. El aumento de la concentración de óxido nitroso procede principalmente de la agricultura³.

³ Cambio Climático (2007). Informe del Grupo intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático. Informe de síntesis.



Leyenda: a) Emisiones anuales mundiales de GEI antropógenos entre 1970 y 2004. b) Parte proporcional que representan diferentes GEI antropógenos respecto de las emisiones totales en 2004, en términos de CO₂ equivalente. c) Parte proporcional que representan diferentes sectores en las emisiones totales de GEI antropógenos en 2004, en términos de CO₂ equivalente (en el sector silvicultura se incluye la deforestación).

Ilustración 3: Emisiones mundiales de GEI antropógenos.

Fuente: Cambio Climático (2007). Informe del Grupo intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático. Informe de síntesis.

El aumento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera tiene correlación directa con el aumento de la temperatura de la Tierra, estos aumentos de dióxido de carbono potencian el efecto de invernadero, lo que producirá por término medio un calentamiento adicional de la superficie de la Tierra. El principal gas con efecto invernadero, el vapor de agua, aumentará como consecuencia del calentamiento del planeta, y a su vez aumentará dicho efecto⁴.

⁴ Resumen del Informe General del IPCC (1990).

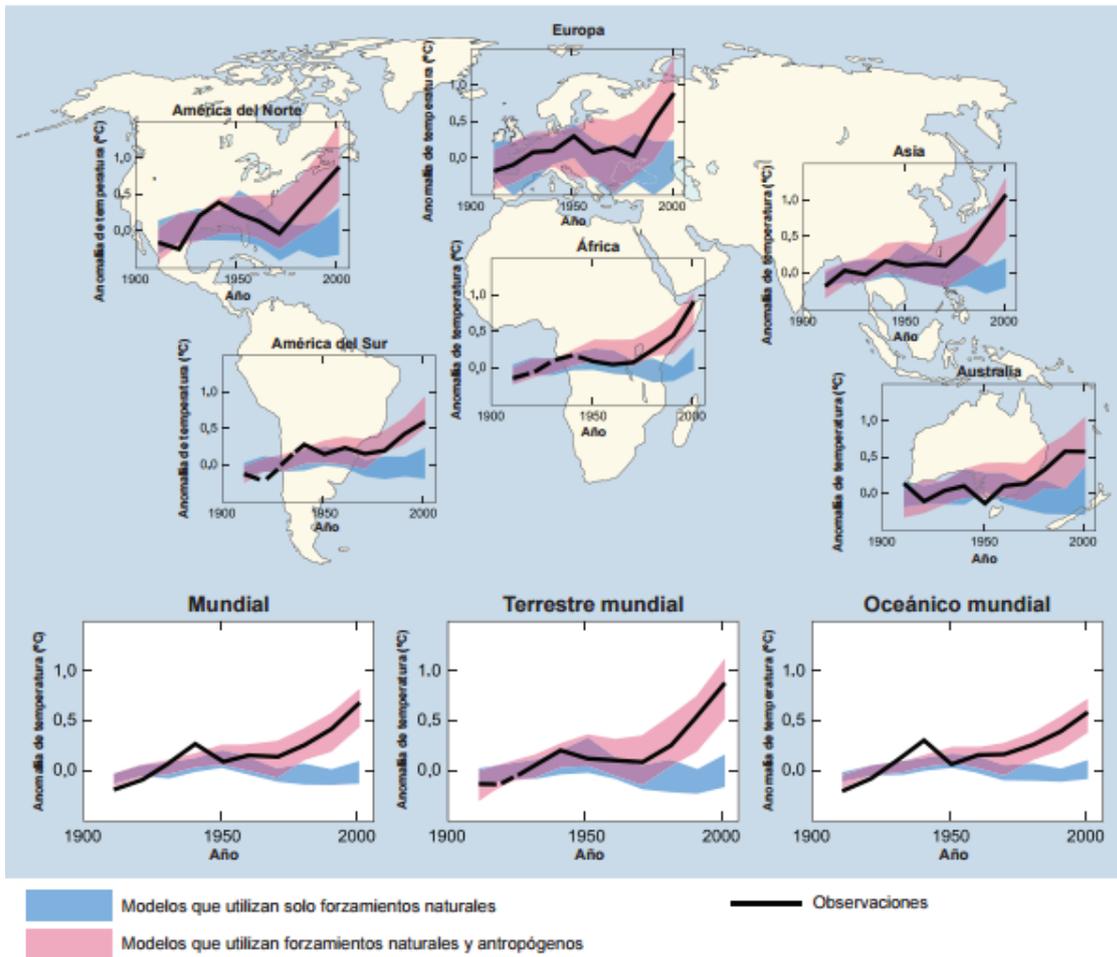


Ilustración 4: Cambio experimentado por la temperatura a nivel mundial y continental.

Fuente: Cambio Climático (2007). Informe del Grupo intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático. Informe de síntesis.

En la ilustración 4 se pueden observar cambios de la temperatura superficial a escala continental y mundial, comparados con los resultados simulados mediante modelos del clima, que contemplan forzamientos naturales y antropógenos. Los promedios decenales de las observaciones correspondientes al período 1906-2005 (línea de trazo negro) aparecen representados gráficamente respecto del punto central del decenio y respecto del promedio correspondiente al período 1901-1950. Las líneas de trazos denotan una cobertura espacial inferior a 50%. Las franjas azules denotan el intervalo comprendido entre el 5% y el 95% con base en 19 simulaciones efectuadas mediante cinco modelos climáticos que incorporaban únicamente los forzamientos naturales originados por la actividad solar y por los volcanes. Las franjas rojas denotan el intervalo comprendido entre el 5% y el 95% con base en 58 simulaciones obtenidas de 14 modelos climáticos que incorporan tanto los forzamientos naturales como los antropógenos.

Después de estas evidencias y muchas otras, el IPCC nombra, en su quinto informe que el Cambio Climático es un hecho inequívoco e incuestionable; y la influencia humana es la causa predominante del mismo con una certeza del 95%.

De esta evidencia se empieza a tener conciencia en la década de los años 80, cuando se empiezan a desarrollar los primeros esfuerzos internacionales (ver apartado esfuerzos internacionales). En el año 2008 la comisión europea presenta el Pacto de Alcaldes, que pretende llevar lo global a lo local y se llega a la conclusión que la mejor manera de luchar contra el Cambio Climático es hacerlo en el ámbito local. Esta iniciativa es de adscripción voluntaria por parte de entidades locales.

Las entidades adscritas al Pacto de Alcaldes deben elaborar una lista con sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero y hacer una lista de medidas a tomar para disminuir estas en un 20%. Pero como observaremos en el apartado problemática existe una falta de consenso en la metodología para elaborar el cálculo de emisiones.

2. Esfuerzos internacionales.

2.1. Políticas internacionales.

Año 1987. Nuestro Futuro común o Informe Brundtland.

En 1987 se desarrolla el informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo de la ONU. Un informe que incluye por primera vez el término desarrollo sostenible como el que “*satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones*”. Este informe fue denominado Nuestro Futuro Común o Informe Brundtland debido a que su directora fue la ex-primera ministra de Noruega Gro Harlem Brundtland. El informe aborda en profundidad la economía global y como esta debe tender a ser más sostenible⁵.

Año 1988. Constitución del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de la ONU (IPCC) ⁶.

El 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, que se pueden consultar en su página web.

El IPCC y el ex Vicepresidente de los Estados Unidos de América, Al Gore, recibieron el premio Nobel de la Paz en 2007 por su labor en materia de Cambio Climático.

Año 1992. Cumbre de la Tierra.

En Río de Janeiro se celebró en el año 1992 la Conferencia de Naciones Unidas Sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Ésta crea un manifiesto de 27 principios con el objetivo de establecer una alianza mundial nueva y equitativa mediante la creación de

⁵ Naciones Unidas. Asamblea General (1987). Desarrollo y cooperación económica internacional: Medio ambiente. Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.

⁶ Página web oficial del IPCC.

nuevos niveles de cooperación entre los estados, los sectores claves de las sociedades y las personas, procurando alcanzar acuerdos internacionales en los que se respeten los intereses de todos y se proteja la integridad del sistema ambiental y de desarrollo mundial. Reconociendo la naturaleza integral e interdependiente de la Tierra, nuestro hogar⁷.

Se aprueban la Declaración de Río sobre medio ambiente y desarrollo, Agenda 21 y Declaración de principios sobre bosques.

Año 1997. Protocolo de Kioto.

El Protocolo de Kioto, sucesor de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, es uno de los instrumentos jurídicos internacionales más importantes destinado a luchar contra el Cambio Climático. Contiene los compromisos asumidos por los países industrializados de reducir las emisiones de algunos Gases de Efecto Invernadero, responsables del calentamiento global. Las emisiones totales de los países desarrollados debían reducirse durante el periodo 2008-2012 al menos en un 5 % respecto a los niveles de 1990.

La Convención Marco contribuyó de manera decisiva al establecimiento de los principios clave de la lucha internacional contra el Cambio Climático. Concretamente, definió el principio de las “*responsabilidades comunes pero diferenciadas*”. Asimismo, contribuyó a reforzar la concienciación pública, a escala mundial, sobre los problemas relacionados con el Cambio Climático. No obstante, la Convención no contempla compromisos en términos de cifras detalladas por países respecto a la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

Aspectos a destacar:

- Combinar los seis principales GEI (Gases de Efecto Invernadero) para que las reducciones de cada gas computen en una cifra única fijada como objetivo⁸.

⁷ Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1992). La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.

⁸ Protocolo de Kyoto de la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Naciones Unidas (1997).

- El Protocolo de Kioto tiene validez jurídica en la Unión Europea. Los estados miembros que eran miembros de la UE antes de 2004 debían reducir conjuntamente sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero en un 8 % entre los años 2008 y 2012. Los que se hayan incorporado a la UE después de esa fecha se comprometían a reducir sus emisiones en un 8 %, a excepción de Polonia y Hungría (6 %), Malta y Chipre, no se encuentran incluidos en el Anexo I de la Convención Marco⁹.

Año 2009. Cumbre de Copenhague.

La Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y la Conferencia de las Partes en el Protocolo de Kyoto (CMP) que es el nombre oficial con el que se conoce esta convención y en la cual se acreditaron 34.000 personas entre delegados de los 192 países miembros de la CMNUCC, expertos en clima y representantes de organizaciones no gubernamentales (ONG). Aunque el texto incorporaba a potencias emergentes como China, India, Brasil y Sudáfrica, y otras grandes potencias no firmantes de la cumbre de Rio de Janeiro como EE.UU.

El mensaje de esta Cumbre es claro: el acuerdo de Copenhague debe ser integral y debe garantizar lo siguiente:

- Medidas más eficaces para ayudar a los más vulnerables y los más pobres a adaptarse a los efectos del Cambio Climático.
- Objetivos ambiciosos de reducción de emisiones para los países industrializados.
- Medidas de mitigación por parte de los países en desarrollo apropiadas a su situación y con el apoyo necesario.
- Un aumento significativo de los recursos financieros y tecnológicos.
- Una estructura de gobernanza equitativa¹⁰.

Año 2011. Cumbre de Durban.

Los 194 estados partícipes de la Convención Marco acordaron el lanzamiento de un protocolo que se aplicaría a todos los miembros, y la puesta en marcha del Fondo Climático Verde.

⁹ Legislación Europea. 2002/358/CE: Decisión del Consejo, de 25 de abril de 2002.

¹⁰ Página oficial de la ONU.

Las medidas tomadas son esenciales para una mayor acción y para elevar tanto el nivel de ambición como la movilización de recursos que respondan a los actuales desafíos.

La extensión del Protocolo de Kyoto aumentará la seguridad en el mercado de carbono y ofrecerá incentivos adicionales para nuevas inversiones en tecnología e infraestructuras necesarias para luchar contra el Cambio Climático.

También hay nuevas medidas convenidas sobre mecanismos que promoverán el acceso de los países subdesarrollados a tecnologías limpias y coordinarán los procesos de adaptación a escala global¹⁰.

2.2. Políticas de la Unión Europea.

Año 1995. Mandato de Berlín.

El Mandato de Berlín es formado en 1995 con la intención de reducir los Gases de Efecto Invernadero. En la conferencia se acepta la influencia de la acción humana en el Cambio Climático y se concluye que cada estado podrá aplicar las medidas que crea más convenientes.

Año 1998. Convenio de Aarhus

En la IV Conferencia sobre medio ambiente para Europa se proclama el Convenio de Aarhus que constituye una política encaminada a la protección ambiental. Este es firmado por la CE y sus estados miembros en 1998. El convenio, vigente desde el 30 de octubre de 2001, parte de la idea de que una mayor implicación y sensibilización de los ciudadanos con relación a los problemas medioambientales conduce a una mejor protección del medio ambiente. El convenio tiene por objeto contribuir a proteger el derecho de cada persona, de las generaciones presentes y futuras, a vivir en un medio ambiente adecuado para su salud y su bienestar. Para alcanzar dicho objetivo, el convenio propone intervenir en tres ámbitos:

- Garantizar el acceso del público a las informaciones sobre medio ambiente de que disponen las autoridades públicas.
- Favorecer la participación del público en la toma de decisiones que tengan repercusiones sobre el medio ambiente.

- Ampliar las condiciones de acceso a la justicia en materia de medio ambiente¹¹.

Año 2000. Primer Programa Europeo sobre el Cambio Climático (PECC).

Para respetar los compromisos asumidos por la UE en el marco del Protocolo de Kioto (reducción global del 8 % de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero antes de 2008-2012), la comisión considera necesario reforzar las acciones puestas en marcha tanto en los estados miembros como a escala comunitaria. Este refuerzo pasa por una mayor cooperación y una integración de las consideraciones medioambientales en las políticas sectoriales¹².

Año 2004. Compromisos de Aalborg.

La Carta de Aalborg refleja los esfuerzos internacionales llevados a cabo a favor de la sostenibilidad. Los planes de acción a largo plazo, en la llamada Agenda Local 21, integran los principios de sostenibilidad y justicia social en todas las políticas y a todos los niveles.

A la cumbre de Aalborg le precede la de Sevilla de 2007, adhiriéndose desde entonces más de 2.600 municipios europeos.

Año 2005. Segundo Programa Europeo sobre el Cambio Climático (PECC II).

Pretende facilitar la consecución de los objetivos y prioridades que fueron identificados en el primer programa, actuando en sinergia con la Estrategia de Lisboa para impulsar el crecimiento y empleo en nuevas tecnologías. Es en este marco, en el que se hace especial hincapié en la integración de medidas de adaptación al Cambio Climático.

¹¹ 2005/370/CE: Decisión del Consejo de 17 de febrero de 2005 sobre la celebración, en nombre de la Comunidad Europea, del Convenio sobre el acceso a la información, la participación del público en la toma de decisiones y el acceso a la justicia en materia de medio ambiente.

¹² 2002/358/CE: Decisión del Consejo, de 25 de abril de 2002, relativa a la aprobación, en nombre de la Comunidad Europea, del Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y al cumplimiento conjunto de los compromisos contraídos con arreglo al mismo.

Año 2007. Carta de Leipzig.

En 2007 se proclama la Carta de Leipzig, que supone un impulso a las ciudades europeas sostenibles al considerar la necesidad de incluir en las políticas urbanas enfoques integrados y prestando especial interés a los barrios desfavorecidos.

Año 2008. Pacto de Alcaldes.

El Pacto de los Alcaldes es el principal movimiento europeo en el que participan las autoridades locales y regionales que han asumido el compromiso voluntario de mejorar la eficiencia energética y de utilizar fuentes de energía renovable en sus territorios. Con su compromiso, los firmantes se han propuesto superar el objetivo de la UE de reducir en un 20% las emisiones de dióxido de carbono antes de 2020¹³.

Analizaremos los acuerdos de esta reunión y veremos si se están llevando a cabo correctamente, ya que después de más de 30 años de esfuerzos este es el último acuerdo, hasta la Hoja de Ruta 2050 de la UE hacia una economía hipocarbónica que se basa en estos acuerdos anteriores.

Año 2011. Hoja de Ruta 2050 de la UE hacia una economía hipocarbónica.

La UE adopta una hoja de ruta para la reducción progresiva de los Gases de Efecto Invernadero. El objetivo consiste en que la UE se convierta en una economía competitiva hipocarbónica.

De este modo, la UE se ha comprometido a:

- Reducir sus emisiones internas de GEI al menos un 20% antes de 2020.
- Aumentar un 20% la proporción de las energías renovables en la combinación energética.
- Mejorar la eficiencia energética en un 20% antes de 2020.

Además, la UE debe prepararse para reducir sus emisiones internas de GEI un 40% antes de 2030, y un 80% antes de 2050. Dichos niveles de emisión se calculan respecto a los niveles de 1990¹⁴.

¹³ **Página web del Pacto de Alcaldes.**

¹⁴ **Comisión Europea (2011). Comunicación de la comisión al parlamento Europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones. Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050.**

3. Problemática.

Como quedó manifestado en el apartado introducción, las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) están teniendo graves consecuencias para el clima. La Huella de Carbono permite cuantificar las emisiones de GEI que son liberados como consecuencia de una actividad determinada, bien sea la actividad necesaria para la fabricación de un producto, para la prestación de un servicio, o para el funcionamiento de una organización.

Esta cuantificación nos permitirá ser conscientes del impacto que genera dicha actividad en el calentamiento global, convirtiendo de esta manera la Huella de Carbono en una herramienta de sensibilización de gran valor. Hoy en día, ya se perfila como un elemento diferenciador de las organizaciones que deciden comprometerse con el medio ambiente y apuestan por el desarrollo de una actividad sostenible.

Es crucial por otro lado, entender la Huella de Carbono no sólo como un mero elemento de cálculo, sino como un primer paso en el camino de la mejora y el compromiso de reducción de emisiones de GEI. En ello reside, sin duda, su gran contribución a la lucha contra el cambio climático¹⁵.

Como hemos observado en el apartado anterior (esfuerzos internaciones), más de 30 años de colaboración culminan con la creación del Pacto de Alcaldes y la hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica, consecuencia de dicho pacto, ideado para llevar lo global a lo local, puesto que las ciudades son los centros mundiales de la comunicación, el comercio y la cultura.

Las ciudades son una significativa y creciente fuente de consumo de energía y representan un gran porcentaje de las emisiones de GEI. Con la mayoría de las zonas urbanas del mundo situadas en las costas, las ciudades también son particularmente vulnerables al cambio ambiental global, como el aumento del nivel del mar y las tormentas costeras. Por lo tanto, las ciudades desempeñan un papel clave en la lucha contra el Cambio Climático y para poder responder a sus impactos¹⁶.

¹⁵ <http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/Portal-Huella-Carbono.aspx>.

¹⁶ **Global Protocol for community-scale Greenhouse Gas emission inventories. An accounting and reporting standard for cities. 2014.**

La capacidad de una ciudad para tomar medidas eficaces en la mitigación del Cambio Climático y monitorear el progreso, depende de tener acceso a datos de buena calidad sobre las emisiones de GEI. La planificación de la acción climática comienza con la elaboración de un inventario de GEI, permitiendo este a las ciudades entender la contribución de las diferentes actividades a las emisiones de GEI desarrolladas en la región o municipio. Esto lleva a determinar dónde es mejor hacer esfuerzos de mitigación directos, crear una estrategia para reducir las emisiones de GEI, así como el seguimiento de su progreso. Muchas ciudades como son las adscritas al Pacto de Alcaldes ya han desarrollado inventarios de GEI y los utilizan para fijar objetivos de reducción de emisiones, informar de sus planes de acción climática y realizar un seguimiento de su rendimiento.

El Pacto de Alcaldes es de adscripción voluntaria, y aunque se crea en el ámbito europeo, ya cuenta con entidades de los cinco continentes. Las entidades que se adhieren al pacto se comprometen a hacer un inventario de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (IRE). Pero el Pacto de Alcaldes especifica una metodología que puede variar dependiendo del contexto de la ciudad, y esto puede llevar a disparidades (anexo 1).

Para hacernos una idea hemos analizado varios documentos que calculan emisiones municipales o regionales para ver su metodología. Los textos son inventarios de:

- Comunidad de Madrid¹⁷.
- Granada¹⁸.
- Salé¹⁹ (Marruecos).
- Somoniyon²⁰ (Tayikistán).

¹⁷ **Inventario de emisiones a la atmósfera en la comunidad de Madrid. Años 1990-2010 y avance del año 2011.**

¹⁸ **Granada contra el Cambio Climático: Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Plan de Acción de Energía Sostenible. 2013.**

¹⁹ **Baseline Energy Inventory and Sustainable Energy Action Plan of Salé & Energy Auditing of Salé City Council (2011).**

²⁰ **Somoniyon (Tajikistan) (2014) Sustainable Energy Action Plan and Baseline Emissions Inventory.**

- Londres²¹ (Reino Unido).
- París²² (Francia).
- Roma²³ (Italia).
- Reykjavik²⁴ (Islandia).

Las ciudades adscritas al Pacto de Alcaldes en muchos casos no especifican sus fórmulas de cálculo ni los factores de emisión. La comparativa se muestra en la siguiente tabla (tabla 1).

²¹ **Delivering London's energy future (2010). The Mayor's draft Climate Change Mitigation and Energy Strategy for consultation with the London Assembly and functional bodies.**

²² **Plan climat de paris. Plan de lutte contre le réchauffement climatique (2007). Mairie de París.**

²³ **Piano di azione per l'energia sostenibile della città di roma (Sustainable Energy Action Plan SEAP). 2009.**

²⁴ **Reykjavik's. Baseline Emission Inventory and Sustainable Energy Action Plan (2011) City of Reykavick.**

Tabla 1: Comparativa de metodologías usadas para la elaboración de un IRE.

Fuente: Elaboración propia.

Manuales.	Metodología.
Comunidad de Madrid.	No especifica por campos, pero dice que usa metodología desglosada por sectores: -Inventario Nacional de gases Efecto Invernadero. - Buenas prácticas e inventario IPCC. - EMEP/EEA air pollution. - EPA factor emisión.
Granada.	No especifica sus fórmulas de cálculo ni los factores de emisión empleados.
Sale (Marruecos).	No especifica sus fórmulas de cálculo ni los factores de emisión empleados.
Somoniyon (Tayikistán).	Especifica que han usado un software desarrollado por la provincia de Chieti (Italia) y ALESA Srl con las directrices oficiales del Pacto de los Alcaldes.
Londres (Reino Unido).	Contabiliza las emisiones de petróleo, gas, carbón, electricidad, transporte y residuos en una cuadrícula km ²
París (Francia).	Usa metodología denominada Bilan Carbone TM , desarrollado por ADEME (Agencia Francesa de Medio Ambiente y Gestión de la Energía).
Roma (Italia).	Usa la metodología de la Comisión Europea.
Reykjavik (Islandia)	No especifica sus fórmulas de cálculo ni los factores de emisión empleados.

Aunque hay detalles que no aparecen en la tabla vamos a comentarlos aquí. No podemos comentar todas las diferencias existentes, son solo ejemplos para demostrar la disparidad a la hora de hacer inventarios de GEI. Por ejemplo: París sí considera la industria, Londres no. Además Londres no se ciñe a los límites municipales sino que establece un margen de 2 km².

Otro ejemplo es Reykjavick, que no calcula y por tanto no introduce en su inventario agricultura, industria, actividades marítimas y vuelos.

Además ciudades como la misma Reykjavick, Granada o Sale no especifican la metodología para el cálculo.

Como podemos observar existe disparidad a la hora de calcular las emisiones de GEI locales, ya que cada entidad usa su propia metodología haciendo sumamente difícil la comparación entre entidades o simplemente corroborar sus cálculos.

Para estudiar el problema vamos a analizar distintos manuales viendo la disparidad que crean y comentaremos como se pueden homogenizar para evitar grandes discrepancias.

4. Metodologías de cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

Para la mitigación de emisiones de GEI por parte de las entidades municipales el primer paso es la realización de un IRE (Inventario de Referencia de Emisiones), existiendo múltiples metodologías. Esto como hemos observado en el apartado anterior, crea una disparidad en los cálculos e imposibilita una comparación y una cuantificación exacta.

Hemos comparado seis metodologías distintas para el cálculo de la Huella de Carbono en:

- Metodología para el Cálculo del Sistema de Indicadores de Diagnóstico y Seguimiento del Cambio Climático (Federación Española de Municipios y Provincias)²⁵.
- Cálculo de la Huella de Carbono propuesto por la Junta de Andalucía²⁶.
- Global protocol for community-scale Greenhouse Gas emission inventories. An accounting and reporting standard for cities²⁷.
- Cálculo de la Huella de Carbono de un ayuntamiento propuesto por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente²⁸.

²⁵ **Metodología para el Cálculo del Sistema de Indicadores de Diagnóstico y Seguimiento del Cambio Climático. 2009. Federación española de municipios y provincias.**

²⁶ **Cálculo de la Huella de Carbono propuesto por la Junta de Andalucía. 2012.**

²⁷ **Global Protocol for community-scale Greenhouse Gas emission inventories. An accounting and reporting standard for cities. 2014.**

²⁸ **Calculadora de la Huella de Carbono de alcance 1+2 para ayuntamientos (2007 – 2014). Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente.**

- Bilan Carbone (Entreprises – Collectivités –Territoires) elaborado por ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)²⁹.
- UNE-ISO 1069:2015 IN. Gases de Efecto Invernadero. Cuantificación e informe de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero para las organizaciones. Orientación para la aplicación de la Norma ISO 14064-1³⁰.

Los inventarios GHG Protocol, Huella de Carbono de un ayuntamiento por el MAGRAMA, Bilan Carbone y UNE-ISO 1069:2015 clasifican las emisiones de GEI en directas e indirectas, o por alcances. Teniendo las siguientes peculiaridades:

Emisiones directas o indirectas:

- Emisiones directas: Emisiones producidas por fuentes que son propiedad o están controladas por el municipio.
- Emisiones indirectas: Emisiones consecuencia de la actividad del municipio pero que ocurren en fuentes que no son propiedad o están controladas por otra organización.

Según su alcance:

- Alcance 1: Emisiones directas. Generadas por el municipio en su territorio. Por ejemplo combustión en calderas, vehículos, etc.
- Alcance 2: Emisiones indirectas. Generadas por el municipio fuera de los límites de este por industrias energéticas. Por ejemplo compra de electricidad.

²⁹ Bilan Carbone. Entreprises – Collectivités –Territoires. Guide méthodologique- version 6.1 - objectifs et principes de comptabilisation. 2010. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie.

³⁰ UNE-ISO 1069:2015 IN. Gases de Efecto Invernadero. Cuantificación e informe de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero para las organizaciones. Orientación para la aplicación de la Norma ISO 14064-1 (2015).

- Alcance 3: Otras emisiones indirectas. Generadas por el municipio fuera de los límites de este y que no corresponden a energía. Por ejemplo extracción y producción de materiales requeridos por la entidad.

Para el cálculo de la Huella de Carbono de una actividad existe una fórmula fundamental en todos los métodos que es la siguiente:

$$\text{Huella de Carbono} = \text{Actividad o consumo} \times \text{Factor de emisión.}$$

Ecuación 1: Ecuación fundamental del cálculo de la Huella de Carbono de una actividad o consumo.

Donde:

Parámetro.	Descripción.
Factor de emisión.	= Cantidad de GEI emitidos por cada unidad del parámetro actividad o consumo.
Actividad o consumo.	= Grado o nivel de la actividad generadora de emisiones GEI.

Esto nos lleva a que tres parámetros van a condicionar los inventarios de emisiones de GEI. Los sectores de emisiones a introducir, la fórmula de cálculo y el factor de emisión.

Respecto a las fórmulas de cálculo de emisiones todos los manuales recomiendan el uso del formulario propuesto por el IPCC (del cual luego comentaremos más), por lo cual nosotros hemos usado estas fórmulas, salvo en energía eléctrica y sumideros, las razones las expondremos más adelante. Los parámetros de emisiones han sido obtenidos de los Inventarios Nacionales de Emisión a la Atmósfera 1990-2011. Volumen 2, elaborado por el MAGRAMA. Salvo algunas excepciones que comentaremos más adelante. El método Huella de Carbono de un ayuntamiento por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente es independiente de estas consideraciones pues es un formulario que usa sus propios valores de emisión.

Por lo cual las diferencias entre métodos van a provenir mayoritariamente de los sectores a introducir en los inventarios. Vamos a analizar los métodos individualmente, analizando los sectores a considerar.

4.1. Metodología para el Cálculo del Sistema de Indicadores de Diagnóstico y Seguimiento del Cambio de la FEMP.

La publicación Metodología para el Cálculo del Sistema de Indicadores de Diagnóstico y Seguimiento del Cambio Climático elaborada por la Federación Española de Municipios y Provincias pretende facilitar a los municipios el cálculo de indicadores básicos en materia de Cambio Climático. Se plantea como una herramienta útil y eficaz para el cumplimiento de los objetivos marcados por los municipios en su política contra dicho fenómeno.

Los sectores calculados por esta metodología son:

Tabla 2: Sectores de cálculo de la metodología Cálculo del Sistema de Indicadores de Diagnóstico y Seguimiento del Cambio de la FEMP.

Sector	Subsector
Energía.	Energía eléctrica.
	Consumo de combustibles (no automoción).
	Derivadas al transporte.
Ganadería.	Fermentación entérica.
	Gestión de estiércoles.
	Producción animal.
	Aplicación de estiércol animal.
Suelos Agrícolas.	Fertilizantes sintéticos.
	Cultivos fijadores nitrógeno.
	Cultivos forrajeros.
	Residuos de cosechas reintegrados a los suelos.
	Cosechas de arroz.
Residuos.	Residuos sólidos urbanos.
Sumideros.	Sumideros.

4.2. Cálculo de la Huella de Carbono propuesto por la Junta de Andalucía.

La Junta de Andalucía aprobó por acuerdo en el consejo de Gobierno de 3 de septiembre de 2002 una estrategia autonómica ante el Cambio Climático como aportación de esta comunidad autónoma a la estrategia española ante el Cambio Climático.

Dicha estrategia divide las emisiones en dos grupos, por un lado las emisiones del sector industrial procedentes de las instalaciones afectadas por la ley 1/2005, que regula el régimen del comercio de derechos de emisión de Gases de Efecto Invernadero (RCDE). Por otro lado el resto, o lo que ellos llaman sector difuso, y son las que se contabilizan alegando que los municipios tienen competencias para reducir estas emisiones ⁽²⁷⁾.

Los sectores calculados por esta metodología son:

Tabla 3: Sectores de cálculo de la metodología Huella de Carbono de la Junta de Andalucía.

Sector	Subsector
Consumo de energía eléctrica.	Agricultura.
	Industria.
	Residencial.
	Comercial- Servicios.
	Administración y servicios públicos.
	Resto de Sectores.
Tráfico rodado.	Tráfico rodado.
Consumo de combustibles no automoción.	Consumo de combustibles no automoción.
Sector Residuos.	Residuos Urbanos.
Aguas residuales.	Tratamiento de aguas residuales.
	Consumo humano de proteínas.
Agricultura.	Directas.
	Indirectas.
	Arrozales.

Tabla 3: Continuación.

Sumideros.	Forestal arbolada.
	Dehesa espesa.
	Cultivo anual convertidas a cultivos leñosos.
	Tierras agrícolas convertidas a forestal.

4.3. Global Protocol for community-scale Greenhouse Gas emission inventories. An accounting and reporting standard for cities.

El Protocolo Mundial en su manual para elaborar inventarios de Emisiones de Gases de Invernadero alega que los métodos para hacer un inventario que las ciudades han utilizado hasta la fecha varían significativamente. Esta inconsistencia hace que la comparación entre ciudades sea difícil, plantea preguntas en torno a la calidad de los datos, y limita la capacidad de agregar los datos de emisiones de GEI del gobierno local, subnacional y nacional. Para permitir la presentación de informes más creíble y significativos, se requiere una mayor coherencia en la contabilidad de GEI. Por lo cual responde a este reto y ofrece un marco sólido y claro que se basa en las metodologías existentes para calcular y reportar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en toda la ciudad⁽¹⁶⁾. Alega que existen las mismas disparidades que comentamos nosotros.

Los sectores calculados por esta metodología son:

Tabla 4: Sectores de cálculo de la metodología Greenhouse Gas protocol.

Sector.	Subsector.
Energía estacionaria.	Edificios residenciales.
	Edificios e instalaciones comerciales e institucionales.
	Industrias manufactureras y la construcción.
	Industrias de energía.
	La generación de energía suministrada a la red.
	Actividades de Agricultura, Silvicultura y Pesca.

Tabla 4: Continuación.

Energía estacionaria.	Las fuentes no específicas.
	Emisiones fugitivas de la minería, procesamiento, almacenamiento y transporte de carbón.
	Emisiones fugitivas de los sistemas de petróleo y gas natural.
Transportes.	Carreteras.
	Trenes.
	Navegación Fluvial.
	Aviación.
	Fuera de carreteras.
Residuos.	La eliminación de los residuos sólidos.
	El tratamiento biológico de los residuos.
	Incineración y quema a cielo abierto de los residuos.
	Aguas residuales.
Procesos industriales y uso del producto (IPPU).	Procesos industriales.
	Uso del producto.
Agricultura, silvicultura y otros usos del suelo (AFOLU).	Ganadería.
	Agricultura.
	Fuentes agregadas y fuentes de emisión exceptuando el CO ₂ .

4.4. Cálculo de la Huella de Carbono de un ayuntamiento propuesto por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente ha desarrollado una serie de herramientas para facilitar el cálculo de la Huella de Carbono de una organización y la estimación de las absorciones de dióxido de carbono que genera un proyecto de absorción.

Se ha adaptado la calculadora de una organización, para que refleje la actividad que realiza un ayuntamiento, estimando igualmente, de manera sencilla las emisiones de Gases de Efecto Invernadero directas e indirectas debidas al consumo de electricidad. No incluye el cálculo de las emisiones de alcance 3. La calculadora está realizada para el cálculo de GEI que producen los trabajadores del ayuntamiento. Para adaptarla hemos puesto en lugar del consumo de los empleados el de los residentes en el municipio para abarcar el concepto de territorialidad y no el de organización. Los sectores calculados por esta metodología son:

Tabla 5: Sectores de cálculo de la metodología Huella de Carbono de un ayuntamiento por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Sector.	Subsector.
Instalaciones fijas.	Combustibles fósiles en instalaciones fijas.
Refrigeración y climatización.	Fuga de gases fluorados.
Transporte.	Transporte por carretera.
	Transporte por tren, cercanías o tranvía.
	Transporte en metro.
	Transporte marítimo o fluvial.
	Transporte aéreo.
Electricidad.	Electricidad.

4.5. Bilan Carbone elaborado por la ADEME.

El método Bilan Carbone es un método que evalúa las emisiones de GEI generados por todos los procesos físicos que son necesarios para la existencia de una actividad, organización o territorio. Incluye una metodología especial para los territorios que es la que nos interesa. Los sectores calculados por esta metodología son:

Tabla 6: Sectores de cálculo de la metodología Bilan Carbone.

Sector.	Subsector.
Industrias energéticas.	Electricidad.
	Hidrocarburos.
Emisiones en procesos industriales.	Combustibles fósiles.
	Electricidad.
	Otros ejemplos (SFC).
Terciario.	Calefacción.
	Agua caliente.
	Vapor caliente.
	Electricidad.
	Fugas aire acondicionado.
Residencial.	Calefacción.
	Agua caliente.
	Vapor caliente.
	Electricidad.
	Fugas aire acondicionado.
Agricultura y pesca.	El consumo de combustible (agricultura, incluyendo invernaderos y la pesca) y electricidad.
	Las emisiones de metano y óxido nítrico relacionados con la ganadería (digestión entérica, el tratamiento de los residuos, la difusión).
	Las emisiones de óxido nítrico de los fertilizantes.
	Fabricación de insumos (fertilizantes, alimentación,...).
	Fabricación de equipos mecánicos (tractores, etc.).
Tráfico de mercancías.	Carretera.
	Aéreo.
	Ferrovionario.
	Marítimo.

Tabla 6: Continuación.

Transporte de personas.	Tránsito por carretera con un punto de inicio y un punto final, que se encuentran dentro del territorio.
	Los residentes relacionados con el tráfico, donde quiera que vayan, y cualquiera que sea el modo seleccionado (carretera, ferrocarril, aire...).
	El tráfico relacionado con los visitantes, sea cual sea el motivo (turismo, negocios, visitas familiares...) y cualquiera que sea el modo seleccionado.
Construcción de edificios y carreteras.	Construcción de edificios y carreteras.
Alimentación.	Fuera del territorio.
Desechos.	Desechos.
Desechos futuros.	GEI generados en la producción de los desechos.

4.6. UNE-ISO 1069:2015 IN.

La Asociación española de normalización y certificación es una entidad privada sin fines lucrativos que se creó en 1986. Su actividad contribuye a mejorar la calidad y competitividad de las empresas, sus productos y servicios.

AENOR a través del desarrollo de normas técnicas y certificaciones, contribuye a mejorar la calidad y competitividad de las empresas, sus productos y servicios, de esta forma ayuda a las organizaciones a generar uno de los valores más apreciados en la economía actual: la confianza³¹.

La norma ISO 14069-1 posibilita que organizaciones de todo el mundo cuantifiquen las emisiones y remociones de Gases de Efecto Invernadero. Este informe técnico quiere permitir a las organizaciones o en nuestro caso ayuntamientos, orientación sobre la cuantificación de GEI.

La norma especifica que se pueden hacer dos inventarios distintos, uno para las propias operaciones de la autoridad local (como cualquier otra organización) y otro para las emisiones dentro de la comunidad determinado por los límites geopolíticos.

³¹ <http://www.aenor.es/aenor/inicio/home/home.asp>.

Considerando que este enfoque territorial necesita una metodología específica que se encuentra fuera del alcance de este informe técnico. El concepto de territorialidad que a nosotros nos interesa no está contemplado. Queríamos comentar esta metodología porque al ser un estándar internacional muchas entidades recurrirán a este buscando una solución, encontrándose al analizar la norma con el problema que hemos comentado. Por esto en la comparación con otros métodos no será tenido en cuenta.

4.7. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de Gases de Efecto Invernadero³².

Quizá el manual más importante para el cálculo de GEI. Tras reconocer la existencia del problema que plantea el posible Cambio Climático mundial, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), crearon conjuntamente el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, del inglés, Intergovernmental Panel on Climate Change) en el año 1988. Una de las actividades del IPCC consiste en complementar la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), mediante su trabajo en materia de metodologías para los inventarios nacionales de GEI.

El presente informe es la culminación de tres años de trabajo del programa de inventarios nacionales de Gases de Efecto Invernadero del IPCC, destinado a actualizar su propia orientación previa para hacer estos inventarios.

Nosotros hemos usado este manual como apoyo constante a la hora de hacer los cálculos usando sus fórmulas y en algunos casos sus factores de emisión.

Al ser para inventarios nacionales requería una adaptación para calcular las emisiones de los entes locales. Por esta razón no hemos calculado las emisiones por este método pero hemos decidido comentarlo en este apartado debido a su repercusión mundial y también en este trabajo.

³² **Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios de Gases de Efecto Invernadero. 2006. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.**

5. Objetivos.

- Identificar las distintas metodologías disponibles para el cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero a nivel municipal.
- Caracterizar la problemática a la hora de hacer inventarios de emisiones de Gases de Efecto Invernadero a nivel municipal.
- Comparar las distintas metodologías identificadas en el cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero a nivel municipal.
- Seleccionar la metodología más adecuada a la hora de hacer inventarios de emisiones de Gases de Efecto Invernadero a nivel municipal.
- Calcular las emisiones de Gases de Efecto Invernadero de una ciudad. En este caso Sevilla.

Ilustración 6: Tabla resumen de valores medios meteorológicos en Sevilla entre los años 1982-2010.
Fuente: AEMET.

Mes	Temperatura media mensual/anual (°C)	Precipitación mensual/anual media (mm).	Humedad relativa media (%).
Enero	10.9	66	71
Febrero	12.5	50	67
Marzo	15.6	36	59
Abril	17.3	54	57
Mayo	20.7	30	53
Junio	25.1	10	48
Julio	28.2	2	44
Agosto	27.9	5	48
Septiembre	25.0	27	54
Octubre	20.2	68	62
Noviembre	15.1	91	70
Diciembre	11.9	99	74
Año	19.2	539	59

La ciudad está ubicada en la llanura aluvial del río Guadalquivir, en plena depresión del Guadalquivir, con una altitud media sobre el nivel del mar de 7 metros. Sevilla es una urbe eminentemente llana, su horizontalidad está además reforzada por la altura generalmente baja de sus edificios, sobre todo en el centro ³⁵.

El municipio está atravesado en su lado occidental, por el río Guadalquivir, en cuya cuenca hidrográfica se encuentra integrada la totalidad de la provincia de Sevilla. A su paso por la ciudad, el río posee un caudal notable, tras haber recibido las aportaciones de todos sus grandes afluentes. El Guadalquivir es el único río de España con tráfico fluvial significativo, aunque en la actualidad sólo es navegable desde el mar hasta Sevilla³⁵.

Respecto a las actividades económicas la industria es escasa a 1 de enero de 2014, predominando los polígonos industriales enfocados principalmente a actividades del sector servicios y el administrativo. De hecho podemos observar la disposición del

³⁵ Plan de Acción de Energía Sostenible de Sevilla. Revisión de 2013. Agencia de la energía de Sevilla. Ayuntamiento de Sevilla.

número de negocios destinados a cada sector (imagen 7) y vemos que la incidencia de la industria es ínfima comparada con otros sectores.

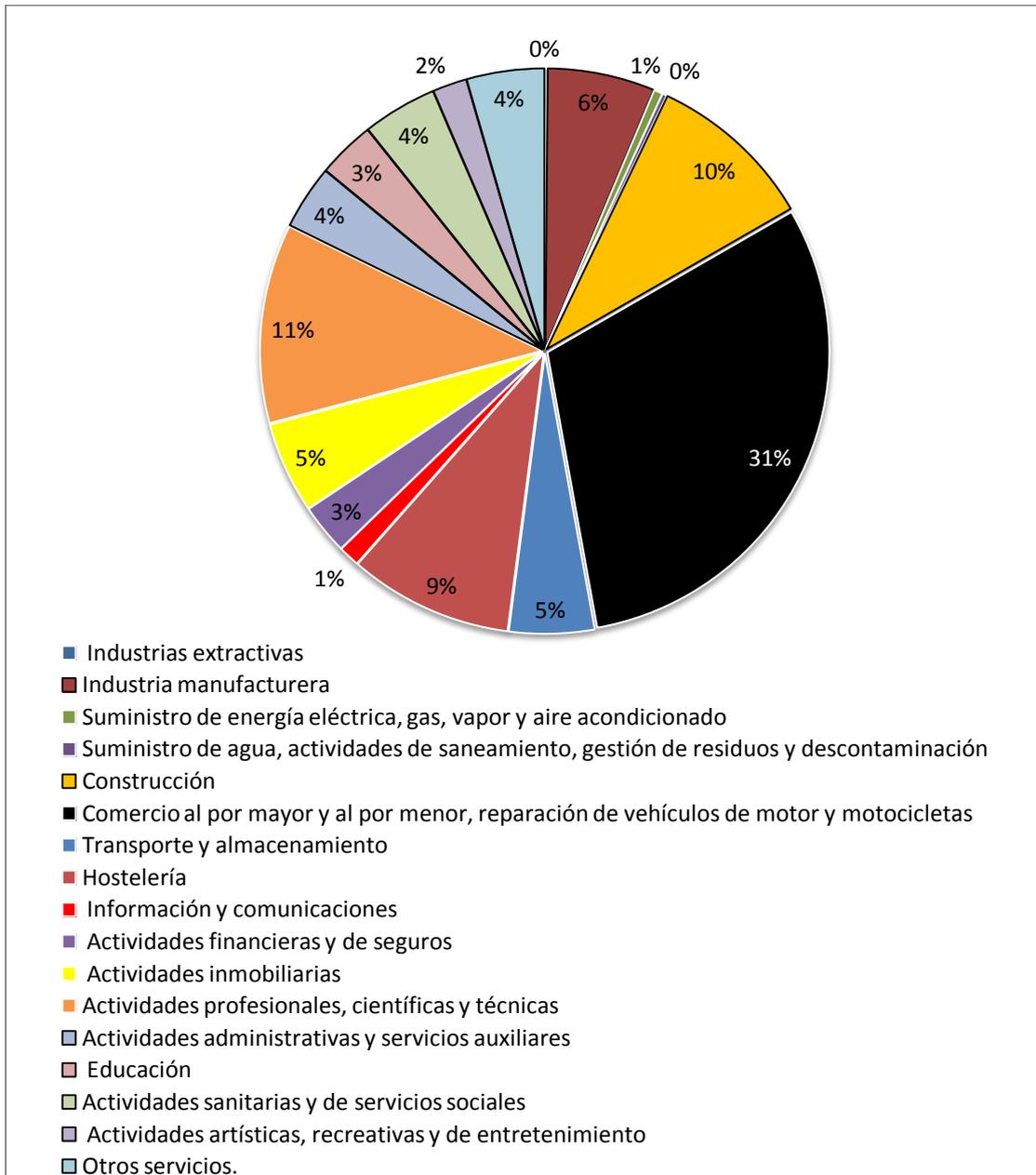


Ilustración 7: Número de establecimientos comerciales por tipo de industria a 1 de enero de 2014.

Fuente: SIMA (elaboración propia).

No es posible entender Sevilla sin su área metropolitana, ya que como capital es un gran centro turístico, económico y laboral. Y esto unido al gran volumen de tráfico

diario entre los municipios periféricos y la capital (ilustración 8), eleva el número de emisiones por transportes.

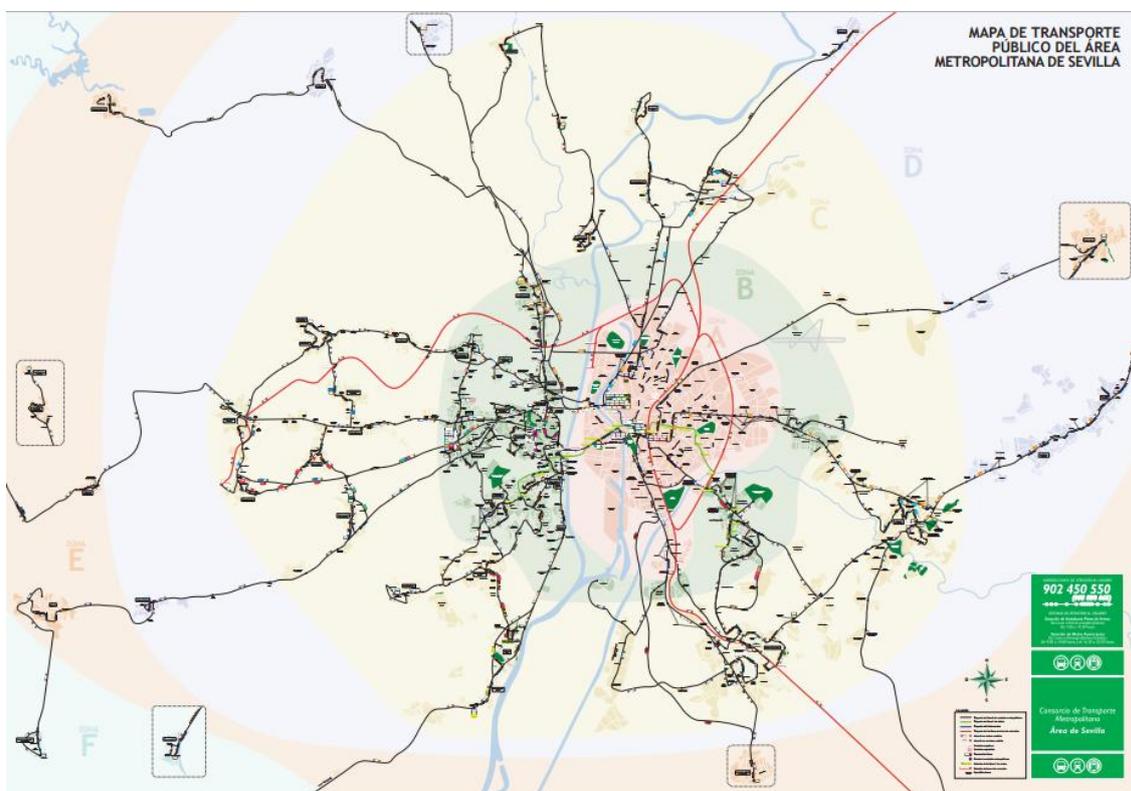


Ilustración 8: Plano del transporte metropolitano de Sevilla en noviembre de 2015.

Fuente: Consorcio de transportes Sevilla³⁶.

Sevilla presentaba en 2007 una relación de zonas verdes de unos 15 m² por habitantes y deseaba alcanzar los 25 m². Contando con 260 árboles por cada 1.000 habitantes, valores por encima de ciudades como Berlín, Bruselas o Barcelona. En total, presumía de 6.815.211 m² de zonas verdes que se estima que producían 7.000 toneladas de oxígeno al año³⁷.

³⁶ <http://www.consorciotransportes-sevilla.com/>.

³⁷ **La vegetación urbana como sumidero de dióxido de carbono (2007).** Manuel Enrique Figueroa Clemente.

7. Metodología y cálculo por sectores.

En este apartado comentaremos la metodología de cálculo, la procedencia de los datos que hemos utilizado y las emisiones de GEI de los distintos sectores. Haciendo nuestros propios cálculos porque como hemos comentado existe una problemática en la elaboración de este tipo de inventarios ya que hay discrepancia entre ellos.

Nuestro inventario será para el año 2013, aunque nos encontraremos con sectores en los cuales no disponemos de datos de dicho año. Teniendo que recurrir a años anteriores.

7.1. Energía eléctrica.

Las emisiones producidas al generar energía eléctrica son notables ya que en Andalucía la energía eléctrica es fundamentalmente generada por la quema de hidrocarburos (ilustración 9). También aproximadamente el 19% es generada por energías renovables.

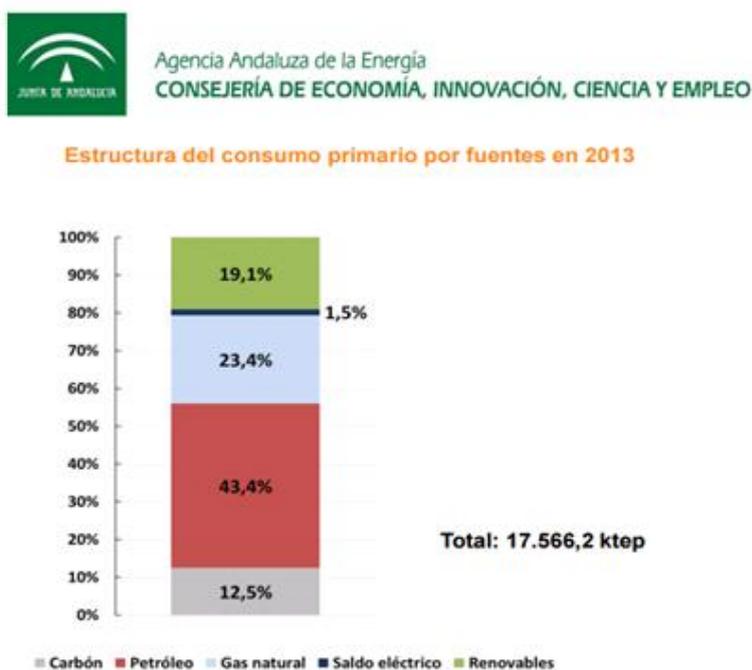


Ilustración 9: Estructura del consumo primario eléctrico por fuente de 2013 en Andalucía.

Fuente: Agencia andaluza de la energía.

Para el cálculo de las emisiones producidas por energía eléctrica hemos usado la metodología de la FEMP, que detalla en su publicación Metodología para el Cálculo del Sistema de Indicadores de Diagnóstico y Seguimiento del Cambio Climático en la página 21, el método de la Huella de Carbono de la Junta de Andalucía (página 8), y también propuesta por GHG Protocol (página 67).

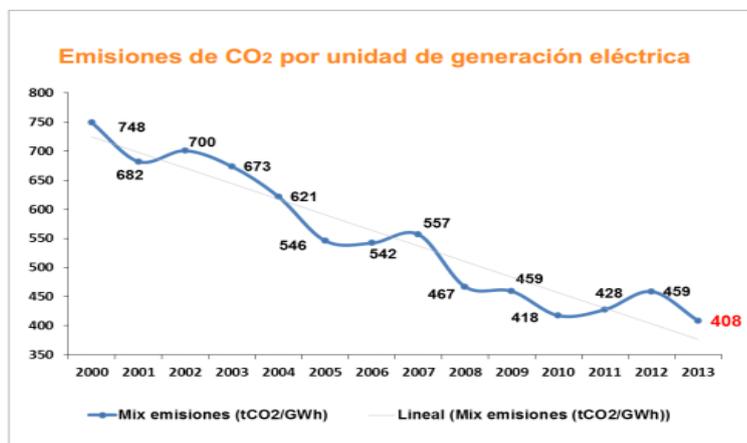


Ilustración 10: Mix de emisiones de Andalucía. Fuente: Situación energética de Andalucía. Balance 2013.

Las emisiones debidas al consumo de energía eléctrica se expresan en toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂e) y se calculan mediante la multiplicación del consumo de energía eléctrica en el municipio por su factor de emisión.

$$\text{Emisiones de CO}_2\text{e (tCO}_2\text{/año)} = C_{EE} \times Fe$$

Ecuación 2: Fórmula de cálculo de emisión de dióxido de carbono por consumo eléctrico.

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
Emisiones de CO ₂ e.	= Emisiones de CO ₂ e por consumo eléctrico.	tCO ₂ e/año.
C _{EE} .	= Consumo de energía eléctrica.	GWh/año.
Fe.	= Factor de emisión.	tCO ₂ /GWh.

El consumo de energía eléctrica lo hemos obtenido por el Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA), el factor de emisión idóneo sería el de la ciudad, pero ante la imposibilidad actual hemos usado el mix andaluz, obtenido de la publicación: Situación energética de Andalucía. Balance 2013 (página 10).³⁸

Por lo cual al aplicar la fórmula obtenemos las toneladas de CO₂ equivalente en el sector de la energía eléctrica.

Tabla 7: Emisiones de dióxido de carbono equivalente producidas por la generación de energía eléctrica consumida en el municipio de Sevilla en el año 2013.

Sectores.	Toneladas de CO ₂ e/año.
Agricultura.	2.486,35 toneladas de CO ₂ e/año.
Industria.	109.124,09 toneladas de CO ₂ e/año.
Comercio-Servicios.	315.543,94 toneladas de CO ₂ e/año.
Sector residencial.	463.251,77 toneladas de CO ₂ e/año.
Administración-servicios públicos.	160.035,96 toneladas de CO ₂ e/año.
Resto.	4.061,236 toneladas de CO ₂ e/año.
Total.	1.054.503,34 toneladas de CO₂e.

7.2. Combustión móvil.

Tráfico por carretera.

Las fuentes móviles producen emisiones de dióxido de carbono, metano y óxido nítrico procedentes de la quema de diversos tipos de combustibles.

La categoría que estamos abordando incluye todos los tipos de vehículos para servicio ligero, como automóviles, camiones y las motocicletas de ciudad (incluidos los

³⁸ Situación energética de Andalucía. Balance 2013. Agencia andaluza de la energía. Consejería de economía, innovación, ciencia y empleo.

ciclomotores, scooter y triciclos) y los vehículos para servicio pesado, como los tractores de remolque y los autobuses. Estos vehículos funcionan con muchos tipos de combustibles tanto gaseosos como líquidos.

Para el cálculo hemos usado la metodología del manual de referencia IPCC (volumen 2. Capítulo 3: Energía. Páginas 3.12 y 3.13), este diferencia la metodología para el cálculo de emisiones de dióxido de carbono, y las emisiones de óxido nitroso y metano.

Emisiones de dióxido de carbono.

Esto es debido a que las emisiones de dióxido de carbono dependen exclusivamente del consumo y del tipo de combustible.

Emisiones de CO₂ = \sum_a (Combustible_a x EF_a)

Ecuación 3: Fórmula de cálculo de emisión de dióxido de carbono por tráfico por carretera por combustible consumido.

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
Emisiones de dióxido de carbono.	= Emisiones de dióxido de carbono por transporte.	Kg/año.
Combustible.	= Combustible vendido.	TJ/año.
EF.	= Factor de emisión, contenido de carbono del combustible multiplicado por 44/12.	Kg/TJ.
a.	= Tipo de combustible.	

El fallo de este sistema es que suma todo el carbono emitido, incluso el que se emite en forma de metano, monóxido de carbono, COVDM y materia particulada. Pero no existe una alternativa y puede haber una sobre estimación debido a este error.

También los catalizadores a base de urea que usan los vehículos diésel producen emisiones de dióxido de carbono, estos reducen aproximadamente del 3 al 1 por ciento de las emisiones por vehículo. Aplicamos la siguiente ecuación.

$$\text{Emisión} = \text{Actividad} \times 12/60 \times \text{pureza} \times 44/12$$

Ecuación 4: Fórmula de cálculo de emisión de dióxido de carbono procedente de los catalizadores a base de urea.

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
Emisión.	= Emisiones de dióxido de carbono del aditivo en base de urea de los conversores catalíticos.	Gg CO ₂ /año.
Actividad.	= Cantidad de aditivo basado en urea consumido para usar en conversores catalíticos.	Gg/año.
Pureza.	= Fracción de masa de urea en el aditivo basado en urea.	

El factor (12/60) de conversión estequiométrica de la urea (CO(NH₂)₂) al carbono, mientras que el factor (44/12) convierte el carbono en dióxido de carbono.

Emisiones de metano y óxido nitroso

Las emisiones de metano y óxido nitroso son más difíciles de estimar con exactitud que las del dióxido de carbono porque los factores de emisión dependen de la tecnología del vehículo, del combustible y de las condiciones de uso.

$$\text{Emision} = \sum_{a,b,c,d} (\text{Distancia}_{a,b,c,d} \times \text{EF}_{a,b,c,d}) + \sum_{a,b,c,d} \text{C}_{a,b,c,d}$$

Ecuación 5: Fórmula de cálculo de emisión de metano y óxido nitroso por tráfico por carretera por kilometro recorrido.

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
Emisión.	= Emisión de metano y óxido nitroso.	Kg.
EF.	= Factor de emisión.	Kg/Km.
Distancia.	= Distancia recorrida durante el funcionamiento térmicamente estabilizado del motor.	Km.
C.	= Emisiones durante la fase de calentamiento (arranque en frío).	Kg.
a.	= Tipo de combustible.	
b.	= Tipo de vehículo.	
c.	= Tecnología de control de emisiones.	
d.	= Condiciones de funcionamiento (carretera y clima).	

Para el cálculo de emisiones en este apartado el IPCC especifica que existen algunos software que calculan con bastante exactitud las emisiones en este sector, como son USEPA MOVES, MOBILE, o el modelo COPERT de la AEMA que es el más exacto ya que es el que más parámetros de cálculo tiene (volumen 2. Capítulo 3: Energía. Páginas 3.15).

Hemos usado COPERT para este cálculo, este programa es gratuito y está disponible en la página web: <http://emisias.com/copert>.

Y como parámetros hemos usado los que estipula para su cálculo el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en el Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera³⁹ (volumen 2: Análisis por Actividades SNAP. Capítulo 7: Transporte por carretera).

³⁹ **Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera. 1990-2011. Junio 2013. Análisis por actividades emisoras de la nomenclatura SNAP – 97. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente.**

Cabe destacar, que la contaminación producida por los vehículos es una de las que más preocupa a los expertos, no solo por los GEI sino también por otros tipos de contaminantes que emiten. En muchas ciudades se ha optado por regular en el tráfico en el centro de las ciudades pues este empieza a ser nocivo para las personas (ilustración 11). Y aunque no solo el tráfico afecte a esta contaminación, si es uno de los máximos productores.



Ilustración 11: Regulación de la velocidad del tráfico por contaminación en París.

Fuente. Informativos Telecinco.

Las emisiones de Gases de Efecto Invernadero producidas por los vehículos en carretera son las siguientes:

Tabla 8: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero producidas por el tráfico por carretera en el municipio de Sevilla en el año 2013.

Gas emitido.	Volumen emitido en toneladas.
Dióxido de carbono.	831.511 toneladas.
Óxido Nitroso.	1.087,78 toneladas.
Metano.	155,93 toneladas.

Tráfico ferroviario.

Las locomotoras suelen pertenecer a tres tipos: diésel, eléctricas o a vapor. Las locomotoras diésel suelen tener motores en combinación con un alternador o generador, para producir la electricidad necesaria para alimentar motores de tracción.

En este apartado calcularemos las emisiones diésel ya que las eléctricas se calculan en el apartado de energía eléctrica y las emisiones de trenes de vapor en España no se tienen en cuenta ya que si se utilizan son atractivos turísticos, por lo cual su incidencia es ínfima.

Para el cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero utilizamos la metodología propuesta por el IPCC (volumen 2. Capítulo 3. Páginas 3.41 y 3.42) en las dos siguientes ecuaciones.

Cálculo de emisiones de dióxido de carbono.

$$\text{Emisiones CO}_2 = \sum (\text{combustible}_j \times \text{EF}_j)$$

Ecuación 6: Fórmula de cálculo de emisión de dióxido de carbono por tráfico ferroviario por combustible consumido.

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
Emisión.	= Emisión de dióxido de carbono.	Kg.
EF _j .	= Factor de emisión.	Kg/TJ.
Combustible.	= Combustible consumido.	TJ.

Emisiones de metano y óxido nitroso.

$$\text{Emisiones} = \sum (\text{Ni} \times \text{Hi} \times \text{Pi} \times \text{Lfi} \times \text{Efi})$$

Ecuación 7: Fórmula de cálculo de emisión de metano y óxido nitroso por tráfico ferroviario por consumo de combustible.

Donde:

Parámetro.		Descripción.	Unidad.
Emisión.	=	Emisión de metano y óxido nitroso.	Kg.
Ni.	=	Cantidad locomotoras tipo i.	Número.
Hi.	=	Horas anuales de utilización de la locomotora i.	Horas.
Pi.	=	Potencia nominal promedio de la locomotora i.	KW.
LFi.	=	Factor de carga típico de la locomotora i.	Fracción.
EFi.	=	Factor de emisión promedio para usar en la locomotora i.	Kg/kWh.
I.	=	Tipo de locomotora.	

Ante la imposibilidad de cálculo debido a que no existen datos, hemos decidido usar los Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera. Volumen 2: Capítulo 8. Otros medios de transporte, y como tenemos los datos del número de pasajeros y las toneladas que circulan por España y por la provincia de Sevilla⁴⁰, hemos hecho una media. El cálculo de este sector a nivel municipal es sumamente complicado ya que los trenes van parando en distintos municipios y los pasajeros van subiendo y bajando incluso durante el mismo municipio. Quizá puede que por esto estén los cálculos infravalorados.

Tabla 9: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero producidas por el tráfico ferroviario del municipio de Sevilla en el año 2013.

Gas	Cantidad en toneladas
Dióxido de carbono.	3.808 toneladas
Óxido Nitroso.	0,1 toneladas
Metano.	0,21 toneladas

⁴⁰ **Consejería de fomento y vivienda. Junta de Andalucía. Mercancías transportadas por RENFE en tráfico nacional por provincia. Años 2006-2007 y Viajeros transportados por RENFE por provincia. Años 2006-2007.**

Tráfico marítimo y fluvial.

Respecto al tráfico marítimo y fluvial calcularemos los gases al ser motores de combustión. Normalmente para motores diésel de baja, media y alta velocidad, también se usa fuel oil.

Para el cálculo de emisiones de dióxido de carbono, metano y óxido nítrico usaremos la fórmula de referencia del IPCC (volumen 2. Capítulo 3. Página 3.47) similar a la del apartado consumo de combustibles fósiles no automoción.

$$\text{Emisiones} = \sum (\text{combustible consumido}_{ab} \times \text{factor de emisión}_{ab})$$

Ecuación 8: Fórmula de cálculo de emisión de Gases de Efecto Invernadero por tráfico marítimo y fluvial por combustible consumido.

Dónde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
Emisión.	= Emisión de dióxido de carbono, metano y óxido nítrico.	Kg.
Combustible consumido.	= Combustible consumido de cada tipo de combustible y motor.	TJ.
Factor de emisión.	= Factor de emisión de cada tipo de combustible y motor.	Kg/TJ.
a.	= Tipo de combustible.	
b.	= Tipo de motor.	

Para el cálculo de las emisiones de este sector también tenemos una insuficiencia de datos que nos impide su cálculo, por lo cual hemos tenido que hacer una media. Puertos del Estado⁴¹ nos proporciona el número de operaciones en los distintos puertos nacionales, y a su vez, las emisiones GEI del sector son obtenidas de la

⁴¹ Memoria de las autoridades portuarias. Puertos del Estado 2013. Puerto de Sevilla.

publicación Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera. Volumen 2: Capítulo 8. Otros medios de transporte. Tabla 8.4.4 y tabla 8.4.10. Ponderamos por la actividad del Puerto de Sevilla y obtenemos las emisiones de este sector en Sevilla.

Tabla 10: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero producidas por el tráfico marítimo y fluvial del municipio de Sevilla en el año 2013.

Tipo.	Gas emitido.	Cantidad toneladas.
Nacional.	Dióxido de carbono.	11.054,8 toneladas.
	Óxido Nitroso.	0,28 toneladas.
	Metano.	0,53 toneladas.
Internacional.	Dióxido de carbono.	79.100,4 toneladas.
	Óxido Nitroso.	2,04 toneladas.
	Metano.	4,17 toneladas.

En este sector no hemos considerado los barcos de pasajeros que llegan al Puerto de Sevilla ya que no disponemos de datos sobre las emisiones de este tipo de turismo para calcularlo.

Aviación civil.

Las emisiones procedentes de la aviación son el resultado de la quema de combustibles de reactores de queroseno y gasolina para motor a reacción (menos del 1%).

Para el cálculo usamos la metodología propuesta por el IPCC (volumen 2. Capítulo 3. Página 3.59). Necesitamos conocer la cantidad y naturaleza de las operaciones de la aeronave, tipo y eficacia de motores, combustible utilizado, duración del vuelo, configuración de potencia, el tiempo usado para cada etapa del vuelo, y en menor medida, la altitud a la cual se emiten los gases de escape.

Distinguimos dos etapas en el cálculo de emisiones, primero el cálculo en el despegue y aterrizaje (LTO) y luego el cálculo en vuelo de crucero, por encima 3.000 pies (914 metros). Por lo cual las fórmulas de cálculo son:

Total de emisiones = Emisiones LTO + Emisiones de crucero.

Ecuación 9: Fórmula de cálculo de emisión de Gases de Efecto Invernadero por aviación civil por consumo de combustible.

Emisiones de LTO = Cantidad de LTO x LTO del factor de emisión

Ecuación 10: Fórmula de cálculo de emisión de Gases de Efecto Invernadero en la fase de despegue y aterrizaje por consumo de combustible.

Consumo de combustibles LTO = Cantidad de LTO x Consumo de combustible por LTO

Ecuación 11: Fórmula de cálculo del consumo de combustible en la fase de despegue y aterrizaje.

Emisiones de crucero = (Consumo total de combustible - Consumo de combustible del LTO) x Crucero del factor de emisión.

Ecuación 12: Fórmula de cálculo de emisión de Gases de Efecto Invernadero en la fase de crucero por consumo de combustible.

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
Emisiones de crucero.	= Emisión de dióxido de carbono, metano y óxido nítrico durante la etapa de crucero.	Kg.
Consumo total de combustible.	= Consumo total de combustible.	TJ.
Consumo de combustible de la LTO.	= Consumo de combustible de la LTO.	TJ.

Como no disponemos de los datos necesarios para su cálculo, hemos obtenido las emisiones igual que en los apartados anteriores tráfico marítimo y fluvial, y ferroviario.

Hemos obtenido las operaciones del Aeropuerto de Sevilla⁴² y hemos hecho una media con las emisiones nacionales (Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera. Volumen 2: Capítulo 8. Otros medios de transporte. Tabla 8.5.6).

Tabla 11: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero producidas por la aviación civil del municipio de Sevilla en el año 2013.

Tráfico aéreo	Gases	Emisiones en toneladas.
Fase de despegue y aterrizaje.	Dióxido de carbono.	46.300 toneladas.
	Óxido Nítrico.	1,46 toneladas.
	Metano.	1,39 toneladas.
Navegación de crucero.	Dióxido de carbono.	363.100 toneladas.
	Óxido Nítrico.	91,6 toneladas.
	Metano.	0 toneladas.

⁴² Dirección de Operaciones, seguridad y servicios. Departamento de estadística. Tráfico de pasajeros operaciones y carga en los aeropuertos españoles. 2013. Disponible en la página web de AENA.

Otros tipos de transporte.

Para el municipio de Sevilla en el caso de otro tipo de transportes solo analizaremos los tractores industriales. Según el dato proporcionado por la DGT, en Sevilla existen matriculados 1.560 tractores a diciembre de 2013. Como es lógico la manipulación de esta maquinaria expulsa Gases de Efecto Invernadero. Sabemos que la potencia media de los motores de los tractores en España es 74,5 CV (datos proporcionados por el MAGRAMA⁴³). Este dato es importante pues las emisiones dependen de los CV. El Ministerio de Industria recomienda que se le aplique a los tractores un factor de corrección del 0,8 ya que muchos están parados y también especifica que los tractores tienen un factor de consumo (g/CVh) de 84,5 y unas horas/año de funcionamiento por labores agrícolas de 450. Para estimar el tiempo por desplazamientos, asumimos que en tal operación fue invertido un 6,5% del tiempo en funcionamiento. Por lo cual:

Tabla 12: Características necesarias para el cálculo de emisiones procedentes de los tractores agrarios.

Tractores.	1.560 tractores.
CV (censo).	116.220 CV.
CV (censo) con factor de corrección (0.8).	92.976 CV.
Horas/año funcionamiento labores agrícolas.	450 horas al año.
Factor consumo (g/CVh).	84,50 g/CVh.
Consumo labores.	3.535,41 toneladas.
Consumo transporte.	229,80 toneladas.
Consumo resultante.	3.765,21 toneladas.

Una vez estimados los datos anteriores, aplicamos la siguiente ecuación propuesta por el IPCC (volumen 2, Capítulo 3, Página 3.34).

⁴³ **Análisis del parque nacional de tractores agrícolas 2005-2006. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.**

$$\text{Emisión} = \sum (\text{N}_{ij} \times \text{H}_{ij} \times \text{P}_{ij} \times \text{LF}_{ij} \times \text{EF}_{ij})$$

Ecuación 13: Fórmula de cálculo de emisión de Gases de Efecto Invernadero por tractores agrarios por consumo de combustible.

Donde:

Parámetro.		Descripción.	Unidad.
Emisión.	=	Emisión en kg.	Kg.
N_{ij} .	=	Población de tractores.	Parámetro.
H_{ij} .	=	Horas de utilización del vehículo i.	Horas.
P_{ij} .	=	Potencia nominal del vehículo i.	kW.
LF_{ij} .	=	Factor de carga.	%.
EF_{ij} .	=	Factor de emisión promedio para tipo de combustible j.	Kg/kWh.
i.	=	Tipo de vehículo todo terreno.	
J.	=	Tipo de combustible.	

Por lo cual obtenemos las siguientes emisiones.

Tabla 13: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero producidas por tractores agrarios en el municipio de Sevilla en el año 2013.

Gas.	Emisiones en toneladas.
Dióxido de carbono.	11.681,27 toneladas.
Metano.	0,65 toneladas.
Óxido nitroso.	4,50 toneladas.

7.3. Otros combustibles fósiles (no automoción).

El uso de combustible para la generación de energía final es algo habitual, ya que no se usa solo la energía eléctrica. Cabe destacar que en este apartado no calcularemos las emisiones de los transportes ya que los motores en los cuales se quema este combustible son distintos a las calderas que se usan normalmente para la quema de este tipo de combustibles. Por esta razón, su factor de emisión es distinto, además existen otros parámetros que también modifican la emisión de gases como son la temperatura del motor o la velocidad del vehículo.

Para el cálculo de emisiones de otros combustibles utilizaremos la siguiente metodología propuesta por el IPCC (volumen 2, Capítulo 2, Página 2.11).

$$\text{Emisiones de CO}_2, \text{NH}_3 \text{ y N}_2\text{O (kg)} = C_{CF} \times Fe$$

Ecuación 14 : Fórmula de cálculo de emisión de Gases de Efecto Invernadero por combustibles fósiles (no automoción).

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
Emisiones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso.	= Las emisiones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso que expulsan los combustibles al ser quemados.	Kg/año.
C_{CF} .	= Consumo de combustible fósil.	Ktep/año.
Fe.	= Factor de emisión.	Kg/Ktep.

El consumo de combustibles fósiles lo hemos obtenido del manual Huella de Carbono de los municipios andaluces (página 73). Y los factores de emisión y poder calorífico lo hemos sacado del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en el Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera (volumen 2. Capítulo 2. Página 2.16 y Volumen 2. Capítulo 1. Página 1.19) a excepción del poder calorífico del gas natural

que lo obtenemos de la publicación Factores de emisión. Registro de la Huella de Carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono del MAGRAMA⁴⁴.

Tabla 14: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero producidas por consumo de combustibles (no automoción) en el municipio de Sevilla en el año 2013.

Productos.	Toneladas o Nm ³ .	Emisiones de dióxido de carbono.	Emisiones de metano.	Emisiones de óxido nitroso.
Gas natural.	85.548.594,26 Nm ³ .	182.708,72 T.	3,26 T.	0,33 T.
Carbón.	467,93 T.	1.286,57 T.	0,04 T.	0,01 T.
Fuelóleo.	2.850,91 T.	8.914,68 T.	0,35 T.	0,07 T.
Gasóleo no automoción.	26.517,9 T.	84.493,98 T.	3,42 T.	0,68 T.
Butano.	5.942,72 T.	16.985,72 T.	0,28 T.	0,03 T.
Propano.	7.372,16 T.	21.071,40 T.	0,34 T.	0,03 T.
Emisiones totales en Toneladas.		315.461,09 T.	7,68 T.	1,15 T.

7.4. Industria.

La industria es algo bastante complejo de calcular, al tener cada tipo de industria unas emisiones asociadas y que convertirían el manejo de datos en algo demasiado extenso en aquellas ciudades donde éste sea un sector importante. Además se presenta la tesitura de sobreestimar las emisiones ya que si contamos el combustible que usan se puede sobreestimar al estar contabilizado en combustibles no automoción e industria, pero algunos manuales la tienen en cuenta y por lo cual se debería contabilizar. Las industrias emisoras están en un registro, concretamente en España

⁴⁴ Registro de la Huella de Carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono. Abril 2015. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

están en el Registro PRTR-España (Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes).

Este registro se puede consultar en la página <http://www.prtr-es.es/> donde podemos consultar las industrias emisoras establecidas en la ciudad y sus emisiones. En el caso de Sevilla son 0 las emisiones de Gases de Efecto Invernadero. También hay que decir que la industria en Sevilla es escasa o casi nula (consultar apartado contexto de la ciudad).

7.5. Tratamiento y eliminación de residuos.

En la eliminación y tratamiento de residuos se producen emisiones de Gases de Efecto Invernadero a través de descomposición aeróbica o anaeróbica, o la incineración. Las emisiones de GEI de los residuos sólidos se realizarán mediante el cálculo de los distintos métodos de eliminación, es decir, los vertederos, tratamiento biológico, la incineración y la quema a cielo abierto. Si el metano es recuperado en vertederos e instalaciones de tratamiento de aguas residuales y quemado como fuente de energía, estas emisiones van dentro del apartado residuos y, del mismo modo, las emisiones procedentes de la incineración con recuperación de energía.

Residuos sólidos urbanos.

En el sector de la gestión y eliminación de residuos la mayoría de las emisiones provienen de la generación en los vertederos, estos emiten tanto dióxido de carbono como metano. Los residuos orgánicos biodegradables se descomponen por la acción bacteriana a través de una serie de etapas que resultan en la formación de metano y dióxido de carbono y que conllevan un incremento de la biomasa bacteriana. Cabe destacar que solo consideramos las emisiones en vertederos porque la recogida selectiva de ciertos productos (papel, cartón, plástico, vidrios, pilas...) no son reflejadas en los inventarios ya que se revalorizan.

La combinación del metano y dióxido de carbono resultantes de este proceso se conoce con el nombre de gas de vertedero o biogás, reservándose el primero al gas tal cual es generado en el proceso de descomposición de los residuos, mientras el término biogás se reserva para el gas anterior cuando aparece ya mezclado con alguna cantidad de aire⁽³²⁾.

En la fase inicial de la degradación la materia orgánica se rompe en un conjunto de pequeñas moléculas solubles entre las que se incluye una diversidad de azúcares. Éstos se descomponen a su vez en hidrógeno (H₂), dióxido de carbono y una serie de ácidos carboxílicos. Dichos ácidos se convierten posteriormente en ácido acético, el cual junto al hidrógeno y al dióxido de carbono forman el substrato principal para el desarrollo de las bacterias metanogénicas.

Para las estimaciones de las emisiones usaremos la metodología propuesta por el IPCC y modificada en el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en el Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera (volumen 2. Capítulo 9. Páginas 9.33 y 9.40). El IPCC propone una metodología para estimar las emisiones de metano provenientes de los SEDS que se basa en el método de descomposición de primer orden (FOD). En este método se calculan los desechos que se van descomponiendo a lo largo de varias décadas, para lo que necesitaremos datos de los últimos 40 años, de los que carecemos, por lo cual usamos un método más simple que calcula usando solo valores por defecto y cifras anuales, usando la siguiente fórmula.

Emisiones de metano (Gg/año) =

$$(MSW_T \times MSW_F \times MCF \times DOC \times DOC_F \times F \times 16/12 - R) \times (1 - OX)$$

Ecuación 15: Fórmula de cálculo de emisión de metano en residuos sólidos urbanos por descomposición en vertederos.

Emisiones de dióxido de carbono (Gg/año) =

$$(MSW_T \times MSW_F \times MCF \times DOC \times DOC_F \times F \times 44/12 - R) \times (1 - OX)$$

Ecuación 16: Fórmula de cálculo de emisión de dióxido de carbono en residuos sólidos urbanos por descomposición en vertederos.

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
Emisiones de dióxido de carbono.	= Emisiones de dióxido de carbono por RSU.	Gg/año.
Emisiones de metano.	= Emisiones de metano por RSU.	Gg/año.
MSW_T .	= Total de residuos urbanos generados.	Gg/año.
MSW_F .	= Fracción de residuos urbanos depositados en vertederos.	%.
MCF.	= Factor de corrección.	%.
DOC_F .	= Fracción de DOC degradada a biogás (defecto 0,55)	%.
F.	= Fracción del gas x en el biogás (defecto es 0,5).	%.
R.	= Gas recuperado.	Gg/año.
OX.	= Factor de oxidación (defecto 0,1).	%.

Cabe destacar que los parámetros son los mismos excepto el parámetro de la masa del gas que varía debido a que el 50% del gas que se emite es metano y el otro 50% es dióxido de carbono, el biogás es la suma de los dos. Hemos usado los valores por defecto proporcionados por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en el Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera y los datos de los residuos los hemos obtenido de la memoria anual de 2013 de Lipasam⁴⁵.

Tabla 15: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero producidas por los RSU generados en el municipio de Sevilla depositados en vertederos en el año 2013.

Gases.	Emisiones de gases.
Metano.	732,02 toneladas.
Dióxido de carbono.	3.115,56 toneladas.
Biogás.	3.847,59 toneladas.

⁴⁵ Informe de gestión de Lipasam (2013). Ayuntamiento de Sevilla.

El Biogás recuperado va a ser quemado en la misma instalación con el fin de la generación de energía para el mantenimiento de la propia instalación, por ello va a ser revalorizado para obtener energía final en forma de electricidad, por esta razón lo contabilizamos. El procedimiento de cálculo es el empleado en combustibles no automoción, es decir a un combustible se le aplica el factor de emisión. Cabe destacar que éste caso solo contabilizamos la cantidad de metano, no la de dióxido de carbono, ya que este no puede ser quemado para la generación de energía. Este último será contabilizado pero no como biogás sino como dióxido de carbono simplemente.

Tabla 16: Emisiones Gases de Efecto Invernadero producidas por el gas de vertedero recuperado por los RSU generados en el municipio de Sevilla depositados en vertederos en el año 2013.

Gases.	Emisiones de gases.
Metano.	0,04 toneladas.
Dióxido de carbono.	2.014,41 toneladas.
Óxido nitroso.	0,0036 toneladas.

Para el cálculo usamos la fórmula que se usa en otros combustibles (ecuación 13), es decir el metano o en este caso gas de vertedero (que es como se llama en los manuales debido a que no solo es metano) por su factor de emisión.

Estas emisiones son sumadas a las de dióxido de carbono calculado anteriormente como biogás.

Tabla 17: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por RSU con revalorización generados en el municipio de Sevilla depositados en vertederos en el año 2013.

Gases.	Emisión de gases por actividad.		Total.
	Valorización.	No Valorización.	
Dióxido carbono.	2.014,41 toneladas.	3.115,56 toneladas.	5.129,97 toneladas.
Metano.	0,04 toneladas.	0 toneladas.	0,04 toneladas.
Óxido nitroso.	0,0036 toneladas.	0 toneladas.	0,00369 toneladas.
Toneladas de dióxido de carbono equivalentes.	2.016,42 toneladas.	3.115,56 toneladas.	5.131,98 toneladas.

Aguas residuales.

Es habitual en el tratamiento de las aguas residuales distinguir entre los tratamientos 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 una combinación de procesos biológicos que promueven la biodegradación de la materia orgánica por los microorganismos. Estos tratamientos incluyen las lagunas de estabilización, los filtros percoladores y los procesos de lodos activados. Los tratamientos terciarios incluyen los procesos destinados a depurar las aguas de otros contaminantes y elementos patógenos mediante su introducción en lagunas de maduración, filtración avanzada, adsorción de carbono, intercambio iónico y desinfección⁽³²⁾.

Emisiones de metano.

Para el cálculo de las emisiones en el sector de las aguas residuales hemos usado la metodología propuesta en el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en el Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera (volumen 2. capítulo 9. Páginas 9.69, 2.70 y 2.71), que modifica la propuesta por el IPCC y también expondremos una fórmula alternativa que hemos elaborado al encontrarnos algunos problemas con el cálculo. Para la estimación de las emisiones se considerarán los tratamientos de la línea de aguas y de la línea de lodos.

Determinación de la DBO en las líneas de agua y de lodos.

La carga orgánica degradable en la línea de aguas (TOW) y en la línea de lodos (TOS) vienen dadas respectivamente por las fórmulas siguientes:

$$TOW_{dom} = P \times D_{dom} \times (1 - DS_{dom})$$

Ecuación 17: Carga orgánica (DBO) en las aguas residuales domésticas y comerciales.

$$TOS_{dom} = P \times D_{dom} \times (DS_{dom})$$

Ecuación 18: Carga orgánica (DBO) en los lodos de depuradora de las aguas residuales domésticas y comerciales.

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
TOW_{dom}	= Carga orgánica en términos de demanda biológica de oxígeno (DBO) contenida en las aguas residuales domésticas y comerciales.	Kg DBO/año.
TOS_{dom}	= Carga orgánica en términos de DBO de los lodos de depuradora de las aguas residuales domésticas y comerciales.	Kg DBO/año.
P.	= Población en miles de habitantes equivalentes servida por las estaciones depuradoras de aguas urbanas.	Número.
D_{dom}	= Carga orgánica degradable en las aguas residuales domésticas y comerciales por cada mil habitantes/año.	Kg DBO/10 ³ habitantes equivalentes.
DS_{dom}	= Fracción de la carga orgánica degradable que de las aguas residuales orgánicas se retira en los lodos.	%.

De forma general, el factor de emisión de metano, tanto en las líneas de aguas como de lodos, se obtiene multiplicando el parámetro B_0 (que representa la capacidad

máxima de producción de metano a partir de una determinada cantidad de materia orgánica degradable presente, ya sea en la línea de agua como en la de lodos) por la suma ponderada de los factores de conversión de metano (MCF) correspondientes a cada tipo de tratamiento por el peso o ponderación que cada tipo de tratamiento tiene en el conjunto de los tratamientos aplicados.

Para las líneas de aguas, los factores $EF_{w,i}$ vienen dados por:

$$EF_{w,i} = B_{oi} \times \sum (WS_{ix} \times MCF_x)$$

Ecuación 19: Factor de emisión de metano de aguas residuales.

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
$EF_{w,i}$	= Factores de emisión para el tipo i de agua residual.	Kg CH ₄ /Kg DBO.
B_{oi}	= Capacidad máxima de producción para el tipo i de agua residual.	Kg CH ₄ /Kg DBO.
WS_{ix}	= Fracción del tipo i de agua residual tratada con el sistema x.	%.
MCF_x	= Factores de conversión de metano para cada tipo de tratamiento x.	%.

Para las líneas de lodos, los factores EF_{sj} vienen dados por:

$$EF_{sj} = B_{oj} \times (SS_{jy} \times MCF_y)$$

Ecuación 20: Factor de emisión de metano de lodos de depuradora.

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
EFsj.	= Factores de emisión para el tipo j de lodos de depuradora.	Kg CH ₄ /Kg DBO.
Boj.	= Capacidad máxima de producción para el tipo j de lodos de depuradora.	Kg CH ₄ /Kg DBO.
WSix.	= Fracción del tipo i de agua residual tratada con el sistema y.	%.
MCFx.	= Factores de conversión de metano para cada tipo de tratamiento y.	%.

Las emisiones en las líneas de aguas y de lodos se obtienen como suma, extendida a todos los tratamientos aplicados, del producto del factor de emisión (EF) correspondiente a cada tipo de tratamiento por la carga de materia orgánica degradable (TOW/TOS) según tratamiento aplicado, y descontando de dicho producto la cantidad de metano recuperado (MR) y que no será emitida como tal a la atmósfera. Finalmente, las emisiones totales se calculan como suma de las emisiones netas (WM/SM), descontadas las recuperaciones de metano, de las líneas de aguas y de lodos. Formalmente, el algoritmo de cálculo se expresa de la siguiente forma:

$$WM = \sum_i (TOW_i \times EF_i - MR_i)$$

Ecuación 21: Fórmula de cálculo de emisión de metano proveniente de aguas residuales.

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
WM.	= Emisión de metano proveniente de las aguas residuales.	Kg/año.
TOWi.	= Carga orgánica total del agua residual tipo i.	Kg DBO/año.
EFi.	= Factor de emisión de metano para aguas residuales del tipo i.	Kg CH ₄ /kg DBO.
MRi.	= Cantidad total de metano recuperado o incinerado proveniente de las aguas residuales del tipo i, el valor por defecto es cero.	Kg.

$$SM = (TOS_j \times EF_j - MR_j)$$

Ecuación 22: Fórmula de cálculo de emisión de metano proveniente de lodos de depuradora.

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
SM.	= Emisión de metano proveniente de los lodos de depuradora.	Kg/año.
TOS _j .	= Carga orgánica total del agua residual tipo j.	Kg DBO/año.
EF _i .	= Factor de emisión de metano para lodos de depuradora del tipo j.	Kg CH ₄ /kg DBO.
MR _i .	= Cantidad total de metano recuperado o incinerado proveniente de las aguas residuales del tipo i, el valor por defecto es cero.	Kg.

En caso de no disponer del metano recuperado y si del porcentaje que se recupera se pueden utilizar las fórmulas hemos elaborado.

$$WM = \sum_i (TOW_i \times EF_i \times MR\%)$$

Ecuación 23: Fórmula de cálculo de emisión de metano proveniente de aguas residuales (ecuación alternativa).

$$SM = \sum_i (TOS_j \times EF_j \times MR\%)$$

Ecuación 24: Fórmula de cálculo de emisión de metano proveniente de lodos de depuradora (ecuación alternativa).

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
MR _% .	= Porcentaje de metano que no se recupera para ser quemado.	%.

El resto de parámetros son idénticos a los expuestos en las fórmulas anteriores.

$$TM = WM + SM$$

Ecuación 25: Fórmula de cálculo de la cantidad de metano proveniente de aguas residuales y lodos de depuradora.

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
TM.	= Cantidad de metano total provenientes de aguas residuales y lodos de depuradora.	Kg.
WM.	= Cantidad total de metano emitida proveniente de aguas residuales.	Kg.
SM.	= Emisión de metano proveniente de los lodos de depuradora.	Kg.

Tabla 18: Emisiones de metano producidas por aguas residuales y lodos de depuradora generados en el municipio de Sevilla en el año 2013.

Tratamiento.	Metano generado.	Metano recuperado.	Metano emitido.
Línea de aguas.	40,18 toneladas.	0 toneladas.	40,18 toneladas.
Línea de lodos.	3.568,09 toneladas.	3.522,42 toneladas.	45,67 toneladas.
Total de metano emitido.			85,85 toneladas año.

Al igual que en apartado residuos urbanos, el metano generado se quema para la generación de energía para el mantenimiento de las propias instalaciones, estas emisiones son las siguientes:

Tabla 19: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del gas de digestión recuperado de aguas residuales generadas en el municipio de Sevilla en el año 2013.

Gases.	Emisiones de gases.
Metano.	177,53 kg.
Dióxido de carbono.	9.693.136,47 kg.
Óxido nitroso.	17,75 kg.

Para el cálculo usamos la fórmula que se usa en otros combustibles, es decir el metano, o en este caso gas de digestión (que es como se llama en los manuales debido a que no solo es metano) por su factor de emisión. Si hacemos el sumatorio total de las emisiones del gas recuperado (valorización) y del no recuperado obtenemos las siguientes emisiones:

Tabla 20: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por aguas residuales generadas en el municipio de Sevilla en el año 2013 con revalorización de metano.

Gases.	Emisión de gases por actividad.		Total.
	Valorización	No Valorización.	
Dióxido carbono.	9.693,13 toneladas.	0 toneladas.	9.693,13 toneladas.
Metano.	0,17 toneladas.	85,85 toneladas.	86,02 toneladas.
Óxido nitroso.	0,017 toneladas.	0 toneladas.	0,017 toneladas.
Toneladas de dióxido de carbono equivalentes.	9.702,395 toneladas.	2.403,8 toneladas.	12.106,195 toneladas.

Emisiones de óxido nitroso.

Las emisiones de óxido nitroso relacionadas con las evacuaciones humanas a los sistemas de saneamiento se deben a la expulsión de las proteínas en la dieta. La metodología seguida para la estimación de estas emisiones es la expuesta en el Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera (volumen 2. Capítulo 9. Página 9.76).

Las emisiones de óxido nitroso se generan a partir del nitrógeno contenido en las proteínas, la cantidad emitida varía intensivamente con el consumo de proteínas per cápita y con el contenido de nitrógeno en las proteínas (volumen 2. Capítulo 9. Página 9.77. Tabla 9.10.2.8.a), y extensivamente con la población. Para la estimación aplicamos la siguiente ecuación.

$$\mathbf{N_2O_{(s)} = Cons_{PROTEINA} \times Fra_{CNPR} \times N_{POB} \times N_{POB} \times EF_6 \times 28/44}$$

Ecuación 26: Fórmula de cálculo de emisión de óxido nitroso en aguas residuales por consumo de proteínas por habitantes.

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
$N_2O_{(s)}$.	= Emisiones provenientes de los sistemas de saneamiento.	Kg N_2O /año.
$Cons_{PROTEINA}$.	= Consumo anual per cápita de proteínas residuales.	Kg/persona/año.
Fra_{CNPR} .	= Fracción de nitrógeno en la proteína (por defecto 0,16).	Kg N/kg proteína.
N_{POB} .	= Número de habitantes.	Persona.
EF_6 .	= Factor de emisión (defecto 0,01).	Kg N_2O /Kg N.
28/44.	= Factor de elevación de masa de N_2 a masa de N_2O .	

Tabla 21: Emisiones de óxido nitroso de aguas residuales generadas en el municipio de Sevilla en el año 2013.

Emisión de óxido nitroso.	61,43 toneladas de óxido nitroso al año.
----------------------------------	---

Incineración de residuos.

Los residuos hospitalarios incluyen materiales como jeringas de plástico, tejidos de origen animal, vendas, telas, restos humanos etc. Estos restos se pueden dividir en cuatro grupos según el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero.

Grupos I y II: Corresponde a residuos asimilables a los residuos domiciliarios. Por ejemplo restos de comidas. Estos residuos son tratados en el apartado residuos sólidos urbanos.

Grupo III: Residuos de hospitales de bajo potencial de infección. Estos restos pueden ser tratados mediante procedimientos de esterilización sin necesidad de recurrir a incineración. Antes solían ser incinerados en España, procedimiento que cambió en la década de los 90.

Grupo IV: Compuesto por los denominados residuos tipo citotóxicos que presentan un alto potencial de infección. Este tipo de residuos son los que emiten GEI al ser incinerados.

Para el cálculo de emisiones usamos la siguiente fórmula (Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera. Volumen 2. Capítulo 9. Página 9,28):

$$\text{Emisiones de CO}_2, \text{NH}_3 \text{ y N}_2\text{O (kg)} = \text{RI} \times \text{Fe}$$

Ecuación 27 : Fórmula de cálculo de emisión de Gases de Efecto Invernadero por incineración de residuos hospitalarios.

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
Emisiones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso.	= Las emisiones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso que expulsan los residuos al ser quemados.	Kg/año.
RI.	= Residuos incinerados.	Toneladas incinerada/año.
Fe.	= Factor de emisión.	Kg/Tonelada incinerada.

Como no tenemos los datos de número de residuos producidos en los hospitales de Sevilla, lo hemos obtenido por el estado español, que da el total de los hospitales españoles (Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera. Volumen 2. Capítulo 9. Tabla 9.2.7.1). Nosotros hemos obtenido la proporción que pertenece a Sevilla por el porcentaje de población. Los valores de emisión proceden del Libro guía EMEP/CORINAIR. Capítulo B927 en las tablas 8.3. y 8.4.

Así, tenemos que las emisiones son las siguientes:

Tabla 22: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por incineración de residuos hospitalarios generados en el municipio de Sevilla en el año 2013.

Gases.	Emisión.
Dióxido de carbono.	43.132,50 kg.
Óxido nitroso.	7,99 kg.

Al no encontrarse en las tablas valores de emisión para el metano sacamos la conclusión de que este es 0.

Cabe comentar que los parámetros de emisión no cuentan los combustibles empleados en la incineración para no sobrestimar las emisiones.

Cremación.

Esta actividad es todavía de uso limitado pero su aceptación está siendo creciente en la población española. En este apartado se reflejan las emisiones a la atmósfera proveniente de la cremación de cadáveres en crematorios, tanto humanos como animales. En el apartado animal no tenemos los datos del total incinerados por lo cual no podemos calcularlos. En el apartado humano si disponemos de los datos necesarios, poseemos los datos nacionales de cremación y dividimos por la población de Sevilla (Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera. Volumen 2. Capítulo 9. Tabla 9.9.1.1). La fórmula de cálculo es igual a la incineración de residuos o las producidas por la quema de otros combustibles (Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera. Volumen 2. Capítulo 9. Página 9.54).

Emisiones de CO₂, NH₃ y N₂O (kg) = C.I x Fe

Ecuación 28 : Fórmula de cálculo de emisión de Gases de Efecto Invernadero por incineración de cadáveres.

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
Emisiones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso.	= Las emisiones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso que expulsan los residuos al ser quemados.	Kg/año.
Cl.	= Cadáveres incinerados.	Cadáver incinerado /año.
Fe.	= Factor de emisión.	Kg/Cadáver incinerado.

La cremación utiliza energía de apoyo, que es suministrada por los combustibles fósiles. Esta energía se descuenta de las emisiones para no tener una sobrestimación. No se dispone de los cadáveres incinerados en Sevilla, pero si en España, obtenidos del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero y estos a través de los distintos cementerios. Los factores de emisión por cadáver incinerado se han obtenido

por las tablas 8.1, 8.2 y 8.3 del Libro guía EMEP/CORINAIR. Capítulo B991. Páginas 7 y 8.

Los gases emitidos en este apartado son:

Tabla 23: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por incineración de cadáveres generados en el municipio de Sevilla en el año 2013.

Gases.	Emisión.
Dióxido de carbono	4.6722 kg.
Metano	95,84 kg.

7.6. Ganadería.

Para el cálculo de las emisiones en el sector de la ganadería hemos partido del método que usa el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en el Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera.

Son cuatro las fuentes en el sector ganadero que producen emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el sector ganadero.

- Emisiones de metano por fermentación entérica.
- Emisiones de metano por gestión de estiércoles.
- Emisiones de óxido nitroso por gestión de estiércoles.
- Emisiones provenientes de las excreciones animales en pastoreo.

Para el cálculo de los cuatro parámetros necesitamos el número de cabeza de ganado. Este lo hemos obtenido de Huella de Carbono de los municipios andaluces. Año 2010-2011 página 72⁽²⁶⁾.

Fermentación entérica.

En este apartado se calculan las emisiones de metano fermentación entérica, es decir, en el aparato digestivo. Esta depende del aparato digestivo de estos animales y de su dieta.

Para el cálculo de la fermentación entérica usaremos la siguiente fórmula propuesta por el IPCC y modificada por el manual del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en el Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera (volumen 2. Capítulo 10. Página 10.110).

$$\text{Emisiones CH}_4 \text{ por fermentación entérica (Kg CH}_4\text{)} = N_T \times Fe_{(MFE)}$$

Ecuación 29: Fórmula de cálculo de emisión de metano por fermentación entérica por número de cabezas de ganado.

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
Emisiones de metano.	= Emisiones de metano por fermentación entérica.	Kg CH ₄ .
N _T .	= Número de cabezas de ganado de la clase T.	Número.
Fe _(MFE) .	= Factor de emisión de ganado de la clase T.	Kg CH ₄ .

La metodología del IPCC propone un factor de emisión determinado para algunas especies (ganado caballar y caprino). Para otras especies no tenemos datos o bien están engrosadas en otras categorías como son mulos y asnos, incluidas en caballar, o ganado vacuno incluido en bobino. Los factores de emisión de algunas especies no vienen en el IPCC por lo cual los obtenemos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en el Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera (volumen 2. Capítulo 10. Tabla 10.4.5) que los calcula mediante dos parámetros:

La energía bruta en la dieta alimentaria (EB) en términos MJ/día. La tasa de conversión a metano de la ingesta (Y_m), que es la fracción de la energía alimentaria convertida a metano.

Respecto a las aves, este no se puede calcular. Además el IPCC no da datos, por lo cual no se tienen en consideración al no existir factor de emisión.

Tabla 24: Emisiones de metano por fermentaciones entéricas generadas en el municipio de Sevilla en el año 2013.

Tipo de Ganado.	Nº cabezas.	Kg de metano por animal.	Total de kg de metano por especie.
Bovinos.	99	103,11 kg.	10.207,89 kg.
Ovinos.	1840	8,64 kg.	15.897,6 kg.
Caprinos.	1749	5 kg.	8745 kg.
Porcinos.	260	0,62 kg.	161,2 kg.
Aves.	95	n.d.	n.d.
Equinos.	2486	18 kg.	4.4748 kg.
Total de emisiones.		79.759,69 kg de metano.	

Gestión de estiércoles.

Emisión de metano.

Los estiércoles emiten metano debido a que estos están compuestos principalmente por materia orgánica, por lo cual al descomponerse en medio anaeróbico las bacterias metanogénicas presentes en el medio dan lugar a la generación de metano.

El cálculo de emisiones de este capítulo es muy similar al del apartado anterior (volumen 2. Capítulo 10. Página 10.120), ya que se multiplica el número de cabezas de ganado por un factor de emisión. Al igual que el factor de emisión por fermentación entérica este tiene dos fuentes. Para ovino, caprino y caballo usamos el factor de emisión que nos proporciona el IPCC, y en el caso de bovino, porcino y aves el factor de emisión es calculado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en el Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera (volumen 2. Capítulo 10. Tabla 10.5.9).

$$\text{Emisiones CH}_4 \text{ por gestión de estiércoles (Kg CH}_4\text{)} = N_T \times Fe_{(GT)}$$

Ecuación 30: Fórmula de cálculo de emisión de metano por gestión de estiércoles por número de cabezas de ganado.

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
Emisiones de metano.	= Emisiones de metano por gestión de estiércoles.	Kg CH ₄ /Año.
N _T .	= Número de cabezas de ganado de la clase T.	Número.
Fe _(GT) .	= Factor de emisión de ganado de la clase T.	Kg CH ₄ / Año x Número.

Los factores de emisión que calcula el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en el Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera los calcula mediante balances alimenticios y necesidades energéticas.

Tabla 25: Emisiones de metano por gestión de estiércoles generados en el municipio de Sevilla en el año 2013.

Tipo de Ganado.	Nº cabezas.	Kg de metano por animal.	Total kg de metano por especie.
Bovinos.	99	72,68 kg.	7.195,32 kg.
Ovinos.	1840	0,23 kg.	423,2 kg.
Caprinos.	1749	0,16 kg.	279,84 kg.
Porcinos.	260	7,59 kg.	1.973,4 kg.
Aves	95	0,036 kg.	3,42 kg.
Equinos.	2486	1,69 kg.	4.201,34 kg.
Total de emisiones.		14.076,52 kilogramos de metano.	

Emisión de óxido nitroso.

En esta categoría se tienen en cuenta el cálculo de emisiones producidas por la gestión de estiércoles sólidos y líquidos (bosta y orina), ya que estos estiércoles se almacenan para luego en la mayoría de los casos ser usados con fines fertilizantes en la agricultura. Usamos la ecuación propuesta por Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en el Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera (Volumen 2. Capítulo 10. Página 10.130).

$$N_2O_{GANADO} \text{ (Kg/año)} = N_2O_{(AWMS)} = \sum [N_{(T)} \times Nex_{(T)} \times (\sum_{J(T)} (A_{WMS(T)} \times EF_{5(AWMS)})$$

Ecuación 31: Fórmula de cálculo de emisión de óxido nitroso por gestión de estiércoles por número de cabezas de ganado.

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
N_2O_{GANADO}	= Emisiones de óxido nitroso provenientes de la producción ganadera.	Kg/año.
$N_2O_{\text{(AWMS)}}$	= Emisiones de óxido nitroso según tipos de manejo de los residuos ganaderos.	Kg/año.
$N_{\text{(T)}}$	= Número de cabezas de la clase T.	Número.
$N_{\text{ex(T)}}$	= Nitrógeno que excreta cada animal de la clase T.	
$A_{\text{WMS(T)}}$	= Fracción de $N_{\text{EX(T)}}$ que es gestionada según alguno de los diferentes sistemas de gestión.	%
T.	= Clase de ganado.	
$J_{\text{(T)}}$	= Sistema de gestión de estiércoles con que se tratan los producidos por la especie T.	

Tabla 26: Emisiones de óxido nitroso por gestiones de estiércoles generados en el municipio de Sevilla en el año 2013.

Tipo de Ganado.	Nº cabezas.	N_2O_{GANADO} (Kg/año).
Bovinos.	99	137,61 kg.
Ovinos.	1840	217,488 kg.
Caprinos.	1749	419,76 kg.
Porcinos.	260	52 kg.
Aves.	95	0,8759 kg.
Equinos.	2486	1.598,49 kg.
Total de emisiones.		2.426,23 kg de óxido nitroso.

Pastoreo.

Para las emisiones provenientes de excreciones animales en pastoreo usamos la misma fórmula que las excreciones en ganadería normal, solo que los parámetros de emisión cambian (ecuaciones 26, 27 y 28), ya que no sufren ningún tratamiento los excrementos y se descomponen directamente sobre el campo, no tenemos datos para calcular este parámetro ya que necesitamos saber el tipo de animal que hace pastoreo y el tipo de campo sobre el que se pastorea.

Por lo cual para calcular las emisiones usamos las emisiones por hectárea de pastoreo que calcula el estado en el Balance del Nitrógeno en la Agricultura Española en el año 2012. Y una vez obtenido el óxido nítrico podemos tener el resultado de metano emitido haciendo una correlación de emisiones con los apartados anteriores.

Tabla 27: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por pastoreo en el municipio de Sevilla en el año 2013.

Gases.	Emisiones.
Óxido nítrico.	0,21 toneladas.
Metano.	0,04 toneladas.

Sumatorio en el sector ganadero.

Para el cálculo total solo tenemos que sumar los resultados de metano y óxido nítrico de los tres apartados anteriores y obtenemos así el total de las emisiones.

Tabla 28: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el sector ganadero generados en el municipio de Sevilla en el año 2013.

Gases.	Emisiones.
Metano.	93,87 toneladas.
Óxido nítrico.	2,63 toneladas.

7.7. Agricultura.

Para el cálculo de las emisiones en el sector de la agricultura hemos partido del método que usa el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en el Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera.

En el Inventario Nacional existen 3 focos de emisión ⁽³²⁾. Vemos que las emisiones de este gas provienen de tres fuentes:

- Emisiones de óxido nitroso provenientes directamente de suelos agrícolas.
- Emisiones de óxido nitroso provenientes indirectamente de la agricultura.
- Emisiones provenientes de otras fuentes.

Directas de suelos agrícolas.

Hemos decidido usar como fuente el manual del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en el Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera (volumen 2. Capítulo 10. Página 10.9) que para el cálculo de emisiones de óxido nitroso provenientes directamente de suelos agrícolas usa una modificación de la expuesta en el manual del IPCC ⁽²³⁾.

Las emisiones de óxido nitroso por los suelos agrícolas son esencialmente de origen biogénico y resultan básicamente de los procesos de nitrificación y desnitrificación que tienen lugar en dichos suelos. La nitrificación consiste en la oxidación microbiana del ion amonio (NH_4^+) a ion nitrato (NO_3^-) y la desnitrificación es la reducción microbiana aerobia del ion nitrato (NO_3^-) a nitrógeno molecular (N_2), generándose en ambos procesos emisiones de óxido nitroso como gas intermedio ⁽³²⁾.

La fórmula de cálculo es:

$$\text{Emisiones de óxido nitroso directas} = [(F_{\text{SN}} + F_{\text{AW}} + F_{\text{BN}} + F_{\text{CR}} + F_{\text{LC}}) \times EF_1] + F_{\text{OS}} \times EF_2$$

Ecuación 32: Fórmula de cálculo de emisión directa de óxido nitroso proveniente de suelos agrícolas por nitrógeno aplicado al suelo.

Donde:

Parámetro.		Descripción.	Unidad.
N_2O directas.	=	Emisiones de óxido nitroso provenientes directamente de los suelos agrícolas.	Kg N/año.
F_{SN} .	=	Cantidad de nitrógeno incorporada en los fertilizantes inorgánicos, descontando el nitrógeno emitido como metano y óxidos de nitrógeno.	Kg N/año.
F_{AW} .	=	Cantidad de nitrógeno contenida en fertilizantes orgánicos (estiércoles), descontando el nitrógeno emitido como metano y óxidos de nitrógeno. Excluyendo el abono incorporado durante el pastoreo de los animales.	Kg N/año.
F_{BN} .	=	Fijación biológica de nitrógeno.	Kg N/año.
F_{CR} .	=	Nitrógeno contenido en los residuos de los cultivos.	Kg N/año.
F_{LC} .	=	Nitrógeno contenido en el compost y los lodos de depuradora aplicados en la agricultura.	Kg N/año.
EF_1 .	=	Factor de emisión para las emisiones provenientes directamente de los suelos agrícolas.	Kg N_2O -N/kg N aplicado.
EF_2 .	=	Factor de emisión para el cultivo de suelos orgánicos (histosoles).	Kg N_2O -N/ha y año.
F_{OS} .	=	Área cultivada de suelos orgánicos ha de histosoles.	Hectáreas.

Cabe destacar que en España según Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera 1990-2011 no hay suelos con histosoles, por lo cual F_{OS} es 0.

A los cultivos se les echan distintos tipos de fertilizantes entre ellos compuestos sintéticos con una alta cantidad de nitrógeno, que con su consiguiente volatilidad es uno de los culpables de la emisión de Gases de Efecto Invernadero en agricultura. Para calcular la emisión de GEI utilizamos la siguiente ecuación.

$$F_{SN} = N_{FERT} \times (1 - \text{Frac}_{GASF})$$

Ecuación 33: Fórmula de cálculo de la cantidad de nitrógeno incorporada en los fertilizantes inorgánicos, descontando el nitrógeno emitido como metano y óxidos de nitrógeno.

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
F_{SN} .	= Cantidad de nitrógeno incorporada en los fertilizantes inorgánicos, descontando el nitrógeno emitido como metano y óxidos de nitrógeno.	Kg N/año.
N_{FERT} .	= Cantidad consumida de fertilizante inorgánico.	Kg N/año.
Frac_{GASF} .	= Fracción de nitrógeno en el fertilizante inorgánico aplicado a los suelos que se volatiliza como metano y óxidos de nitrógeno.	Kg NH_3 -N y NO_x -N/Kg de N aplicado.

Al igual que se añaden fertilizantes sintéticos también se añaden excrementos procedentes de la gestión de residuos ganaderos.

$$F_{AW} = N_{\text{NO-PAST}} \times (1 - (\text{Frac}_{\text{FUEL}} + \text{Frac}_{\text{GASM}}))$$

Ecuación 34: Fórmula de cálculo de la cantidad de nitrógeno incorporada en los fertilizantes inorgánicos, descontando el nitrógeno emitido como metano y óxidos de nitrógeno.

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
F_{AW} .	= Cantidad de nitrógeno contenida en fertilizantes orgánicos (estiércoles), descontando el nitrógeno emitido como metano y óxidos de nitrógeno. Excluyendo el abono incorporado durante el pastoreo de los animales.	Kg N/año.
$N_{EXNO-PAST}$.	= Cantidad de nitrógeno excretado por la cabaña ganadera fuera del régimen de pastoreo.	Kg N/año.
$Frac_{FUEL}$.	= Fracción de nitrógeno contenida en la excreta de la cabaña ganadera utilizada como combustible.	Kg N/kg N total excretado.
$Frac_{GASM}$.	= Fracción de nitrógeno contenida en la excreta de la cabaña ganadera que se volatiliza como metano y óxidos de nitrógeno.	Kg NH_3 -N y NO_x -N/kg N total excretado.

Ciertas plantas tienen la capacidad de fijar nitrógeno asimilándolo para su crecimiento en cantidades notables.

$$F_{BN} = N_{PASTIZALES} + N_{FIJACION}$$

Ecuación 35: Fijación biológica de nitrógeno por cultivos.

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
F_{BN} .	= Fijación biológica de nitrógeno.	Kg N/año.
$N_{PASTIZALES}$.	= Nitrógeno fijado en las zonas de pastoreo exclusivo.	Kg N/año.
$N_{FIJACION}$.	= Nitrógeno fijado por los cultivos herbáceos.	Kg N/año.

En el caso de los pastizales, la variable de actividad son las hectáreas. Estas se multiplican por un factor en función del tipo de pastizal y por otro en función de la

provincia, obteniéndose la materia seca correspondiente a los pastizales en esa provincia. Se supone que el porcentaje de nitrógeno en la materia seca es un 0,255%.

Como hemos comentado anteriormente las plantas fijan nitrógeno. Por lo cual si quedan residuos de estas plantas que no se retiran del campo de cultivo, estas emiten al descomponerse cantidades de nitrógeno.

$$F_{CR} = 2 \times (\text{Cultivo}_O \times \text{Frac}_{NCR O} + \text{Cultivo}_{BF} \times \text{Frac}_{NCR BF}) \times (1 - \text{Frac}_R) \times (1 - \text{Frac}_{QUEM})$$

Ecuación 36: Fórmula de cálculo de nitrógeno contenido en los residuos de los cultivos.

Donde:

Parámetro.		Descripción.	Unidad.
F_{CR} .	=	Nitrógeno contenido en los residuos de los cultivos.	Kg N/año.
Cultivo_O y Cultivo_{BF} .	=	Producción anual de cultivos fijadores y no fijadores, por sus respectivos contenidos en nitrógeno.	Kg/ha.
$\text{Frac}_{NCR O}$.	=	La cantidad total de biomasa aérea que se cosecha y que se retira del campo.	Kg.
Frac_{QUEM} .	=	Representa la fracción que se quema de la biomasa aérea.	%.

Por último también se le añade a los cultivos cantidad de nitrógeno en forma de lodos de depuradoras y compost de poda o residuos.

$$F_{LC} = N_{Lodos} + N_{COMPOST}$$

Ecuación 37: Fórmula de cálculo de nitrógeno contenido en el compost y los lodos de depuradora aplicados en la agricultura.

Donde:

Parámetro.		Descripción.	Unidad.
F_{LC} .	=	Nitrógeno contenido en el compost y los lodos de depuradora aplicados en la agricultura.	Kg N/año.
$N_{COMPOST}$.	=	Nitrógeno presente en el compost.	Kg/año.
N_{LODOS} .	=	Nitrógeno presente en los lodos de depuradora aplicados a los suelos.	Kg/año.

Respecto a la cantidad de nitrógeno en lodos y compost, se ha usado la metodología nacional dada la falta de referencia del IPCC. En el caso de los lodos asumimos las especificaciones del Manual de Buenas Prácticas agrarias del MAPA (BOE, 1999) con un valor del 4%. Por su parte para el contenido de nitrógeno del compost se ha tomado el 1,3% basado en el Manual de Buenas Prácticas Agrarias de la Generalitat de Catalunya (2000)⁴⁶.

Para los parámetros de evaporación de nitrógeno hemos decidido usar el método del ministerio ya que modifica la fórmula original del IPCC y cambia algunos parámetros por defecto para España que el IPCC usa mundiales. Como son los tres siguientes que se exponen a continuación.

$$\text{Frac}_{\text{FUEL}} = 0,0.$$

$\text{Frac}_{\text{GASM}} (\%) = 0,191 \text{ kg } (\text{NH}_3\text{-N} + \text{NO}_x\text{-N}) / \text{kg de N en los fertilizantes inorgánicos aplicados.}$

$\text{Frac}_{\text{GASF}} (\%) = 0,09 (\text{NH}_3\text{-N} + \text{NO}_x\text{-N}) / \text{kg de N excretado por la cabaña ganadera.}$

Para el cálculo de fijación biológica de nitrógeno y nitrógeno contenido en los residuos de los cultivos hemos recurrido al Manual de Buenas Prácticas del IPCC en el capítulo 4. Agricultura. En él observamos las siguientes fórmulas de cálculo.

⁴⁶ **Manual de Buenas Prácticas Agrarias de la Generalitat de Catalunya (2000).**

$$N_{\text{FIJACIÓN}} = 2 \times \text{Cultivo}_{\text{BF}} \times \text{Frac}_{\text{NCRBF}}$$

Ecuación 38: Fórmula de cálculo de la fijación biológica de nitrógeno por cultivos.

Donde:

Parámetro.		Descripción.	Unidad.
$N_{\text{FIJACIÓN}}$	=	Nitrógeno fijado por los cultivos herbáceos.	Kg N/año.
$\text{Cultivo}_{\text{BF}}$	=	Rendimiento de semillas.	Kg/año.
$\text{Frac}_{\text{NCRBF}}$	=	Fracción de biomasa del cultivo constituida por nitrógeno.	%.

Respecto al cálculo de los valores F_{LC} , F_{AW} y F_{SN} , tenemos los siguientes datos obtenidos del Balance del Nitrógeno en la Agricultura Española del año 2012⁴⁷ (tablas 7, 8, 12 y 19).

- Toneladas de nitrógeno aplicadas en la provincia de Sevilla por lodos de depuración.
- Toneladas de nitrógeno aplicadas en la provincia de Sevilla en forma de compost proveniente de RSU.
- Toneladas de nitrógeno en fertilizante usadas en Andalucía.
- Toneladas de nitrógeno aplicadas en la provincia de Sevilla por estiércoles sólidos y purines.

Como estos datos los necesitamos para la ciudad de Sevilla y no para la provincia y la comunidad autónoma, lo que hemos hecho ha sido sacar la media del uso del nitrógeno por hectárea y extrapolarlo a las hectáreas de Sevilla. Por ello partimos de que la hectárea de cultivo se abona con la misma cantidad independientemente del tipo de cultivo que sea.

⁴⁷ Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Balance del Nitrógeno en la Agricultura Española del año 2012. Noviembre 2014.

Para la obtención de los datos de las hectáreas cultivadas en 2013 hemos vuelto a usar el Sistema e Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA).

Para el cálculo de los otros parámetros hemos usado el Balance del Nitrógeno en la Agricultura Española del año 2012. El rendimiento por hectárea lo hemos sacado de superficies y producciones de cultivo del año 2012 del MAGRAMA. Y las hectáreas cultivadas con cada tipo de cultivo provienen SIMA.

Cabe destacar que no todas las plantas fijan nitrógeno. Las plantas que fijan nitrógeno las hemos sacado de Metodología para el Cálculo del Sistema de Indicadores de Diagnóstico y Seguimiento del Cambio Climático (página 4.27). Y son las siguientes:

- Trigo.
- Cebada.
- Maíz.
- Avena.
- Centeno.
- Arroz.
- Sorgo.
- Judías.
- Lentejas.
- Guisantes.
- Patatas.
- Colza.
- Soja.
- Girasol.

Para el cálculo de fijación biológica de nitrógeno y nitrógeno contenido en los residuos de los cultivos, necesitamos el porcentaje de extracción en la planta (kg de nitrógeno para obtener una tonelada de cosecha). Este parámetro lo obtenemos del Balance del Nitrógeno en la Agricultura Española (tabla 1).

Esta publicación nos da el parámetro de extracción de nitrógeno mínimo y máximo por hectárea, y un rendimiento mínimo y máximo, y explican que para obtener el coeficiente de extracción hay que comparar los rendimientos de los cultivos que ellos proporciona con los rendimientos totales, que obtendremos de los rendimientos por provincia que ofrece el estado y aplicamos las siguientes fórmulas (página 12):

Coeficiente de extracción.

$1,5 \times Ext. Max.$	si $Rdto. Prov < \frac{Rdto. Min}{1,5}$
$\left(1 + 1,5 \times \frac{Rdto. Min - Rdto. Prov}{Rdto. Min}\right) \times Ext. Max.$	si $\frac{Rdto. Min}{1,5} \leq Rdto. Prov \leq Rdto. Min$
$\left(Ext. Máx - \frac{(Rdto. Prov - Rdto. Mín) \times (Ext. Máx - Ext. Mín)}{(Rdto. Máx - Rdto. Mín)}\right)$	si $Rdto. Mín \leq Rdto. Prov \leq Rdto. Max$
$Ext. Min$	si $Rdto. Máx. \leq Rdto. Prov.$

Para cultivos leñosos las dos primeras condiciones se sustituyen por:

<p>si $Rdto. Prov \leq Rdto. Prov$</p> <p>Ecuaciones 39: Fórmulas de cálculo del coeficiente de extracción del nitrógeno según el rendimiento del cultivo.</p>

Cabe decir que los coeficientes de extracción cambian en función de cultivos de regadío y cultivos de secano. Esto es debido a que a mayor rendimiento, menor coeficiente de extracción. Una vez determinados los coeficientes de extracción de nitrógeno ya podemos sacar los parámetros de fijación biológica de nitrógeno y nitrógeno contenido en los residuos de los cultivos.

Una vez calculados los parámetros de fijación biológica de nitrógeno y nitrógeno contenido en los residuos de los cultivos, ya podemos sacar el nitrógeno total emitido a la atmósfera. Para ello sumaremos todos los parámetros descritos anteriormente y multiplicaremos por factor de emisión, el resultado total está en kilogramos de óxido nítrico.

Tabla 29: Emisiones de óxido nitroso en agricultura por vía directa generados en el municipio de Sevilla en el año 2013.

Tipo de cultivo.	Emisiones óxido nitroso directas.
Cereales de invierno.	538,71 kg.
Leguminosas grano.	12,70 kg.
Tubérculos consumo humano.	315,68 kg.
Cultivos industriales.	605,42 kg.
Flores y plantas ornamentales.	27,31 kg.
Cultivos forrajeros.	131,34 kg.
Hortalizas.	21,73 kg.
Cítricos.	306,05 kg.
Frutales.	105,26 kg.
Olivares.	241,07 kg.
Pastizales.	0,00063 kg.
Total.	2.432,4 kg óxido nitroso.

Para las emisiones desglosadas por parámetro y especie vegetal mirar el anexo 2. Respecto a las flores ornamentales están en docenas y una docena corresponde a 200 gramos.

Indirectas de la agricultura.

Según las directrices del IPCC las emisiones indirectas de óxido nitroso procedentes del nitrógeno utilizado en la agricultura. Se compondrían de tres parámetros calculables. Que son los siguientes:

- La porción de la deposición atmosférica de óxidos de nitrógeno y amoníaco vinculada al nitrógeno procedente de los fertilizantes sintéticos y el estiércol animal aplicados a los suelos.
- La porción de nitrógeno procedente de la aplicación de fertilizantes sintéticos y estiércol animal que se pierde durante la lixiviación y escorrentía.
- La descarga del nitrógeno de las aguas en ríos o estuarios.

La ecuación básica que figura en las directrices del IPCC modificada por Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en el Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera (volumen 2. Capítulo 10. Página 10.13 y 10.14) para estimar las emisiones indirectas es:

$$N_2O_{INDIRECT} = N_2O_{(G)} + N_2O_{(L)} + N_2O_{(S)}$$

Ecuación 40: Fórmula de cálculo de emisión de óxido nitroso proveniente indirectamente de la agricultura.

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
$N_2O_{INDIRECT}$	= Emisiones de óxido nitroso en unidades de nitrógeno.	Kg N/año.
$N_2O_{(G)}$	= Óxido nitroso producido por la volatilización del nitrógeno de los fertilizantes sintéticos y el estiércol animal aplicados, y su posterior deposición atmosférica como óxidos de nitrógeno y metano.	Kg/año.
$N_2O_{(L)}$	= Óxido nitroso producido por la lixiviación y la escorrentía del nitrógeno procedente del fertilizante y el estiércol aplicados.	Kg de N/año.
$N_2O_{(S)}$	= Óxido nitroso producido por la descarga del nitrógeno procedente de los excrementos humanos en ríos o estuarios.	Kg de N/año.

$$N_2O_{(G)} = (N_{FERT} \times Frac_{GAST} + N_{EX} \times Frac_{GASM} + N_{COMPOST} \times V_{NOX-COMPOST} + N_{LODOS} \times V_{NOX-LODOS}) \times EF_4$$

Ecuación 41: Fórmula de cálculo de óxido nitroso producido por la volatilización del nitrógeno de los fertilizantes sintéticos y el estiércol animal aplicados en agricultura.

Donde los valores:

N_{FERT} , $Frac_{GAST}$, N_{EX} , $Frac_{GASM}$, $N_{COMPOST}$ y N_{LODOS} los hemos calculado en el apartado anterior, y los valores $V_{NOX-COMPOST}$ y $V_{NOX-LODOS}$ representan respectivamente el nitrógeno del compost y los lodos volatilizados como óxidos de nitrógeno, según el IPCC podemos usar el valor de $Frac_{GASM}$, también gracias al IPCC sabemos que EF_4 es 0,01 (kg N_2O -N/kg NH_3 -N y NO_X -N emitido).

$$N_2O_{(L)} = ((N_{FERT} + N_{EX} + N_{COMPOST} + N_{LODOS}) + Frac_{LIXIVIACIÓN}) \times EF_5$$

Ecuación 42: Fórmula de cálculo de óxido nitroso producido por la lixiviación y la escorrentía del nitrógeno procedente del fertilizante y el estiércol aplicados.

Donde $Frac_{LIXIVIACIÓN} \times EF_5$ Según el manual IPCC son 0,3 kg de nitrógeno de fertilizantes químicos y orgánicos y 0,025 kg N_2O -N/kg N lixiviación y escorrentía.

El valor $N_2O_{(S)}$ lo hemos tratado en el apartado gestión de residuos en el apartado de gestión de aguas concretamente en emisiones de óxido nitroso.

Por lo cual al hacer el sumatorio de los dos apartados calculados anteriormente obtenemos los siguientes resultados.

Tabla 30: Emisiones de óxido nitroso en agricultura por vía indirecta generados en el municipio de Sevilla en el año 2013.

Factor de emisión.	Emisiones (kg N_2O -N).
$N_2O_{(G)}$.	0,02 kg N_2O -N.
$N_2O_{(L)}$.	1,50 kg N_2O -N.
$N_2O_{INDIRECT-N}$.	1,52 kg N_2O-N.

Otras fuentes.

La descomposición anaeróbica de material orgánico en los campos de arroz inundados es un proceso generador de emisiones de metano. Para la estimación de sus emisiones se sigue la metodología del IPCC, tomando como factor de emisión el valor específico para España que se encuentra en la tabla 4-9.

$$12 \text{ g CH}_4/\text{m}^2 = 0.12 \text{ t CH}_4/\text{ha}$$

Ecuación 43: Fórmula de cálculo de emisión proveniente de cultivos de arroz.

El municipio de Sevilla no tiene arrozales por lo cual este apartado no hay que calcularlo.

7.8. Sumideros.

Los sumideros son los lugares en los cuales los Gases de Efecto Invernadero, en lugar de ser emitidos, se adsorben. Estos lugares son los compuestos por vegetación. De acuerdo con el Protocolo de Kioto las actividades contabilizadas de acuerdo a los criterios de tierras son:

- Superficie forestal arbolada.
- Superficie de dehesa espesa.
- Superficie de cultivo anual convertido a cultivo leñoso.
- Superficie de tierras agrícolas convertidas a forestales.

Este tipo de sumideros son debido a la capacidad de los cultivos de árboles herbáceos de absorber dióxido de carbono para su crecimiento. Para su cálculo hemos recurrido al manual 1^{er} Inventario de sumideros de CO₂ en Andalucía⁴⁸. En este manual en lugar de determinar la absorción por árboles se hace por hectárea, por lo cual aplicamos la siguiente ecuación para el cálculo.

⁴⁸ 1^{er} Inventario de sumideros de CO₂ en Andalucía (2007) Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Dirección General de Gestión del Medio Natural.

Adsorción de CO₂ = FA x Hectárea_(T)

Ecuación 44: Fórmula de cálculo de absorción de dióxido de carbono en sumideros.

Donde:

Parámetro.	Descripción.	Unidad.
Adsorción de dióxido de carbono	= Absorción de dióxido de carbono en sumideros.	tCO ₂ .
FA.	= Factor de absorción.	CO ₂ /Hectáreas.
Hectárea _(T) .	= Hectáreas de superficie T.	Hectáreas.

Las tasas de secuestro proceden del primer inventario de sumideros de CO₂ en Andalucía, elaborado por la CMAOT (2007). Se aplica 0,42 tC/ha y año para superficies de cultivo leñoso y 1,85 tC/ha y año para las demás actividades.

Tabla 31: Adsorción de dióxido de carbono debido a los sumideros en el municipio de Sevilla en el año 2013.

Tipo de superficie.	Superficie.	Tasa secuestro (tC/ha año).	Absorción (tCO ₂ año).
Forestal arbolada.	58,8 hectáreas.	1,85 tCO ₂ .	108,78 tCO ₂ .
Dehesa espesa.	8,19 hectáreas.	1,85 tCO ₂ .	15,15 tCO ₂ .
Cultivo anual convertido a cultivo leñoso.	0	0	0
Agrícola convertida a forestal.	0	0	0
Total.			123,93 tCO₂ año.

7.9. Energías renovables.

En este apartado no vamos a calcular la emisión producida por energías renovables, sino lo inverso, las emisiones que evitan estas fuentes de energía usadas. Para ello calcularemos las emisiones que se habría emitido si no se usaran estas fuentes de energía limpias. Este apartado no sale en los cálculos de emisiones GEI pero nos parece interesante exponerlo.

Energías renovables incluidas en el mix eléctrico.

En el caso de las energías incluidas en el mix eléctrico calcularemos la energía que se genera con fuentes limpias y, por lo tanto, utilizaremos la misma ecuación que en el cálculo de energía eléctrica solo que cambiaremos el factor de emisión. Calcularemos lo que se emitiría con el nuevo mix eléctrico y le restaremos el ya calculado, así sabremos lo que se ahorra por el uso de este tipo de energía.



Agencia Andaluza de la Energía
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA, INNOVACIÓN, CIENCIA Y EMPLEO

Estructura del consumo primario por fuentes en 2013

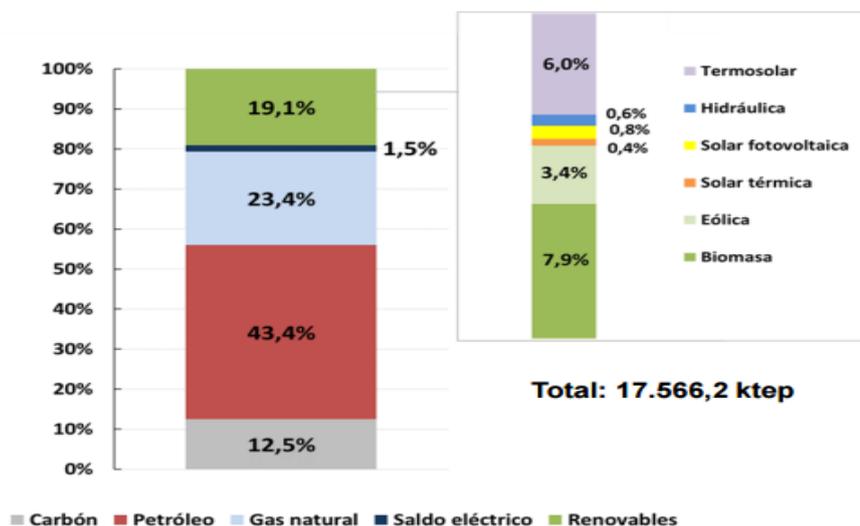


Ilustración 12: Estructura del consumo primario eléctrico por fuente (incluyendo renovables en 2013 en Andalucía).

Fuente: Situación energética de Andalucía. Balance 2013.

Tabla 32: Emisiones evitadas de dióxido de carbono equivalente debido al uso de energía renovable en la producción de electricidad consumida en el municipio de Sevilla en el año 2013.

Sectores.	Toneladas evitadas de CO ₂ e/año.
Agricultura.	587,01 Toneladas CO ₂ e/año.
Industria.	25.763,53 Toneladas CO ₂ e/año.
Comercio-Servicios.	74.498,01 Toneladas CO ₂ e/año.
Sector residencial.	109.370,93 Toneladas CO ₂ e/año.
Administración-servicios públicos.	37.783,52 Toneladas CO ₂ e/año.
Resto.	958,93 Toneladas CO ₂ e/año.
Total.	248.961,85 Toneladas CO₂e/año.

Energías renovables usadas como combustibles.

Al igual que tenemos datos sobre el uso de fuentes de energía de distintos combustibles fósiles, también en la fuente de datos nos informan del uso de energía de origen renovable. Para el cálculo de las emisiones no emitidas usaremos la ecuación que aplicamos en el apartado cálculo de consumo de otros combustibles para generación de energía final, no automoción (ecuación 13). Por lo cual calcularemos la emisión media de los combustibles fósiles y los aplicaremos a esta fuente de generación de energía. De este modo obtendremos una media de las emisiones evitadas.

Tabla 33: Emisiones evitadas de gases de efecto invernadero debido al uso de energía renovable en el consumo de combustibles en el municipio de Sevilla en el año 2013.

Energías renovables.	Consumo.	Emisión de T CO₂.	Emisiones de T CH₄.	Emisiones de T N₂O.
Biomasa.	20.751,87 toneladas.	38.319,82 T.	1,28 T.	0,17 T.
Energía solar.	65.319,89 MWh.	14.422,90 T.	0,35 T.	0,053 T.
Total.		52.873,30 T.	1,63 T.	0,23 T.
Toneladas de CO₂ equivalente.		52.848,57 toneladas.		

Cabe destacar que este apartado es meramente informativo, ya que las energías renovables no emiten Gases de Efecto Invernadero. Lo que si podemos calcular son las emisiones evitadas por usar este tipo de energías.

8. Sumatorio de emisiones.

Para el cálculo total hemos decidido que es más conveniente hacer el análisis en toneladas de CO₂ equivalentes (tCO₂e) ya que homogeneizamos a una sola unidad y podemos comparar el potencial de emisión de Gases de Efecto Invernadero en los distintos sectores. Para comparar el Potencial de Cambio Climático (PCC) hemos recurrido al quinto informe del IPCC que da un potencial de cambio a los distintos Gases de Efecto Invernadero. De esta forma, para expresarnos en toneladas de dióxido de carbono equivalente multiplicamos los gases por su potencial de Cambio Climático y así hacemos un sumatorio de todas las emisiones.

Tabla 34: Potencial de Cambio Climático de distintos gases.

Nombre.	Dióxido de carbono.	Metano.	Óxido nítrico.
Fórmula	CO ₂ .	CH ₄ .	N ₂ O.
Valores de PCC en el segundo informe de evaluación (CO ₂ e) ⁴⁹ .	1	21	310
Valores de PCC en el tercer informe de evaluación (CO ₂ e) ⁵⁰ .	1	23	296
Valores de PCC en el cuarto informe de evaluación (CO ₂ e) ⁵¹ .	1	25	298
Valores de PCC en el quinto informe de evaluación (CO ₂ e) ⁵² .	1	28	265

⁴⁹ IPCC Second Assessment Report. Climate Change 1995. A report of the intergovernmental panel on climate change.

⁵⁰ IPCC Third Assessment Report. Climate Change 2001. A report of the intergovernmental panel on climate change.

⁵¹ IPCC Fourth Assessment Report. Climate Change 2007. A report of the intergovernmental panel on climate change.

Para tomar el valor exacto del potencial de Cambio Climático nos remitimos a la última actualización de IPCC en el quinto informe de evaluación año 2013¹⁸.

Una vez sacado el valor de calentamiento global vamos a hacer un sumatorio de todas las emisiones que hemos calculado y las pasaremos a toneladas de CO₂ equivalente por sector, así podremos sumar posteriormente las emisiones que considera cada metodología.

El cálculo de emisiones GEI lo hemos hecho considerando los gases, dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, y no considerando los gases fluorados. El MAGRAMA los clasifica de la siguiente forma⁵³:

Los hidrofluorocarbonos (HFC) son el grupo más común de gases fluorados. Los HFC son empleados en varios sectores y equipamientos como sustancias refrigerantes. Principalmente podemos encontrar estos gases en sistemas de refrigeración y aire acondicionado, bombas de calor, como agentes espumantes, en extintores de incendios, como propelentes en aerosoles y en disolventes.

Los perfluorocarbonos (PFC) son típicamente empleados en el sector electrónico (por ejemplo, para la limpieza mediante plasma de láminas de silicio), así como en la industria cosmética y farmacéutica (por ejemplo para la extracción de productos naturales como las esencias de origen natural). En menor medida, los PFC también se emplean en refrigeración en combinación con otros gases. En el pasado estas sustancias eran empleadas como extintores de incendios y aún podemos encontrarlas en sistemas antiguos de protección contra incendios.

El hexafluoruro de azufre (SF₆) se emplea principalmente como gas aislante, para el enfriamiento del arco voltaico en equipos de conmutación de alta tensión, y como gas de recubrimiento en la producción de magnesio y aluminio.

⁵² IPCC Fifth Assessment Report. Climate Change 2013. A report of the intergovernmental panel on climate change.

⁵³ http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/gases_fluorados.aspx

Como vemos, los sectores en los que se emplean hacen sumamente complicado su cálculo, y no hemos podido hacerlo al no disponer de datos.

Hemos sumado todos los sectores calculados anteriormente en la siguiente tabla y lo hemos hecho en toneladas de dióxido de carbono, metano y óxido nítrico, haciendo la conversión a toneladas de dióxido de carbono equivalente.

Tabla 35: Sumatorio de emisiones GEI de todos los sectores (elaboración propia).

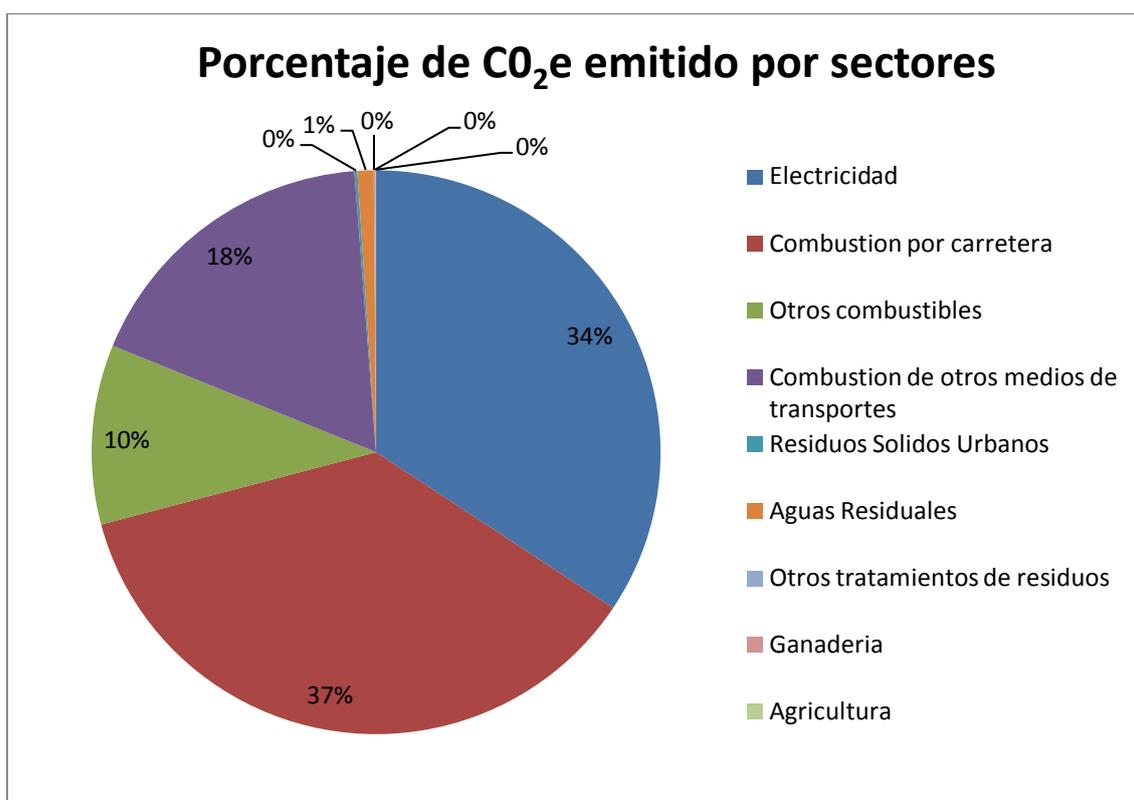
Subsector.	Toneladas CO ₂ .	Toneladas N ₂ O.	Toneladas CH ₄ .	Toneladas CO ₂ equivalentes.
Electricidad.				
Electricidad.	1.054.503,34 T.	0	0	1.054.503,34 T.
Combustión móvil.				
Carreteras.	831.511,00 T.	1.087,80 T.	155,93 T.	1.124.143,22 T.
Ferroviario.	3.808,00 T.	0,10 T.	0,21 T.	3.840,38 T.
Marítimo y fluvial.	90.155,20 T.	2,32 T.	4,70 T.	90.901,60 T.
Aviación.	409.400,00 T.	93,06 T.	1,39 T.	434.099,82 T.
Tractores.	11.681,27 T.	4,50 T.	0,65 T.	12.894,36 T.
Otros combustibles.				
Otros combustibles.	315.461,09 T.	1,15 T.	7,68 T.	315.980,53 T.
Residuos Sólidos Urbanos.				
Dióxido Carbono.	3.115,57 T.	0 T.	0 T.	3.115,57 T.
Metano por combustión.	2.014,41 T.	0,0037 T.	0,04 T.	2.016,42 T.
Aguas Residuales.				
Metano.	0 T.	0 T.	85,85 T.	2.403,80 T.
Metano por combustión.	9.693,14 T.	0,02 T.	0,18 T.	9.702,81 T.
Digestión Proteínas.	0 T.	61,44 T.	0 T.	16.280,64 T.

Tabla 35: Continuación.

Otros tratamientos.				
Incineración hospital.	43,13 T.	0,01 T.	0 T.	45,25 T.
Cremación.	46,72 T.	0 T.	0,01 T.	49,41 T.
Ganadería.				
Fermentación entérica	0 T.	0 T.	79,76 T.	2.233,27 T.
Gestión estiércoles	0 T.	2,43 T.	14,08 T.	1.037,09 T.
Pastoreo	0 T.	0,21 T.	0,04 T.	56,77 T.
Agricultura.				
Directa.	0 T.	2,43 T.	0 T.	638,83 T.
Indirectas.	0 T.	0,0015 T.	0 T.	0,40 T.
Total				
Total.	2.731.432,87 T.	1.255,45 T.	350,60 T.	3.073.943,86 T.

Una vez sumados todos los valores que hemos calculado (ilustración 13), podemos obtener datos de los sectores que más emiten. Más adelante veremos por separado los distintos métodos.

Ilustración 13: Porcentaje de toneladas de dióxido de carbono equivalente emitido por sectores.



Como podemos observar aproximadamente el 99% de las emisiones de dióxido de carbono equivalente provienen de cuatro parámetros (electricidad, combustión por carretera, otros combustibles y otros medios de transporte).

De estos cuatro sectores los parámetros electricidad, combustión por carretera y otros combustibles están en todos los métodos analizados. Sin embargo el sector otros medios de transporte no. Este es el que crea mayores disparidades en el cálculo final.

Una vez hecho este leve análisis, vamos a hacer el sumatorio de las cinco metodologías comentadas anteriormente. Cabe destacar que nosotros no podemos dar una explicación a por qué algunos métodos contabilizan una actividad o no. Aunque eso lo deberían de explicar los que han elaborado el método.

9. Análisis de datos.

Para el análisis de datos vamos a proceder a hacerlo individualmente por metodología, describiendo las peculiaridades de cada una y los sectores que considera que se deben introducir en los inventarios. Los sumatorios serán expuestos en tCO₂e debido a que esta unidad homogeniza las emisiones siendo más fácil la comprensión y manejo de datos.

Cabe recordar que cuando se exponga el apartado sumideros estas emisiones no serán contabilizadas, ya que los sumideros absorben y no emiten.

Cálculo del Sistema de Indicadores de Diagnóstico y Seguimiento del Cambio Climático de la FEMP.

La federación española de municipios no considera los siguientes sectores que nosotros si hemos calculado:

- Otros medios de transporte.
- Emisiones producidas en el tratamiento de aguas residuales.
- Otros tratamientos.

Respecto al apartado agrícola no considera la aplicación de lodos de depuradora ni compost. También el apartado aplicación de residuos ganaderos, es sumado en ganadería y no en agricultura.

Por último, no contabiliza las emisiones en vertederos de dióxido de carbono al considerarlas biogénicas. La metodología que estamos comentando no diferencia entre emisiones directas o indirectas ni distintos alcances.

El sumatorio es el siguiente:

Tabla 36: Sumatorio de emisiones por la metodología de la Federación Española de Municipios y provincias.

Sector.	Subsector.	Emisiones en Toneladas de CO ₂ e.
Energía.	Energía eléctrica.	1.054.503,34 TCO ₂ e.
	Consumo de combustibles (no automoción).	315.980,53 TCO ₂ e.
	Derivadas al transporte.	1.124.143,22 TCO ₂ e.
Ganadería.	Fermentación entérica.	2.233,27 TCO ₂ e.
	Gestión de estiércoles.	1.037,09 TCO ₂ e.
	Producción animal.	56,77 TCO ₂ e.
	Aplicación de estiércol animal.	50,55 TCO ₂ e.
Suelos Agrícolas.	Fertilizantes sintéticos.	485,17 TCO ₂ e.
	Cultivos fijadores nitrógeno.	16,28 TCO ₂ e.
	Cultivos forrajeros.	34,81 TCO ₂ e.
	Residuos de cosechas reintegrados a los suelos.	10,15 TCO ₂ e.
	Cosechas de arroz.	0,00 TCO ₂ e.
	Indirectas.	0,40 TCO ₂ e.
Residuos.	Residuos sólidos Urbanos.	2.016,42 TCO ₂ e.
Sumideros.	Sumideros.	123,93 TCO ₂ e.
Sumatorio Total.		2.500.567,97 TCO₂e.

Cálculo de Huella de Carbono propuesto por Junta de Andalucía.

El siguiente sumatorio analizado será la metodología Huella de Carbono propuesta por la Junta de Andalucía. Este método es algo más completo (ya que considera más focos de emisión) que el propuesto por la FEMP. Comparándolo con nuestros cálculos, no considera los siguientes apartados:

- Otros medio de transporte.
- Otros tratamientos en residuos.

También el apartado pastoreo está incluido en pastizales.

Las emisiones son las siguientes:

Tabla 37: Sumatorio de emisiones por la metodología Huella de Carbono propuesta por la Junta de Andalucía.

Sector.	Subsector.	Emisiones en Toneladas de CO ₂ e.
Consumo energía eléctrica.	Agricultura.	2.486,352 TCO ₂ e.
	Industria.	109.124,09 TCO ₂ e.
	Residencial.	315.543,94 TCO ₂ e.
	Comercial- Servicios.	463.251,77 TCO ₂ e.
	Administración y servicios públicos.	160.035,96 TCO ₂ e.
	Resto de Sectores.	4.061,24 TCO ₂ e.
Tráfico rodado.	Tráfico rodado.	1.124.143,22 TCO ₂ e.
Consumo combustibles no automoción.	Consumo combustibles no automoción.	315.980,53 TCO ₂ e.
Sector Residuos.	Residuos Urbanos.	5.131,99 TCO ₂ e.
Tratamiento de aguas residuales.	Tratamiento de aguas residuales.	12.106,81 TCO ₂ e.
	Consumo humano de proteínas.	16.280,64 TCO ₂ e.
Agricultura.	Directas.	638,83 TCO ₂ e.
	Indirectas.	0,40 TCO ₂ e.
	Arrozales.	0,00 TCO ₂ e.
	Pastizales.	56,77 TCO ₂ e.

Tabla 37: Continuación.

Ganadería.	Fermentación entérica.	2.233,27 TCO ₂ e.
	Gestión de estiércol.	1.037,09 TCO ₂ e.
Sumideros.	Forestal arbolada.	108,78 TCO ₂ e.
	Dehesa espesa.	15,15 TCO ₂ e.
	Cultivo anual convertidas a cultivos leñosos.	0
	Tierras agrícolas convertidas a forestal.	0
Sumatorio total.		2.532.112,90 TCO₂e.

Global Protocol for community-scale Greenhouse Gas emission inventories. An accounting and reporting standard for cities.

La metodología propuesta por el GHG Protocol es una de las más completas. De hecho no disponemos de datos para calcular algunos sectores como por ejemplo emisiones fugitivas de los sistemas de petróleo y gas natural.

Define las emisiones en distintos alcances diferentes a los definidos anteriormente.

- Alcance uno: GEI emitidos por fuentes localizadas dentro de los límites de la ciudad.
- Alcance dos: GEI emitidos por consecuencias del uso de electricidad, calor, vapor o frío dentro de los límites de la ciudad.
- Alcance tres: GEI emitidos por actividades fuera de los límites de la ciudad como consecuencia de actividades desarrolladas dentro de los límites de la ciudad.

Nosotros al analizar las emisiones no vamos a entrar a valorar los distintos alcances.

Tabla 38: Sumatorio de emisiones por la metodología GHG Protocol.

Sector.	Subsector.	Emisiones en Toneladas de CO ₂ e.
Energía estacionaria.	Edificios residenciales.	315.543,94 TCO ₂ e.
	Edificios e instalaciones comerciales e institucionales.	623.287,73 TCO ₂ e.
	Industrias manufactureras y la construcción.	109.124,09 TCO ₂ e.
	Industrias de energía.	11.719,24 TCO ₂ e.
	La generación de energía suministrada a la red.	315.980,53 TCO ₂ e.
	Actividades de Agricultura, Silvicultura y Pesca.	2.486,35 TCO ₂ e.
	Las fuentes no específicas.	4.061,24 TCO ₂ e.
	Emisiones fugitivas de la minería, procesamiento, almacenamiento y transporte de carbón.	- TCO ₂ e.
	Emisiones fugitivas de los sistemas de petróleo y gas natural.	- TCO ₂ e.
Transportes.	Carreteras.	1.124.143,22 TCO ₂ e.
	Trenes.	3.840,38 TCO ₂ e.
	Navegación Fluvial.	90.901,60 TCO ₂ e.
	Aviación.	434.099,82 TCO ₂ e.
	Fuera de carreteras.	12.894,36 TCO ₂ e.
Residuos.	La eliminación de los residuos sólidos.	0,00 TCO ₂ e.
	El tratamiento biológico de los residuos.	3.115,57 TCO ₂ e.
	Incineración y quema a cielo abierto de los residuos.	94,65 TCO ₂ e.
	Aguas residuales.	18.684,64 TCO ₂ e.

Tabla 38: Continuación.

Residuos.	Procesos industriales.	- TCO ₂ e.
	Uso del producto.	- TCO ₂ e.
	Agricultura, silvicultura y otros usos del suelo (AFOLU).	-TCO ₂ e.
	Ganadería.	3.327,14 TCO ₂ e.
	Agricultura.	639,23 TCO ₂ e.
	Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO ₂ en tierra.	- TCO ₂ e.
Sumatorio Total.		3.073.943,86 TCO₂e.

Huella de Carbono de un ayuntamiento por Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Esta metodología propuesta por el MAGRAMA tiene grandes limitaciones pues es una adaptación de una metodología para el cálculo de Huella de Carbono para organizaciones. Trata a un ayuntamiento como una organización, es decir, solo considera cuatro sectores y los considera para los trabajadores del ayuntamiento y no para sus habitantes. Nosotros sí hemos llevado la calculadora a niveles de habitantes, pero al considerar solo cuatro parámetros es limitada. También usa sus propios factores de emisiones que no son los mismos que hemos usado. Respecto al mix eléctrico usa el del estado español mientras nosotros usamos el andaluz. En el apartado movilidad usa un factor de emisión por vehículo ya sea diésel o gasolina cuando existen multitud de vehículos distintos. Para el apartado refrigeración y climatización no disponemos de datos para su cálculo. Otra discrepancia es que no considera el óxido nitroso ni el metano en el cálculo de instalaciones fijas y electricidad.

Divide las emisiones por alcance uno y alcance dos. Siendo los resultados los siguientes:

Tabla 39: Sumatorio de emisiones por la metodología Huella de Carbono de un ayuntamiento por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Alcance.	Sector.	Emisiones en Toneladas de CO₂e.
Alcance 1.	Instalaciones fijas.	306.904,34 TCO ₂ .
	Transporte por carretera.	902.477,96 T CO ₂ e.
	Transporte ferroviario.	3.280 T CO ₂ e.
	Transporte fluvial o marítimo.	85.290 T CO ₂ e.
	Transporte aéreo.	335.930 T CO ₂ e.
	Refrigeración/climatización.	- TCO ₂ e.
Total alcance 1.		1.633.882,30 T CO ₂ e.
Alcance 2.	Electricidad.	930.444,12 TCO ₂ .
Alcance 1+2.		2.564.326,42 T CO₂e.

Bilan Carbone elaborado por ADEME.

Diferencia entre las emisiones directas e indirectas, pero cuestiona esta clasificación ya que comenta que clasificar las emisiones así puede llevar a cuestionar la responsabilidad de estas últimas.

Bilan Carbone tiene dos metodologías que podrían ser aplicadas aquí. Aplicación a las autoridades locales que calcula las actividades llevadas a cabo por el ayuntamiento. Y aplicación a los territorios, la cual consideramos más exacta en el aspecto de nuestra investigación.

Consideramos esta metodología la más exhaustiva llevando el cálculo de emisiones a un nivel que no considera ninguno de los métodos estudiados salvo este. Tiene un apartado llamado desechos a futuro que permite tener en cuenta las emisiones de Gases de Efecto Invernadero generados por la producción de los desechos producidos

por los residentes. De hecho, más allá de las emisiones que tienen lugar al final de la vida (lo que nosotros calculamos en el apartado RSU), se debería hacer una contabilización de la emisión de GEI de su producción. La aprehensión del tonelaje de basuras producidas por el desecho de los principales materiales nos llevará a poder calcular las emisiones en su producción.

Este apartado está más relacionado con el cálculo de análisis de ciclo de vida que con el cálculo de entidades locales, pero trae el concepto de que las emisiones emitidas en la elaboración de productos consumidos dentro de un territorio deben ser contabilizados en este territorio y no en el de producción, pues aunque esto no lo especifica, de no hacerse habría una doble contabilidad.

Consideramos que a día de hoy es imposible hacerlo puesto que no se disponen de datos y llevaría el cálculo a niveles de extrema dificultad.

A la hora de exponer las emisiones hemos congregado las de diversos sectores pues no las tenemos desagregadas, como por ejemplo otros combustibles en los distintos sectores.

Tabla 40: Sumatorio de emisiones por la metodología Bilan Carbone elaborado por ADEME.

Sector.	Subsector.	Emisiones en Toneladas de CO ₂ e.
Industrias energéticas, emisiones en procesos industriales, sector terciario, residencial, agricultura y pesca.	Combustibles fósiles.	327.699,77 TCO ₂ e.
	Electricidad.	1.054.503,34 TCO ₂ e.
	Otros ejemplo (SFC).	- TCO ₂ e
Agricultura y pesca.	El consumo de combustible.	12.894,36 TCO ₂ e.
	Las emisiones de metano y óxido nítrico relacionados con la ganadería (digestión entérica, el tratamiento de los residuos, la difusión).	3.327,14 TCO ₂ e.

Tabla 40: continuación.

Agricultura y pesca.	Las emisiones de óxido nitroso de los fertilizantes.	639,23 TCO _{2e} .
	Fabricación de insumos (fertilizantes, alimentación,...).	- TCO _{2e} .
	Fabricación de equipos mecánicos (tractores, etc.).	- TCO _{2e} .
Tráfico de mercancías y personas.	Carretera.	1.124.143,22 TCO _{2e} .
	Aéreo.	434.099,82 TCO _{2e} .
	Ferroviario.	3.808,00 TCO _{2e} .
	Marítimo.	90.901,60 TCO _{2e} .
Construcción de Edificios y carreteras.	Construcción de Edificios y carreteras.	- TCO _{2e} .
Alimentación.	Fuera del territorio.	- TCO _{2e} .
Desechos.	Desechos.	21.894,86 TCO _{2e} .
Desechos futuros.	GEI generados en la producción de los desechos.	- TCO _{2e} .
Sumatorio de emisiones		3.073.943,86 TCO_{2e}

Como observamos las metodologías tienen discrepancias entre ellas y el número de emisiones varía. La variación se produce en los sectores y en los parámetros de emisión a considerar, pues las fórmulas son similares.

Como observamos en la tabla inferior, la diferencia entre métodos como máximo es de un 18,65%. Variación considerable, pues una variación de estas dimensiones puede crear grandes disparidades y no es asumible en un estudio exhaustivo.

Tabla 41: Comparación de sumatorios de emisiones de métodos analizados.

Método.	Emisiones.
FEMP.	2.500.567,97 tCO _{2e} .
Junta Andalucía.	2.532.112,90 tCO _{2e} .
GHG Protocol.	3.073.943,71 tCO _{2e} .
Huella de Carbono de un ayuntamiento por MAGRAMA.	2.564.326,42 T CO _{2e} .
Bilan Carbone.	3.073.943,71 TCO _{2e} .

Como hemos comentado anteriormente existen discrepancias entre las emisiones calculadas por cada método debido a los sectores introducidos y los parámetros de emisión usados. Observamos que hay dos métodos con el mismo número de emisiones que son GHG Protocol y Bilan Carbone, es debido a que aparte de los sectores que nosotros hemos calculado introducen otros que no podemos calcular por falta de datos, por lo cual llegado a cierto nivel de complejidad no podemos seguir calculando las emisiones de GEI.

10. Conclusiones.

Existe una gran variedad de metodologías para el cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Nosotros hemos identificado las más conocidas y usadas, intentando aplicarlas para el cálculo de emisiones locales.

No todas las metodologías para el cálculo de GEI son aplicables a las entidades locales. Incluso hay metodologías que están elaboradas para territorios, como es el caso de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios de Gases de Efecto Invernadero a nivel nacional, que tampoco tienen validez en el contexto municipal.

Cabe destacar que algunos inventarios para el cálculo de emisiones GEI a nivel local tratan a los ayuntamientos como organizaciones, con pequeñas disparidades respecto a estas. Estas metodologías tampoco pueden ser aplicadas en el contexto local que nosotros abarcamos. Al final hemos identificado cinco metodologías que son válidas para el análisis territorial del ámbito local. Son las comentadas en el apartado 4. Metodologías para el cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

El mayor problema con el que nos encontramos a la hora de elaborar los inventarios son los datos. La falta de datos dificulta el cálculo, teniendo que hacer interpolaciones ya que sí existen datos nacionales, regionales o provinciales, existiendo ciertas carencias en los datos municipales, lo que hace menos exacto este cálculo.

También muchos datos, pese a existir, están desfasados en el tiempo, siendo complicado encontrar datos de años recientes. Por ejemplo, al observar nuestros cálculos nos encontramos que tenemos datos de 2007 y que no existen más recientes, por lo que es una aproximación más que un cálculo exacto.

Esto ocurre al menos en la ciudad de Sevilla, desconociendo otras regiones del territorio español u otros países, pero si es cierto que la Junta de Andalucía dispone de una aplicación y una página web de la cual podemos obtener información útil. (<http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/sima/>)

Los sectores que nosotros catalogamos con un guion (-) son los que no pueden ser calculados debido a que no disponemos de datos. Esto puede hacer que las emisiones a nivel municipal sean parecidas, pues llegado a cierto nivel de cálculo de emisiones no se dispone de datos. Esto ocurre por ejemplo con los métodos GHG Protocol y Bilan Carbone.

Otro problema que puede crear disparidad a la hora de hacer inventarios son los factores de emisión de las actividades. Ya que en algunos casos son distintos dependiendo de la fuente consultada y pueden modificar los parámetros finales. De hecho el único método que ha sido calculado con factores de emisión distintos que es la Calculadora de Huella de Carbono elaborada por el MAGRAMA tiene más emisiones que el método de la Huella de Carbono de la Junta de Andalucía, calculando éste último más sectores que el primero.

Es más, si analizamos la variación de la actividad con dos factores de emisión distintos como los que propone el IPCC y calculadora de Huella de Carbono elaborada por el MAGRAMA, observamos que estos presentan gran disparidad. Por ejemplo, en vehículos por carretera las emisiones varían en un 19,71% y en un 11,76% en electricidad. Con esto se observa que los factores de emisiones pueden causar disparidades tan importantes como los sectores a considerar.

Hemos comparado distintas metodologías para el cálculo de emisiones, llegando a la conclusión de que respecto a las fórmulas de cálculo todas usan o recomiendan las contenidas en el IPCC, salvo la energía eléctrica que todas calculan por el mix eléctrico y los sumideros que los hemos calculado por el método dado por la Junta de Andalucía basado en el Protocolo de Kioto dada su simplicidad, que hace más sencillo el cálculo.

Las diferencias entre los métodos están en los sectores incluidos a calcular y en los factores de emisión. Por lo cual a la hora de hacer un inventario esta decisión marcará la cantidad de emisiones, pudiendo ser estas alteradas con bastante facilidad.

No podemos comparar a Sevilla con otras ciudades, ya que por ejemplo en la ciudad de París, en la que dejando a un lado el turismo, tres sectores son responsables del 80% de la Huella de Carbono de la ciudad: el consumo de energía en los edificios, el transporte de pasajeros y transporte de mercancías (según método Bilan Carbone) se

observa una gran diferencia con Sevilla, siendo en nuestro cálculo aproximadamente el 99%.

Tampoco es extrapolable a otros municipios a nivel nacional, ya que en Sevilla la agricultura y la ganadería suponen un 0,14% (según nuestros cálculos), mientras que en España en 2011 por ejemplo, el 10,9% de los GEI provino de este sector, de hecho esta situación no es extrapolable si quiera a otros países. Si analizamos el caso de otros países como por ejemplo Nueva Zelanda y Uruguay, el 50%⁵⁴ y el 80%⁵⁵ respectivamente provienen de la ganadería⁵⁶, lo que demuestra que cada país, región y localidad debe calcular sus emisiones si quiere actuar sobre el foco más importante de emisión.

También es probable, que si con el método Bilan Carbone se contabilizaran las emisiones de los desechos en su ciudad de consumo, en lugar de en su ciudad de producción, éstas cambiarían notablemente las emisiones de una ciudad como Sevilla, implementándose notablemente, debido a que Sevilla es una ciudad que importa más de lo que exporta, como pudimos ver en el apartado contexto de la ciudad. Sin embargo a otras ciudades más productoras que importadoras les restarían emisiones.

De todas formas no podemos hablar con datos exactos pues como hemos comentado no disponemos de datos oficiales. Lo que sí es evidente es que este es un sector en el cual se puede trabajar para reducir emisiones ya que por ejemplo la Agencia Francesa por el Desarrollo y Promoción de Agricultura Biológica⁵⁷, etiqueta a ciertos productos con la categoría BIO, para lo que tienen que tener unos requisitos, entre ellos ser lo más cercano posible a la zona de venta. Eliminando emisiones de CO₂e en el transporte de los productos.

⁵⁴ MAF (2007). Future focus, Signposts to success for New Zealand's primary industries.

⁵⁵ Martino, D. 2008. Learn Seminar, Montevideo, Uruguay.
www.chilepotenciaalimentaria.cl/content/view/237617/Cientificos-analizan-emisionesagricolas-de-gases-con-efecto-invernadero.html

⁵⁶ Te Ahuwhenua, Te Kai me te Whai Ora. (2010) Revisión de los sistemas de producción vacuna a cielo abierto, en Uruguay y Nueva Zelanda, y la influencia de factores de conducción contemporáneos internos y externos. Farming, Food and Health.

⁵⁷ <http://www.agencebio.org/>

Aunque algunas metodologías diferencian en emisiones directas o indirectas, y distintos alcances, nosotros no hemos entrado a valorar esta clasificación, pues consideramos que todas las emisiones son consecuencia de la actividad del municipio, teniendo todas la misma importancia.

En este proyecto no se ha entrado a valorar la metodología del Pacto de Alcaldes, puesto que está sujeta a otras consideraciones como puede ser por ejemplo su incursión en un inventario de medidas para disminuir las emisiones y no a parámetros estrictamente de actividades de emisión (anexo 1).

Nos encontramos con problemas a la hora de comparar nuestras metodologías con las ciudades adscritas al Pacto de Alcaldes, ya que estas no tienen consenso a la hora de hacer inventarios en los sectores a calcular.

Tampoco tienen consenso con los gases a introducir ya que solo es obligatorio hacer inventario del dióxido de carbono, como describe en estas líneas: *“El Inventario de Referencia de Emisiones (IRE) cuantifica la cantidad de CO₂ emitida debido al consumo de energía en el territorio del municipio (es decir, del Firmante del Pacto). El IRE 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 IRE emisiones de CH₄ y de N₂O”*⁵⁸.

Este modo de contabilizar emisiones crea una problemática evidente, el Pacto de Alcaldes se crea con el firme objetivo de: *“superar el objetivo de la Unión Europea de reducir en un 20% las emisiones de CO₂ antes de 2020”*. Como podemos comprobar en los argumentos expuestos anteriormente esto no se está cumpliendo, ya que no se puede proponer reducir un número determinado de emisiones cuando el método de cuantificación no es completo y ni siquiera es un método igualitario de contabilización, ya que introducir o no una actividad queda a expensas del emisor.

⁵⁸ Paolo Bertoldi, Damian Bornás Cayuela, Suvi Monni, Ronald Piers de Raveschoot (2010). *Guía cómo desarrollar un plan de acción para la energía sostenible (PAES). Covenant of mayors committed to local sustainable energy.*

La metodología más extensa es como hemos comentado la metodología Bilan Carbone pero no la consideramos realista a día de hoy. Además tendríamos que considerar si es conveniente este tipo de medición. Es decir, aparte de las emisiones del municipio, considerar las emisiones en el lugar de consumo de los desechos y no en el lugar de producción.

Por otro lado las metodologías de la FEMP, Junta Andalucía y el MAGRAMA no consideran todos los sectores, sino solo algunos, desconociendo porqué hacen esta distinción. Lo cual crea disparidad en el cálculo como observamos en la tabla 42.

Tabla 42: Comparación de sumatorios de emisiones de métodos analizados.

Método.	Emisiones.
FEMP.	2.500.567,97 tCO ₂ e.
Junta Andalucía.	2.532.112,90 tCO ₂ e.
GHG Protocol.	3.073.943,71 tCO ₂ e.
Huella de Carbono de un ayuntamiento por MAGRAMA.	2.564.326,42 T CO ₂ e.
Bilan Carbone.	3.073.943,71 TCO ₂ e.

Respecto a las distintas metodologías que hemos estudiado consideramos que cuanto mayor exactitud, mejor será el inventario y mejor nos podremos hacer una idea de los GEI que emite una ciudad o región. Los más completos son Bilan Carbone y GHG Protocol, considerando éste último el más adecuado para el cálculo a nivel local.

Con un inventario exacto sí podremos poner números reales a las emisiones que se emiten así como las que se están disminuyendo con las medidas tomadas tanto por entidades públicas como privadas.

No podemos entrar a valorar que factores de emisión son mas exactos, pues todos están hechos por organismos de relevancia internacional y no hemos entrado a analizar las diferencias.

Las distintas metodologías muestran distintas emisiones, no podemos comparar las emisiones de Sevilla con otras ciudades pues los inventarios de emisiones son

difusos. Es decir, no especifican metodologías de cálculo empleadas dificultando las comparaciones entre ciudades y evitando también la exactitud de estos datos. Esto ya ha sido comentado con anterioridad.

Respecto a los factores de emisión hemos utilizado en su mayoría los que proporciona la publicación Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Consideramos que el valor más cercano a las emisiones de Sevilla son 3.073.943,71 tCO₂e debido a que es el resultado de utilizar la metodología del GHG Protocol. Sabemos que estas emisiones no son exactas, pues faltan emisiones por calcular debido a que no disponemos de datos y algunos sectores son calculados con datos desfasados. Consideramos por lo tanto que es importante mejorar este aspecto por parte de las administraciones si se quieren hacer inventarios realistas.

11. Anexo I.

Este anexo recoge las indicaciones para considerar sectores a la hora de hacer IRE municipales. Tabla 2, páginas 94 y 95 del documento Guía cómo desarrollar un plan de acción para la energía sostenible (PAES).

Tabla 43: Sectores que deberían ser incluidos en los IRE/ISE por la metodología del Pacto de Alcaldes.

Fuente: Guía cómo desarrollar un plan de acción para la energía sostenible.

Sector.	¿Incluido?	Nota.
Consumo de energía final en edificios, equipamiento/instalaciones e industrias.		
Edificios y equipamiento/instalaciones municipales.	Si.	Estos sectores abarcan todos los edificios, equipamientos e instalaciones que consumen energía en el territorio del municipio y que no están excluidos más abajo. Por ejemplo, el consumo de energía en las instalaciones de gestión de agua y de residuos se incluye en este sector. Las plantas municipales de incineración también se incluyen aquí, si no se utilizan para producir energía. Para las plantas de incineración de residuos generadoras de energía, véanse las Secciones 3.4 y 3.5.
Edificios y equipamiento/instalaciones del sector terciario (no municipales).	Si.	
Edificios residenciales.	Si.	
Alumbrado público municipal.	Si.	
Industrias que participan en el ETS de la UE.	No.	
Industrias que no participan en el ETS de la UE.	Sí, si está en el PAES.	
Consumo de energía final en el transporte.		
Transporte urbano rodado: flota municipal (p. ej., coches municipales, transporte de residuos, vehículos de emergencia y de policía).	Si.	Estos sectores abarcan todo el transporte rodado de la red viaria que es competencia de la autoridad local.
Transporte urbano rodado: transporte público.	Si.	
Transporte urbano rodado: transporte privado y comercial.	Si.	

Tabla 43: Continuación.

Otros tipos de transporte por carretera.	Sí, si está en el PAES.	Este sector abarca el transporte rodado en carreteras del territorio del municipio que no son de su competencia, por ejemplo, autopistas.
Transporte urbano ferroviario.	Si.	Este sector abarca el transporte urbano ferroviario en el territorio del municipio, como los tranvías, el metro y los trenes locales.
Otros tipos de transporte ferroviario.	Sí, si está en el PAES.	Este sector abarca el transporte ferroviario de larga distancia, interurbano, regional y de mercancías que se lleva a cabo en el territorio del municipio. Este tipo de transporte ferroviario no sólo da servicio al territorio del municipio, sino a un área mayor.
Aviación.	No.	El consumo de energía de los edificios, equipamientos e instalaciones portuarias y aeroportuarios se incluirá como parte de los edificios e instalaciones citados anteriormente, aunque se excluya la combustión móvil.
Transporte marítimo/fluvial.	No.	
Transbordadores (ferris) locales.	Sí, si está en el PAES.	Los transbordadores locales son aquéllos que dan servicio como un transporte público urbano en el territorio del municipio. No es probable que resulten de importancia para la mayoría de los firmantes.
Transporte terrestre no por carretera (p. ej., maquinaria agrícola y de construcción).	Sí, si está en el PAES.	
Otras fuentes de emisiones (no relacionadas con el consumo de energía).		
Emisiones fugitivas procedentes de la producción, transformación y distribución de combustibles.	No.	
Emisiones de los procesos de las plantas industriales que participan en el ETS de la UE.	No.	
Emisiones de los procesos de las plantas industriales que no participan en el ETS de la UE.	No.	
Uso de productos y de gases fluorados (refrigeración, aire acondicionado, etc.).	No.	

Tabla 43: Continuación.

Agricultura (p. ej., fermentación entérica, manejo del estiércol, cultivo del arroz, uso de fertilizantes, quema en el campo de residuos agrícolas).	No.	
Uso del suelo, cambio en la utilización del suelo y silvicultura.	No.	Se refiere a las variaciones del carbono almacenado, por ejemplo en los bosques urbanos.
Tratamiento de aguas residuales.	Sí, si está en el PAES.	Se refiere a las emisiones no relacionadas con la energía, como las emisiones de CH ₄ y N ₂ O, procedentes del tratamiento de aguas residuales. El consumo de energía y las emisiones relacionadas con las instalaciones de aguas residuales se incluyen en la categoría "edificios, equipamiento/instalaciones".
Tratamiento de residuos sólidos.	Sí, si está en el PAES.	Se refiere a las emisiones no relacionadas con la energía, como el CH ₄ de los vertederos. El consumo de energía y las emisiones relacionadas con las instalaciones de tratamiento de residuos sólidos se incluyen en la categoría "edificios, equipamiento/instalaciones".
Producción de energía.		
Consumo de combustibles para la producción de electricidad.	Sí, si está en el PAES.	En general, sólo en el caso de plantas con una potencia < 20 MW combustible, y no forman parte del ETS de la UE.
Consumo de combustibles para la producción de calor/frío.	Si.	Sólo si el calor/frío se suministra como una materia prima a los usuarios finales dentro del territorio.

12. Anexo II.

En este apartado vamos a exponer los parámetros de emisión de óxido nítrico de los distintos cultivos calculados por especie vegetal. Anteriormente han sido expuestos por grupos.

Tabla 44: Emisión de óxido nítrico por especie vegetal en el municipio de Sevilla en el año 2013.

Tipo de cultivo.	Regadío (ha).	Secano (ha).	Emisiones de óxido nítrico.
Tierras ocupadas por cultivos herbáceos.			
Cereales de invierno.			
Trigo.	141	8	107,31 kg.
Cebada.	41	0,0	32,79 kg.
Avena.	6	0,0	6,03 kg.
Triticale.	122	0,0	93,92 kg.
Maíz.	376	2	298,65 kg.
Leguminosas grano.			
Guisante seco.	14	0,0	12,70 kg.
Tubérculos consumo humano.			
Patata extratemprana.	15	0,0	17,79 kg.
Patata temprana.	310	0,0	239,73 kg.
Patata media estación.	25	0,0	25,31 kg.
Patata tardía.	35	0,0	32,84 kg.
Cultivos industriales.			
Algodón.	598	0,0	455,44 kg.
Cacahuete.	14	0,0	12,20 kg.
Girasol.	150	30	137,78 kg.
Flores y plantas ornamentales.			
Plantas ornamentales.	15	0,0	27,31 kg.
Cultivos forrajeros.			
Cereales de invierno para forrajes.	6	50	43,67 kg.
Maíz forrajero.	40	0,0	69,80 kg.
Alfalfa.	10	0,0	17,85 kg.
Hortalizas.			
Col y repollo.	6	0,0	5,07 kg.
Apio.	5	0,0	4,34 kg.
Lechuga.	10	0,0	8,04 kg.
Escarola.	2	0,0	2,16 kg.

Tabla 44: Continuación.

Espinaca.	2	0,0	2,11 kg.
Achicoria verde, endivia, borraja y otras.	2	0,0	2,08 kg.
Sandía.	25	0,0	19,67 kg.
Calabaza y calabacín.	5	0,0	4,97 kg.
Pepino.	2	0,0	1,90 kg.
Berenjena.	1	0,0	1,18 kg.
Tomate.	20	0,0	16,45 kg.
Pimiento.	7	0,0	6,53 kg.
Alcachofa.	2	0,0	1,69 kg.
Coliflor.	2	0,0	1,62 kg.
Cebolla.	15	0,0	12,23 kg.
Cebolleta.	5	0,0	3,82 kg.
Puerro.	3	0,0	2,37 kg.
Zanahoria.	25	0,0	19,43 kg.
Rábano.	2	0,0	1,63 kg.
Nabo y otras.	2	0,0	1,63 kg.
Haba verde.	4	0,0	4,16 kg.
Otras hortalizas.	5	0,0	3,89 kg.
Tierras ocupadas por cultivos leñosos.			
Cítricos.			
Naranja.	276	0,0	208,94 kg.
Naranja amargo.	51	0,0	39,51 kg.
Mandarino.	66	0,0	50,42 kg.
Pomelo.	4	0,0	4,89 kg.
Limero y otros cítricos.	2	0,0	2,26 kg.
Frutales.			
Albaricoquero.	5	0,0	5,25 kg.
Melocotonero.	110	0,0	84,41 kg.
Ciruelo.	20	0,0	15,59 kg.
Olivar.			
Olivar aceituna de mesa.	271	49	241,07 kg.
Barbechos y otras tierras no ocupadas.			
Pastizales.	0,0	20	0,0006375 kg.

13. Abreviaturas.

Entidades.

FEMP.	=	Federación Española de Municipios y Provincias.
IPCC.	=	Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático o Intergovernmental Panel on Climate Change.
PNUMA.	=	Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
CMNUCC.	=	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
ONU.	=	Organización de las naciones unidas.
CMP.	=	Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el Protocolo de Kyoto.
PECC.	=	Primer Programa Europeo sobre el Cambio Climático.
ADEME.	=	Agencia francesa de medio ambiente y gestión de la energía.
AEMA.	=	Agencia Europa de Medio Ambiente.
EMEP.	=	European Monitoring and Evaluation of Pollutants.
GHG Protocol.	=	Greenhouse Gas Protocol.
DGT.	=	Dirección general de tráfico.
MAGRAMA.	=	Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
PRTR-España.	=	Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes.
EEA.	=	European Environment Agency.
CMAOT.	=	Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

Unidades de medida y compuestos químicos.

CO ₂ .	=	Dióxido de carbono.
NH ₃ .	=	Metano.
N ₂ O.	=	Óxido nitroso.
tCO ₂ e.	=	Toneladas de CO ₂ equivalentes.
Ppm.	=	Partes por millón.
Kg.	=	Kilogramos.
HFC.	=	Hidrofluorocarburos.
PFC.	=	Perfluorocarburos.
SF ₆ .	=	Hexafluoruro de azufre.
COVNM.	=	Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos.
NO _x .	=	Óxidos de nitrógeno.
Ktep.	=	Kilotoneladas equivalentes de petróleo.
TJ.	=	Terajulio.
Gg.	=	Gigagramo.
Km.	=	Kilómetros.
CV.	=	Caballos de vapor.
N.	=	Nitrógeno.
PPC.	=	Potencial de Cambio Climático.

Otros

GEI.	=	Gases de Efecto Invernadero.
RSU.	=	Residuos sólidos Urbanos..
SIMA.	=	Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía.
PAES.	=	Plan de Acción para la Energía Sostenible.
IRE.	=	Inventario de Referencia de Emisiones.
BOE.	=	Boletín oficial del estado.
TFEIP.	=	Task Force on Emission Inventories and Projections.
RCDE.	=	Régimen del comercio de emisión de Gases de Efecto Invernadero.
SEDS.	=	Sitios de eliminación de desechos sólidos.
FOD.	=	Método de descomposición de primer orden.
TOW.	=	Línea de aguas.
TOS.	=	Línea de lodos.
MCF.	=	Factores de conversión de metano.
DBO.	=	Demanda biológica de oxígeno.
MAPA.	=	Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

14. Bibliografía.

Publicaciones.

3. Cambio Climático (2007). Informe del Grupo intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático. Informe de síntesis.
4. Resumen del Informe General del IPCC (1990).
5. Naciones Unidas. Asamblea General (1987). Desarrollo y cooperación económica internacional: Medio ambiente. Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.
7. Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1992). La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.
8. Protocolo de Kyoto de la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Naciones Unidas (1997).
14. Comisión Europea (2011). Comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité económico y social europeo y al comité de las regiones. Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050.
16. Global Protocol for community-scale Greenhouse Gas emission inventories. An accounting and reporting standard for cities (2014).
17. Inventario de emisiones a la atmósfera en la comunidad de Madrid años 1990-2010 y avance del año 2011.
18. Granada contra el cambio climático: Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Plan de Acción de Energía Sostenible. 2013.
19. Baseline Energy Inventory and Sustainable Energy Action Plan of Salé & Energy Auditing of Salé City Council (2011).
20. Somoniyon (Tajikistan) (2014). Sustainable Energy Action Plan and Baseline Emissions Inventory.
21. Delivering London's energy future. The Mayor's draft Climate Change Mitigation and Energy Strategy for consultation with the London Assembly and functional bodies (2010).

22. Plan climat de paris. Plan de lutte contre le réchauffement climatique (2007). Mairie de Paris.
23. Piano di azione per l'energia sostenibile della città di roma (2009). Sustainable Energy Action Plan SEAP.
24. Reykjavik's. Baseline emission inventory and sustainable energy action plan (2011). City of Reykavick.
35. Plan de acción de energía sostenible de Sevilla (2013). Agencia de la energía de Sevilla. Ayuntamiento de Sevilla.
37. La vegetación urbana como sumidero de dióxido de carbono (2007). Manuel Enrique Figueroa Clemente.
38. Situación energética de Andalucía, Balance 2013. Agencia andaluza de la energía. Consejería de economía, innovación, ciencia y empleo.
40. Consejería de fomento y vivienda. Junta de Andalucía. Mercancías transportadas por RENFE en tráfico nacional por provincia. Años 2006-2007 y Viajeros transportados por RENFE por provincia. Años 2006-2007.
41. Memoria de las autoridades portuarias. Puertos del estado 2013. Puerto de Sevilla.
42. Dirección de Operaciones, seguridad y servicios. Departamento de estadística. Tráfico de pasajeros operaciones y carga en los aeropuertos españoles. 2013. Disponible en la página web de AENA.
43. Análisis del parque nacional de tractores agrícolas 2005-2006. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación.
44. Registro de la Huella de Carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono. Abril 2015. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
45. Informe de gestión Lipasam (2013). Ayuntamiento de Sevilla.
46. Manual de Buenas Prácticas agrarias de la Generalitat de Catalunya (2000).
47. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Balance del Nitrógeno en la Agricultura Española del año 2012. Noviembre 2014.
48. 1^{er} Inventario de sumideros de CO² en Andalucía (2007). Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Dirección General de Gestión del Medio Natural.
49. IPCC Second Assessment Report. Climate Change 1995. A report of the intergovernmental panel on climate change.

50. IPCC Third Assessment Report. Climate Change 2001. A report of the intergovernmental panel on climate change.
51. IPCC Fourth Assessment Report. Climate Change 2007. A report of the intergovernmental panel on climate change.
52. IPCC Fifth Assessment Report. Climate Change 2013. A report of the intergovernmental panel on climate change..
54. MAF (2007). Future focus, Signposts to success for New Zealand's primary industries.
55. Martino, D. 2008. Learn Seminar, Montevideo, Uruguay. www.chilepotenciaalimentaria.cl/content/view/237617/Cientificos-analizan-emisionesagricolas-de-gases-con-efecto-invernadero.html
56. Farming, Food and Health. Te Ahuwhenua, Te Kai me te Whai Ora (2010). Revisión de los sistemas de producción vacuna a cielo abierto, en Uruguay y Nueva Zelanda, y la influencia de factores de conducción contemporáneos internos y externos.

Manuales de cálculo.

25. Metodología para el cálculo del sistema de indicadores de diagnóstico y seguimiento del Cambio Climático. 2009. Federación Española de Municipios y Provincias.
26. Cálculo de Huella de Carbono propuesto por Junta de Andalucía. Años 2000-2011. 2012.
27. Global Protocol for community-scale Greenhouse Gas emission inventories. An accounting and reporting standard for cities (2014).
28. Calculadora de Huella de Carbono de alcance 1+2 para ayuntamientos. (2007 – 2014). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
29. Bilan Carbone. Entreprises – Collectivités –Territoires. Guide méthodologique-version 6.1 - objectifs et principes de comptabilisation. 2010. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie.
30. UNE-ISO 1069:2015 IN. Gases de Efecto Invernadero. Cuantificación e informe de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero para las organizaciones. Orientación para la aplicación de la Norma ISO 14064-1 (2015).

32. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios de gases de Efecto Invernadero. 2006. Grupo intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático.
39. Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera. 1990-2011. Junio 2013. Análisis por actividades emisoras de la nomenclatura SNAP – 97. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
58. Paolo Bertoldi, Damian Bornás Cayuela, Suvi Monni, Ronald Piers de Raveschoot (2010). Guía cómo desarrollar un plan de acción para la energía sostenible (PAES). Covenant of mayors committed to local sustainable energy.

Páginas web. Consultadas entre enero y noviembre de 2015.

1. Página web de United Nations Framework Convention on Climate Change.
2. <http://www.livescience.com/1292-history-climate-change-science.html>.
6. Página web oficial del IPCC.
10. Página oficial de la ONU.
13. Página web del Pacto de Alcaldes.
15. <http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/Portal-Huella-Carbono.aspx>.
31. <http://www.aenor.es/aenor/inicio/home/home.asp>
33. SIMA. Sistema multiterritorial de la Junta de Andalucía.
34. AEMET. Agencia estatal de meteorología.
36. www.consorciotransportes-sevilla.com/.
53. http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/gases_fluorados.aspx.
57. <http://www.agencebio.org/>.

Leyes.

9. Legislación Europea. 2002/358/CE: Decisión del Consejo, de 25 de abril de 2002.
11. Legislación Europea. 2005/370/CE: Decisión del Consejo de 17 de febrero de 2005 sobre la celebración, en nombre de la Comunidad Europea, del Convenio sobre el acceso a la información, la participación del público en la toma de decisiones y el acceso a la justicia en materia de medio ambiente.

12. Legislación Europea 2002/358/CE: Decisión del Consejo, de 25 de abril de 2002, relativa a la aprobación, en nombre de la Comunidad Europea, del Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y al cumplimiento conjunto de los compromisos contraídos con arreglo al mismo.