

## TESIS DOCTORAL

# ***DESARROLLO DE UN INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS SOBRE PLATAFORMA SIG, APLICACIÓN EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE EUSKADI***

**Alumno:** *IÑAKI ZUAZO URIONABARRENETXEA*

**Directores:** *Dr. D. LUCIO ALONSO ALONSO*

*Dr. D. JOSÉ ANTONIO GARCIA FERNANDEZ*

**Fecha:** noviembre 2018



## TESIS DOCTORAL

***DESARROLLO DE UN INVENTARIO DE  
EMISIONES ATMOSFÉRICAS SOBRE  
PLATAFORMA SIG, APLICACIÓN EN LA  
COMUNIDAD AUTÓNOMA DE EUSKADI***

**Alumno:** *IÑAKI ZUAZO URIONABARRENETXEA*

**Directores:** *Dr. D. LUCIO ALONSO ALONSO*

*Dr. D. JOSÉ ANTONIO GARCIA FERNANDEZ*

**Fecha:** noviembre 2018



*Librea naiz,  
libre jaioa,  
libre edozein lekutan*



## **AGRADECIMIENTOS**

*Me gustaría agradecer a todas las personas que, de una manera u otra, han hecho posible que este trabajo llegue a su fin.*

*En primer lugar, gracias a mis directores de tesis, Lucio y Josean, por la confianza y el aguante, por todos los aportes realizados y por darme la oportunidad de llevar a cabo este trabajo.*

*Gracias a Edu, Naia y Lucía, sus trabajos fin de ciclo ha proporcionado mucha información valiosa, una parte de esta tesis es también de ellos.*

*Gracias a los profesores del Departamento de Ingeniería Química y del Medio Ambiente de la Escuela de Ingeniería de Bilbao, en especial al Grupo de Investigación Atmosférica.*

*Gracias a los profesores del Departamento de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería de la Escuela de Ingeniería de Bilbao, por todo el apoyo dado cuando ha sido necesario.*

*A todas esas personas que, aunque no las mencione siempre están ahí y que diariamente nos hacen la vida un poco más fácil, gracias de todo corazón.*

*Eta bukatzeko, Ainhoa, Bidane eta Ekain, zuengatik ez balitz, guzti honek ez luke inongo zentzurik izango.*

*Eskerrik asko danoi!!!!*



## **RESUMEN**

En este trabajo se presenta un modelo de inventario de emisiones a la atmósfera de partículas y de precursores del ozono (óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles). Actualmente, son los contaminantes con mayor evidencia de generar problemas de salud pública. Este modelo se ha realizado sobre plataforma SIG, para la Comunidad Autónoma de Euskadi y el periodo analizado ha sido entre los años 2007-2015. Las emisiones estudiadas han sido las industriales (siguiendo el modelo E-PRTR), las biogénicas (incluyendo vegetación y agricultura) y las de tráfico por carretera. Además de calcular y geolocalizar las emisiones de los contaminantes, se han analizado las fuentes de emisión para una mejor comprensión de los procesos que intervienen y se pueda utilizar la información en los análisis de calidad del aire.

## **LABURPENA**

Lan honetan atmosferara isurtzen diren partikulen eta ozono aitzindarien (nitrogeno oxidoak eta konposatu organiko hegazkorak) inbentario eredu bat aurkezten da. Gaur egun, ziurtasun handia dago, kutsatzaile hauek direla herri-osasun arazo gehienak sortzen dituztenak. Modelo hau SIG plataformarekin egin da eta Euskal Autonomia Erkidegoa aztertu da, 2007-2015 urteak bitartean. Aztertutako emisioak: industrialak (E-PRTR modeloa erabiliz), biogenikoak (landaretza eta nekazaritza barne) eta errepidetako trafikokoak izan dira. Kutsatzaileen emisioak kalkulatu eta georeferentziatuz gain, kutsadura-iturriak aztertu dira, parte hartzen duten prozesuen ulermena hobetzeko eta horrela informazio hau erabili ahal dadin airearen kalitate-analisietan.

## **ABSTRACT**

This work presents an inventory model of emissions into the atmosphere of particles and ozone precursors (nitrogen oxides and volatile organic compounds), which are currently the pollutants with the greatest evidence of generating public health problems. This model has been carried out on a GIS platform for the Basque Autonomous Community and the analyzed period was between the years 2007-2015. The emissions studied were industrial (following the E-PRTR model), biogenic (including vegetation and agriculture) and road traffic. In addition to calculating and geolocating the emissions of pollutants, emission sources have been analyzed for a better understanding of the processes involved and the information can be used in air quality analyses.



## Índice

1. INTRODUCCIÓN Y ALCANCE .....	1
1.1. INTRODUCCIÓN .....	3
1.2. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA .....	5
1.3. INVENTARIOS DE EMISIONES .....	13
1.4. SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRÁFICA .....	19
1.5. COMUNIDAD AUTONOMA DE EUSKADI .....	23
1.6. OBJETIVOS Y ALCANCE .....	25
2. EMISIONES INDUSTRIALES .....	27
2.1. INTRODUCCIÓN A LAS EMISIONES INDUSTRIALES .....	29
2.1.1. LEGISLACIÓN .....	30
2.2. LA INDUSTRIA EN EUSKADI .....	33
2.3. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE EMISIONES INDUSTRIALES .....	45
2.4. RESULTADOS DEL CÁLCULO DE EMISIONES INDUSTRIALES EN EUSKADI .....	47
2.4.1. EMISIONES INDUSTRIALES DE NO <sub>x</sub> .....	48
2.4.2. EMISIONES INDUSTRIALES DE COVNM.....	51
2.4.3. EMISIONES INDUSTRIALES DE PM <sub>10</sub> .....	54
2.5. FORTALEZAS Y LIMITACIONES DEL INVENTARIO DE EMISIONES INDUSTRIALES .....	57
3. EMISIONES BIOGÉNICAS .....	59
3.1. ANTECEDENTES DE INVENTARIOS BIOGÉNICOS.....	61
3.2. INTRODUCCIÓN A LAS EMISIONES BIOGÉNICAS .....	65
3.2.1. FACTORES QUE AFECTAN A LA EMISIÓN BIOGÉNICA .....	69
3.2.1.1. Factor de emisión de cada tipo de planta (FE).....	69
3.2.1.2. Densidad de biomasa foliar (D).....	70
3.2.1.3. Actividad de emisión a corto plazo (γ).....	71
3.2.1.4. Actividad de emisión a largo plazo (C).....	74
3.3. LA VEGETACION EN EUSKADI .....	77
3.3.1. DISTRIBUCIÓN DE USO FORESTAL .....	81
3.3.1.1. Formaciones forestales arboladas .....	81
3.3.1.2. Formaciones forestales arbustivas o de matorral.....	91
3.3.1.3. Formaciones forestales de herbazal .....	92

3.3.2. DISTRIBUCIÓN DE USO AGRÍCOLA .....	93
3.3.2.1. Prados.....	93
3.3.2.2. Cultivos.....	94
3.4. ANÁLISIS DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN OBTENIDOS DESDE SATÉLITE .....	95
3.4.1. ÍNDICES SATELITALES DE VEGETACIÓN .....	95
3.4.2. APLICACIÓN DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN .....	99
3.5. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE EMISIONES BIOGENICAS .....	105
3.5.1. POTENCIAL DE EMISIÓN (PE) .....	106
3.5.2. FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA Y POR RADIACIÓN .....	117
3.5.3. COEFICIENTE DE ESTACIONALIDAD (C).....	125
3.5.4. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO .....	127
3.6. RESULTADOS DEL CÁLCULO DE EMISIONES BIOGENICAS DE EUSKADI .....	129
3.6.1. EMISIONES BIOGÉNICAS ANUALES EN EUSKADI.....	129
3.6.1.1. Emisiones anuales de isopreno.....	132
3.6.1.2. Emisiones anuales de monoterpenos de síntesis.....	134
3.6.1.3. Emisiones anuales de monoterpenos de almacenamiento .....	136
3.6.1.4. Emisiones anuales de sesquiterpenos.....	138
3.6.1.5. Emisiones anuales de compuesto orgánicos volátiles oxigenados .....	140
3.6.2. EMISIONES BIOGÉNICAS HORARIAS EN EUSKADI .....	142
3.6.3. COMPARATIVA DE EMISIONES CON MEDIDAS DE CONCENTRACIONES EN AIRE AMBIENTE .....	144
3.6.4. COMPARATIVA CON OTROS INVENTARIOS .....	146
3.7. FORTALEZAS Y LIMITACIONES DEL INVENTARIO DE EMISIONES BIOGÉNICAS .....	149
4. EMISIONES DE TRÁFICO .....	151
4.1. ANTECEDENTES DE LAS ESTIMACIONES DE LAS EMISIONES DE TRÁFICO .....	153
4.2. INTRODUCCIÓN A LA CONTAMINACIÓN DEBIDA AL TRÁFICO .....	157
4.2.1. TIPOS DE EMISIONES DE TRÁFICO .....	158
4.2.1.1. Emisiones de escape.....	159
4.2.1.2. Emisiones evaporativas .....	161
4.2.1.3. Emisiones por desgaste.....	163
4.2.1.4. Emisiones por otros motivos.....	165
4.2.2. REGULACIÓN DE LA EMISIÓN DE CONTAMINANTES POR VEHÍCULOS DE CARRETERA EN LA UNIÓN EUROPEA .....	166

4.3.	EL TRÁFICO EN EUSKADI .....	171
4.3.1.	CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS .....	171
4.3.2.	PARQUE DE VEHÍCULOS .....	175
4.3.3.	ANÁLISIS DE LA CIRCULACIÓN DE VEHÍCULOS .....	183
4.3.3.1.	Modelización de la red de carreteras .....	186
4.3.3.2.	Nivel 1: Peso del vehículo (ligeros y pesados).....	189
4.3.3.3.	Nivel 2: Categoría de vehículo.....	194
4.3.3.4.	Nivel 3: Combustible.....	195
4.3.3.5.	Nivel 4: Tamaño del vehículo .....	196
4.3.3.6.	Nivel 5: Tecnología del vehículo.....	197
4.3.3.7.	Parque circulante de Euskadi por categoría de vehículos .....	198
4.3.3.8.	Velocidades .....	199
4.3.3.9.	Caracterización temporal del tráfico .....	201
4.4.	METODOLOGÍA DEL CÁLCULO DE EMISIONES DE TRÁFICO .....	209
4.4.1.	CÁLCULO DE EMISIONES EN CALIENTE.....	210
4.4.2.	CÁLCULO DE EMISIONES EN FRÍO .....	215
4.4.3.	CÁLCULO DE EMISIONES EVAPORATIVAS.....	224
4.4.3.1.	Emisión diaria .....	227
4.4.3.2.	Emisiones en reposo.....	228
4.4.3.3.	Emisión por paradas en caliente .....	230
4.4.3.4.	Emisiones en circulación .....	232
4.4.4.	CÁLCULO DE EMISIONES POR DESGASTE .....	234
4.4.4.1.	Desgaste de neumáticos .....	234
4.4.4.2.	Desgaste de frenos .....	235
4.4.4.3.	Desgaste de la carretera.....	236
4.5.	RESULTADOS DEL CÁLCULO DE EMISIONES DE TRÁFICO DE EUSKADI .....	237
4.5.1.	EMISIONES DE TRÁFICO ANUALES DE EUSKADI.....	239
4.5.1.1.	Emisiones de CO .....	239
4.5.1.2.	Emisiones de HC.....	243
4.5.1.3.	Emisiones de NO <sub>x</sub> .....	247
4.5.1.4.	Emisiones de PM <sub>2,5</sub> .....	252
4.5.1.5.	Consumo de Combustible (FC).....	256
4.5.2.	COMPARATIVA CON LA BASE DE DATOS COPERT .....	260
4.5.3.	COMPARATIVA CON COPERT 4 Y COPERT 5 .....	261

4.5.4. COMPARATIVA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE .....	267
4.5.5. ESTUDIO DETALLADO PARA BILBAO .....	269
4.5.6. PROPUESTA DE FACTOR DE EMISIÓN EQUIVALENTE ANUAL .....	271
4.6. FORTALEZAS Y DEBILIDADES DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE TRÁFICO .....	277
5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS .....	281
5.1. CONCLUSIONES .....	283
5.2. PERSPECTIVAS .....	289
REFERENCIAS .....	291
ANEXOS .....	307
ANEXO I: SUBSECTORES REGLAMENTO E-PRTR.....	309
ANEXO II: FACTORES DE EMISIÓN BIOGÉNICOS .....	313
ANEXO III: PARQUE MÓVIL DE EUSKADI.....	317
ANEXO IV: PARQUE CIRCULANTE DE EUSKADI .....	323
ANEXO V: TRÁFICO URBANO DE EUSKADI .....	329
ANEXO VI: FACTORES DE EMISIÓN EN CALIENTE .....	331
ANEXO VII: FACTORES DE EMISIÓN EN FRÍO.....	351

## Figuras

<b>1. Figura:</b> Mapa de la CA de Euskadi con los núcleos de población más importantes. Fuente: GeoEuskadi .....	23
<b>2. Figura:</b> Zonas Climáticas Euskadi. Fuente: Euskalmet .....	24
<b>3. Figura:</b> Localización de las empresas registradas en E-PRTR Euskadi Aire. Año 2010.....	35
<b>4. Figura:</b> Empresas E-PRTR Euskadi sector de la energía. Año 2010.....	36
<b>5. Figura:</b> Empresas E-PRTR Euskadi sector del metal. Año 2010.....	37
<b>6. Figura:</b> Empresas E-PRTR Euskadi sector mineral. Año 2010.....	38
<b>7. Figura:</b> Empresas E-PRTR Euskadi sector químico. Año 2010 .....	39
<b>8. Figura:</b> Empresas E-PRTR Euskadi sector residuos. Año 2010.....	40
<b>9. Figura:</b> Empresas E-PRTR Euskadi sector papel. Año 2010 .....	41
<b>10. Figura:</b> Empresas E-PRTR Euskadi sector ganadería. Año 2010 .....	42
<b>11. Figura:</b> Empresas E-PRTR Euskadi sector alimentación. Año 2010 .....	43
<b>12. Figura:</b> Empresas E-PRTR Euskadi sector otras actividades. Año 2010 .....	44
<b>13. Figura:</b> Emisiones Industriales de NOx en kg.año <sup>-1</sup> . Año 2010.....	50
<b>14. Figura:</b> Emisiones Industriales de COVNM en kg.año <sup>-1</sup> . Año 2010.....	53
<b>15. Figura:</b> Emisiones Industriales de PM <sub>10</sub> en kg.año <sup>-1</sup> . Año 2010.....	56
<b>16. Figura:</b> Fórmula estructural isopreno .....	66
<b>17. Figura:</b> Mapa de Euskadi con Villaverde de Trucios y Treviño en color morado.....	77
<b>18. Figura:</b> Información de cada tesela. Fuente: Mapa Forestal de España.....	78
<b>19. Figura:</b> Tipos estructurales de suelo en Euskadi .....	80
<b>20. Figura:</b> Localización de Pino Radiata .....	82
<b>21. Figura:</b> Localización de Hayas.....	83
<b>22. Figura:</b> Localización de Bosques Mixtos Atlánticos.....	84
<b>23. Figura:</b> Localización de Encinares .....	85
<b>24. Figura:</b> Localización de Quejigares .....	86
<b>25. Figura:</b> Localización de Pino Silvestre .....	87
<b>26. Figura:</b> Localización de Robledales .....	88
<b>27. Figura:</b> Localización de Eucaliptus .....	89
<b>28. Figura:</b> Localización de Pino Laricio .....	90
<b>29. Figura:</b> Localización de Matorrales.....	91
<b>30. Figura:</b> Localización de Herbazales.....	92
<b>31. Figura:</b> Localización de Prados.....	93
<b>32. Figura:</b> Localización de Cultivos .....	94

<b>33. Figura:</b> Diferencia de absorción de radiación. Fuente: Robert Simmon .....	96
<b>34. Figura:</b> Estacionalidad Índice EVI a)9enero2009 b)14abril2009 c)19julio2009 d)23octubre2009	100
<b>35. Figura:</b> Potencial emisión de ISO (FExD) en ( $\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ ) en resolución de 250x250 m <sup>2</sup> .....	108
<b>36. Figura:</b> Potencial emisión de MTS (FExD) en ( $\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ ) en resolución de 250x250 m <sup>2</sup> .....	110
<b>37. Figura:</b> Potencial emisión de MTP (FExD) en ( $\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ ) en resolución de 250x250 m <sup>2</sup> .....	112
<b>38. Figura:</b> Potencial emisión de OVOC (FExD) en ( $\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ ) en resolución de 250x250 m <sup>2</sup> .....	114
<b>39. Figura:</b> Potencial emisión de SQT (FExD) en ( $\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ ) en resolución de 250x250 m <sup>2</sup> .....	116
<b>40. Figura:</b> Red de estaciones de Euskalmet con medida de temperatura .....	118
<b>41. Figura:</b> Modelo Digital de Elevaciones de Euskadi. Altura en (m).....	119
<b>42. Figura:</b> Temperatura (°C) de Euskadi calculada por interpolación a las 12 h del 24 junio 2010 ..	120
<b>43. Figura:</b> Red de estaciones de Euskalmet con medida de radiación.....	121
<b>44. Figura:</b> PAR ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) de Euskadi calculada por interpolación a las 12 h del 24 junio 2010.	122
<b>45. Figura:</b> Factor de corrección ambiental por almacenamiento a las 12h del 24 junio de 2010 .....	123
<b>46. Figura:</b> Factor de corrección ambiental por síntesis a las 12h del 24 junio de 2010.....	123
<b>47. Figura:</b> Índice EVI del producto MODIS MYD13Q1. Día 17 de junio de 2010 .....	125
<b>48. Figura:</b> EVI normalizado del día 17 junio de 2010.....	126
<b>49. Figura:</b> Diagrama de flujo de cálculo de emisiones biogénicas.....	128
<b>50. Figura:</b> Emisión anual de ISO para el año 2010 ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) .....	133
<b>51. Figura:</b> Emisión anual de MTS para el año 2010 ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) .....	135
<b>52. Figura:</b> Emisión anual de MTP para el año 2010 ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) .....	137
<b>53. Figura:</b> Emisión anual de SQT para el año 2010 ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) .....	139
<b>54. Figura:</b> Emisión anual de OVOC para el año 2010 ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ).....	141
<b>55. Figura:</b> Área de emisión (27 km <sup>2</sup> ) considerada alrededor de la estación de Valderejo (altitud en m) .....	144
<b>56. Figura:</b> Modelos de emisión utilizados en Europa. Fuente: ERMES group .....	154
<b>57. Figura:</b> Tipos de emisiones contaminantes en vehículos. Fuente: (Pastorello et al. 2016) .....	159
<b>58. Figura:</b> Emisión en función del tiempo tras un arranque. Fuente: (André et al. 2005) .....	161
<b>59. Figura:</b> Clasificación del Parque de Vehículos .....	173
<b>60. Figura:</b> Asignación de estación de aforo a tramo .....	184
<b>61. Figura:</b> Mapa de carreteras modelizadas de Euskadi. Urbanas (claro) e Interurbanas (oscuro)..	188
<b>62. Figura:</b> IMD 2014 Vehículos Ligeros > 50.000 (granate) > 10.000 (rojo) > 5.000 (naranja).....	192
<b>63. Figura:</b> IMD 2014 Vehículos Pesados > 5.000 (granate) > 1.000 (rojo) > 500 (naranja) .....	193
<b>64. Figura:</b> Tipo de conducción en las carreteras de Euskadi.....	200
<b>65. Figura:</b> Tipos de vía en las carreteras de Euskadi.....	207

<b>66. Figura:</b> Diagrama de flujo para el cálculo de emisiones en caliente.....	214
<b>67. Figura:</b> Diagrama de flujo para el cálculo de emisiones en frío.....	223
<b>68. Figura:</b> Diagrama de flujo para el cálculo de emisiones evaporativas diurnas .....	227
<b>69. Figura:</b> Diagrama de flujo para el cálculo de emisiones evaporativas en reposo.....	229
<b>70. Figura:</b> Diagrama de flujo para el cálculo de emisiones evaporativas por paradas en caliente ..	230
<b>71. Figura:</b> Diagrama de flujo para el cálculo de emisiones evaporativas por circulación.....	232
<b>72. Figura:</b> Emisión CO año 2012 en kg/cuadrícula (250x250 m <sup>2</sup> ).....	242
<b>73. Figura:</b> Emisión HC año 2012 en kg/cuadrícula (250x250 m <sup>2</sup> ).....	246
<b>74. Figura:</b> Emisión NO <sub>x</sub> año 2012 en kg/cuadrícula (250x250 m <sup>2</sup> ).....	251
<b>75. Figura:</b> Emisión PM <sub>2,5</sub> año 2012 en kg/cuadrícula (250x250 m <sup>2</sup> ).....	255
<b>76. Figura:</b> Consumo de combustible FC año 2012 en L/cuadrícula (250x250 m <sup>2</sup> ).....	259
<b>77. Figura:</b> Emisiones anuales NO <sub>x</sub> en kg.cuadrícula <sup>-1</sup> (250x250 m <sup>2</sup> ) Modelo EMIGIA.....	270
<b>78. Figura:</b> Emisiones anuales NO <sub>x</sub> en kg.cuadrícula <sup>-1</sup> (250x250 m <sup>2</sup> ) Modelo Ayuntamiento Bilbao.	270



## Tablas

<b>1. Tabla:</b> % población expuesta a concentraciones de contaminantes superiores a valores de referencia EU y OMS. Años 2013/15. Fuente: EEA 2017 .....	10
<b>2. Tabla:</b> Nº empresas registradas en E-PRTR Euskadi aire .....	33
<b>3. Tabla:</b> Segregación de las emisiones de NOx por sector E-PRTR (Gg.año <sup>-1</sup> ) .....	49
<b>4. Tabla:</b> Top Ten de empresas emisoras de NOx en el año 2015.....	49
<b>5. Tabla:</b> Segregación de las emisiones de COVNM por sector E-PRTR (Gg.año <sup>-1</sup> ) .....	51
<b>6. Tabla:</b> Top Ten de empresas emisoras de COVNM en el año 2015.....	52
<b>7. Tabla:</b> Segregación de las emisiones de PM <sub>10</sub> por sector E-PRTR (Gg.año <sup>-1</sup> ) .....	55
<b>8. Tabla:</b> Top Ten de empresas emisoras de PM <sub>10</sub> en el año 2015. ....	55
<b>9. Tabla:</b> Segregación por defecto de los monoterpenos emitidos (Steinbrecher et al. 2009) .....	67
<b>10. Tabla:</b> Segregación por defecto de los OVOC (Steinbrecher et al. 2009).....	68
<b>11. Tabla:</b> Porcentaje de potencial de emisión de ISO por especie arbórea en Euskadi .....	107
<b>12. Tabla:</b> Porcentaje de potencial de emisión de MTS por especie arbórea en Euskadi .....	109
<b>13. Tabla:</b> Porcentaje de potencial de emisión de MTP por especie arbórea en Euskadi .....	111
<b>14. Tabla:</b> Porcentaje de potencial de emisión de OVOC por especie arbórea en Euskadi.....	113
<b>15. Tabla:</b> Porcentaje de potencial de emisión de SQT por especie arbórea en Euskadi .....	115
<b>16. Tabla:</b> Emisiones de BVOC en Euskadi (Gg).....	130
<b>17. Tabla:</b> Emisiones diarias de BVOC en Euskadi. Periodo 23 junio 2010 – 01 julio 2010 (Mg) .....	143
<b>18. Tabla:</b> Comparativa inventarios emisiones ISO para el año 2010 (Gg) .....	147
<b>19. Tabla:</b> Normativa europea para emisiones de turismos gasolina (g.km <sup>-1</sup> ) .....	167
<b>20. Tabla:</b> Normativa europea para emisiones de turismos diesel (g.km <sup>-1</sup> ) .....	167
<b>21. Tabla:</b> Normativa europea para emisiones de furgonetas gasolina (N1-III) (g.km <sup>-1</sup> ) .....	168
<b>22. Tabla:</b> Normativa europea para emisiones de furgonetas diesel (N1-III) (g.km <sup>-1</sup> ).....	168
<b>23. Tabla:</b> Normativa europea para emisiones de camiones y autobuses (g.kwh <sup>-1</sup> ) .....	169
<b>24. Tabla:</b> Normativa europea para emisiones de ciclomotores (g.km <sup>-1</sup> ).....	169
<b>25. Tabla:</b> Normativa europea para emisiones de motocicletas (g.km <sup>-1</sup> ).....	169
<b>26. Tabla:</b> Diferenciación de vehículos por normativa y año de matriculación .....	170
<b>27. Tabla:</b> Parque de vehículos de Euskadi. Fuente: DGT .....	175
<b>28. Tabla:</b> Distribución de cilindradas de Turismos en Euskadi. Fuente: DGT .....	176
<b>29. Tabla:</b> Distribución de Furgonetas según carga en Euskadi. Fuente DGT.....	176
<b>30. Tabla:</b> Distribución de cilindradas de Motocicletas en Euskadi. Fuente: DGT .....	177
<b>31. Tabla:</b> Distribución por carga de Camiones en Euskadi. Fuente: DGT .....	177
<b>32. Tabla:</b> Distribución por plazas en Autobuses en Euskadi. Fuente: DGT .....	178

<b>33. Tabla:</b> Parque de vehículos según combustible en Euskadi. Fuente: DGT.....	178
<b>34. Tabla:</b> % de Turismos según combustible en Euskadi .....	180
<b>35. Tabla:</b> Parque móvil Euskadi a Nivel 1 (ligeros y pesados).....	182
<b>36. Tabla:</b> Parque móvil porcentual de vehículos ligeros de Euskadi.....	182
<b>37. Tabla:</b> Parque móvil porcentual de vehículos pesados de Euskadi .....	182
<b>38. Tabla:</b> Porcentaje de vehículos Pre-EURO por tipo de vehículo en 2015.....	183
<b>39. Tabla:</b> Segregación por provincias de los km modelados en SIG .....	186
<b>40. Tabla:</b> Carreteras urbanas modelizadas.....	187
<b>41. Tabla:</b> Tráfico interurbano de vehículos ligeros en Euskadi en MMvkm.....	189
<b>42. Tabla:</b> Tráfico interurbano de vehículos pesados en Euskadi en MMvkm .....	189
<b>43. Tabla:</b> Tráfico urbano de vehículos ligeros en Euskadi en MMvkm .....	191
<b>44. Tabla:</b> Tráfico urbano de vehículos pesados en Euskadi en MMvkm.....	191
<b>45. Tabla:</b> Parque circulante en vías interurbanas estimado en Euskadi en %.....	194
<b>46. Tabla:</b> Sondeo parque circulante urbano de Bilbao .....	195
<b>47. Tabla:</b> Factor de uso por combustible .....	195
<b>48. Tabla:</b> Factor de uso por tamaño vehículo.....	196
<b>49. Tabla:</b> Factor de uso por tecnología de reducción de emisiones.....	197
<b>50. Tabla:</b> Comparativa parque censado vs parque circulante para vehículos Pre-EURO en 2015 ....	198
<b>51. Tabla:</b> Coeficientes Diarios .....	202
<b>52. Tabla:</b> Coeficiente Mensual.....	203
<b>53. Tabla:</b> Coeficiente Horario.....	204
<b>54. Tabla:</b> % de cada tipo en vías interurbanas .....	206
<b>55. Tabla:</b> Intensidad de tráfico diario en Euskadi en MMvkm.....	206
<b>56. Tabla:</b> Valor RVP (kPa) en España. Fuente: (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio) .....	225
<b>57. Tabla:</b> Parámetros para calcular emisión diurna en turismos .....	228
<b>58. Tabla:</b> Parámetros para calcular emisión en reposo en turismos .....	229
<b>59. Tabla:</b> Parámetros para calcular emisión por paradas en caliente en turismos preEURO .....	231
<b>60. Tabla:</b> Parámetros para calcular emisión por paradas en caliente en turismos EURO 1 y 2 .....	231
<b>61. Tabla:</b> Emisión por paradas en caliente en motocicletas ( $g.parada^{-1}$ ).....	231
<b>62. Tabla:</b> Parámetros para calcular emisión en circulación en turismos.....	233
<b>63. Tabla:</b> Factor de emisión por abrasión de neumático ( $g.km^{-1}$ ).....	234
<b>64. Tabla:</b> Factor de emisión por abrasión de frenos ( $g.km^{-1}$ ).....	235
<b>65. Tabla:</b> Factor de emisión por abrasión de la carretera ( $g.km^{-1}$ ).....	236
<b>66. Tabla:</b> Emisiones de CO (t) en Euskadi .....	239

<b>67. Tabla:</b> % de emisión de CO asignado a cada tecnología por tipo de vehículo para el año 2015..	240
<b>68. Tabla:</b> Emisiones de HC (t) en Euskadi .....	243
<b>69. Tabla:</b> % de emisión de HC asignado a cada tecnología por tipo de vehículo para el año 2015..	244
<b>70. Tabla:</b> Emisiones de NOx (t) en Euskadi .....	247
<b>71. Tabla:</b> % de emisión de NOx asignado a cada tecnología por tipo de vehículo para el año 2015	248
<b>72. Tabla:</b> Emisión diaria de NOx en Euskadi año 2012 en t.día <sup>-1</sup> .....	249
<b>73. Tabla:</b> Emisiones de PM <sub>2,5</sub> (t) en Euskadi .....	252
<b>74. Tabla:</b> % de emisión por el escape de PM <sub>2,5</sub> asignado a cada tecnología por tipo de vehículo para el año 2015.....	254
<b>75. Tabla:</b> Consumo de combustible FC (Mm <sup>3</sup> ) en Euskadi.....	256
<b>76. Tabla:</b> % de consumo de FC asignado a cada tecnología por tipo de vehículo para el año 2015.	258
<b>77. Tabla:</b> Comparativa cálculo de tráfico de Euskadi (MMvkm/año) .....	260
<b>78. Tabla:</b> Comparativa tráfico anual en MMvkm para el año 2012.....	269
<b>79. Tabla:</b> Lista de tipos de vegetación usada en el inventario. Densidad Foliar: g de materia seca por m <sup>2</sup> de área proyectada. FE: $\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ . Fuente: (Oderbolz et al. 2013).....	313
<b>80. Tabla:</b> Distribución del parque de Turismos por tecnología .....	317
<b>81. Tabla:</b> Distribución del parque de Vehículos Ligeros Comerciales por tecnología.....	318
<b>82. Tabla:</b> Distribución del parque de Camiones Rígidos por tecnología.....	318
<b>83. Tabla:</b> Distribución del parque de Camiones Articulado por tecnología .....	319
<b>84. Tabla:</b> Distribución del parque de Autobuses por tecnología .....	320
<b>85. Tabla:</b> Distribución del parque de Ciclomotores por tecnología .....	320
<b>86. Tabla:</b> Distribución del parque de Motocicletas por tecnología .....	321
<b>87. Tabla:</b> Distribución del parque circulante de Turismos por tecnología en %.....	323
<b>88. Tabla:</b> Distribución del parque circulante de Vehículos Ligeros Comerciales por tecnología en % .....	324
<b>89. Tabla:</b> Distribución del parque circulante de Camiones Rígidos por tecnología en % .....	324
<b>90. Tabla:</b> Distribución del parque circulante de Camiones Articulado por tecnología en %.....	325
<b>91. Tabla:</b> Distribución del parque circulante de Autobuses por tecnología en %.....	326
<b>92. Tabla:</b> Distribución del parque circulante de Ciclomotores por tecnología en %.....	327
<b>93. Tabla:</b> Distribución del parque circulante de Motocicletas por tecnología en %.....	327
<b>94. Tabla:</b> Tráfico urbano de vehículos ligeros en Euskadi por comarcas en Mvkm.año <sup>-1</sup> .....	329
<b>95. Tabla:</b> Tráfico urbano de vehículos pesados en Euskadi por comarcas en Mvkm.año <sup>-1</sup> .....	330
<b>96. Tabla:</b> Distancia recorrida en frío dc(T, u). Fuente: ARTEMIS.....	351
<b>97. Tabla:</b> Exceso de emisión ( $\omega$ ) y coeficiente f(T, u) (turismos). Fuente: ARTEMIS .....	352

<b>98. Tabla:</b> Coeficiente $a$ para la fórmula $h(\delta)$ (turismos). Fuente: ARTEMIS.....	353
<b>99. Tabla:</b> Reducción de emisiones en frío para EURO 4/5/6. Fuente: ARTEMIS.....	355
<b>100. Tabla:</b> Exceso de emisión en frío en motocicletas de 2 tiempos ( $g.arranque^{-1}$ ). Fuente: ARTEMIS .....	355
<b>101. Tabla:</b> Exceso de emisión en frío en motocicletas de 4 tiempos ( $g.arranque^{-1}$ ). Fuente: ARTEMIS .....	355
<b>102. Tabla:</b> Influencia del tiempo de parking $g(t)$ (turismos). Fuente: ARTEMIS (Boulter et al. 2009)	356
<b>103. Tabla:</b> Factor de emisión de Material Particulado para arranque en frío. Fuente: NAEI.....	357
<b>104. Tabla:</b> Emisión en frío para vehículos pesados ( $g.arranque^{-1}$ ). Fuente: MEET.....	357

## Gráficos

1. <b>Gráfico:</b> Evolución anual del nº de empresas registradas en E-PRTR-Euskadi por sector.....	34
2. <b>Gráfico:</b> Emisiones Industriales anuales de NOx en Euskadi (Gg.año <sup>-1</sup> ).....	48
3. <b>Gráfico:</b> Emisiones Industriales anuales de COVNM en Euskadi (Gg.año <sup>-1</sup> ).....	51
4. <b>Gráfico:</b> Emisiones Industriales anuales de PM <sub>10</sub> en Euskadi (Gg.año <sup>-1</sup> ).....	54
5. <b>Gráfico:</b> Dependencia de la Tª del Factor de Actividad $\gamma$ a PAR = 1000 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .....	71
6. <b>Gráfico:</b> Dependencia de la radiación del Factor de Corrección Ambiental $\gamma_s$ a Tª = 30°C.....	72
7. <b>Gráfico:</b> Temperatura y radiación en Valderejo. Días 09/01/2010 y 24/06/2010.....	72
8. <b>Gráfico:</b> Factor de estacionalidad. Perenne (Ciccioli 2003) Caduca (Lehning 2001).....	74
9. <b>Gráfico:</b> Factor de estacionalidad. (Staudt et al. 2000) .....	75
10. <b>Gráfico:</b> Comparativa índices vegetación en pinos. Año 2009 X:531790 Y:4788300 .....	101
11. <b>Gráfico:</b> Comparativa índices vegetación en hayas. Año 2009 X:493830 Y:4778490 .....	102
12. <b>Gráfico:</b> Análisis EVI NDVI Haya. Año 2010 X: 531790 Y: 4788300.....	102
13. <b>Gráfico:</b> Comparativa NDVI-EVI Quejigo Faginea. Año 2009 X: 493830 Y: 4778490.....	103
14. <b>Gráfico:</b> Comparativa NDVI- EVI Encina. Año 2009 X: 527143 Y: 4803129 .....	103
15. <b>Gráfico:</b> Evolución EVI Haya. Años 2008/2009/2010 X: 531790 Y: 4788300.....	104
16. <b>Gráfico:</b> Temperatura media mensual Euskadi (°C). Fuente: Euskalmet .....	124
17. <b>Gráfico:</b> Radiación media mensual Euskadi (MJ.m <sup>-2</sup> ). Fuente: Euskalmet .....	124
18. <b>Gráfico:</b> Emisiones totales de BVOC para el año 2008 en periodos de 16 días (Gg).....	131
19. <b>Gráfico:</b> Emisiones totales de BVOC para el año 2010 en periodos de 16 días (Gg).....	131
20. <b>Gráfico:</b> Comparativa de emisiones de ISO en los años 2008-2010 en periodos de 16 días (Gg) .	132
21. <b>Gráfico:</b> Comparativa de emisiones de MTS en los años 2008-2010 en periodos de 16 días (Gg)	134
22. <b>Gráfico:</b> Comparativa de emisiones de MTP en los años 2008-2010 en periodos de 16 días (Gg)	136
23. <b>Gráfico:</b> Comparativa de emisiones de SQT en los años 2008-2010 en periodos de 16 días (Gg)	138
24. <b>Gráfico:</b> Comparativa de emisiones de OVOC en los años 2008-2010 en periodos de 16 días (Gg) .....	140
25. <b>Gráfico:</b> Emisiones horarias de BVOC en Euskadi. Periodo 23 junio 2010 – 01 julio 2010 (Mg.h <sup>-1</sup> ) .....	142
26. <b>Gráfico:</b> Comparativa Emisiones ISO Vaguada vs Medidas ISO Estación Calidad Aire Valderejo.	145
27. <b>Gráfico:</b> Coeficiente Mensual .....	203
28. <b>Gráfico:</b> Coeficiente Horario ligeros .....	205
29. <b>Gráfico:</b> Coeficiente Horario pesados .....	205
30. <b>Gráfico:</b> Ejemplo de curva de factor de emisión dependiente de la velocidad .....	212
31. <b>Gráfico:</b> Emisión en frío de CO por arranque y tecnología de vehículo. T=13,3°C.....	217

32. <b>Gráfico:</b> Emisión en frío de HC por arranque y tecnología de vehículo. T=13,3°C .....	217
33. <b>Gráfico:</b> Emisión en frío de NO <sub>x</sub> por arranque y tecnología de vehículo. T=13,3°C .....	218
34. <b>Gráfico:</b> Emisión en frío de CO <sub>2</sub> por arranque y tecnología de vehículo. T=13,3°C .....	218
35. <b>Gráfico:</b> Emisión en frío de HC para vehículo equivalente. Año 2012 .....	219
36. <b>Gráfico:</b> Emisión en frío de CO para vehículo equivalente. Año 2012 .....	219
37. <b>Gráfico:</b> Temperatura media mensual en 20 estaciones de Euskadi. Año 2012 .....	220
38. <b>Gráfico:</b> Emisión en frío de HC de un vehículo equivalente en función del mes. Año 2012.....	220
39. <b>Gráfico:</b> Influencia del tiempo de parking en las emisiones en frío de HC en turismos gasolina con catalizador. ....	221
40. <b>Gráfico:</b> Evolución mensual de temperatura media en Euskadi. Año 2012 .....	226
41. <b>Gráfico:</b> Emisiones de CO (t) en Euskadi.....	239
42. <b>Gráfico:</b> Emisiones de CO (t) por tipo de vehículo. Años 2007-2015 .....	240
43. <b>Gráfico:</b> Ejemplo de evolución mensual emisiones en frío de CO. Año 2012 .....	241
44. <b>Gráfico:</b> Emisiones de HC (t) en Euskadi.....	243
45. <b>Gráfico:</b> Emisiones de HC por tipo de vehículo. Años 2007-2015.....	244
46. <b>Gráfico:</b> Ejemplo de evolución mensual emisiones en frío de HC. Año 2012.....	245
47. <b>Gráfico:</b> Ejemplo de evolución mensual emisiones evaporativas de HC. Año 2012 .....	245
48. <b>Gráfico:</b> Emisiones de NO <sub>x</sub> (t) en Euskadi .....	247
49. <b>Gráfico:</b> Emisiones de NO <sub>x</sub> por tipo de vehículo. Años 2007-2015 .....	248
50. <b>Gráfico:</b> Emisión horaria NO <sub>x</sub> Euskadi en Julio 2012 en kg.h <sup>-1</sup> .....	249
51. <b>Gráfico:</b> Emisión horaria NO <sub>x</sub> Euskadi en Agosto 2012 en kg.h <sup>-1</sup> .....	250
52. <b>Gráfico:</b> Emisiones de PM <sub>2,5</sub> (t) en Euskadi .....	252
53. <b>Gráfico:</b> Emisiones de PM <sub>2,5</sub> por tipo de vehículo. Años 2007-2015 .....	253
54. <b>Gráfico:</b> Desglose del consumo de combustible en gasolina y diésel (Mm <sup>3</sup> ).....	257
55. <b>Gráfico:</b> Consumo de combustible en Euskadi (Mm <sup>3</sup> ) .....	257
56. <b>Gráfico:</b> Consumo de combustible (Mm <sup>3</sup> ) por tipo de vehículo. Años 2007 y 2015 .....	258
57. <b>Gráfico:</b> Comparativa de emisiones totales de CO (t.año <sup>-1</sup> ).....	261
58. <b>Gráfico:</b> Comparativa de emisiones en caliente de CO (t.año <sup>-1</sup> ).....	262
59. <b>Gráfico:</b> Comparativa de emisiones en frío de CO (t.año <sup>-1</sup> ).....	262
60. <b>Gráfico:</b> Comparativa de emisiones totales de HC (t.año <sup>-1</sup> ) .....	263
61. <b>Gráfico:</b> Comparativa de emisiones en caliente de HC (t.año <sup>-1</sup> ).....	263
62. <b>Gráfico:</b> Comparativa de emisiones en frío de HC (t.año <sup>-1</sup> ).....	264
63. <b>Gráfico:</b> Comparativa de emisiones evaporativas de HC (t.año <sup>-1</sup> ) .....	264
64. <b>Gráfico:</b> Comparativa de emisiones evaporativas de NO <sub>x</sub> (t.año <sup>-1</sup> ) .....	265

<b>65. Gráfico:</b> Comparativa de emisiones de $PM_{2,5}$ escape ( $t.año^{-1}$ ) .....	266
<b>66. Gráfico:</b> Comparativa de emisiones de $PM_{2,5}$ de desgaste (ruedas + frenos) ( $t.año^{-1}$ ).....	266
<b>67. Gráfico:</b> Comparativa de consumo calculado y ventas de gasolina ( $Mm^3.año^{-1}$ ) .....	267
<b>68. Gráfico:</b> Comparativa de consumo calculado y ventas de diésel ( $Mm^3.año^{-1}$ ).....	267
<b>69. Gráfico:</b> Diferencia porcentual de precios de venta de gasolina respecto a Euskadi.....	268
<b>70. Gráfico:</b> Diferencia porcentual de precios de venta de diésel respecto a Euskadi.....	268
<b>71. Gráfico:</b> Evolución del factor de emisión equivalente de CO en Euskadi .....	272
<b>72. Gráfico:</b> Evolución del factor de emisión equivalente de HC en Euskadi .....	273
<b>73. Gráfico:</b> Evolución del factor de emisión equivalente de NOx en Euskadi .....	274
<b>74. Gráfico:</b> Evolución del factor de emisión equivalente de $PM_{2,5}$ en Euskadi.....	275
<b>75. Gráfico:</b> Factores de emisión de CO para Turismos en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	331
<b>76. Gráfico:</b> Factores de emisión de CO para Ciclomotores en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	331
<b>77. Gráfico:</b> Factores de emisión de CO para Motocicletas en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	332
<b>78. Gráfico:</b> Factores de emisión de CO para VCL en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	332
<b>79. Gráfico:</b> Factores de emisión de CO para Autobuses en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	332
<b>80. Gráfico:</b> Factores de emisión de CO para Camiones Rígidos en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	333
<b>81. Gráfico:</b> Factores de emisión de CO para Camiones Articulados en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	334
<b>82. Gráfico:</b> Factores de emisión de HC para Turismos en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	335
<b>83. Gráfico:</b> Factores de emisión de HC para Ciclomotores en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	335
<b>84. Gráfico:</b> Factores de emisión de HC para Motocicletas en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	336
<b>85. Gráfico:</b> Factores de emisión de HC para VCL en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	336
<b>86. Gráfico:</b> Factores de emisión de HC para Autobuses en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	336
<b>87. Gráfico:</b> Factores de emisión de HC para Camiones Rígidos en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	337
<b>88. Gráfico:</b> Factores de emisión de HC para Camiones Articulados en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	338
<b>89. Gráfico:</b> Factores de emisión de $NO_x$ para Turismos en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	339
<b>90. Gráfico:</b> Factores de emisión de $NO_x$ para Ciclomotores en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	339
<b>91. Gráfico:</b> Factores de emisión de $NO_x$ para Motocicletas en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	340
<b>92. Gráfico:</b> Factores de emisión de $NO_x$ para VCL en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	340
<b>93. Gráfico:</b> Factores de emisión de $NO_x$ para Autobuses en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	340
<b>94. Gráfico:</b> Factores de emisión de $NO_x$ para Camiones Rígidos en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	341
<b>95. Gráfico:</b> Factores de emisión de $NO_x$ para Camiones Articulados en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	342
<b>96. Gráfico:</b> Factores de emisión de $PM_{2,5}$ para Turismos en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	343
<b>97. Gráfico:</b> Factores de emisión de $PM_{2,5}$ para Ciclomotores en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	343
<b>98. Gráfico:</b> Factores de emisión de $PM_{2,5}$ para Motocicletas en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	344

<b>99. Gráfico:</b> Factores de emisión de $PM_{2,5}$ para VCL en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	344
<b>100. Gráfico:</b> Factores de emisión de $PM_{2,5}$ para Autobuses en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	344
<b>101. Gráfico:</b> Factores de emisión de $PM_{2,5}$ para Camiones Rígidos en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	345
<b>102. Gráfico:</b> Factores de emisión de $PM_{2,5}$ para Camiones Articulados en $g.km^{-1}$ vs $km.h^{-1}$ .....	346
<b>103. Gráfico:</b> Factores de emisión de FC para Turismos en L/100 km vs $km.h^{-1}$ .....	347
<b>104. Gráfico:</b> Factores de emisión de FC para Ciclomotores en L/100 km vs $km.h^{-1}$ .....	347
<b>105. Gráfico:</b> Factores de emisión de FC para Motocicletas en L/100 km vs $km.h^{-1}$ .....	348
<b>106. Gráfico:</b> Factores de emisión de FC para VCL en L/100 km vs $km.h^{-1}$ .....	348
<b>107. Gráfico:</b> Factores de emisión de FC para Autobuses en L/100 km vs $km.h^{-1}$ .....	348
<b>108. Gráfico:</b> Factores de emisión de FC para Camiones Rígidos en L/100 km vs $km.h^{-1}$ .....	349
<b>109. Gráfico:</b> Factores de emisión de FC para Camiones Articulados en L/100 km vs $km.h^{-1}$ .....	350

## **Abreviaturas Utilizadas**

ABS	Sistema Antibloqueo de Ruedas
ARB	Árboles
ARTEMIS	Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems
BEIS	Biogenic Emission Inventory System
BSC-CNS	Centro Nacional de Supercomputación
BVOC	Compuestos Orgánicos Volátiles Biogénicos
CALIOPE	CALIdad del aire OPeracional para España
CAPV	Comunidad Autónoma del País Vasco
CEPE	Protocolo de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas
CH <sub>4</sub>	Metano
CHIMERE	A multi-scale chemistry-transport model for atmospheric composition analysis and forecast
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
COPERT	Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport
COP	Compuestos Orgánicos Persistentes
CORINAIR	CORe INventory AIR emissions
CORINE	CO-oRdination d'Information Environnementale
COT	Carbono Orgánico Total
COVNM	Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos.
DGT	Dirección General de Tráfico
EEA	Agencia Medioambiental Europea
EGR	Recirculación de Gases de Escape
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme
EMIGIA	EMisiones calculadas por el Grupo de Investigación Atmosférica de la Escuela de Ingeniería de Bilbao
EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
E-PRTR	Registro Europeo de Emisiones y Transferencias de Contaminantes
ERMES	European Research for Mobile Emission Sources
EU	Unión Europea
EUSKALMET	Agencia Vasca de Meteorología
EUSTAT	Instituto Vasco de Estadística
EVE	Ente Vasco de la Energía

EVI	Índice mejorado de vegetación
FC	Consumo de Combustible
FCC	Fracción de Cobertura Cubierta superior
FE	Factor de Emisión
FORTTRAN	The IBM Mathematical FORMula TRANslating System
FPAR	Fracción de la radiación activa fotosintética absorbida por la vegetación
GEIA	Global Emissions Inventory Activity
GLP	Gases Licuados del petróleo
GN	Gas Natural
H <sub>2</sub> O	Agua
HBFEA	Handbook Emission Factors for Road Transport
HC	Hidrocarburos
HEB	Herbazales
HERMES	High-Selective Resolution Modelling Emission System
IGAC	International Global Atmospheric Chemistry
IH	Intensidad Horaria
IMD	Intensidad Media Diaria
ISO	Isopreno
JRC	Joint Research Centre
LAI	Índice de Área Foliar
MAPAMA	Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente
MAT	Matorrales
MDE	Modelo Digital de Elevaciones
MEET	Methodologies for Estimating air pollutant Emissions from Transport
MEGAN	Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature
MOBILE	Highway Vehicle Emission Factor Model
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MOVES	MOtor Vehicle Emission Simulator
MT	Monoterpenos
MTP	Monoterpenos de almacenamiento
MTS	Monoterpenos de síntesis
NAEI	National Atmospheric Emissions Inventory
NAO	Pastillas de Freno sin Amianto Orgánico

NATAIR	Improving and Applying Methods for the Calculation of Natural and Biogenic Emissions and Assessment of Impacts on Air Quality
NEDC	New European Driving Cycle
NH <sub>3</sub>	Amoniaco
NIR	Infrarrojo Cercano
NO	Monóxido de Nitrógeno
NO <sub>2</sub>	Dióxido de Nitrógeno
NO <sub>x</sub>	Óxidos de Nitrógeno
O <sub>3</sub>	Ozono
OMS	Organización Mundial de la Salud
OVOC	Compuestos Orgánicos Volátiles Oxigenados
PAH	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
PAN	Nitrato de Peroxiacetilo
PAR	Radiación Fotosintéticamente Activa
PE	Potencial de Emisión
PEMS	Portable Emissions Measurement System
PFT	Plants functional Type
PM	Material Particulado
PST	Partículas Sólidas Totales
RVP	Presión de Vapor Reid
SCR	Reducción Catalítica Selectiva
SEI	Sistema Español de Inventario y Proyecciones de Emisiones a la Atmósfera
SIG	Sistema de Información Geográfica
SMOKE	Sparse Matrix Operator Kernel Emissions
SNAP	Selected Nomenclature for Air Pollutants
SO <sub>2</sub>	Dióxido de azufre
SQT	Sesquiterpenos
t	Tonelada
T	Temperatura
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
vkm	Vehículos por kilómetro
VP	Presión de Vapor
WLTP	New Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure



# **1. INTRODUCCIÓN Y ALCANCE**



## **1.1. INTRODUCCIÓN**

*“El aire limpio es uno de los requisitos básicos de la salud y el bienestar humanos. Sin embargo, la contaminación atmosférica sigue suponiendo una importante amenaza para la salud en todo el mundo”(OMS 2005).*

Durante los últimos años se ha prestado mucha atención a los estudios de la calidad del aire. Además de un problema ambiental se ha convertido en un problema social ya que la ciudadanía, al ser más consciente de los efectos de una mala calidad de aire, cada vez exige con más fuerza vivir en atmósferas saludables. La contaminación del aire es muy democrática y no entiende de extractos sociales, nos afecta a todos por igual. Tampoco entiende de fronteras, ya que contaminantes emitidos en un lugar pueden tener afecciones a muchos kilómetros de distancia.

Una buena gestión de la calidad del aire requiere una buena comprensión de las causas de la contaminación atmosférica. Los contaminantes se emiten, se transportan y se transforman en la atmósfera afectando a las personas, a los ecosistemas, al clima y por extensión a la sociedad y a la economía. Si se quieren definir políticas eficaces en la calidad del aire, se necesitan acciones y cooperación a nivel mundial, europeo, nacional, regional y local.

El trabajo de investigación que aquí se presenta pretende comprender y estimar las emisiones de contaminantes atmosféricos a nivel de la Comunidad Autónoma de Euskadi. Este sería el primer paso a dar para una correcta modelización de la calidad del aire que permita evaluar con una razonable seguridad la política ambiental aplicada. Para ello, el documento se estructura de la siguiente forma:

En este capítulo 1 se analiza qué es la contaminación del aire, cuales son los contaminantes principales y la forma de realizar inventarios de estos contaminantes. Se presentan los sistemas de información geográfica (SIG) como una herramienta indispensable para la localización geográfica de las emisiones. Finalmente, se presentan los objetivos específicos de esta Tesis Doctoral.

El capítulo 2 se centra en las emisiones de tipo industrial. Se analiza el tipo de industria que existe en Euskadi y basándose en el inventario E-PRTR (Registro Europeo de Emisiones y Transferencias de Contaminantes), se hace un inventario geolocalizado en SIG con las

emisiones de óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles y partículas. Además, se identifican en un pequeño ranking las industrias con más alta emisión para cada contaminante.

En el capítulo 3 se estudian las emisiones biogénicas emitidas por la vegetación. Se comienza por los mecanismos y las formas en que las plantas emiten compuestos orgánicos volátiles, siendo los más importantes el isopreno, los monoterpenos, los sesquiterpenos y los compuestos orgánicos volátiles oxigenados. A partir del inventario forestal de Euskadi, los datos meteorológicos de Euskalmet y datos de los índices de vegetación proporcionados por los satélites Aqua y Terra de la NASA, se presenta un inventario geolocalizado de estas emisiones biogénicas en Euskadi.

El capítulo 4 presenta un tema de máxima actualidad, las emisiones de contaminante debidas al tráfico. La sociedad se encuentra en un punto de inflexión, ya que no se sabe realmente cual será la tecnología que se impondrá en el tráfico por carretera los próximos años. En este apartado se hace un análisis del parque móvil censado de Euskadi de los últimos años, se estima el tráfico circulante real tanto urbano como interurbano y finalmente se calculan las emisiones de contaminantes producidas por el escape, en caliente y en frío, las evaporativas y las producidas por desgaste.

El capítulo 5 es de recapitulación, se sintetizan los resultados obtenidos y se presentan las conclusiones más importantes, así como algunas perspectivas de trabajo futuro.

Por último, se presentan las referencias y varios anexos. En el primer anexo se presenta un desglose de los subsectores del reglamento E-PRTR, el segundo anexo presenta los factores de emisión utilizados en el cálculo de emisiones biogénicas y el resto de anexos presenta información utilizada en el cálculo de las emisiones de tráfico.

## **1.2. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA**

La contaminación atmosférica o del aire se puede definir como “*la presencia de contaminantes o sustancias en el aire que interfieren con la salud o el bienestar humano, o producen otros efectos perjudiciales para el medio ambiente*” (EPA 2009). Dicho de otra forma, la contaminación atmosférica se produce cuando se introducen en el aire cantidades excesivas de sustancias como gases o partículas que tienen impactos en la salud, en los ecosistemas o incluso en los bienes materiales.

La contaminación del aire es una de las principales causas de muerte y enfermedad en todo el mundo. Los efectos sobre la salud varían desde el aumento de los ingresos hospitalarios y de las visitas a la sala de urgencias hasta el aumento del riesgo de muerte prematura. La OMS (Organización Mundial de la Salud) considera la contaminación del aire como el 7º factor de mayor riesgo en la mortalidad global y estima que en 2016 se produjeron 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo relacionadas con la contaminación del aire en exteriores. También se estima que el 91% de la población mundial vive en lugares donde no se respetan las directrices de la OMS sobre calidad de aire (WHO 2018).

De acuerdo con el “World Bank”, la contaminación del aire por partículas tuvo en 2016 un coste en la economía global de 5,7 trillones (americanos) de dólares, o lo que es lo mismo, el 4,4% del PIB mundial. Según este organismo, es fundamental hacer frente a la contaminación debido a su inaceptable repercusión en la salud y el capital humano, así como a las pérdidas asociadas al PIB. La gestión de la contaminación ofrece oportunidades para aliviar la pobreza, impulsar la prosperidad y atender la demanda de millones de personas de tener vidas más sanas y productivas. Además, la gestión de la contaminación puede aumentar la competitividad, por ejemplo, mediante la creación de empleo, puede mejorar la eficiencia energética y el transporte y también puede contribuir a un desarrollo urbano y rural sostenible. La gestión de la contaminación también puede hacer contribuciones sustanciales a la mitigación del cambio climático a través de medidas, como por ejemplo la reducción de las emisiones de carbono negro, que contribuyen tanto a la contaminación atmosférica como al calentamiento global (World Bank 2016).

La contaminación atmosférica es un problema local, nacional, continental y mundial, ya que los contaminantes del aire liberados en una región pueden ser transportados por la atmósfera, contribuyendo o resultando en una mala calidad del aire en otros lugares. Puede provenir de contaminantes directamente liberados a la atmósfera (emisiones primarias) o puede formarse como resultado de la interacción química entre sustancias precursoras. Lo que está claro es que las emisiones de contaminantes al aire causan contaminación atmosférica, sin embargo,

el aumento o la reducción de emisiones no siempre resulta en que automáticamente vaya a haber aumentos o reducciones equivalentes en las concentraciones en el aire. Existen vínculos complejos entre las emisiones de contaminantes atmosféricos y la calidad del aire, que incluyen alturas de emisión, transformaciones químicas, radiación solar, meteorología, contribuciones de fuentes naturales y el impacto del clima y la topografía. Aun así, lo que sí está claro es que una reducción significativa de las emisiones es esencial para mejorar la calidad del aire.

Los contaminantes con mayor evidencia de generar problemas de salud pública a nivel mundial son las partículas (PM), el ozono (O<sub>3</sub>), el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y son causantes de enfermedades cardíacas, accidentes cerebrovasculares, enfermedades pulmonares obstructivas crónicas e infecciones respiratorias agudas en los niños. En el año 2005 la OMS publicó unas directrices sobre calidad de aire que ofrecen una orientación general relativa a umbrales y límites para estos contaminantes. Actualmente estas directrices están en proceso de revisión y su actualización se espera para el año 2020 (*WHO 2018*).

### **Partículas (PM)**

El término **partículas** (PM) se usa para referirse a una mezcla de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire. Los principales componentes de las PM son los sulfatos, los nitratos, el amoníaco, el cloruro de sodio, el hollín, los polvos minerales, metales, compuestos orgánicos pesados y el agua. Las partículas con un diámetro de 10 micras o menos (PM<sub>10</sub>) se depositan preferentemente en las zonas superiores del sistema respiratorio como nariz, faringe, tráquea y bronquios, desde donde se pueden expulsar, pudiendo pasar al aparato digestivo. Las de un diámetro menor de 2,5 micras (PM<sub>2,5</sub>) pueden entrar más profundamente, hasta los alveolos pulmonares, de donde es difícil expulsarlas. Algunas de estas, las más pequeñas, pueden introducirse todavía más y pasar al sistema sanguíneo, tal y como lo hace el oxígeno.

Estudios de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (*WHO 2017*) muestran que la exposición a largo plazo de partículas finas puede desencadenar arteriosclerosis, resultados adversos en el parto, enfermedades respiratorias infantiles y también sugiere una posible relación con el neurodesarrollo, la función cognitiva, diabetes y las muertes por causas cardiovasculares y respiratorias. La OMS establece un límite de exposición para PM<sub>10</sub> de 20 µg.m<sup>-3</sup> como media anual o de 50 µg.m<sup>-3</sup>, como media de 24 horas. Para PM<sub>2,5</sub> los límites son 10 µg.m<sup>-3</sup> como media anual y 25 µg.m<sup>-3</sup> como media de 24 horas (*OMS 2005*).

Algunas partículas se emiten directamente a la atmósfera (partículas primarias), y otras son el resultado de reacciones químicas de gases precursores (partículas secundarias). Estas partículas pueden estar formadas de varios componentes químicos y dependiendo de su composición pueden afectar, en mayor o menor medida, a la salud de las personas o al medio ambiente. También pueden afectar al clima, ya sea calentando o enfriando el planeta. Por ejemplo, el carbono negro puede absorber la radiación solar y calentar la atmósfera. Otro tipo de partículas que contienen compuestos de azufre o nitrógeno, que se conocen como “partículas blancas”, tienen el efecto contrario, reflejan la luz del sol como pequeños espejos y ayudan al enfriamiento (EEA 2013).

Dependiendo de su tamaño, las partículas se comportan de manera distinta en la atmósfera: las más pequeñas se pueden mantener suspendidas durante largos periodos de tiempo y viajar cientos de kilómetros, mientras que las partículas más grandes no se mantienen en el aire mucho tiempo y tienden a depositarse más cerca de su lugar de origen. En general, la parte gruesa de las  $PM_{10}$  se compone en buena medida de partículas primarias emitidas directamente a la atmósfera tanto por fenómenos naturales (incendios forestales o emisiones volcánicas) como por las actividades humanas (labores agrícolas o de construcción, resuspensión de polvo, actividades industriales, etc.). Las partículas finas o  $PM_{2,5}$ , por el contrario, suelen estar compuestas principalmente por partículas secundarias formadas en la atmósfera a partir de un precursor gaseoso ( $NO_x$ ,  $SO_2$ , COV,  $NH_3$ , etc.) mediante procesos químicos en fase gas o por reacciones en fase líquida.

### **Ozono ( $O_3$ )**

El **ozono** es una forma especial y altamente reactiva de oxígeno, que consiste en tres átomos de oxígeno. En la estratosfera el ozono nos protege de la peligrosa radiación ultravioleta del Sol. Pero en la capa más baja de la atmósfera, la troposfera, el ozono es un contaminante importante que afecta a la salud pública y a la naturaleza. Es uno de los principales responsables de la denominada niebla fotoquímica y tiene la peculiaridad de que no se emite, sino que se genera cuando hay emisiones conjuntas de  $NO_x$  (óxidos de nitrógeno) y de COV (compuestos orgánicos volátiles), en presencia de radiación solar. Es por ello que los niveles de ozono más elevados se registran durante los períodos de tiempo soleado. Por lo tanto, es un contaminante secundario.

El ozono troposférico es un fuerte irritante que afecta al sistema respiratorio causando inflamación en los pulmones y los bronquios. Una vez expuesto al ozono, el cuerpo trata de evitar que entre en los pulmones y este reflejo reduce la cantidad de oxígeno que inhalamos y esto hace que el corazón trabaje más duro. Por lo tanto, para las personas que ya padecen enfermedades cardiovasculares o respiratorias como el asma, los episodios de alta concentración de ozono pueden ser debilitantes e incluso mortales.

El ozono es agresivo y a altas concentraciones ataca a materiales, edificios y tejidos vivos. También reduce la capacidad de las plantas para realizar la fotosíntesis, dificultando la absorción de dióxido de carbono y así perjudica su reproducción y crecimiento, lo que reduce el rendimiento de los cultivos y el crecimiento de los bosques.

La OMS establece un valor guía de  $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (media máxima diaria de ocho horas) para garantizar la calidad del aire.

### **Óxidos de Nitrógeno ( $\text{NO}_x$ )**

El monóxido de nitrógeno (NO) es un gas incoloro que se forma principalmente por la reacción entre el  $\text{N}_2$  y el  $\text{O}_2$  en los procesos de combustión. El dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) es un gas de color rojizo, irritante, tóxico y muy reactivo y se forma principalmente a partir de la oxidación del NO. En elevadas concentraciones puede irritar los alveolos y provocar infecciones pulmonares. El NO no se considera peligroso para la salud en las concentraciones ambientales típicas en que se puede encontrar, al contrario de lo que se sucede con el  $\text{NO}_2$ . El término **óxidos de nitrógeno** ( $\text{NO}_x$ ) se utiliza para denominar a la suma  $\text{NO} + \text{NO}_2$ . Se suelen tomar en cuenta ambos compuestos, debido a que el NO termina oxidándose a  $\text{NO}_2$ .

Las emisiones más importantes provienen de la combustión en vehículos y de las grandes centrales térmicas. Una vez en la atmósfera se pueden hidratar y formar ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), que puede eliminarse mediante procesos de deposición seca o húmeda mediante la formación de lluvia ácida o también se puede aglomerar formando partículas secundarias en la atmósfera (nitratos).

La OMS establece un límite de exposición para el  $\text{NO}_2$  de  $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  como media anual y de  $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  como media de una hora.

### **Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)**

La EPA define los compuestos orgánicos volátiles (COV) como: *“cualquier compuesto de carbono, excluido el monóxido de carbono, el dióxido de carbono, el ácido carbónico,*

los carburos o carbonatos metálicos y el carbonato de amonio, que participa en las reacciones fotoquímicas atmosféricas, excepto los designados por la EPA como de reactividad fotoquímica insignificante". Un COV es cualquier compuesto orgánico que tenga un punto de ebullición inferior o igual a 250° C medido a una presión atmosférica estándar de 1 atmósfera.

Se suelen denominar Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos (COVNM), si no se incluye el metano (CH<sub>4</sub>), que es considerado un producto esencialmente natural generado por la descomposición de la materia orgánica.

El principal problema ambiental de los COV es que, al mezclarse con los NO<sub>x</sub> y en presencia de radiación solar, puede formar O<sub>3</sub> y también tiene su importancia en la formación de partículas finas. Por lo tanto, para caracterizar el O<sub>3</sub> es necesario hacer una evaluación de los COV emitidos. Además, algunos COV pueden tener efectos nocivos directos sobre la salud humana debido a su toxicidad y efectos carcinógenos, pueden ocasionar desperfectos sobre los materiales y también pueden generar malos olores.

Las principales fuentes de emisión de COV son: biogénicas, tráfico rodado, refinado de petróleo, producción y usos de pinturas, artes gráficas y disolventes orgánicos. Algunos COV pueden producir irritación en los ojos, nariz o garganta y en algunos casos más severos de exposición provocan dolores de cabeza, pérdida de coordinación y náuseas. En exposiciones de tipo crónico, algunos COV afectan al hígado, los riñones y el sistema nervioso central. Algunos de estos compuestos se clasifican como sustancias tóxicas y peligrosas por su capacidad probada o potencial de ser cancerígeno o de causar graves daños a la salud (como el benceno, cloroformo, formaldehído o tetracloruro de carbono).

### **Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)**

El SO<sub>2</sub> es un gas incoloro que se genera en la combustión de combustibles fósiles (carbón y petróleo) que contienen azufre. Puede afectar al sistema respiratorio, provocando tos, secreción mucosa y agravamiento del asma y bronquitis crónica. Los ingresos hospitalarios por cardiopatías y la mortalidad aumentan en los días en que los niveles de SO<sub>2</sub> son más elevados. En combinación con el agua, el SO<sub>2</sub> se convierte en ácido sulfúrico, que es uno de los componentes habituales de la lluvia ácida.

La OMS establece un límite de exposición para el SO<sub>2</sub> de 20 µg.m<sup>-3</sup> como media de 24 horas y de 500 µg.m<sup>-3</sup> como media de 10 minutos.

En Europa, las emisiones de los principales gases contaminantes han disminuido sustancialmente en las últimas décadas, lo que ha dado lugar, en general, a una mejora de la calidad del aire en todo el continente. Esto se debe a que la evidencia científica ha generado demandas de la población que se están transformando en diferentes leyes ambientales. Sin embargo, las concentraciones de contaminantes atmosféricos siguen siendo demasiado elevadas y los problemas de calidad del aire persisten. Una proporción significativa de la población europea vive en zonas, principalmente en ciudades, donde se superan las normas de calidad del aire, por lo tanto, la reducción de la contaminación atmosférica sigue siendo un tema importante (EEA 2017).

Las exigencias de calidad de aire de la Comisión Europea, las cuales se aplican en España, son menos estrictas que las recomendadas en las directrices de la OMS. Esta disparidad evita la calificación de la mayoría de las ciudades europeas como ciudades con mala calidad de aire. En la siguiente tabla se muestra el porcentaje de población expuesta a mala calidad de aire comparando los límites de referencia definidos por la Unión Europea (EU) y las directrices de las OMS.

**1. Tabla:** % población expuesta a concentraciones de contaminantes superiores a valores de referencia EU y OMS. Años 2013/15. Fuente: EEA 2017

Pollutant	EU reference value (*)	Exposure estimate (%)	WHO AQG (*)	Exposure estimate (%)
PM <sub>2.5</sub>	Year (25)	7-8	Year (10)	82-88
PM <sub>10</sub>	Day (50)	16-20	Year (20)	50-62
O <sub>3</sub>	8-hour (120)	7-30	8-hour (100)	85-98
NO <sub>2</sub>	Year (40)	7-9	Year (40)	7-9
BaP	Year (1)	20-25	Year (0.12) RL	85-97
SO <sub>2</sub>	Day (125)	< 1	Day (20)	20-38

Key	< 5 %	5-50 %	50-75 %	> 75 %
-----	-------	--------	---------	--------

Un análisis de la tabla anterior indica, por ejemplo, que en el periodo de los años 2013 al 2015, el 7% de la población europea ha estado expuesta a concentraciones de PM<sub>2.5</sub> superiores al valor límite de la EU. Pero si se compara con la directriz de la OMS, resulta que el 82% de la población ha estado expuesta a concentraciones excesivas. Algo similar ocurre con el resto de contaminantes, excepto el NO<sub>2</sub> que tiene el mismo valor en ambos criterios.

Las estimaciones de los impactos en la salud atribuibles a la contaminación atmosférica en Europa indican que las partículas PM<sub>2.5</sub>, en el año 2014, fueron responsables de unas 428.000 muertes prematuras causadas por exposición a largo plazo. Al NO<sub>2</sub> y el O<sub>3</sub> también se les considera responsables de 78.000 y 14.400 muertes prematuras, respectivamente, en Europa en ese mismo año. En España, también se debe considerar como preocupante la situación de la calidad del aire, ya que se estima que, durante el año 2014, ocurrieron 23.180 muertes

prematuras debido a la exposición a concentraciones excesivas de PM<sub>2,5</sub>, 6.740 muertes prematuras debidas a NO<sub>2</sub> y 1.600 debidas a O<sub>3</sub> (EEA 2017).

Respecto al SO<sub>2</sub>, aunque el 20% de la población europea ha estado expuesta a niveles de concentración superiores a las directrices de la OMS, en Euskadi se puede considerar que ha dejado de ser un problema. Todas las mediciones realizadas estos últimos años mantienen una concentración media anual de SO<sub>2</sub> inferior a 10 µg.m<sup>-3</sup>, muy por debajo de los límites establecidos por la legislación en vigor. Esta buena situación general se ha debido, principalmente, a las limitaciones impuestas al contenido de azufre en los combustibles y, por otro lado, a la potenciación del uso de combustibles que emiten menos azufre a la atmósfera, como es el caso del gas natural (Ihobe 2017).

La calidad del aire es uno de los motivos de preocupación a la hora de valorar la calidad de vida en las concentraciones urbanas. Está claro que las emisiones gaseosas, tanto antropogénicas como naturales, están directamente relacionadas con la degradación de la calidad del aire y ocasionan diferentes problemas ambientales. La cantidad y tipología de estas emisiones dependen de la naturaleza de la fuente y de los procesos que se utilicen. Una vez emitidos estos compuestos a la atmosfera, se transportan, se dispersan, se depositan y tienen reacciones químicas. Dependiendo de cómo hayan sido estos procesos se determinará la calidad del aire, pero en cualquier caso será función directa de la cantidad y tipología de las emisiones. Por ello, como punto de partida de cualquier análisis de calidad de aire en una zona concreta, es fundamental conocer y valorar las emisiones atmosféricas, es decir disponer de un inventario lo más real posible, para así poder definir con claridad las causas de los problemas y tomar acciones de control.



### **1.3. INVENTARIOS DE EMISIONES**

Un inventario de emisiones es una lista de la cantidad de contaminantes que entran en el aire en un periodo dado y en un área determinada (*Vallero 2014*).

Los inventarios de emisiones son uno de los elementos esenciales para analizar la variabilidad y las tendencias observadas en la composición atmosférica. Por lo general, se usan como datos de entrada en la modelización de la calidad del aire, pero también se deben usar, junto con las características de las fuentes de emisión, en el análisis de alternativas para la mejora de la calidad del aire o la evaluación de los niveles de concentración de contaminantes en un territorio determinado (*Denby et al. 2011*).

Se considera que los inventarios de emisiones son uno de los factores más incierto entre los diferentes componentes de los modelos de calidad del aire (meteorología, modelo químico, condiciones de contorno, parametrizaciones, etc.). Por tanto, el desarrollo de inventarios precisos es muy relevante, ya que determinará en gran medida la exactitud de los posteriores modelos de calidad del aire (*Frost et al. 2013*).

La realización de un inventario de emisiones para un determinado territorio es siempre considerado como un gran reto por diferentes motivos. La gran cantidad de fuentes a considerar, cuya información no siempre suele estar disponible con el nivel de precisión requerido, sus muy variables características físicas y químicas y su distribución geográfica en muchos casos incluso fuera del dominio de interés, hacen que la preparación de un inventario de emisiones sea tediosa por naturaleza y poco gratificante, en comparación a otros temas de investigación más reconocibles en la disciplina de la calidad del aire (*Tong et al. 2012*).

A pesar del coste y el esfuerzo que supone la recopilación de datos relativos a fuentes de emisión tan diversas y extensas para realizar un inventario de emisiones, a menudo se tratan como una caja negra, y lo que se usa son perfiles predefinidos. Así, en muchos estudios de simulación de la calidad del aire los datos de entrada de emisiones suelen ser series históricas de datos que representan comportamientos típicos o promediados de las fuentes de emisión que fueron obtenidos hace años y no necesariamente representan con precisión las fuentes de emisión actuales. Como resultado, la incertidumbre inherente al propio inventario aumenta y la calidad de los estudios de simulación baja.

Claramente, el enfoque que se les debe dar a los inventarios de emisiones tiene que ser el de tener más robustez, flexibilidad y transparencia, así como responder de una forma más dinámica a los cambios que afectan a los parámetros de emisión. Esto requeriría desarrollar

un sistema de previsión de emisiones basado en la simulación de los procesos de los que dependen las emisiones. Se podría hacer combinando la actividad de emisión y su modelado con datos recogidos casi en tiempo real de sistemas de medición continua de emisiones, redes, sistemas de teledetección, monitoreos a pie de calle, encuestas, censos, etc.

Este enfoque presenta importantes beneficios:

- (i) La capacidad de pronosticar las emisiones del mañana, basándose en datos meteorológicos, económicos, geográficos, demográficos etc. actuales y previstos en el futuro.
- (ii) Un mejor conocimiento y transparencia de los procesos que son responsables de las emisiones pondría a la vista los parámetros relevantes, facilitando así su mejora.
- (iii) La calidad del aire y su previsión, también puede promover cambios en los patrones de emisión, como resultado de un mayor uso del transporte público o de la redistribución geográfica de la generación de energía.

El desarrollo de un sistema de previsión de emisiones es un esfuerzo enorme que requiere la colaboración de distintas disciplinas como mediciones de campo, análisis de datos obtenidos de satélites, modelos numéricos, calidad del aire, etc. Pero, sistemas de este tipo proporcionarían a la gestión de la calidad del aire mejores herramientas para la predicción de calidad de aire, mejoras en la flexibilidad del sistema, reducciones asociadas a los impactos negativos en la salud y argumentos suficientemente poderosos para justificar tanto el esfuerzo como los costes necesarios para llevarlos a cabo.

Aparte de las medidas directas de emisiones específicas, por lo general escasas, existen dos enfoques principales para estimar las emisiones en inventarios:

- i) de *abajo arriba* (bottom-up)
- ii) de *arriba abajo* (top-down)

Las emisiones calculadas a través de un enfoque ascendente (*de abajo arriba*) se basan en información específica para cada sector, como por ejemplo el número de vehículos circulantes para las emisiones del tráfico. Los enfoques ascendentes permiten un alto nivel de detalle espacial y temporal, pero requieren una mayor cantidad de datos y, por lo tanto, de recursos.

Los enfoques descendentes (*de arriba hacia abajo*) se basan en la desagregación de variables definidas a nivel regional o nacional (por ejemplo, combustible vendido o consumido) en áreas más pequeñas, en base a variables que representan la actividad (por ejemplo, densidad de vehículos matriculados por área), logrando así un mayor detalle espacial.

Ambos métodos requieren información relativa a los factores de actividad (por ejemplo, la cantidad total de combustible consumido) y factores de emisión por actividad (por ejemplo, la cantidad de contaminante emitido por unidad de actividad). Entonces, las emisiones se estiman como el producto de los factores de emisión y los datos de actividad relevantes. La selección del método para construir un inventario de emisiones está en gran medida relacionada con la disponibilidad de datos, la fuente de emisión considerada y la cobertura espacial del inventario (*Guevara et al. 2017*).

Los inventarios de emisiones a nivel nacional, por lo general, tienden a ser de arriba hacia abajo, mientras que los inventarios de emisiones en aplicaciones locales o urbanas suelen tener en cambio enfoques ascendentes. Varios estudios han comparado y evaluado enfoques de arriba abajo y de abajo arriba, para una mejor comprensión de la fiabilidad de las estimaciones de emisiones. Los resultados obtenidos han mostrado que estos dos enfoques a menudo no son consistentes entre sí, y que su uso en modelos de calidad del aire puede llevar a inconsistencias en los niveles de concentración estimados (*Coelho et al. 2014, Wang et al. 2009*).

Las emisiones se clasifican típicamente en tres tipos de fuentes según sus características espaciales:

- *Fuentes estacionarias o puntuales*: emisiones procedentes de fuentes puntuales de gran tamaño en ubicaciones fijas (tales como centrales eléctricas e instalaciones industriales).
- *Fuentes móviles o de línea*: emisiones procedentes típicamente del transporte.
- *Fuentes de área*: emisiones representadas por zonas, como pueden ser las biogénicas.

También es necesario proporcionar no solo la distribución espacial de las emisiones, sino también su distribución temporal. Esto se aborda a menudo con perfiles temporales representativos hasta la resolución temporal necesaria, por ejemplo, de una hora.

Para gestionar estas características, se pueden emplear herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG). El entorno SIG puede ser la base para la compilación de inventarios de emisiones resueltos espacial y temporalmente. Los datos se pueden actualizar y también se pueden derivar de forma adecuada a los exigentes campos de entrada de los modelos de calidad del aire. Por lo tanto, estas herramientas se utilizan cada vez más para los estudios de modelización ambiental y el análisis de la contaminación atmosférica, ya que

proporcionan un marco integrado para la cuantificación de emisiones y/o el análisis de datos espaciales (*Markakis et al. 2010*).

En Europa, la principal guía de inventarios de emisiones es la denominada EMEP/CORINAIR, que nació de la fusión de los programas EMEP (*European Monitoring and Evaluation Programme*) y CORINAIR (*CORe INventory AIR emissions*). CORINAIR es un proyecto (inventario) que consiste en reunir y organizar la información de emisiones atmosféricas enmarcado dentro del programa CORINE (*CO-ordination d'Information Environnementale*) iniciado por la Comisión Europea en 1985 con el fin de asegurar la consistencia de la información del estado del medio ambiente y los recursos naturales en la Comunidad. EMEP es un programa especial iniciado por la UNECE (*United Nations Economic Commission for Europe*) cuyo principal objetivo es proporcionar regularmente a los gobiernos y sus filiales, información científica de calidad para soportar el desarrollo y cumplimiento de los protocolos internacionales de reducción de emisiones.

La última actualización de la guía europea de inventarios de emisiones se denomina “*EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016*” (*EMEP 2016*) (anteriormente se denominaba “EMEP/CORINAIR”) y proporciona orientación sobre la estimación de las emisiones de fuentes antropogénicas y naturales. Está diseñada para facilitar la notificación de los inventarios de emisiones por parte de los países a la Convención de la CEPE (Protocolo de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas) sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia y a la Directiva sobre Techos Nacionales de Emisión de la UE. Esta guía está ordenada según la clasificación SNAP 97 que distingue 11 sectores, que a su vez están divididos en 76 clases que reflejan la estructura de las actividades emisoras, de acuerdo con sus especificaciones tecnológicas y socioeconómicas. En el nivel más desagregado, la actividad, se contabilizan un total de 430 actividades/subgrupos emisores o captadores de gases atmosféricos. Los contaminantes, a su vez, están organizados en tres grupos:

- i) acidificantes, precursores del ozono y gases de efecto invernadero ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{COVNM}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{SF}_6$ , HFC, PFC);
- ii) metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se y Zn);
- iii) contaminantes orgánicos persistentes (Hexaclorociclohexano, Pentaclorofenol, Hexaclorobenceno, Tetraclorometano, Tricloroetileno y Triclorobenceno).

Las 11 actividades de la clasificación SNAP97 son las siguientes:

- *Capítulo 1.* Combustión en la producción y transformación de energía (plantas de energía, refinerías, e industrias de coque).
- *Capítulo 2.* Plantas de combustión no industrial (instalaciones para calentar y aprovisionar de agua caliente al sector residencial y comercial).
- *Capítulo 3.* Combustión industrial.
- *Capítulo 4.* Procesos de producción en industrias.
- *Capítulo 5.* Extracción y distribución de combustibles fósiles.
- *Capítulo 6.* Uso de disolventes y otros productos.
- *Capítulo 7.* Transporte por carretera.
- *Capítulo 8.* Otros vehículos y maquinaria móvil (obras, puertos, aeropuertos, maquinaria agrícola, etc.).
- *Capítulo 9.* Tratamiento y eliminación de residuos.
- *Capítulo 10.* Agricultura.
- *Capítulo 11.* Otras fuentes y sumideros (naturaleza) emisiones biogénicas.

En España, el Ministerio de Agricultura Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, basándose en las últimas directrices metodológicas internacionales aplicables (principalmente EMEP/EEA-2016), publica anualmente el Inventario Nacional de Contaminantes Atmosféricos donde se estiman las emisiones a la atmósfera de: óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), amoníaco (NH<sub>3</sub>), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM), partículas, metales pesados y algunos contaminantes orgánicos persistentes (COP). La última publicación corresponde a la edición de 2018 que contiene la serie 1990-2016 (<http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/Inventario-Contaminantes.aspx>).

También es destacable el Sistema de Emisión de Modelos de Alta Resolución Selectiva (HERMES) dentro del Centro Nacional de Supercomputación en Barcelona (BSC-CNS). En este centro se desarrolla un modelo de emisión de alta resolución espacial (hasta 1x1 km<sup>2</sup>) y temporal (1 hora) para Europa y España, que proporciona información de emisiones antropogénicas y biogénicas tanto para la modelización de la calidad del aire como para la gestión medioambiental. HERMES se utiliza actualmente como núcleo de emisión del sistema de modelización de la calidad del aire CALIOPE para estudios de diagnóstico y predicción de

la calidad del aire en Europa y España, el estudio de escenarios futuros y la aplicación de modelos regulatorios, como los estudios destinados a analizar los impactos de diferentes políticas y estrategias sobre la calidad del aire. Se puede encontrar información de este centro en la siguiente página web: (<https://www.bsc.es/es/research-development/research-areas/atmospheric-composition/emission-modelling>)

En Euskadi los primeros inventarios sobre emisiones se realizaron en la década de los setenta del siglo pasado y siempre han ido unidos a cambios legislativos en materia de Medio Ambiente. Los estudios más reseñables son los siguientes:

- *Inventario Nacional de Focos de Contaminación Atmosférica* producida por la industria de los años 1975-76-77-78, que es un banco de datos de focos industriales a nivel nacional y por lo tanto también incluyen datos de Euskadi. Fue la primera aproximación a nivel estatal a raíz del Decreto 833/1975 para el desarrollo de la Ley de Protección del Ambiente Atmosférico.
- *Inventario de Gases de Efecto Invernadero 1990-2016* realizado anualmente por Ihobe.
- *Inventario de Partículas Acidificantes y Precursores del Ozono* de los años 2002-2003 realizado por Labein.
- *Inventarios en los Sistemas de Gestión Integral de la Calidad del Aire* realizados en 2002-2004 en el Bajo Nervión, Goierri, Duranguesado, Pasaialdea y Alto Deba.

En el año 2017, el Gobierno Vasco ha trabajado en el “*Desarrollo de un sistema de predicción de la calidad del aire en Euskadi*” contratando a la UTE EAKIS (Troposfera-Habitat-SVPA). Para ello, ha realizado un inventario sintético de la CAPV a partir de los datos suministrados por el Gobierno Vasco y estimaciones de elaboración propia. El enfoque utilizado para el inventario ha sido de “abajo a arriba” (bottom-up) en todos los SNAP. La elaboración del inventario se ajusta a los principios de la metodología EMEP/CORINAIR-IPCC y se presenta de acuerdo con la nomenclatura SNAP.

## **1.4. SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRÁFICA**

Un Sistema de Información Geográfica (GIS o SIG) es un sistema que integra tecnología informática, personas, e información geográfica, y cuya principal función es capturar, analizar, almacenar, editar y representar datos georreferenciados (Olaya 2014). Los SIG son una categoría de los sistemas de información que describen no solo actividades o acontecimientos sino también donde ocurren o existen.

De la misma forma que los textos han pasado del papel al ordenador, los mapas también han tenido su evolución con la aparición de los SIG. No obstante, un SIG es mucho más que cartografía digital ya que también puede usarse para realizar una gran variedad de operaciones que ayudan a generar nueva información. Los SIG se pueden utilizar como herramienta en los procesos de resolución de problemas y toma de decisiones, así como para la visualización de datos en un entorno espacial. Los tipos básicos de consulta a un SIG serían:

- *¿Qué hay?* Obtener información sobre lo que sucede en una localización determinada.
- *¿Dónde hay?* A partir de una condición, determinar los lugares donde se cumple.
- *¿Qué ha cambiado?* De qué manera ha evolucionado en el tiempo, lo que sucede en un área específica.
- *¿Cuál es el camino óptimo?* Calcular el camino óptimo entre dos puntos de una red.
- *¿Qué pautas hay?* La localización de patrones o regularidades espaciales en el comportamiento de algún fenómeno.
- *¿Qué ocurriría si?* La generación de modelos para simular el efecto de posibles fenómenos que pudieran ocurrir.

Los datos georreferenciados se crean, comparten y almacenan en muchos formatos diferentes. Los dos tipos de datos primarios son los vectoriales y los ráster:

- *Los datos vectoriales* se representan como puntos, líneas o polígonos. Los datos discretos (o temáticos) y con una ubicación exacta o límites concretos, se suelen representar como datos vectoriales. Algunos ejemplos son los límites de municipios o comarcas, usando polígonos, las carreteras usando líneas, o estaciones de medida usando puntos.

- Los *datos ráster* son más adecuados para datos continuos, o información que no tiene límites bien definidos. Los ráster son vistos como una serie de celdas o cuadrículas, donde cada celda tiene un valor que representa la característica que se está observando. Los datos ráster se utilizan en imágenes de teledetección, como la fotografía aérea y las imágenes de satélite.

En el mercado existe una gran variedad de aplicaciones software SIG que está evolucionando rápidamente. El software SIG se pueden clasificar en dos tipos principales: el libre y el de licencia comercial. En el inicio de este tipo de aplicaciones la funcionalidad del software libre era muy limitada, pero en los últimos años se han desarrollado varias aplicaciones libres que rivalizan en potencia y versatilidad con los productos con licencias de pago y de uso privativo.

Actualmente los tres softwares SIG con más relevancia en el mercado son: ArcGIS, QGIS y gvSIG. Cada programa tiene sus fortalezas y sus debilidades:

### **ArcGIS** (<http://desktop.arcgis.com/es/>):

Es un software comercial desarrollado por la empresa ESRI. Durante años ha sido el software de referencia en el mundo del SIG. Destaca por sus instrumentos de geoprocésamiento y siempre ha sido una buena herramienta para realizar topología o trabajar con redes. Dispone de una amplia comunidad de usuarios y tiene una documentación bien soportada. La principal desventaja que tiene es el alto coste de la licencia.

### **QGIS** (<https://www.qgis.org/es/site/>)

Es un software de código abierto y es un proyecto oficial de la Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Está disponible para Linux, Unix, Mac OSX, Windows y Android y soporta numerosos formatos y funcionalidades de datos, tanto vectoriales como ráster. Es probablemente el software libre más famoso del mercado y todo ello se debe a que tiene un sin fin de herramientas de calidad y si algo no lo tiene de fábrica, existe una comunidad de QGIS donde se encuentran extensiones “plugins” desarrollados por personas que aportan al proyecto. Como desventaja se puede mencionar la mala organización de esta cantidad de plugins que hace complicado encontrar el adecuado.

### **gvSIG** (<http://www.gvsig.com/es>)

Es también un software libre con licencia GNU/GPL y permite su libre uso, distribución, estudio y mejora. Surgió en 2004 como un proyecto de la Generalitat Valenciana, de ahí su nombre y se ha expandido por todo el mundo. Es fácil de usar y trabaja con diversidad de formatos vectoriales y ráster y dispone de múltiples herramientas. Son destacables

las funcionalidades 3D y el paquete de herramientas CAD que incorpora. Esto permite que trazar geometrías, editar vértices, alinear, dividir líneas y polígonos se pueda hacer con gran facilidad. La principal desventaja es la inestabilidad de algunas funciones, especialmente cuando la cantidad de datos a manejar es muy alta.

Los softwares utilizados en el desarrollo de esta tesis han sido QGIS y gvSIG, tratando de aprovechar las mejores potencialidades de cada uno en los problemas a resolver. Desde este trabajo se apuesta por el software libre, ya que se entiende que es una fuente idónea para la mejora continua por personas, comunidades y organizaciones de todo el mundo. El software comercial habitualmente no permite acceso al código fuente ni tampoco su mejora continua por personas ajenas a la organización que lo desarrolla y de esta forma se genera una dependencia hacia entidades privadas que muchas veces están fuera del país. Este trabajo no hubiera sido posible si no existiera el software libre.



## **1.5. COMUNIDAD AUTONOMA DE EUSKADI**

El **País Vasco o Euskadi** es una comunidad autónoma española, situada en el extremo nororiental de la franja cantábrica, lindando al norte con el mar Cantábrico y Francia (Aquitania), al sur con La Rioja, al oeste con Cantabria y Castilla y León y al este con Navarra. Lo integran las provincias (denominadas territorios históricos en el ordenamiento autonómico) de Álava, Gipuzkoa y Bizkaia, agrupando a 251 municipios: 51, 88 y 112, respectivamente. Euskadi tiene una extensión total de 7.234 km<sup>2</sup>, y una población actual de 2,19 millones de habitantes (*INE 2016*), con una densidad de población de 302 hab.km<sup>-2</sup>. Oficialmente, su capital es Vitoria, en Álava, donde se encuentran el Parlamento y la sede del Gobierno Vasco, mientras que la ciudad más poblada es Bilbao.

La orografía de Euskadi es principalmente montañosa, con una serie de cadenas montañosas que se distribuyen de norte a sur dejando en medio amplias depresiones. Las principales elevaciones son los Montes Vascos al norte y la Sierra de Cantabria en el sur. La mayoría de la comunidad autónoma se encuentra por debajo de los 1.000 m de altitud y las cotas altas más conocidas son Aizkorri 1.544 m y Gorbea 1.481 m.



**1. Figura:** Mapa de la CA de Euskadi con los núcleos de población más importantes. Fuente: GeoEuskadi

En Euskadi se pueden distinguir a grandes rasgos tres zonas climáticas: la vertiente atlántica al norte, la zona media en el centro y el extremo sur (*Euskalmet 2018*):

- *La vertiente atlántica* comprende las provincias del Bizkaia y Gipuzkoa y el norte de Álava, presenta un clima atlántico, moderado en cuanto a las temperaturas y muy lluvioso. El contacto con el océano suaviza las oscilaciones térmicas y hace que las variaciones entre la noche y el día o el verano e invierno sean poco acusadas, siendo la temperatura media anual sobre 14°C. El factor orográfico hace que la precipitación sea alta y se recojan entre 1.200 y más de 2.000 mm de media anual.
- *La zona media*, ocupa gran parte de Álava y es una zona de transición entre el clima oceánico y el clima mediterráneo, predominando características atlánticas, ya que no existe un auténtico verano seco.
- *El sur*, en la zona de depresión del Ebro, denominada la Rioja Alavesa, tiene un clima denominado continental mediterráneo. Las oscilaciones térmicas son importantes, con veranos secos y calurosos e inviernos fríos.



**2. Figura:** Zonas Climáticas Euskadi. Fuente: *Euskalmet*

Euskadi concentra un gran volumen de industrias. Se trata de una de las regiones más ricas de Europa y su PIB per cápita de 33.088 euros en 2017, se situó cerca del 23% por encima de la media de la Unión Europea de 28, según datos del EUSTAT (Instituto Vasco de Estadística). A pesar de su extensión relativamente pequeña y una población del 4,9% respecto a España, Euskadi aporta el 6,2% del PIB, el 10,45% del PIB industrial y el 9,2% de las exportaciones.

## **1.6. OBJETIVOS Y ALCANCE**

El objetivo principal de este trabajo es el desarrollo de un inventario de emisiones atmosféricas para partículas y precursores de ozono para la Comunidad Autónoma de Euskadi. Las partículas y el ozono son considerados actualmente como las dos principales causas de contaminación en Europa. Debido a que el ozono es un contaminante secundario y no se emite como tal, sino que se genera por la mezcla de  $\text{NO}_x$  y COVNM, los inventarios generados incluirán los siguientes compuestos:

- Partículas
- $\text{NO}_x$
- COVNM

El inventario realizado considera los siguientes sectores:

- Industrial, incluyendo plantas de generación de energía
- Biogénico, incluyendo agricultura
- Tráfico por carretera

Como objetivos específicos se definen los siguientes:

- Los inventarios de emisiones deben ser georreferenciados, lo que implica el uso de un sistema de coordenadas geográficas mediante SIG. La resolución a utilizar ha de ser alta debido a la orografía de Euskadi. Se considera que una resolución de tamaño de celda de 250 m de lado puede ser adecuada.
- El análisis temporal tiene como referencia el año natural y se considera el periodo entre los años 2007 y 2015. El año 2007 es considerado un año referencia por dos motivos principales: es el primer año pre-crisis mundial y también es el primer año en el que existen datos del inventario E-PRTR.
- Definir patrones anuales adecuados a las particularidades de cada tipo de emisión. La resolución temporal horaria es necesaria para la posterior utilización de los inventarios en modelos de simulación de calidad de aire, como por ejemplo en los episodios de ozono.
- Finalmente, con este trabajo se pretende mejorar el conocimiento existente en la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas para su aplicación en la modelización de la calidad del aire.



## **2. EMISIONES INDUSTRIALES**



## **2.1. INTRODUCCIÓN A LAS EMISIONES INDUSTRIALES**

Las actividades industriales tienen un papel importante en el bienestar de un país, contribuyen al crecimiento económico y proveen de trabajo de calidad a la ciudadanía. Sin embargo, también tienen impactos colaterales sustanciales, de forma importante en el medio ambiente, debido a la emisión de diversos contaminantes. El desarrollo de una sociedad suele estar relacionado con los usos energéticos y la actividad industrial. A mayor desarrollo, mayor actividad y esto implica mayores emisiones de contaminantes a la atmósfera que, en principio, supone mayores problemas de contaminación del aire.

La actividad industrial suele ser diversa y variada, se requiere información específica de cada centro industrial, como por ejemplo el nivel de producción, calendarios laborales, arranques y paradas de línea etc. y esto hace que la estimación de las emisiones sea extremadamente compleja. Además, la colaboración de estas industrias a suministrar esta serie de datos suele ser baja.

Se suelen distinguir dos grupos principales de emisión industrial: las debidas al aprovechamiento energético de los combustibles y las relacionadas con los procesos de producción:

- El *aprovechamiento energético de los combustibles fósiles* en las centrales térmicas se usa para la generación de calor y de electricidad. Los combustibles usados habitualmente suelen ser carbón, fuel-oil o gas natural y en función del tipo y la calidad, se emiten diferentes contaminantes: óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, dióxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles y partículas, entre otros.
- Los *variados procesos de producción*, cuyas emisiones dependen del tipo de proceso, de la tecnología y de las materias primas utilizadas. La variabilidad y la casuística puede ser muy amplia. Entre los sectores que suelen dar mayores emisiones se pueden destacar: las refinerías de petróleo, industria del metal, industria química, papeleras, alimentación, etc.

Las emisiones al aire de fuentes industriales suelen ser a través de focos puntuales como son las chimeneas o debidas a focos difusos como pueden ser los acopios, evaporaciones etc.

- Un *foco puntual* es un elemento o dispositivo a través del cual tiene lugar una descarga a la atmósfera de contaminantes atmosféricos, de forma continua, discontinua o puntual y con origen en uno o varios equipos, procesos y/o actividades, que pueden ser recogidas para su emisión conjunta a la atmósfera. Al estar localizadas son fácilmente controlables y medibles.

- Las *emisiones difusas* son las descargas no realizadas por focos canalizados o controlados, de forma continua o discontinua, procedentes directa o indirectamente de cualquier fuente susceptible de producir contaminantes atmosféricos. Se consideran difusas las emisiones no capturadas liberadas al ambiente exterior por ventanas, puertas, respiraderos y aberturas similares, o directamente generadas en el exterior. Son difíciles de controlar ya que pueden ser ocasionados por fugas, derrames, manipulación de sustancias etc. que antes de salir al exterior se han propagado por el interior de la instalación.

### 2.1.1. LEGISLACIÓN

A fin de controlar las emisiones de las industrias, la EU ha desarrollado un marco general basado en autorización administrativa previa. Esto significa que los permisos deben tener en cuenta todo el comportamiento ambiental de una instalación para evitar que la contaminación se transfiera de un medio, como la atmósfera, el agua o el suelo, a otro. Debe darse prioridad a la prevención de la contaminación interviniendo en la fuente y asegurando una gestión y un uso prudente de los recursos naturales.

En el sector industrial se ha desarrollado el marco legislativo de la Prevención y Control Integrado de la Contaminación (IPPC). Es un mecanismo regulatorio de la EU por el que las instalaciones industriales de unas características determinadas están obligadas a establecer medidas para prevenir, reducir y controlar sus emisiones. La primera directiva IPPC fue la Directiva 96/61/CE y a partir de 2014 está en vigor la Directiva 2010/75/UE de Emisiones Industriales que fusiona varias normas anteriores. Estas normas han introducido una serie de herramientas clave para gestionar las emisiones como son: la definición de *Mejores Técnicas Disponibles* (MTD), la aglutinación de todas las autorizaciones administrativas en una única *Autorización Ambiental Integrada* (AAI) y el establecimiento de límites de emisión y planes de vigilancia de las actividades industriales, así como la transparencia informativa entre sectores industriales y público interesado y/o afectado.

Conforme a la directiva IPPC, se desarrolló a partir del año 2000 el EPER (European Pollutant Emission Register), que recogía los datos de vertidos de contaminantes a las aguas y de emisiones a la atmósfera, que deben suministrar los Estados. La creación del Registro EPER respondía a un doble objetivo: poder comparar las actividades contaminantes y sus emisiones en Europa y garantizar el derecho del público a acceder a la información sobre las actividades potencialmente contaminantes que le pueden afectar, publicando estos datos en Internet.

A partir del año 2007 y conforme al Reglamento (CE) nº 166/2006, el registro EPER se sustituyó por un nuevo Registro Europeo de Emisiones y Transferencias de Contaminantes

(E-PRTR). Este nuevo registro amplía las obligaciones del registro EPER en los siguientes aspectos: el tipo de instalaciones, las emisiones al suelo, las transferencias de residuos, las emisiones de fuentes difusas, la participación pública y la periodicidad de las comunicaciones de la información. También requiere que las Comunidades Autónomas tengan información sistematizada sobre las principales emisiones y los focos de las industrias sometidas a la obligación de informar y a su vez, comuniquen anualmente estos datos al Ministerio de Medio Ambiente para su registro en el Inventario Estatal de Emisiones, que posteriormente se trasfiere a la Comisión Europea.

El registro E-PRTR se refiere a 91 contaminantes y 65 actividades económicas, en lugar de los 50 contaminantes y 56 actividades que existían en el marco del EPER. De esta forma, se pasa de 12.000 a 28.000 instalaciones de las que se disponen datos en Europa y los informes pasan a ser anuales en vez de los trienales en el marco del EPER (en el que se dispone de datos de 2001 y 2004). El registro E-PRTR además, incluye información sobre emisiones difusas (*EEA 2006*).

En España, el Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes está en vigor desde 2001. Entonces se denominó EPER-España. Desde el año 2007, pasa a denominarse PRTR-España para cumplir los requisitos del Reglamento (CE) 166/2006. De acuerdo a esta normativa, los titulares de los complejos industriales deben comunicar a sus autoridades competentes anualmente información sobre (*PRTR-España 2018*):

- emisiones de determinadas sustancias contaminantes al aire, agua y suelo,
- emisiones accidentales,
- emisiones de fuentes difusas,
- transferencias de residuos fuera de los complejos industriales.

La idea es que exista un registro público y accesible de las principales empresas contaminantes con la siguiente información de detalle:

- tipo de complejo o instalación,
- tipos y cantidades de sustancias y residuos emitidos,
- ámbito geográfico,
- sectores industriales o económicos.

Estas empresas están distribuidas en los 9 sectores de actividad industrial siguientes (EMEP 2016):

1. *energía*
2. *producción y transformación de metales*
3. *industria mineral*
4. *industria química*
5. *gestión de residuos y aguas residuales*
6. *producción y procesamiento de papel y madera*
7. *producción ganadera intensiva y acuicultura*
8. *productos de origen animal y vegetal del sector de la alimentación y de las bebidas*
9. *otras actividades*

A su vez estos sectores se dividen en subsectores (letras de la “a” a la “g”), y en algunas actividades además una tercera subdivisión de (i) a (xi), tal y como se muestra en el Anexo 1 del Reglamento (CE) 166/2006 (EEA 2006). En el apartado de emisiones a la atmósfera se especifican 60 sustancias como contaminantes atmosféricos relevantes, y también se indican ayudas para la identificación de los contaminantes más significativos de un complejo en particular y sobre los métodos normalizados para su medición.

La información que se suministra de las emisiones atmosféricas debe basarse en mediciones, cálculos o estimaciones:

- Clase M (Mediciones): los datos de emisiones proceden de sistemas de control o monitorización de los procesos, ya sea en continuo o cuando las emisiones anuales se determinan en base a mediciones puntuales.
- Clase C (Cálculos): los valores de emisión se obtienen a partir de factores de emisión, balances de materia y demás cálculos que utilicen variables de proceso.
- Clase E (Estimaciones): los datos de emisión se basan en estimaciones no normalizadas como opiniones de expertos por métodos no referenciados, debido a la ausencia de estándares internacionales.

La calidad de esta información será más alta en las obtenidas por mediciones y la más baja será la obtenida por estimaciones.

## **2.2. LA INDUSTRIA EN EUSKADI**

El sector industrial en Euskadi es muy importante y tiene una producción especializada en diferentes sectores, principalmente: la industria metalúrgica, industria del petróleo, energía y agua y en maquinaria y equipos mecánicos. La industria aporta el 30% del PIB vasco y dentro de él destaca el sector del metal que representa el 50% de toda la industria.

En Euskadi, desde el año 2002, el Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial del Gobierno Vasco ha gestionado el Registro Vasco de Emisiones y Fuentes Contaminantes (EPER Euskadi / E-PRTR) de las empresas afectadas por dicha normativa, a través del servicio de la Declaración Medioambiental electrónica del Sistema IKS. Con ello se pretende, además del cumplimiento de la normativa, mejorar la fiabilidad y calidad de la información reportada para su posterior publicación de acceso al público en general. El Registro Vasco de Emisiones y Fuentes Contaminantes E-PRTR se encuentra disponible en formato xls en el portal de datos del Gobierno Vasco de libre acceso: <http://www.opendata.euskadi.eus>.

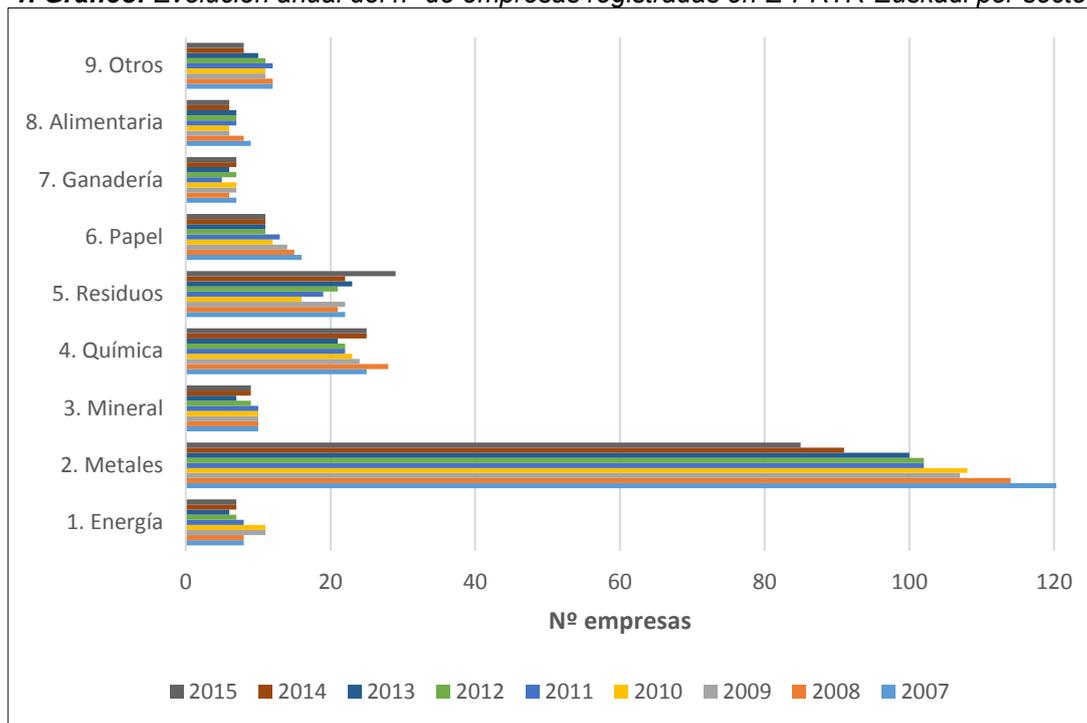
El registro E-PRTR de Euskadi de emisiones al aire contiene datos comunicados de unas 200 empresas vascas que están obligadas por ley a declarar anualmente sus emisiones a la atmósfera. Aunque no son todas las empresas industriales de Euskadi, sí se corresponden con las más grandes. El número de empresas vascas registradas en E-PRTR-Euskadi por emisiones al aire ha tenido una tendencia a la baja a lo largo de los últimos años, pasando de 231 en 2007 a 187 en 2015.

**2. Tabla: N° empresas registradas en E-PRTR Euskadi aire**

<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
231	222	212	204	198	197	191	186	187

En el siguiente gráfico se muestra la segregación de las empresas en función de su sector de actividad. Se ve claramente que la mayor cantidad de empresas, sobre el 50%, son del sector de metal. También se aprecia que este sector del metal es el que ha perdido el mayor número de empresas. Las razones son principalmente dos: por un lado, la crisis económica que ha golpeado fuertemente este sector y, por otro lado, las cada día mayores exigencias ambientales que han hecho que varias empresas con tecnología obsoleta hayan tenido que cesar en su actividad.

**1. Gráfico: Evolución anual del nº de empresas registradas en E-PRTR-Euskadi por sector**

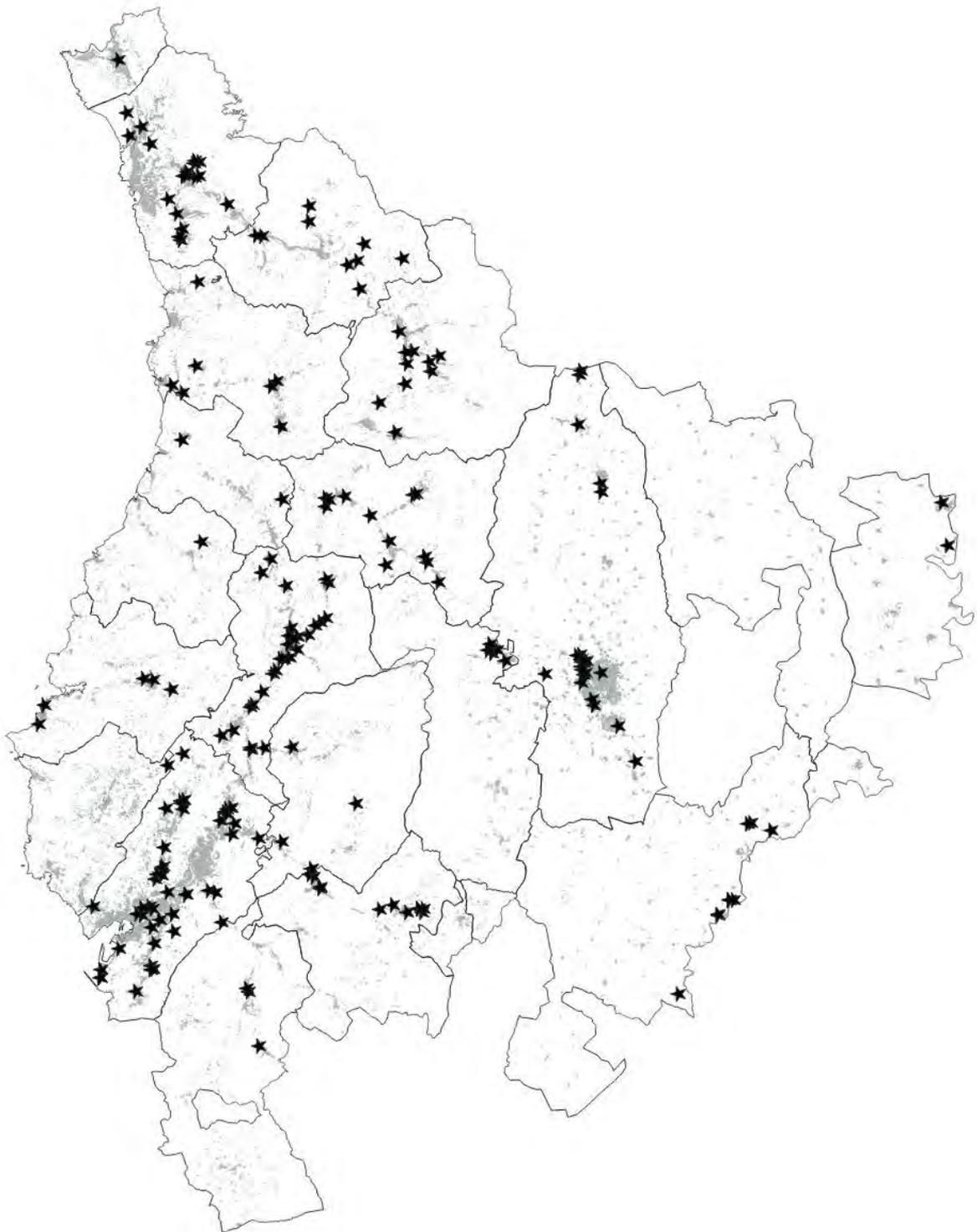


Atendiendo a la localización geográfica de las empresas industriales en Euskadi, estas se concentran principalmente alrededor de los grandes núcleos urbanos y cerca de los cauces de los ríos.

Se puede decir que cada provincia tiene unas características singulares:

- *Bizkaia* concentra la industria en la comarca del Gran Bilbao y en la zona del curso medio del río Ibaizábal en la comarca del Duranguesado. Derivado de la histórica industria minera y del hierro predomina la industria siderometalúrgica y de transformados metálicos. También se ha de mencionar la refinería de petróleo, la industria naval, la química y la de generación de energía.
- En *Gipuzkoa* la industria está más dispersa por toda la provincia, aunque el cinturón en torno a Donostia tiene la mayor importancia. En esta provincia prevalecen los transformados metálicos y la industria papelera, textil, alimentaria y mobiliaria.
- En *Álava* la industria está concentrada alrededor de Vitoria-Gasteiz, orientada a la transformación de metales, caucho, alimentación y auxiliar del automóvil y en la zona de Llodio y Amurrio, principalmente al vidrio.

En las siguientes páginas se hace un análisis de las empresas vascas en función del sector de actividad E-PRTR al que pertenecen, mostrándose la localización geográfica de todas ellas.



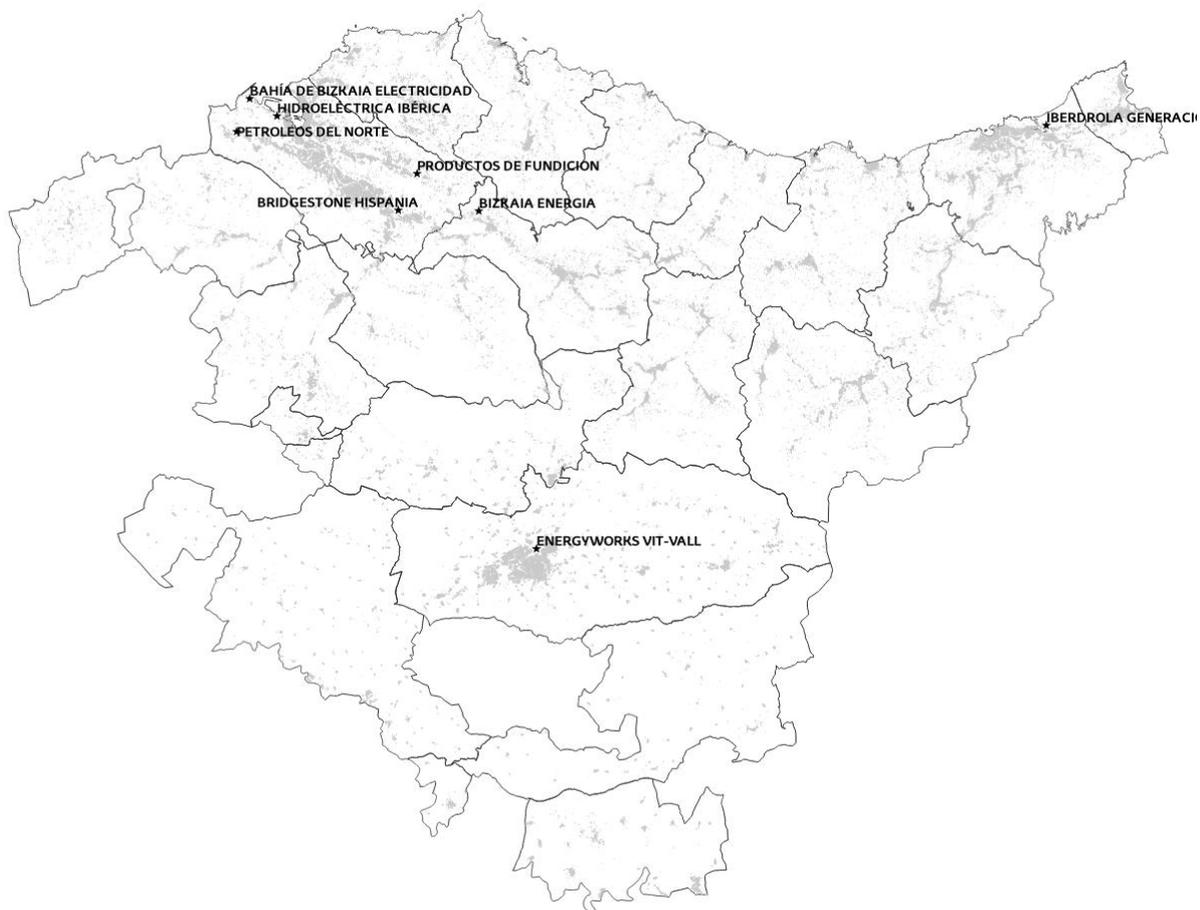
**3. Figura:** Localización de las empresas registradas en E-PRTR Euskadi Aire. Año 2010

## Sector 1: Energía

En este sector se incluyen las instalaciones térmicas de combustión de más de 50 MW, refinerías, coquerías e instalaciones del carbón y similares.

En Euskadi destacan la refinería Petronor en Muskiz y las grandes centrales térmicas que existen principalmente en Bizkaia. Es reseñable indicar que la central térmica de Pasaia cesó su actividad en el año 2012.

La cantidad de este tipo de instalaciones suele ser baja, pero sus emisiones contaminantes son siempre de alto impacto, sobre todo en emisiones de NO<sub>x</sub> debidas a la combustión.



4. Figura: Empresas E-PRTR Euskadi sector de la energía. Año 2010

## Sector 2: Producción y transformación de metales

El sector del metal representa aproximadamente el 50% de la industria vasca y agrupa a empresas de siderurgia, forja, fundición, laminación, tratamientos superficiales, etc. Dentro de este sector destacan las grandes acerías y los proveedores del sector de la automoción. Tienen gran impacto, especialmente en las emisiones de partículas.



5. Figura: Empresas E-PRTR Euskadi sector del metal. Año 2010

### Sector 3: Industria mineral

Dentro de este sector se incluyen las canteras y minas, cementeras, industria del vidrio y de productos cerámicos. En Euskadi destacan las cementeras Rezola y Lemona y las empresas del vidrio de la zona de Llodio. Son grandes emisores de NO<sub>x</sub> debidos a los procesos de combustión de sus hornos industriales.



6. Figura: Empresas E-PRTR Euskadi sector mineral. Año 2010

#### **Sector 4: Industria química**

Este sector está integrado por la producción de compuestos químicos orgánicos e inorgánicos, fertilizantes, farmacéuticas, pinturas, explosivos, detergentes etc. Se aprecian aglomeraciones de este sector en torno al Gran Bilbao y en el sur de Álava, en las cercanías de Miranda de Ebro.



**7. Figura:** Empresas E-PRTR Euskadi sector químico. Año 2010

## Sector 5: Gestión de residuos y aguas residuales

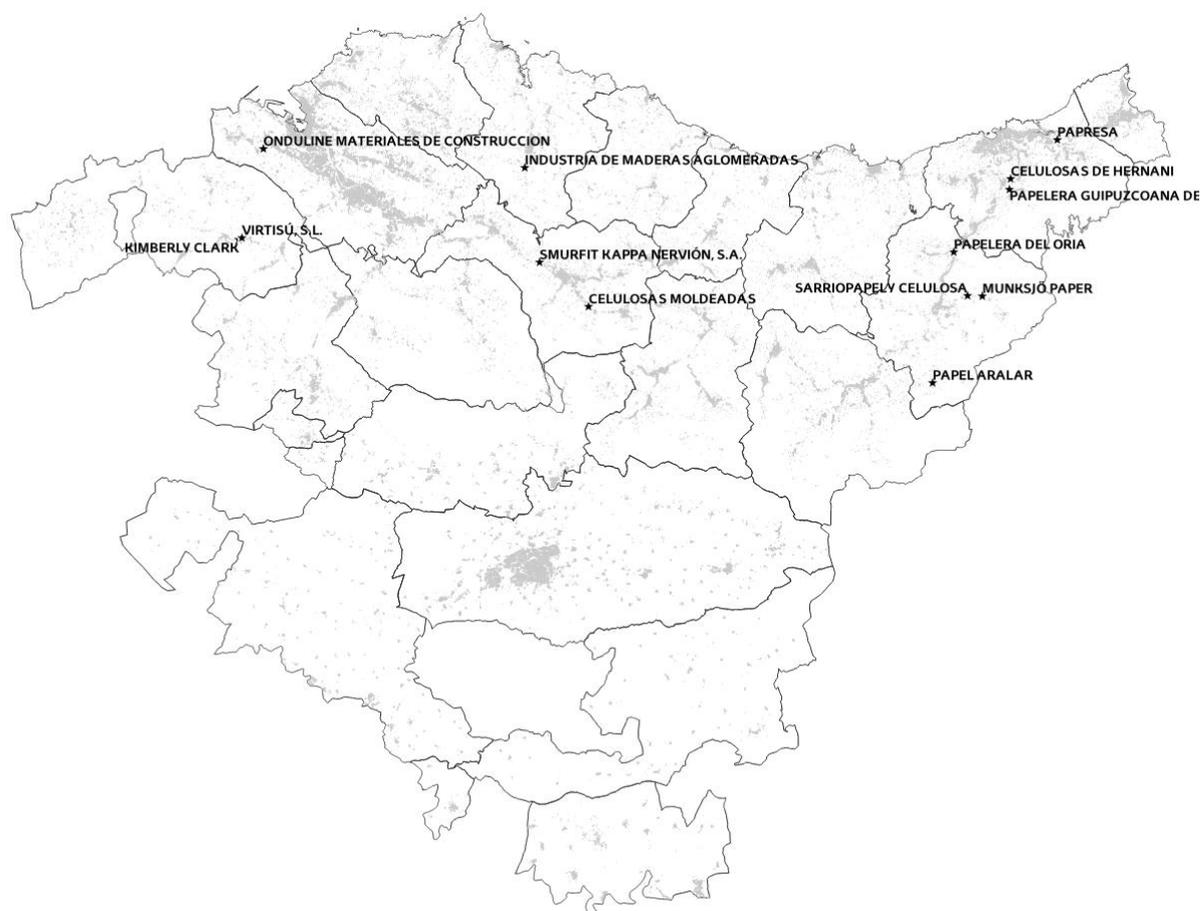
Se incluyen todos los vertederos, depuradoras de agua, recicladoras e instalaciones de eliminación de residuos animales. En Euskadi destacan las distintas EDAR existentes, siendo la de Galindo la más grande, distintas empresas recicladoras y la incineradora de Zabalgarbi. Se trata del único sector donde ha crecido el número de empresas del E-PRTR.



8. Figura: Empresas E-PRTR Euskadi sector residuos. Año 2010

## **Sector 6: Producción y procesamiento de papel y madera**

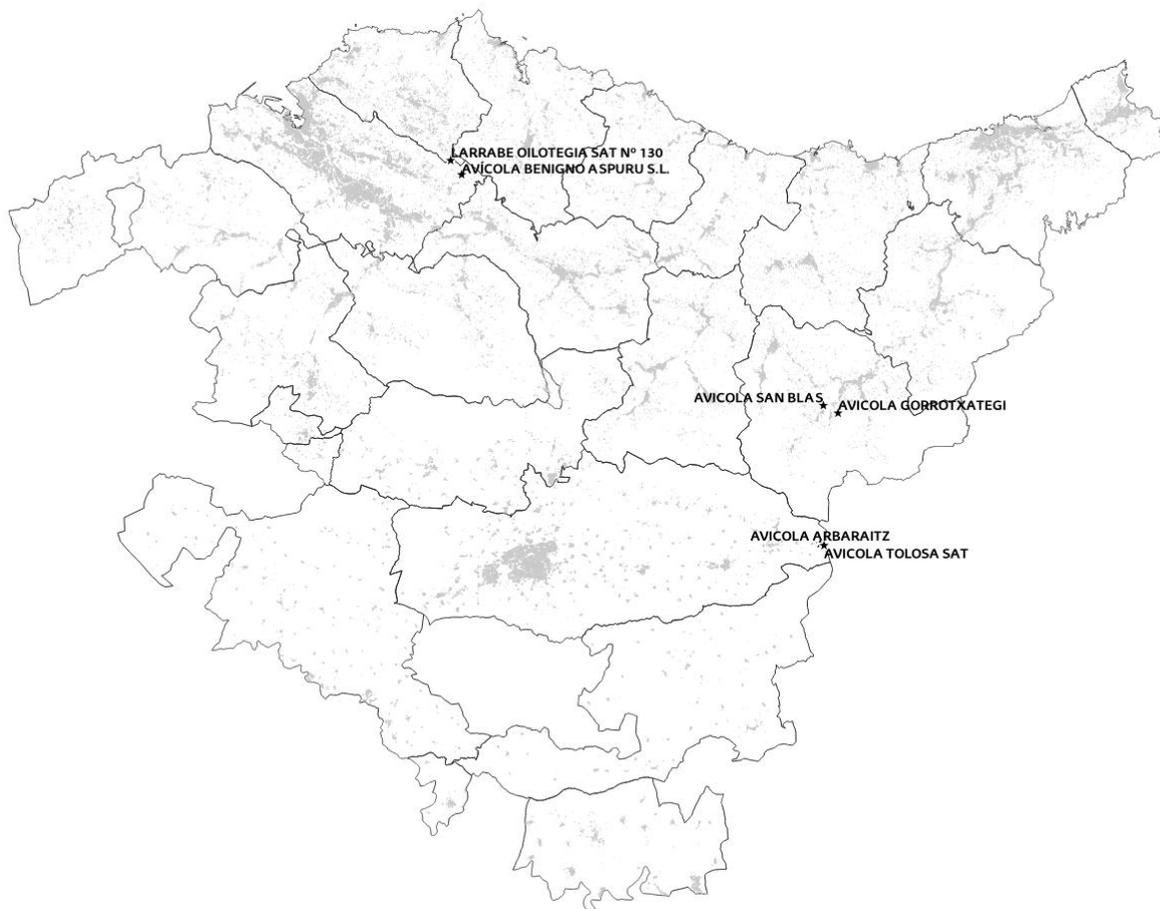
Este sector incluye las papeleras, que en Euskadi se concentran en territorio guipuzcoano, donde destaca la papelería de Hernani. También se han de mencionar la papelería de Iurreta y la de Atxondo en Bizkaia. En 2011 se cerró la empresa INAMA en Muxika, debido a problemas económicos y ambientales (retirada de la Autorización Ambiental Integrada por parte del Gobierno Vasco).



**9. Figura: Empresas E-PRTR Euskadi sector papel. Año 2010**

## **Sector 7: Producción ganadera intensiva y acuicultura**

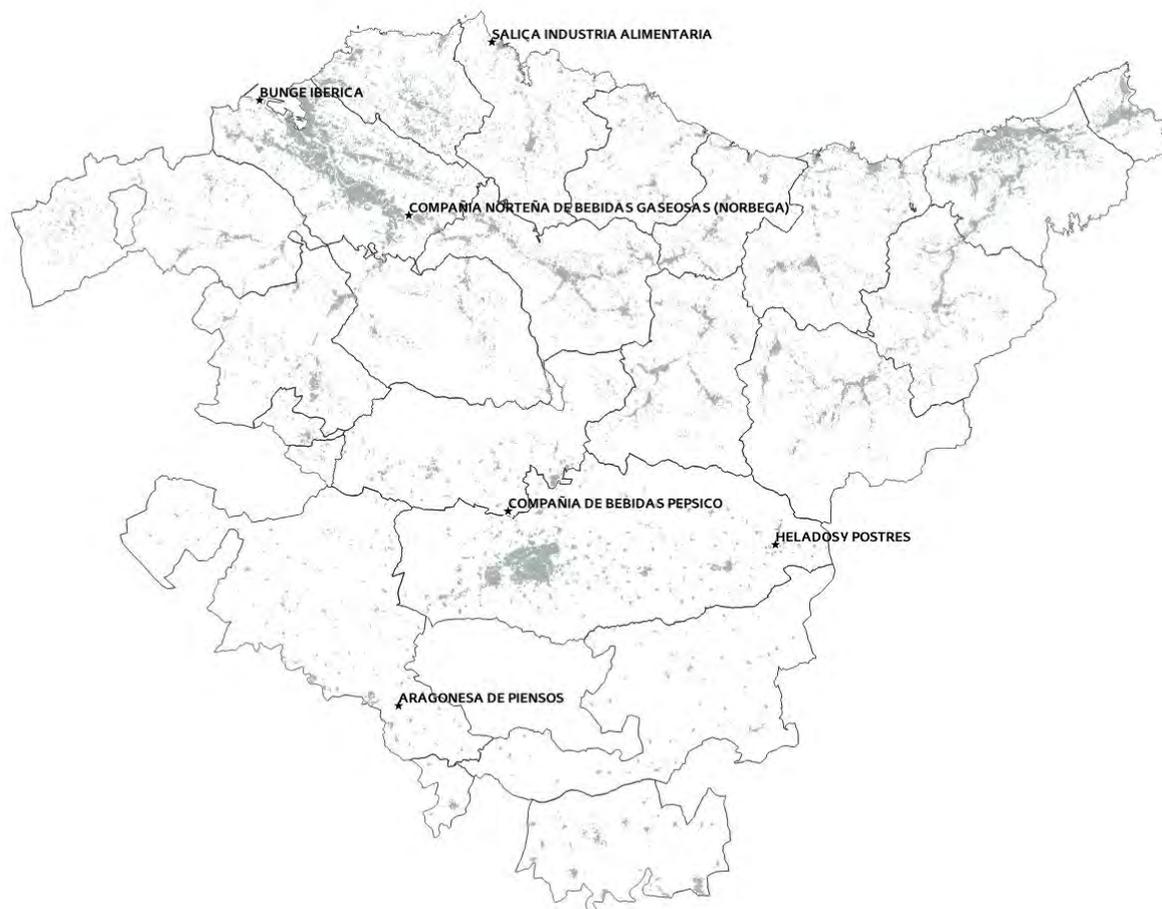
Este sector incluye las explotaciones ganaderas o piscícolas. En Euskadi todas las explotaciones ganaderas que hay son pequeñas y de bajo impacto. Predominan las de carácter familiar, el caserío con dimensiones que no llegan al mínimo para ser registradas en el E-PRTR. Por destacar algún tipo de explotación se pueden mencionar las instalaciones avícolas que existen en los tres territorios.



**10. Figura: Empresas E-PRTR Euskadi sector ganadería. Año 2010**

## **Sector 8: Productos de origen animal y vegetal del sector de la alimentación y las bebidas**

Aquí se incluyen los mataderos, fabricación de productos alimenticios y lecherías. El sector alimentario no es muy importante en Euskadi, Se puede destacar la empresa Bunge en Zierbena dedicada al tratamiento de productos derivados de la soja, como la de más impacto ambiental al aire de Euskadi en este sector.



**11. Figura:** Empresas E-PRTR Euskadi sector alimentación. Año 2010

## Sector 9: Otras actividades.

En este apartado se incluyen empresas textiles, del cuero, fabricación del carbono, industria naval y de tratamientos superficiales con disolventes. Dentro de este sector se ha de nombrar a la empresa Mercedes de fabricación de furgonetas, la mayor empresa de Euskadi, y a Michelin, fabricante de neumáticos, ambas situadas en Vitoria-Gasteiz.



12. Figura: Empresas E-PRTR Euskadi sector otras actividades. Año 2010

## **2.3. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE EMISIONES INDUSTRIALES**

Para realizar el inventario de emisiones industriales se ha optado por utilizar una metodología *bottom up* partiendo de los informes desagregados del periodo 2007-2015 del Registro Vasco de Emisiones y Fuentes Contaminantes E-PRTR. También se han utilizado tablas con los registros de estos años suministradas por la Dirección de Calidad Ambiental del Gobierno Vasco. Aunque en el Registro Vasco de Emisiones existen datos desde el año 2002, solamente se han utilizado datos a partir del año 2007, el primer año en el que se tienen en cuenta las modificaciones realizadas el *18 de enero de 2006*, cuando se adoptó el Reglamento (CE) N° 166/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo al establecimiento de un Registro Europeo de Emisiones y Transferencias de Contaminantes y por el que se modifican las Directivas 91/689/CEE y 96/61/CE del “Reglamento E-PRTR Europeo” (*Comisión Europea 2006*).

A partir de estos datos, se han generado hojas de cálculo para cada año con los siguientes datos: nombre de la empresa, población, provincia, localización UTM, código E-PRTR, contaminantes (NO<sub>x</sub>, COVNM, PM<sub>10</sub>), horas de operación, producción y emisión anual para cada contaminante.

Una vez completadas las hojas de cálculo se ha realizado una evaluación de la calidad de estos datos de entrada. Esta parte es imprescindible, ya que se han detectado numerosos defectos que es necesario corregir:

- Errores en la localización UTM
- Falta de datos en algunos años
- Errores en los datos de emisiones anuales
- COVNM reportados como COT (Carbono Orgánico Total)
- PM<sub>10</sub> y otras maneras de definir la emisión de partículas

*Errores en la localización UTM:* varias empresas no disponen de geolocalización o ésta es incorrecta. Para corregir estos errores se ha utilizado la herramienta Google Maps, donde una vez localizada la empresa, el sistema devuelve su latitud y longitud y posteriormente se traduce el dato a coordenadas UTM.

*Falta de datos en algunos años.* No se encuentran valores de emisión de algunas empresas clave en ciertos años. Esta falta hace parecer que no hay emisión donde realmente la hay y

distorsionan los resultados finales. Para minimizar el impacto se han añadido manualmente emisiones similares a otros años, promedio de año anterior y posterior. Cuando se modifica un dato de la tabla original, se hace un comentario para dejar constancia de que se ha hecho un cambio y el motivo por el cual se ha hecho.

*Errores en los datos de emisiones anuales:* Se detectan valores anómalos en las emisiones de ciertos contaminantes, ya que por exceso o por defecto carecen de sentido. En estos casos y si se dispone de la información, se ha procedido a recalcular la medida con los datos del caudal medio, horas anuales trabajadas y nivel de emisión medio.

*COVNM como COT:* A partir del año 2010 hay empresas que no reportan COVNM sino COT (Carbono Orgánico Total). El reporte de emisiones como COT se debe a la aplicación del *Real Decreto 117/2003 de 31 de enero*, sobre emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes que obliga a este tipo de mediciones. En este estudio, a falta de más datos, se ha utilizado la equivalencia  $COT=COV$ .

*Partículas  $PM_{10}$  y otros tipos de partículas:* Los registros de emisiones de partículas se encuentran caracterizadas con distintas unidades:  $PM_{10}$ , partículas sólidas, partículas sólidas inertes y otros conceptos. Para tener una homogeneidad en los resultados se han transformado todas las unidades a  $PM_{10}$ , y para ello se han utilizado las equivalencias que se aportan en las Guías Sectoriales EPER Aire del Departamento de Medio Ambiente del Gobierno Vasco, tal y como sugiere este departamento en una consulta realizada (*Fundación Labein 2005*).

Indicar que, en los registros de emisiones de partículas, no hay ninguna referencia a datos de emisiones  $PM_{2,5}$ , tamaño de partícula más problemático desde un punto de vista sanitario y que convendría tener en cuenta como posible parámetro a solicitar a futuro.

## **2.4. RESULTADOS DEL CÁLCULO DE EMISIONES INDUSTRIALES EN EUSKADI**

En este apartado se presentan los resultados de las estimaciones de las emisiones industriales de NO<sub>x</sub>, COVNM y PM<sub>10</sub> del periodo de años comprendido entre 2007 y 2015.

Los datos se presentan como emisiones anuales y así se ve la evolución que han tenido en este periodo. Son varios los factores que se han de valorar: por un lado, la actividad económica que a partir del año 2009 se redujo debido a la crisis y su posterior recuperación a partir del año 2014 y también la desaparición de algunas empresas de alto impacto ambiental, ya sea por la crisis o por la presión de las políticas ambientales.

Posteriormente, los datos de emisión anuales se desagregan por sector de actividad. De esta forma se tiene información sobre el peso de los distintos sectores en el global de los contaminantes emitidos. Los de mayor impacto en Euskadi son: el sector energético en NO<sub>x</sub>, el uso de disolventes en COVNM y el metal en PM<sub>10</sub>.

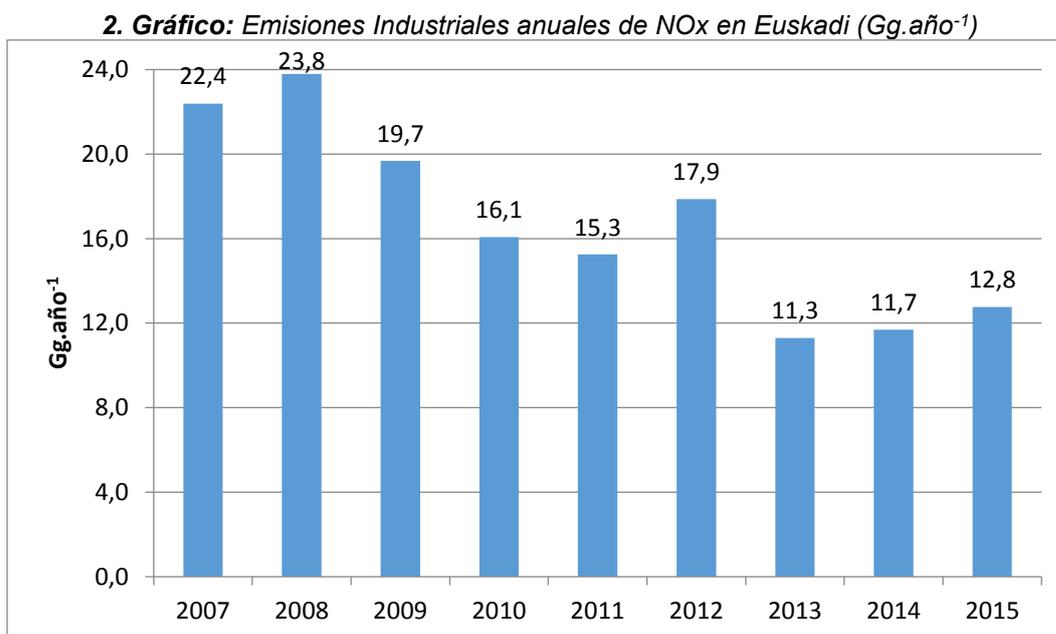
A continuación, se hace una valoración de las empresas que denominaremos Top-Ten por contaminante, es decir las 10 empresas que lideran el ranking de emisiones. Este ranking es muy interesante, ya que con los datos de muy pocas empresas se tienen porcentajes muy altos de las emisiones totales, se puede hacer una estimación bastante realista de las emisiones globales y se podría diseñar un sistema de vigilancia de emisiones en tiempo real sobre los principales focos de emisión.

Finalmente se presenta la geolocalización por contaminante de todas las empresas emisoras. Para destacar visualmente la emisión de contaminante se ha representado cada empresa con un tamaño proporcional a su emisión.

Aunque es interesante conocer cómo se comportan las emisiones tanto a lo largo del ciclo anual como en el ciclo diario, no se ha llegado a realizar este estudio debido a la falta de datos. Es necesario conocer los detalles de todos los ciclos productivos y la casuística de todas y cada una de las empresas afectadas en estos registros, por lo menos de las más representativas. La alta variabilidad determinada por la situación específica de cada empresa hace que este trabajo, no se pueda abordar con los medios disponibles en esta tesis doctoral. Para mejorar la calidad del inventario realizado sería interesante poder disponer de resultados de sistemas de medida continua bien calibrados en las principales fuentes de emisión que ya están identificadas.

## 2.4.1. EMISIONES INDUSTRIALES DE NO<sub>x</sub>

Las emisiones industriales de NO<sub>x</sub> han pasado de 22,4 Gg en 2007 a 12,8 Gg en 2015, una reducción superior al 40%. A partir del año 2009 comienza una reducción fuerte de las emisiones, debido a una bajada de la actividad asociada a la crisis económica, que solo se ve interrumpida en el año 2012, donde se da un pico de emisiones en la Central Térmica de Pasaia, debido a un incremento de su actividad justo en el año de su cierre. El año 2013 es el año de menores emisiones de este ciclo, mientras que durante los años 2014 y 2015 hay un ligero incremento de las emisiones fruto de la paulatina recuperación económica.



Las emisiones de NO<sub>x</sub> son consecuencia directa de los procesos de combustión y la segregación de los valores globales por sector de actividad muestra al sector energético como responsable de entre el 35-45% (en función del año) de todas las emisiones industriales. El sector mineral (principalmente las cementeras y vidrieras) emite entre el 25-30%, el sector del metal en torno al 15% y las papeleras el 8-11% de todas las emisiones.

El Top Ten de las empresas que más NO<sub>x</sub> emiten a la atmósfera es responsable de más del 77% de las emisiones totales de este contaminante en el año 2015. Sobre todas ellas destaca Petronor que emite más del 30% del total. La central de EnergyWorks en Vitoria, las vidrieras de Llodio, las cementeras de Lemona y Donosti, las papeleras de Iurreta y Hernani y las grandes acerías son las instalaciones a tener en cuenta.

**3. Tabla:** Segregación de las emisiones de NO<sub>x</sub> por sector E-PRTR (Gg.año<sup>-1</sup>)

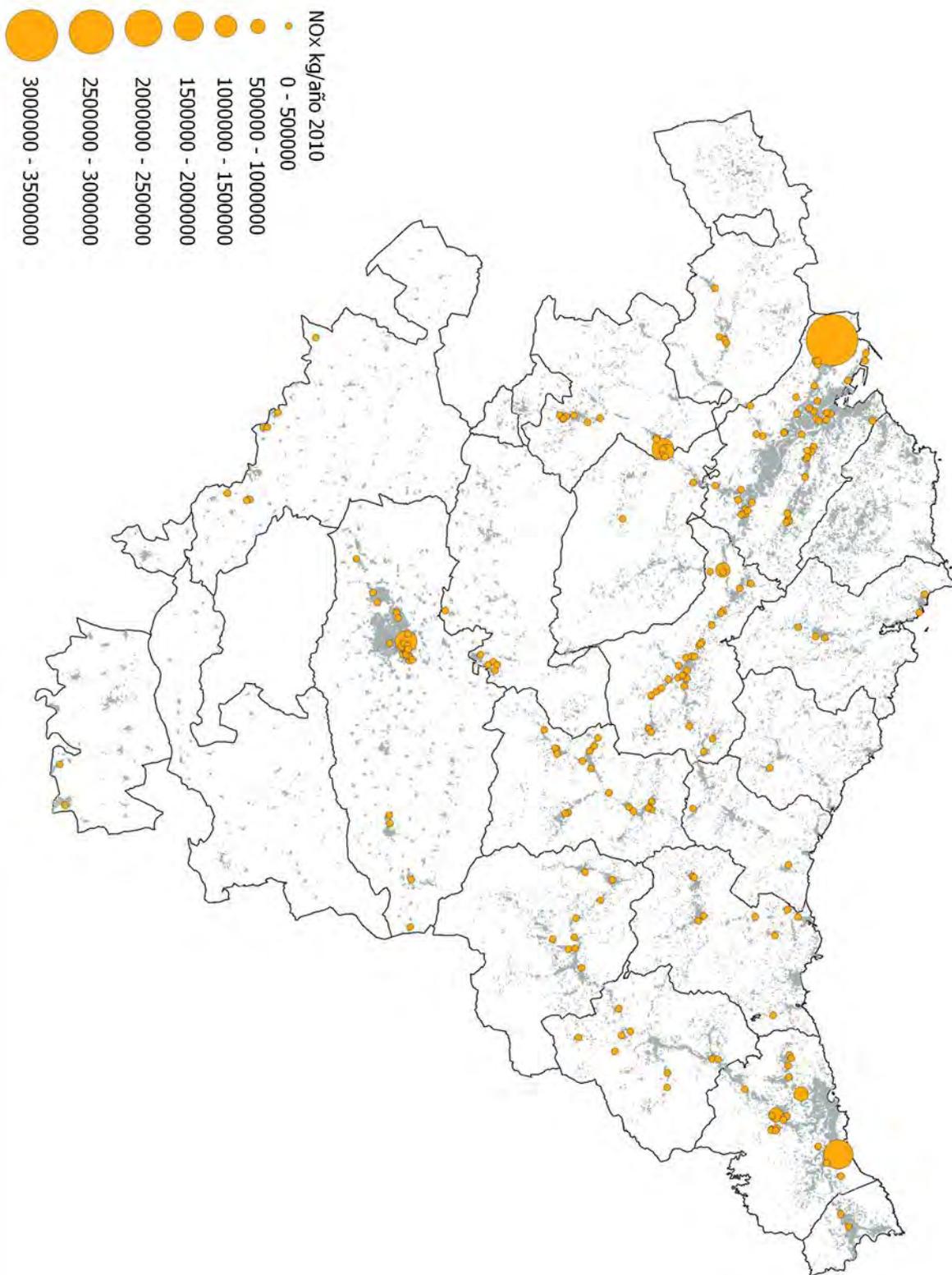
ACTIVIDADES E-PRTR	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1. ENERGÍA	10,6	8,0	8,5	6,9	5,7	8,6	4,3	4,2	5,8
2. METAL	3,4	3,0	2,2	2,6	2,7	2,5	2,1	2,0	2,0
3. MINERAL	4,9	8,1	6,2	4,2	4,5	4,7	2,6	3,7	3,2
4. QUÍMICA	0,2	0,3	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1
5. RESIDUOS	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3
6. PAPEL	2,5	3,9	2,2	1,8	1,5	1,3	1,4	0,9	1,0
7. GANADERÍA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8. ALIMENTARIA	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	0,3
9. OTROS	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
<b>TOTAL</b>	<b>22,4</b>	<b>23,8</b>	<b>19,7</b>	<b>16,1</b>	<b>15,3</b>	<b>17,9</b>	<b>11,3</b>	<b>11,7</b>	<b>12,8</b>

**4. Tabla:** Top Ten de empresas emisoras de NO<sub>x</sub> en el año 2015

DENOMINACIÓN	MUNICIPIO	E-PRTR	EMISIÓN NO <sub>x</sub> kg.año <sup>-1</sup>	% SOBRE EL TOTAL
PETRONOR	Muskiz	1.a	4.286.920	33,5%
ENERGYWORKS VITORIA	Vitoria	1.c	1.203.460	9,4%
GUARDIAN LLODIO UNO	Llodio	3.e	940.982	7,4%
CEMENTOS LEMONA	Lemoa	3.c.iii	824.309	6,4%
AIALA VIDRIO	Llodio	3.e	811.499	6,3%
SMURFIT KAPPA NERVIÓN	Iurreta	6.a	443.793	3,5%
ARCELORMITTAL ESPAÑA	Etxebarri	2.f	417.909	3,3%
SOCIEDAD FINANCIERA Y MINERA	Donostia	3.c.i	414.615	3,2%
PAPELERA DE ZICUÑAGA	Hernani	6.a	307.763	2,4%
BUNGE IBERICA	Zierbena	8.b.ii	273.835	2,1%

En la siguiente página se muestra la geolocalización de las empresas emisoras de NO<sub>x</sub> en Euskadi, para el año 2010:

- En Bizkaia, se sitúan en el Gran Bilbao y el curso del río Ibaizábal en el Duranguesado.
- En Gipuzkoa, están dispersas por toda la provincia
- En Álava, están concentradas en el área de Vitoria-Gasteiz y en la zona de Llodio y Amurrio.

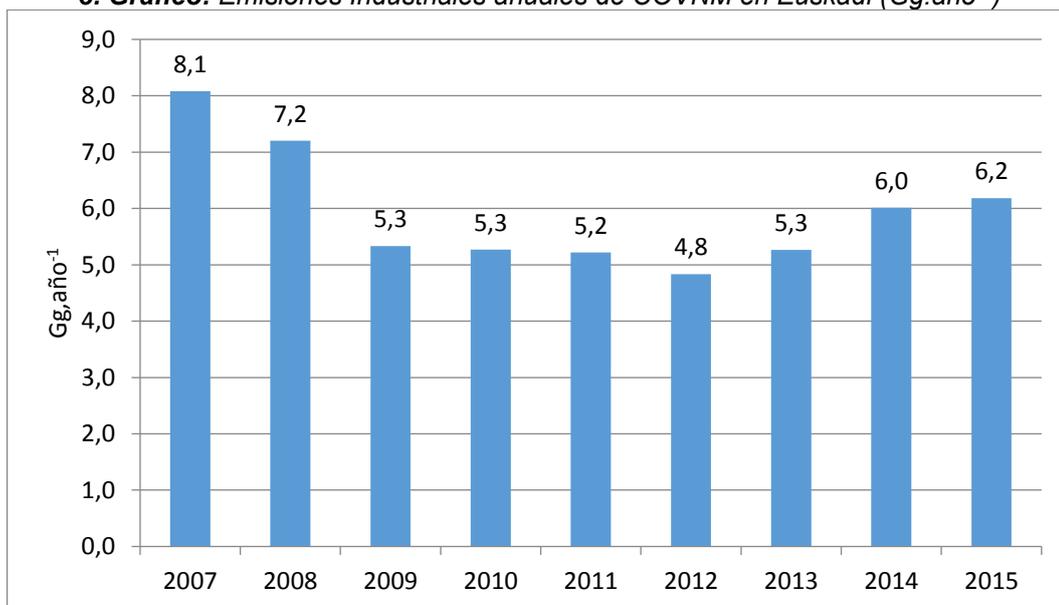


**13. Figura:** Emisiones Industriales de NOx en kg.año<sup>-1</sup>. Año 2010

## 2.4.2. EMISIONES INDUSTRIALES DE COVNM

Las emisiones industriales de COVNM han pasado de 8,1 Gg en 2007 a 6,2 Gg en 2015, lo que supone una reducción del 23% durante el periodo. En el siguiente gráfico se ve claramente el impacto de la reducción de actividad por la crisis y su posterior recuperación a partir del año 2013.

3. Gráfico: Emisiones Industriales anuales de COVNM en Euskadi (Gg.año<sup>-1</sup>)



La segregación por sectores de actividad muestra que el uso de disolventes orgánicos en pinturas y barnices del subsector 9.c (instalaciones para tratamiento superficial) lidera este tipo de emisión con un 33% del total. Le siguen el sector de la energía (básicamente la refinería Petronor) con un 25-30% y el sector del metal con un 23% de la emisión total.

5. Tabla: Segregación de las emisiones de COVNM por sector E-PRTR (Gg.año<sup>-1</sup>)

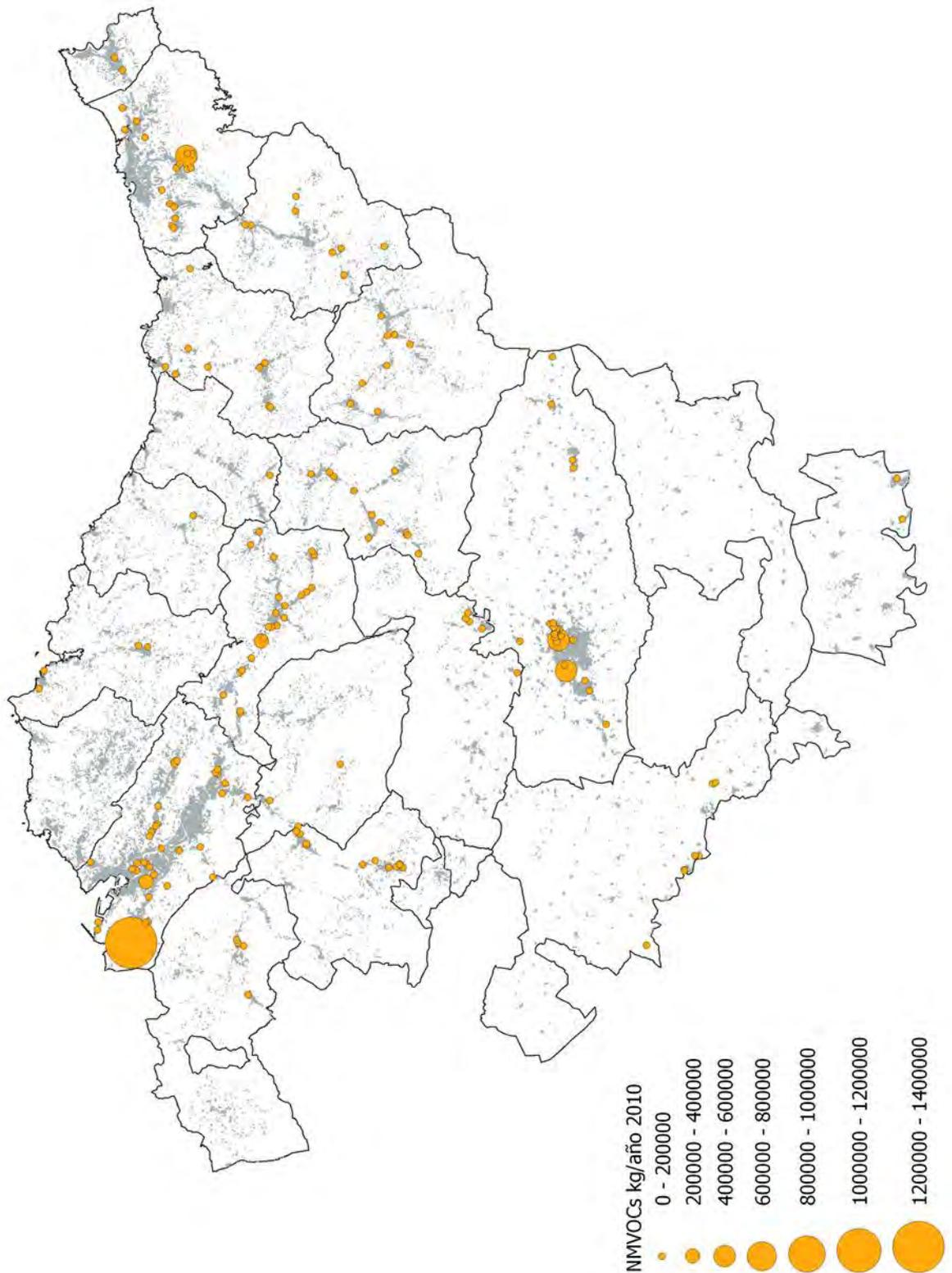
ACTIVIDADES E-PRTR	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1. ENERGÍA	1,6	1,7	1,6	1,5	1,5	1,4	1,6	1,7	1,8
2. METAL	1,6	1,5	1,3	1,4	1,1	1,1	1,2	1,5	1,2
3. MINERAL	0,3	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
4. QUÍMICA	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,0
5. RESIDUOS	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
6. PAPEL	1,3	1,1	0,6	0,4	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3
7. GANADERÍA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8. ALIMENTARIA	0,5	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,4
9. OTROS	2,6	2,0	1,7	1,8	1,9	1,8	1,6	1,9	2,3
<b>TOTAL</b>	<b>8,1</b>	<b>7,2</b>	<b>5,3</b>	<b>5,3</b>	<b>5,2</b>	<b>4,8</b>	<b>5,3</b>	<b>6,0</b>	<b>6,2</b>

En cuanto al TopTen de empresas emisoras son responsables de más del 87% del total de emisiones industriales al aire de COVNM en el año 2015. Destacan por encima de todas, la refinería Petronor y la automovilística Mercedes de Vitoria debido a los procesos de pintura para la fabricación de furgonetas.

**6. Tabla: Top Ten de empresas emisoras de COVNM en el año 2015**

DENOMINACIÓN	MUNICIPIO	E-PRTR	EMISIÓN NMVOC kg.año <sup>-1</sup>	% SOBRE EL TOTAL
<b>PETRONOR</b>	Muskiz	1.a	1.766.420	28,58%
<b>MERCEDES-BENZ</b>	Vitoria	9.c	898.680	14,54%
<b>CINTAS ADHESIVAS UBIS</b>	Hernani	9.c	547.773	8,86%
<b>BUNGE IBERICA</b>	Zierbena	8.b.ii	399.515	6,46%
<b>RAMONDIN CÁPSULAS</b>	Laguardia	9.c	380.626	6,16%
<b>MICHELIN ESPAÑA</b>	Vitoria	9.c	379.913	6,15%
<b>USURBILGO BURDINA GALDATEGIA</b>	Usurbil	2.d	374.577	6,06%
<b>BEFESA ZINC ASER</b>	Erandio	2.e.i	325.963	5,27%
<b>SMURFIT KAPPA NERVIÓN</b>	Iurreta	6.a	227.201	3,68%
<b>PAPELERA DE ZICUÑAGA</b>	Hernani	6.a	92.663	1,50%

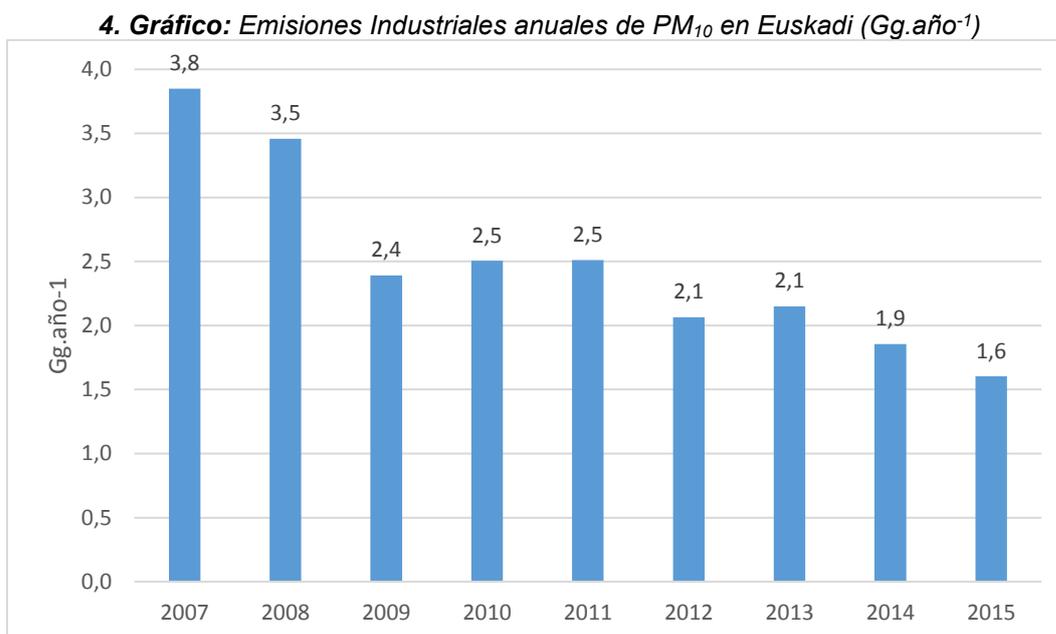
En la siguiente imagen se muestra la geolocalización de las empresas emisoras de COVNM en Euskadi y se vuelve a repetir más o menos el mismo esquema que en las emisiones de NO<sub>x</sub>.



14. Figura: Emisiones Industriales de COVNM en kg.año<sup>-1</sup>. Año 2010

### 2.4.3. EMISIONES INDUSTRIALES DE PM<sub>10</sub>

Las emisiones industriales de partículas PM<sub>10</sub>, han pasado de 3,8 Gg en 2007 a 1,6 Gg en 2015, lo que supone una reducción del 58%. Esta mejora es una combinación de distintos factores: la reducción de los primeros años en torno al 2009 es debido a la bajada de actividad asociada a la crisis. Pero posteriormente también se ha seguido reduciendo la emisión de partículas y esto se debe al cierre de algunas empresas altamente emisoras y también a la mejora de los sistemas de filtración y reducción de emisiones difusas que han implantado muchas empresas.



La segregación de emisiones por sector de actividad muestra que lidera la clasificación el sector del metal, siendo responsable de casi el 50% de las emisiones industriales de partículas, principalmente las grandes acerías y fundiciones que hay por todo el territorio. El sector de la energía, en concreto la refinería, emite el 20-25% de las partículas, las cementeras y vidrieras sobre el 15% y las papeleras entre el 5-7%. El porcentaje de reducción de emisiones se ha dado casi por igual en todos los sectores, y se debe a las mejoras en las técnicas aplicadas principalmente en los sistemas de tratamiento (filtros de mangas y filtros electrostáticos).

7. Tabla: Segregación de las emisiones de PM<sub>10</sub> por sector E-PRTR (Gg.año<sup>-1</sup>)

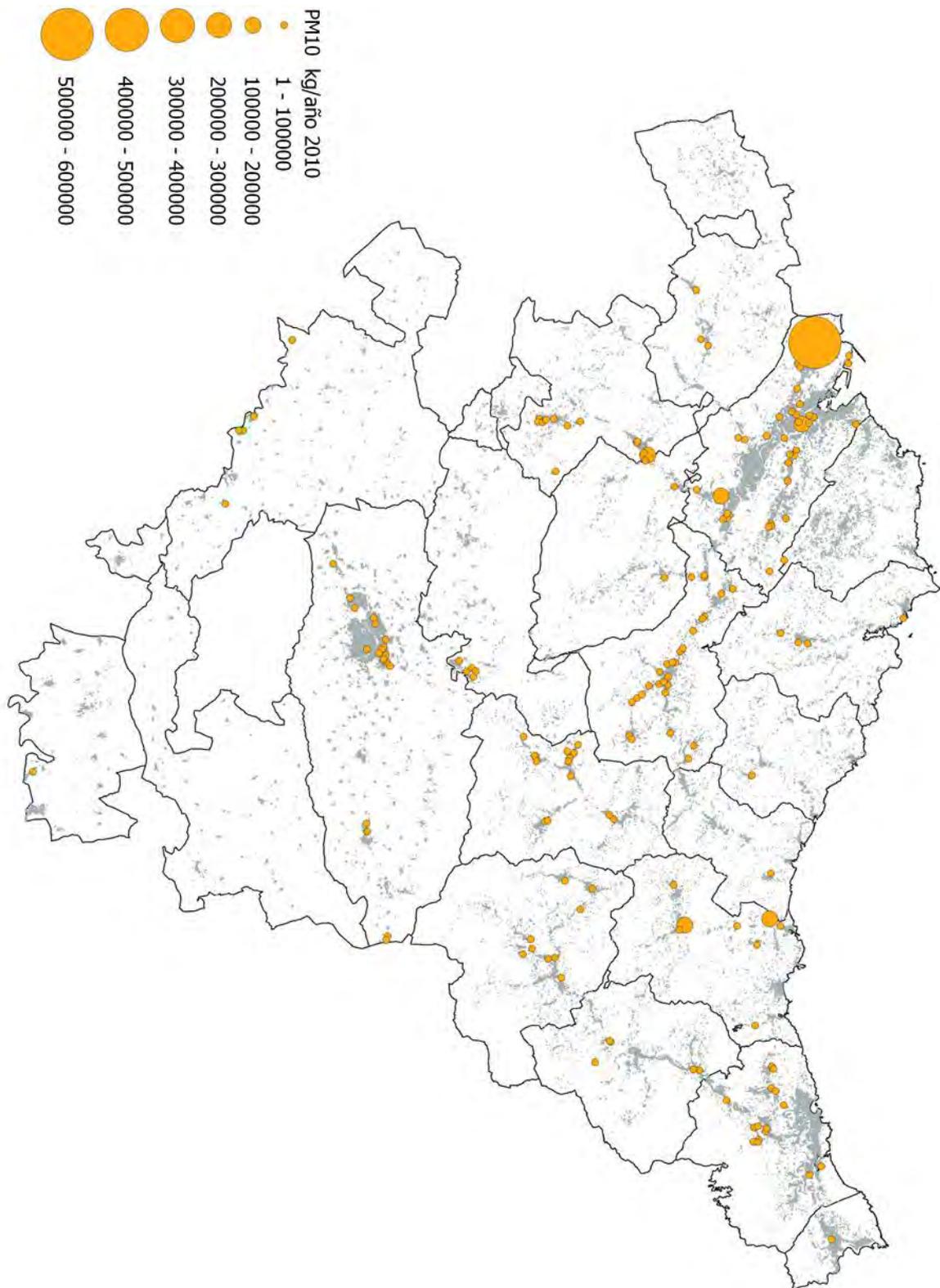
ACTIVIDADES E-PRTR	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1. ENERGÍA	0,63	0,50	0,55	0,62	0,54	0,46	0,44	0,47	0,39
2. METAL	1,93	1,67	1,21	1,28	1,26	0,97	1,10	0,83	0,73
3. MINERAL	0,69	0,72	0,31	0,31	0,29	0,34	0,29	0,26	0,27
4. QUÍMICA	0,08	0,05	0,04	0,03	0,22	0,02	0,03	0,04	0,02
5. RESIDUOS	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02
6. PAPEL	0,40	0,41	0,16	0,14	0,09	0,09	0,11	0,13	0,08
7. GANADERÍA	0,07	0,06	0,07	0,07	0,05	0,07	0,06	0,07	0,06
8. ALIMENTARIA	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01
9. OTROS	0,02	0,02	0,01	0,02	0,04	0,09	0,09	0,03	0,02
<b>TOTAL</b>	<b>3,8</b>	<b>3,5</b>	<b>2,4</b>	<b>2,5</b>	<b>2,5</b>	<b>2,1</b>	<b>2,1</b>	<b>1,9</b>	<b>1,6</b>

El TopTen de empresas emisoras de partículas cubre el 60% del total de emisiones, lo que indica una mayor dispersión en las fuentes de emisión que en el caso de los NO<sub>x</sub> y COVNM. Esto quiere decir que casi todas las empresas, en mayor o menor medida, emiten partículas y la vigilancia de todas ellas es más compleja. En cualquier caso, Petronor sigue liderando este ranking con el 22% de las emisiones en el año 2015, le siguen las vidrieras de Llodio, las grandes acerías, la papelera de Hernani y la cementera de Lemona.

8. Tabla: Top Ten de empresas emisoras de PM<sub>10</sub> en el año 2015.

DENOMINACIÓN	MUNICIPIO	E-PRTR	EMISIÓN PM <sub>10</sub> kg.año <sup>-1</sup>	% SOBRE EL TOTAL
PETRONOR	Muskiz	1.a	363.138	22,7%
AIALA VIDRIO	Llodio	3.e	120.680	7,5%
SIDENOR ACEROS ESPECIALES	Basauri	2.b	85.573	5,3%
ARCELORMITTAL SESTAO	Sestao	2.b	84.085	5,2%
TUBOS REUNIDOS INDUSTRIAL	Amurrio	2.c.i	75.678	4,7%
ARCELORMITTAL	Zumárraga	2.b	59.659	3,7%
PAPELERA DE ZICUÑAGA	Hernani	6.a	50.921	3,2%
CEMENTOS LEMONA, S.A	Lemona	3.c.iii	44.121	2,8%
KROSAKI AMR REFRACTARIOS	Hernani	3.g	43.750	2,7%
CALERA DE ALZO-ALZO	Altzo	3.c.iii	35.636	2,2%

La geolocalización de las emisiones de partículas para el año 2010 que se muestra en la siguiente página, repite el mismo esquema que las emisiones de NO<sub>x</sub> y COVNM.



15. Figura: Emisiones Industriales de  $PM_{10}$  en  $kg.año^{-1}$ . Año 2010

## **2.5. FORTALEZAS Y LIMITACIONES DEL INVENTARIO DE EMISIONES INDUSTRIALES**

En este inventario se ha caracterizado el sector industrial de Euskadi, identificando y geolocalizando las principales empresas con emisiones industriales al aire.

Los datos de emisión están suministrados directamente por las empresas al registro E-PRTR. Estos datos son básicamente una multiplicación de un factor de emisión del contaminante por una tasa de actividad. Por lo tanto, la incertidumbre está asociada a cómo se calculan las tasas de actividad y como se desarrollan y aplican los factores de emisión.

La tasa de actividad es un valor que la propia empresa conoce mejor que nadie, ya que debe tener registros de su operatividad. Por lo tanto, la incertidumbre, en condiciones normales, se entiende que debe ser baja y debiera estar asociada con la metodología de medición utilizada y la agregación de datos.

La mayor incertidumbre se deriva de cómo se han desarrollado y estimado los factores de emisión. Estos se pueden obtener por *mediciones* en el propio foco de emisión, por *factores de emisión estándar* o por *estimaciones de expertos*:

- Si los factores de emisión se obtienen por mediciones, se han de valorar diferentes aspectos: si las mediciones son continuas o periódicas, el tamaño de las muestras tomadas y la representatividad y estabilidad del proceso muestreado. También es interesante saber si el muestreo se produce cuando el proceso está estabilizado o durante los periodos de arranque o parada de la instalación, ya que puede ser interesante desarrollar distintos factores de emisión para cada estado.
- Los factores de emisión estándar pueden ser valores aceptados y referenciados en la literatura. Pero también puede ocurrir que no sean los adecuados para la instalación en cuestión. Lo más común es que sean obtenidos de medias nacionales y tengan una cierta antigüedad, pudiendo ser relativamente representativos de instalaciones antiguas, pero obsoletos para nuevas instalaciones.
- En los factores de emisión obtenidos a partir de juicios/opiniones de expertos o suposiciones, la incertidumbre alcanza su máximo valor.

En cualquiera de los casos es importante que el responsable de realizar un inventario comprenda cómo se han obtenido los datos de actividad específicos del sector.

Con la información disponible solo se pueden realizar inventarios anuales de emisiones. Sería interesante disponer de datos de actividad con mayor resolución temporal. Para ello, una forma razonable de hacerlo sería la vigilancia de las emisiones con sistemas de medición en continuo en los focos principales de emisión que ya están identificados. Con estos datos se podría extrapolar los resultados al resto de instalaciones menores y generar un modelo de emisiones de mayor calidad y para periodos de tiempo más cortos. Además, se podría estudiar la variabilidad de las emisiones entre días laborales y festivos o entre invierno y verano, lo cual mejoraría los resultados de los modelos de calidad de aire, al no limitarse los datos de emisión a promedios de datos anuales.

### **3. EMISIONES BIOGÉNICAS**



### **3.1. ANTECEDENTES DE INVENTARIOS BIOGÉNICOS**

La importancia de los compuestos orgánicos volátiles biogénicos (BVOC) en la atmósfera fue sugerida por primera vez por el Dr. Fritz Went en 1960, pero siguió siendo un tema controvertido durante las décadas de los años 1970 y 1980. Fue a finales de los 80 cuando se tomó conciencia de la importancia que tienen los BVOC en la atmósfera y ante las evidencias aportadas (*Trainer et al. 1987*) aumentó el interés en la estimación de estas emisiones. Se demostró que los BVOC, debido a su actividad química, tienen un papel importante en la formación de gases traza como el ozono (O<sub>3</sub>), el nitrato de peroxiacetilo (PAN) e hidrocarburos oxigenados secundarios, los cuales contribuyen a la contaminación del aire (*Fuentes et al. 2000*).

En los años 1990 la Global Atmospheric Chemistry (IGAC) y la Global Emissions Inventory Activity (GEIA) crearon grupos de trabajo para desarrollar y distribuir inventarios de emisiones para su uso en modelos químicos y de transporte. Estos grupos generaron inventarios de emisiones para isopreno, monoterpenos y otros BVOC (*Guenther et al. 1995*). Los modelos más conocidos son el BEIS y el MEGAN:

#### ***BEIS (Biogenic Emission Inventory System)***

Se trata de un sistema de inventario de BVOC y de óxido nítrico (NO) creado en 1988 por la EPA. Se ha actualizado en varias ocasiones y la versión más reciente BEIS 3.61 está actualmente incorporada al modelo SMOKE, que es el modelo de emisiones oficial de la US EPA. Usa datos detallados de especies de plantas y necesita factores de emisión de árboles y cultivos individuales. Se puede encontrar más información en la web:

<https://www.epa.gov/air-emissions-modeling/biogenic-emission-inventory-system-beis>

#### ***MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature)***

MEGAN representa una evolución del sistema BEIS, y es un modelo para estimar los flujos de compuestos biogénicos entre ecosistemas terrestres y la atmósfera. MEGAN fue desarrollado originalmente en 2002 en Visual Basic por Alex Guenther y más tarde traducido a FORTRAN. La última versión disponible es “*MEGAN 3 beta versión*” (*consulta realizada en febrero 2018*), pero la versión comúnmente utilizada estos últimos años ha sido MEGAN 2.1. Está disponible como código offline y también como módulo integrado en diferentes modelos de química atmosférica. Es ampliamente usado en la comunidad científica de modelización de calidad de aire (<https://bai.ess.uci.edu/megan>).

MEGAN proporciona diferentes opciones para definir los tipos de emisión, atendiendo a necesidades locales, regionales o modelos globales. Esto permite a los usuarios personalizar los esquemas del tipo de vegetación desde esquemas detallados (por ejemplo, especies de plantas individuales), a esquemas genéricos utilizando distribuciones del tipo funcional de planta (PFT).

La propuesta de emisión global MEGAN se basa en asignar factores y parámetros de emisión de distintos BVOC a los 16 tipos funcionales de plantas (PFT) que se distinguen en los usos de suelo del modelo Community Land Model (CLM4). Se dispone de una base de datos global donde el suelo está caracterizado mediante porcentajes de cubierta de PFT por cada celda y con una resolución aproximada de 20 km. Para algunos estudios es recomendable el uso de mapas de suelo de mayor resolución y en 2008 se realizó una base de datos de alta resolución (60 m) para los Estados Unidos (*Guenther et al. 2012*).

Los mapas actualmente disponibles en la web de MEGAN, dan información con una resolución espacial de 1 km de los siguientes usos de suelo: cultivos, pastos, arbustos, cubierta de árbol total, fracción de coníferas y fracción de árbol tropical. Si lo que se necesita es una simulación de emisiones a escala local o regional es necesario realizar adaptaciones y mapas de mayor resolución sobre usos de suelo. La intención de MEGAN es incorporar la información regional disponible en un modelo global.

En Europa ha habido diversos desarrollos en el modelado de emisiones y distribución de usos de suelo, generando inventarios de emisiones de distintos BVOC, como el proyecto NATAIR (*Steinbrecher et al. 2009, Friedrich 2007*), que se han usado para evaluar el impacto de los BVOC en la calidad del aire en Europa (*Curci et al. 2009*). La evolución de la modelización de las emisiones biogénicas ha llevado a que estas se integren en algunos modelos químicos, como por ejemplo en CHIMERE. Este acoplamiento es necesario para investigar las interacciones entre los diferentes componentes del sistema terrestre y así evaluar la consistencia de los usos de suelo y variables meteorológicas utilizadas para simular las emisiones biogénicas. Pero estos modelos requieren parametrizaciones que todavía no son adecuadas para su aplicación a escala regional y mundial (*Monks et al. 2009*).

Los estudios de calidad de aire realizados en Europa sugieren que las emisiones biogénicas actúan como precursores, además del ozono troposférico, en la formación de aerosol orgánico secundario y que las investigaciones de estas emisiones a nivel de especie de vegetación son muy relevantes. Estos estudios deben ser a la escala y resolución necesarias y adecuadas para el modelo de química atmosférica que se utilice ya que los resultados de los modelos de emisión son muy sensibles a los inventarios de vegetación subyacentes (*Oderbolz et al. 2013*).

En España, respecto de los inventarios de emisiones biogénicas desarrollados, se pueden documentar las siguientes experiencias: las realizadas en el Centro Nacional de Supercomputación (BSC-CNS) y los inventarios nacionales del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente:

### **Centro Nacional de Supercomputación de Barcelona (BSC-CNS)**

El Centro de Supercomputación de Barcelona ha desarrollado un sistema de pronóstico de calidad aire para España llamado CALIOPE (CALIdad del aire Operacional para España), que proporciona el pronóstico de la calidad de aire para Europa y España. Uno de los modelos que utiliza es el HERMES (High-Effective Resolution Modelling Emission System), que usando una combinación de información local y de distintas metodologías del estado del arte, estima emisiones biogénicas y antropogénicas. En su apartado SNAP11, se estiman las emisiones biogénicas (*Guevara et al. 2013*), para lo cual tiene implementado el modelo MEGAN con una resolución de 1 km.

### **Inventarios Nacionales de España**

El Sistema Español de Inventario y Proyecciones de Emisiones a la Atmósfera (SEI) elabora anualmente el Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera, tanto para los gases de efecto invernadero como para otros contaminantes atmosféricos. En el capítulo 11 de "Otras fuentes y sumideros (Naturaleza)" describe en primer lugar el proceso de generación de las emisiones de BVOC y los algoritmos de cálculo de las mismas para el conjunto de las especies vegetales. Esta metodología sigue estrictamente la recomendación de la guía EMEP/EEA (*EEA 2016*).



## **3.2. INTRODUCCIÓN A LAS EMISIONES BIOGÉNICAS**

Las plantas reemiten a la atmósfera una fracción importante del carbono que asimilan en la fotosíntesis en forma de BVOC que, a su vez, afectan a las propiedades físicas y químicas de la atmósfera (Peñuelas et al. 2003). Son compuestos muy diversos que incluyen isoprenoides, alcanos, alquenos, alcoholes, carbonilos, ésteres, éteres y ácidos, y se consideran como uno de los tesoros de la biodiversidad natural. Su función no está muy clara aún, pero en los últimos años, debido al desarrollo de nuevas técnicas e instrumentación, se ha incrementado el análisis y el conocimiento sobre ellos. Algunos autores indican que los BVOC sirven para atraer polinizadores y depredadores de herbívoros (Pichersky et al. 2002), otros que se utilizan para comunicarse con otras plantas y organismos y también se cree que pueden dar protección contra las altas temperaturas (Peñuelas et al. 2003). Pero lo que sí parece estar claro es que un aumento de la temperatura trae un aumento de las emisiones de BVOC, hasta un máximo a partir del cual decrece (Guenther et al. 1993).

Se estima que las emisiones anuales mundiales de BVOC son alrededor de 800 Tg C. Este valor suele ser revisado periódicamente en función de los avances en el conocimiento de esta materia, pero en cualquier caso es superior a todas las emisiones antropogénicas de VOC (Fowler et al. 2009).

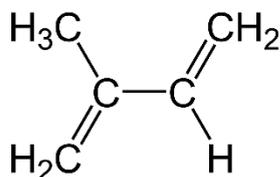
Se pueden distinguir miles de especies químicas que la vegetación emite a la atmósfera, pero solo unas pocas se emiten en cantidad suficiente como para que tengan impacto en la composición atmosférica (Guenther et al. 2012). Se pueden dividir en dos grupos principales: los **isoprenoides volátiles** y los **compuestos orgánicos volátiles oxigenados** (OVOC). Entre los isoprenoides más significativos están: el **isopreno** (ISO), del que se estima que supone aproximadamente la mitad de las emisiones mundiales de BVOC, los **monoterpenos** (MT), que contribuyen sobre el 10-15% y los **sesquiterpenos** (SQT) que, aunque se emiten en pequeñas cantidades son muy reactivos y por tanto con una influencia apreciable en la química atmosférica. El resto son OVOC, donde se incluyen alcoholes, aldehídos y cetonas que se emiten principalmente durante el periodo de desarrollo de las plantas o en respuesta a situaciones de estrés ambiental.

Los BVOC se producen como resultado de la fotosíntesis y pueden emitirse a la atmósfera directamente o se pueden almacenar en la planta para ser emitidos más tarde. La síntesis de BVOC está basada en la cinética enzimática, donde la luz y la temperatura actúan como limitantes fisiológicos tanto de la actividad de las enzimas necesarias para la fotosíntesis, como de la disponibilidad de los precursores de BVOC. Una vez producido el compuesto, si es posible, se almacena en unas estructuras especiales que tienen las plantas, como pueden

ser los conductos de resina. Algunos compuestos, como por ejemplo el isopreno, que es muy volátil, no se almacenan y se emiten según se sintetizan. Por ello, su emisión depende de la luz y de la temperatura. Si la planta tiene almacenes grandes, algunos compuestos se pueden acumular de manera importante y entonces las emisiones de BVOC no dependen de la cinética de síntesis, sino de características fisicoquímicas, como la volatilidad y la resistencia a la difusión, que dependen directamente de la temperatura. En este caso la radiación apenas tiene influencia en su emisión. Si los almacenes son pequeños los compuestos no se acumulan y se emiten directamente después de sintetizarse (*Niinemets et al. 2004, Laothawornkitkul et al. 2009*).

### **Isopreno (ISO)**

El isopreno, (2-metil-1,3-butadieno, C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>), de la familia de los hemiterpenos C<sub>5</sub>, es emitido por diferentes plantas, principalmente por árboles. Aunque no es un gas de efecto invernadero, es capaz de alterar la química atmosférica, afectando al tiempo de residencia de gases que sí lo son (*Sharkey et al. 2001*). La oxidación del ISO puede dar lugar a la aparición de ozono si hay óxidos de nitrógeno presentes en la atmósfera. Se estima que contribuye a la mitad de las emisiones globales mundiales de BVOC, por lo que es de todos ellos el compuesto que más se ha investigado.



**16. Figura:** Fórmula estructural isopreno

La emisión de ISO se incrementa con la luz y también con la temperatura, pero solamente hasta los 40-45°C (*Sharkey et al. 2001*). A partir de esta temperatura la emisión cae rápidamente. En muchas especies la emisión de ISO decrece con el incremento de la concentración de CO<sub>2</sub>, aunque la causa de este efecto no está clara.

El ISO es típicamente emitido por árboles de hoja caduca, y parece ser un subproducto de la fotosíntesis, de la fotorrespiración o de ambos (*Sharkey et al. 2001*) y no se almacena en la planta, sino que se volatiliza justo después de su formación.

## **Monoterpenos (MT)**

Los monoterpenos consisten en la unión de dos unidades de ISO, cuya fórmula molecular es C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>. Son la clase de BVOC más abundante en términos de nº de compuestos. Entre los más conocidos están el pineno, el limoneno y el cineol (el aroma de los eucaliptus).

**9. Tabla:** Segregación por defecto de los monoterpenos emitidos (Steinbrecher et al. 2009)

<b>Compuesto</b>	<b>Porcentaje %</b>
<i><b>α-pineno</b></i>	29%
<i><b>β-pineno</b></i>	21%
<i><b>Δ3-careno</b></i>	10%
<i><b>d-limoneno</b></i>	8%
<i><b>sabineno</b></i>	7%
<i><b>β-felandreno</b></i>	5%
<i><b>mirceno</b></i>	4%
<i><b>p-cimeno</b></i>	4%
<i><b>camfeno</b></i>	2%
<i><b>trans-b-ocimeno</b></i>	2%
<i><b>cis-b-ocimeno</b></i>	2%
<i><b>1,8 cineol</b></i>	2%
<i><b>α-tuyeno</b></i>	2%
<i><b>α-terpineno</b></i>	1%
<i><b>γ-terpineno</b></i>	1%

Muchas especies de plantas (por ejemplo, coníferas) almacenan monoterpenos en tejidos u órganos especiales y su difusión al exterior es impulsada por efecto de la temperatura (Kesselmeier et al. 1999). Son los llamados monoterpenos de almacenamiento (MTP). Sin embargo, otro tipo de plantas (por ejemplo, las hayas) que carecen de estos almacenes emiten monoterpenos biosintetizados, dirigidos por la luz y la temperatura de forma similar a las emisiones de ISO (Demarcke et al. 2010). Son los llamados monoterpenos de síntesis (MTS).

## **Sesquiterpenos (SQT)**

Los sesquiterpenos consisten en la unión de tres unidades de ISO y su fórmula molecular es  $C_{15}H_{24}$ . Son los compuestos esenciales de los aceites almacenados por algunas plantas y son emitidos por numerosas especies de plantas como las coníferas, los árboles de hoja ancha, arbustos y cultivos.

Se considera que la emisión de SQT es mucho más reducida que la de ISO y MT. Esto se debe en parte a que son mucho menos volátiles. Por otro lado, también puede tener influencia la dificultad de su observación y medida, debido a que algunos de ellos como el  $\beta$ -cariofileno tienen una vida media muy corta (de 1-2 minutos) por su rápida reacción con el ozono (*Jardine et al. 2011*). Últimamente se ha incrementado el interés de este tipo de emisiones que, aunque son una pequeña fracción del total de BVOC, son muy importantes debido a su participación en la formación de aerosol orgánico secundario.

La emisión de SQT se incrementa con la temperatura. En cambio, no está claro el efecto que tiene la luz en sus emisiones. (*Duhl et al. 2008*)

## **Compuestos Orgánicos Volátiles Oxigenados (OVOC)**

Los compuestos más importantes en este grupo son: metanol, formaldehído, ácido fórmico, etanol, acetaldehído, acetona y ácido acético. En la siguiente tabla se muestra el porcentaje relativo que se considera por defecto de cada uno de ellos:

**10. Tabla:** Segregación por defecto de los OVOC (*Steinbrecher et al. 2009*)

<b>Compuesto</b>	<b>Porcentaje %</b>
<b>metanol</b>	60%
<b>acetona</b>	12%
<b>etanol</b>	11%
<b>acetaldehído</b>	11%
<b>formaldehído</b>	2%
<b>ácido fórmico</b>	2%
<b>ácido acético</b>	2%

Mientras que las emisiones de ISO y MT son muy específicas de cada tipo de vegetación, todas las plantas, en mayor o menor medida, emiten OVOC (*Fuentes et al. 2000*). A escala global, aunque se emiten en menor cantidad que los isoprenoides y suelen ser menos

reactivos en la atmósfera, este tipo de emisiones no se pueden despreciar a la hora de realizar inventarios de BVOC, ya que tienen un papel importante en la química atmosférica.

El metanol es emitido por todos los ecosistemas, incluso por materia vegetal seca y en estado de descomposición y es tras el ISO y los MT, el compuesto biogénico volátil más emitido (Nemecek-Marshall et al. 1995).

Se han observado emisiones de acetona y acetaldehído en bosques de coníferas (MacDonald et al. 1993). En cambio, no hay información sobre este tipo de emisiones en árboles de hoja caduca.

### **3.2.1. FACTORES QUE AFECTAN A LA EMISIÓN BIOGÉNICA**

Son varios los factores que controlan la emisión natural de BVOC: el factor de emisión de cada tipo de planta, la densidad foliar, la actividad de emisión a corto plazo dirigida por la luz y la temperatura y la actividad de emisión a largo plazo que está dirigida por varios factores como la estacionalidad, edad de las hojas, fenología, etc. Así, los flujos de emisión de BVOC se pueden estimar con el siguiente modelo (Guenther 1997):

$$E = FE \times D \times \gamma \times C$$

Donde:

*E:* emisión

*FE:* factor de emisión de cada tipo de planta

*D:* densidad foliar

*$\gamma$ :* actividad de emisión a corto plazo

*C:* actividad de emisión a largo plazo

#### **3.2.1.1. Factor de emisión de cada tipo de planta (FE)**

Cada tipo de planta emite su propia y particular mezcla de BVOC y se puede caracterizar con un factor de emisión propio en unas condiciones predeterminadas. Este factor es una especie de control genético de cada tipo de planta y su determinación requiere de un estudio profundo y el desarrollo de una base de datos con los factores de emisión de cada tipo de planta.

Los FE son un componente crucial en cualquier modelo de emisión. En general se asume que una determinada planta emite una cantidad constante y conocida de BVOC en condiciones

estándar ( $T = 30^{\circ}\text{C}$  y  $\text{PAR} = 1000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Sin embargo, se sabe que esto es una simplificación ya que existen diferentes variables que tienen influencia en los FE, como pueden ser las condiciones ambientales pasadas, el stress a que esté sometida la planta y la fenología, que está relacionada con la estacionalidad (*Niinemets et al. 2011*).

El artículo de (*Llusia et al. 2013*) concluye que existen diferencias en emisiones de BVOC de hasta 15 veces superiores en una misma planta entre verano y primavera y que se deben principalmente a cambios en los FE, ya que solo existían pequeñas diferencias en las variables climáticas. Otro estudio de (*Berg et al. 2012*) analizó la respuesta de un bosque de *pinos contorta* ante una plaga de escarabajos que hizo multiplicar por cuatro el FE de MT de este tipo de árboles. Otro ejemplo es el publicado por (*Baghi et al. 2012*) que detectaron que durante el periodo de floración la emisión de BVOC aumentaba considerablemente respecto a la época de post-floración.

También son importantes los protocolos a seguir en el análisis experimental dirigido a obtener los FE de una determinada planta ya que, si se aplican técnicas diferentes, los resultados pueden ser totalmente diferentes. El artículo (*Niinemets et al. 2011*) hace una extensa revisión de posibles problemas que pueden surgir en este proceso.

Los cambios en los usos de suelo, no solamente como resultado del cambio climático sino por la acción del hombre como la urbanización, agricultura o gestión de bosques, pueden ocasionar grandes cambios en las emisiones de BVOC (*Hantson et al. 2017*). Por ejemplo, los pastos y las plantaciones de cereales no producen ISO, aunque pueden producir OVOC, y cambios en la gestión forestal, por ejemplo, plantando pino radiata donde anteriormente había un encinar, pueden provocar una reducción en la emisión de MT en la zona.

### **3.2.1.2. Densidad de biomasa foliar (D)**

La densidad de biomasa foliar es la masa de hojas en seco por unidad de área y no se debe confundir con la densidad total de biomasa que, aunque tenga las mismas unidades ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ), también incluye la parte de madera. La densidad foliar pico puede variar con la localización y la meteorología, aunque se puede considerar que tiende a ser uniforme en grupos uniformes de vegetación.

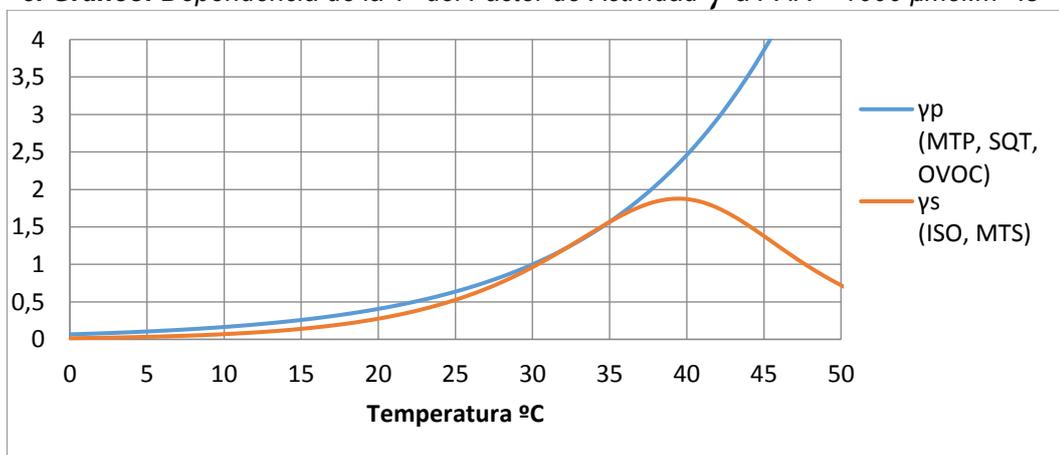
La densidad foliar varía en función del día del año y también depende del tipo de suelo en que se encuentre un determinado tipo de planta. Las especies de hoja caduca pueden pasar de densidad cero en invierno, a la densidad pico en verano, mientras que las especies de hoja perenne pueden mantener una densidad similar durante todo el año. Esta variación de la masa foliar puede ser estimada utilizando mediciones desde satélite (*Guenther 1997*).

### 3.2.1.3. Actividad de emisión a corto plazo ( $\gamma$ )

Las emisiones de BVOC varían a lo largo de cada día debido básicamente a variaciones en la intensidad de la luz y de la temperatura de las hojas. Este tipo de control de la actividad de emisión se puede dividir en dos categorías: emisiones de BVOC controladas por la síntesis ( $\gamma_s$ ), o emisiones de BVOC controladas por la evaporación de BVOC almacenados ( $\gamma_p$ ).

En el factor de actividad por *síntesis* ( $\gamma_s$ ), la temperatura activa las enzimas responsables de la síntesis. Pero a partir de una cierta temperatura, en torno a los 40°C, estas enzimas sufren procesos de desnaturalización y las emisiones decrecen. El factor que controla las emisiones por *almacenamiento* ( $\gamma_p$ ) crece con la temperatura y no tiene límite para altas temperaturas. Se supone que la capacidad de almacenaje que tienen las plantas para este tipo de compuestos es lo suficientemente alta para mantener este tipo de emisiones durante largos periodos de tiempo. Para ambos casos se alcanza el valor 1 a los 30°C, que es la temperatura que se considera estándar. Se han de superar los 22°C para que estos factores tomen valores superiores a 0,5. Para obtener valores superiores a 0,1 se han de superar los 12°C en el caso de síntesis y los 4°C en el caso de almacenamiento, según se ve en la siguiente gráfica (Guenther 1997):

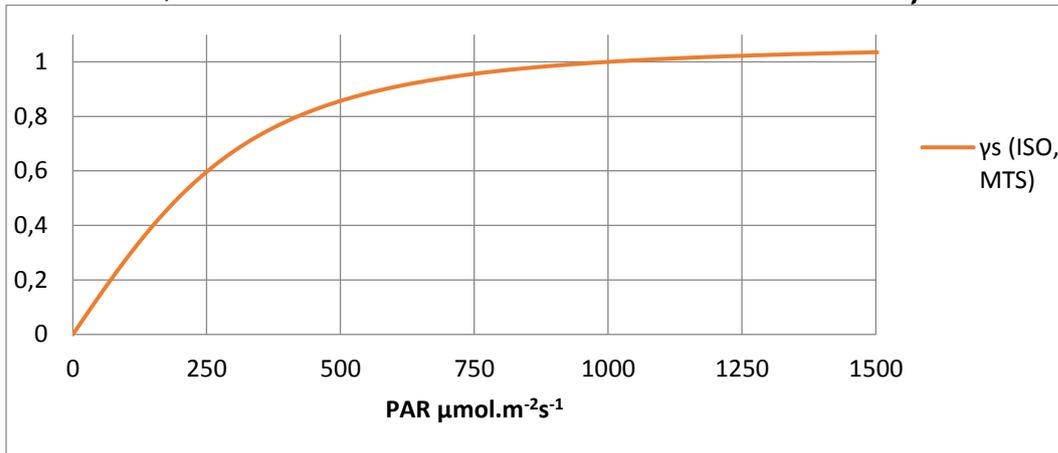
5. Gráfico: Dependencia de la  $T^a$  del Factor de Actividad  $\gamma$  a  $PAR = 1000 \mu mol.m^{-2}.s^{-1}$



De la radiación solar que la vegetación recibe, solamente una parte es aprovechable para la fotosíntesis, es la llamada PAR (Radiación Fotosintéticamente Activa). Se considera que el rango de longitud de onda de la PAR coincide esencialmente con el rango de la luz visible, entre 400-700 nm, y también se considera que es entre el 44-46% de la Radiación Solar Global.

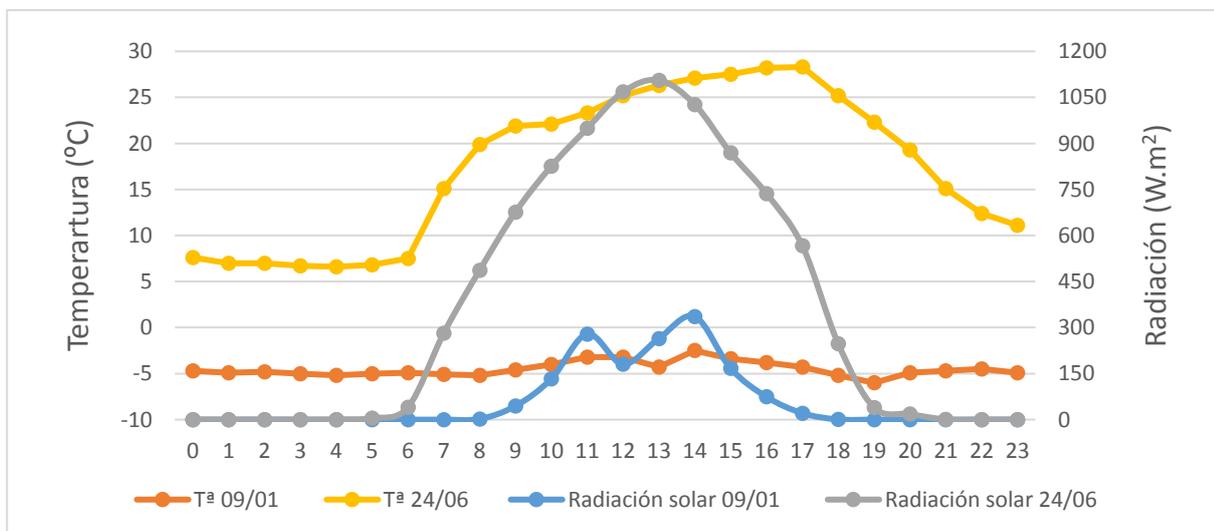
La dependencia de la radiación en el factor de actividad por síntesis ( $\gamma_s$ ) se muestra en el siguiente gráfico. La formulación utilizada está basada en las ecuaciones que se usan para modelar la dependencia de la luz que tiene la fotosíntesis. El incremento de este factor es casi lineal hasta una PAR de  $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , donde alcanza un valor de 0,5 a partir de la cual comienza a saturarse y necesita una PAR de  $1.000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  para alcanzar el valor de la unidad. Si no hay radiación, no existe actividad por síntesis (Guenther 1997).

**6. Gráfico:** Dependencia de la radiación del Factor de Corrección Ambiental  $\gamma_s$  a  $T^a = 30^\circ\text{C}$



La variabilidad de la temperatura y de la radiación puede ser muy alta a lo largo de un día, sobre todo la radiación, que de noche es cero. Tampoco tiene nada que ver un día de verano, con temperaturas altas y muchas horas de sol, con un día de invierno, con temperaturas bajas y pocas horas de sol. En la siguiente gráfica se representan la temperatura y la radiación medidas en la estación de Valderejo (situado al oeste de la provincia de Álava) un día de invierno (09 de enero del 2010) y un día de verano (24 de junio del 2010):

**7. Gráfico:** Temperatura y radiación en Valderejo. Días 09/01/2010 y 24/06/2010



Por tanto, la casuística que se puede dar en un mismo lugar puede ser muy variada:

- La *temperatura* puede pasar de  $-5^{\circ}\text{C}$  en invierno a  $30^{\circ}\text{C}$  en verano, incluso el mismo día puede ser de  $6^{\circ}\text{C}$  por la noche y de  $30^{\circ}\text{C}$  por el día.
- La *radiación* que se recibe puede durar 8 horas en invierno y hasta 12 horas en verano. La potencia máxima de la radiación puede ser de  $300\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  en invierno o  $1.100\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  en verano. Durante un mismo día también puede haber grandes oscilaciones debido al efecto que puede producir la nubosidad.

Estas diferencias hacen que los factores ambientales tengan una alta variabilidad, debido a que la temperatura y la radiación están variando constantemente.

Los modelos climáticos sugieren que durante este siglo la temperatura global del planeta se incrementará y afectará directamente a la actividad de la vegetación y a sus periodos de crecimiento. Al aumentar la temperatura se aceleran las reacciones químicas, las velocidades de difusión y la presión de vapor de los componentes volátiles. Por ejemplo (*Peñuelas et al. 2003*) indican que un incremento de  $2\text{-}3^{\circ}\text{C}$  podría incrementar la emisión global de BVOC en un 25-45%. Además, este incremento de la temperatura podría hacer variar el tipo de vegetación de una región, favoreciendo la presencia de especies vegetales que no sean típicas de la zona. Si esta nueva vegetación tiene distintas propiedades de emisión, se puede alterar significativamente la tipología de emisión de BVOC de la región.

Las hojas que están por la parte baja de la planta, tienen la sombra de las que están por encima, es lo que se conoce como efecto del canopio. Debido a esto, sufren una disminución de la radiación que reciben y por lo tanto tienen temperaturas de hoja y emisiones más bajas. Determinar la temperatura y radiación recibida en las hojas de un árbol y su variación en función de su localización es bastante complejo y para simplificar, se suele asumir que la temperatura de hoja es igual a la temperatura ambiente. Algunos autores calculan la temperatura de la hoja y la radiación recibida utilizando un modelo de canopio, pero los resultados obtenidos indican que puede haber variaciones importantes en función del modelo utilizado (*Guenther et al. 2012, Oderbolz et al. 2013*). Es necesario una mejor comprensión de los procesos que se dan en el canopio, para mejorar este aspecto de las estimaciones de las emisiones biogénicas.

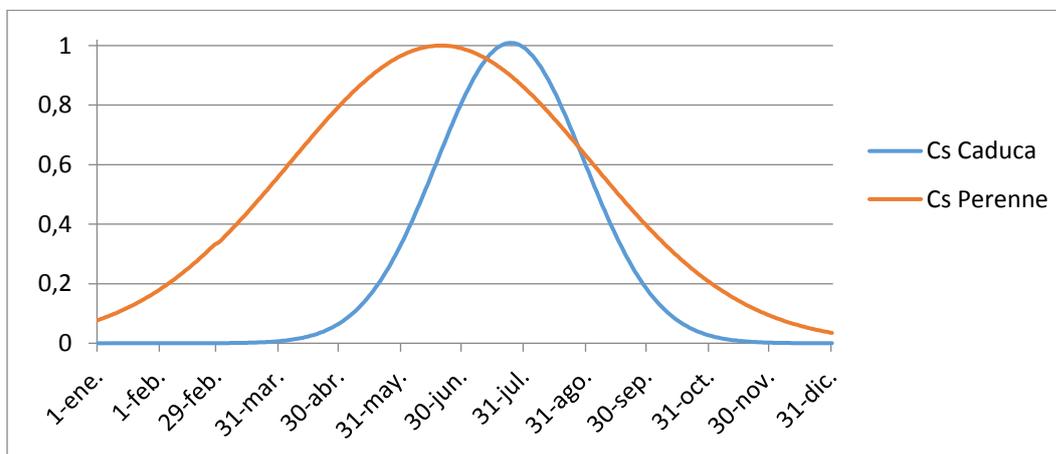
### 3.2.1.4. Actividad de emisión a largo plazo (C)

Existen varios factores que pueden afectar a la emisión de BVOC a largo plazo como son la fenología y su estacionalidad, la concentración de CO<sub>2</sub>, el estrés hídrico, la salinidad del agua, los cambios ambientales, el daño físico en las plantas, etc.

La estacionalidad se utiliza para expresar la influencia que tiene el ciclo anual en las emisiones de la vegetación. La biomasa foliar tiene una estacionalidad claramente apreciable en los árboles de hoja caduca. Además, las enzimas necesarias para la fotosíntesis también tienen su propia estacionalidad y esto también afecta a los árboles de hoja perenne. La vegetación agrícola también tiene sus ciclos, no es lo mismo el cereal que se recoge en julio, que la vid cuya vendimia se hace en septiembre.

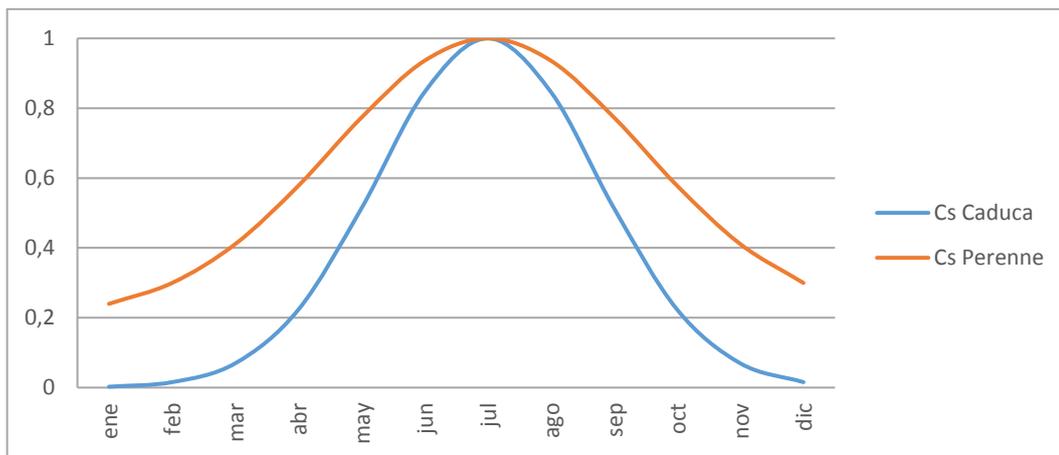
Mediciones realizadas sobre encinas, de hoja perenne, (Ciccioli *et al.* 2003) detectaron grandes desviaciones entre las predicciones y las observaciones en las emisiones de MT. Algo similar encontraron (Lehning *et al.* 2001) en mediciones de ISO realizadas en robles pedunculados de hoja caduca, donde se detectaron diferentes patrones estacionales en la actividad del aparato fotosintético del árbol. Para una mejor descripción de la variación estacional de los flujos de emisión propusieron utilizar el factor de estacionalidad (C<sub>s</sub>) del siguiente gráfico, que corrige la emisión en función del día del año y del tipo de árbol.

8. Gráfico: Factor de estacionalidad. Perenne (Ciccioli 2003) Caduca (Lehning 2001)



Otros autores (Steinbrecher *et al.* 2009) utilizan en sus estudios el factor de estacionalidad desarrollado por (Staudt *et al.* 2000), que para la latitud de Euskadi presenta la siguiente forma para árboles de hoja caduca y de hoja perenne en función del mes del año, suponiendo que julio es el mes con mayores ratios de emisión.

**9. Gráfico:** Factor de estacionalidad. (Staudt et al. 2000)



Aunque no existe unanimidad en la literatura, parece que un incremento en la concentración de CO<sub>2</sub> causa una disminución en la emisión de ISO por área superficial de hoja. Esto no implica que las emisiones globales de ISO vayan a disminuir en un futuro debido al incremento del CO<sub>2</sub> en la atmósfera, ya que este hecho puede ser compensado por un incremento en la masa vegetativa global (Laothawornkitkul et al. 2009).

La disponibilidad de agua es otro factor que afecta a las emisiones. Periodos moderados de sequía pueden disminuir, aumentar o no tener ningún efecto sobre las emisiones de ISO y MT. Lo que sí está claro es que una sequía severa y duradera, que lleva a un marchitamiento de la planta o a una inhibición completa de la fotosíntesis, reduce significativamente las emisiones de BVOC (Laothawornkitkul et al. 2009).

Los episodios puntuales o concentraciones elevadas sostenidas en el tiempo de ozono tienen efectos adversos en el crecimiento de las plantas, en la composición y en el funcionamiento de los ecosistemas. Parece que los cambios en las concentraciones de ozono pueden afectar a las emisiones de BVOC, pero no está claro lo que realmente ocurre. Ante exposiciones directas a altos niveles de ozono las emisiones de BVOC pueden aumentar, decrecer o no tener ningún efecto. Estas diferencias dependen del tipo de planta, la estacionalidad o del tipo de BVOC considerado. El problema es que los BVOC emitidos reaccionan rápidamente con el ozono, por lo que los índices de emisión podrían subestimarse (Peñuelas et al. 2010).

Una alternativa para valorar el factor de actividad a largo plazo de la vegetación es utilizar datos procedentes de observaciones de satélite. Estos datos son útiles ya que proveen de observaciones sistemáticas de la condición y la actividad de la vegetación a lo largo del año y describen la distribución espacial y la variación interanual del paisaje. Además, con estas observaciones se puede detectar si una estación se ha adelantado o retrasado, y también

posibles alteraciones en el crecimiento normal de la vegetación, por ejemplo, el impacto que puede tener una sequía u otro evento fuera de lo habitual.

### **3.3. LA VEGETACION EN EUSKADI**

El análisis de la vegetación de Euskadi se ha basado en el Mapa Forestal de la CAPV del año 2010, descrito en el informe "Cuarto Inventario Forestal Nacional Comunidad Autónoma del País Vasco/Euskadi" (MAPAMA 2013), que proporciona una cartografía en formato SIG, de libre acceso y disponible en la siguiente dirección web ([http://opendata.euskadi.eus/catalogo/-/contenidos/ds\\_geograficos/md\\_ideeu\\_invent\\_forest\\_2010/es\\_def/index.shtml](http://opendata.euskadi.eus/catalogo/-/contenidos/ds_geograficos/md_ideeu_invent_forest_2010/es_def/index.shtml)).

La Comunidad Autónoma de Euskadi tiene una superficie total de 7.234 km<sup>2</sup> y dentro de su territorio, como se ve en la siguiente figura, están el Condado de Treviño, que pertenece a la provincia de Burgos, con una superficie de 279 km<sup>2</sup>, y el municipio de Villaverde de Trucios que pertenece a Cantabria, con una superficie de 20 km<sup>2</sup>. Para evitar huecos a la hora de generar el inventario se ha completado el Mapa Forestal de la CAPV utilizando la información del inventario forestal del "Tercer Inventario Forestal Nacional IFN-3", a partir de los ficheros shp "mfe50\_09 (Burgos)" y "mfe50\_39 (Cantabria)" disponibles en la siguiente dirección web ([http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/ifn3\\_base\\_datos\\_1\\_25.aspx#para8](http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/ifn3_base_datos_1_25.aspx#para8)).



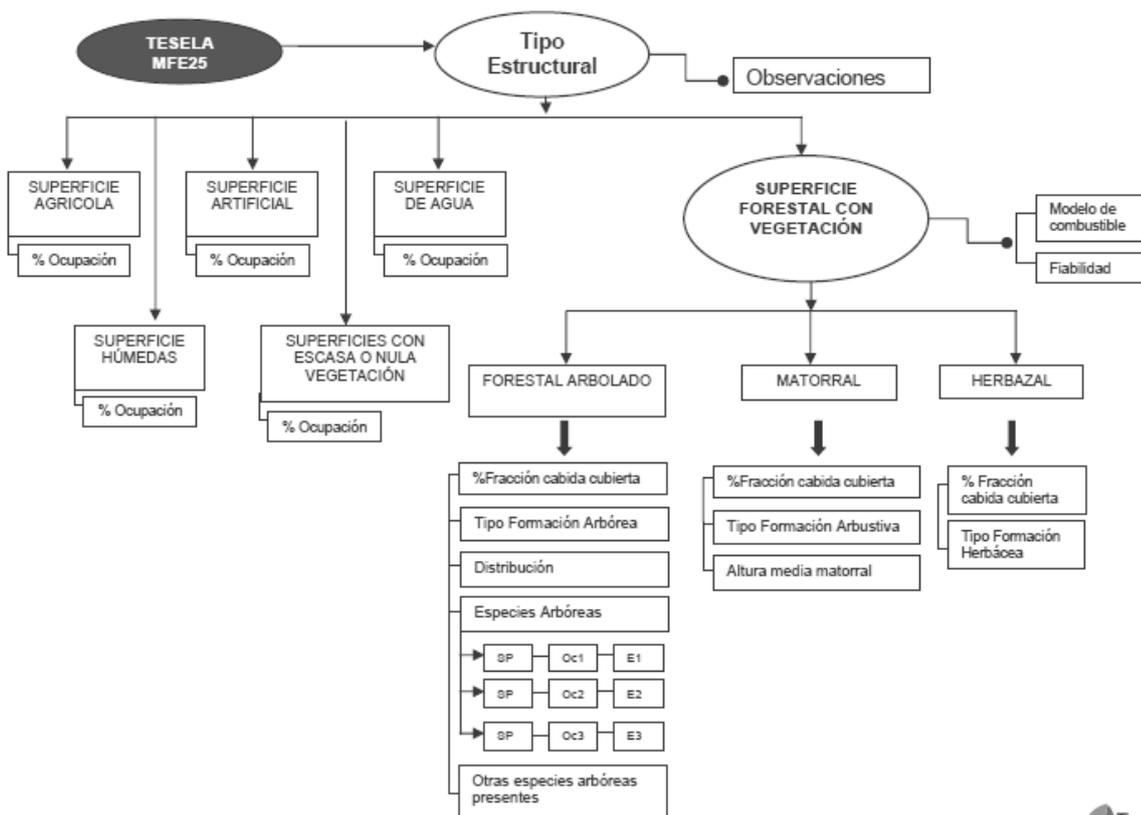
**17. Figura:** Mapa de Euskadi con Villaverde de Trucios y Treviño en color morado

A partir de ahora y por simplificar, cada vez que se nombre el término Euskadi nos referiremos a un territorio de 7.533 km<sup>2</sup> que incluye todos los territorios anteriormente mencionados.

El Mapa Forestal de la CAPV realizado con trabajos de fotointerpretación de ortofotos del año 2009 de 25 cm de pixel, está dividido en cerca de 200.000 teselas, definidas como la unidad espacial de terreno que presenta una ocupación de suelo con estructura homogénea. Esto quiere decir que el tamaño medio de tesela es de cerca de 4 hectáreas, lo que da una idea de la alta resolución de este mapa. Para cada tesela se dispone de la siguiente información:

- *Tipo Estructural:* que define el uso principal de la tesela, pudiendo existir más de un uso que quedará reflejado en porcentaje, siempre y cuando sea mayor del 5%.
- *Tipo de Vegetación:* “arbolado, matorral o herbazal” con su porcentaje de ocupación, también llamado “fracción de cabida cubierta”.
- *Especie Arbórea:* en cada tesela se pueden diferenciar hasta tres especies arbóreas con sus respectivos porcentajes.

En el siguiente esquema se muestra como está estructurada la información disponible en cada tesela del Mapa Forestal:



**18. Figura:** Información de cada tesela. Fuente: Mapa Forestal de España

Del total de la superficie de Euskadi, atendiendo solo a su uso principal: el 68% es forestal (arbolado, matorral y herbazal), el 24% es agrícola (cultivos y prados), el 6% es de tipo artificial, el 1% son superficies rocosas y el restante 1% es agua. Estos porcentajes están referidos al uso de suelo predominante de las teselas, ya que lo normal es que en una

superficie haya una mezcla de diferentes usos. La definición de usos de suelo y el porcentaje de ocupación del territorio son los siguientes:

**Forestal (68%):**

**Vegetación arbórea (55%):** Está formada por especies leñosas que se ramifican a cierta altura del suelo, es decir tienen la copa separada del tronco, lo que se considera como bosque.

**Vegetación de matorral (6%):** Está formada por especies leñosas cuya parte aérea no llega a diferenciarse en tronco y copa, presentándose en general muy ramificada y pudiendo llegar desde el porte arbustivo hasta el achaparrado y rastrero.

**Vegetación herbácea (7%):** Es la comunidad vegetal natural o seminatural dominada por especies que no desarrollan estructuras leñosas y tiene una interferencia humana mínima.

**Agrícola (24%):**

**Cultivos (12%):** Se incluyen aquí tierras de cultivos intensivos y extensivos, cultivos inundados y cultivos forzados.

**Prados (12%):** Son pastos herbáceos espontáneos de carácter permanente, siempre verdes, producidos por el hombre en un pasado más o menos remoto y por el pastoreo, que no se suele agostar o secar en verano y son susceptibles de riego y siega al menos una vez al año.

**Artificial (6%):**

Son las superficies construidas por el hombre como industrias, áreas comerciales, infraestructuras y viviendas.

**Rocoso (1%):**

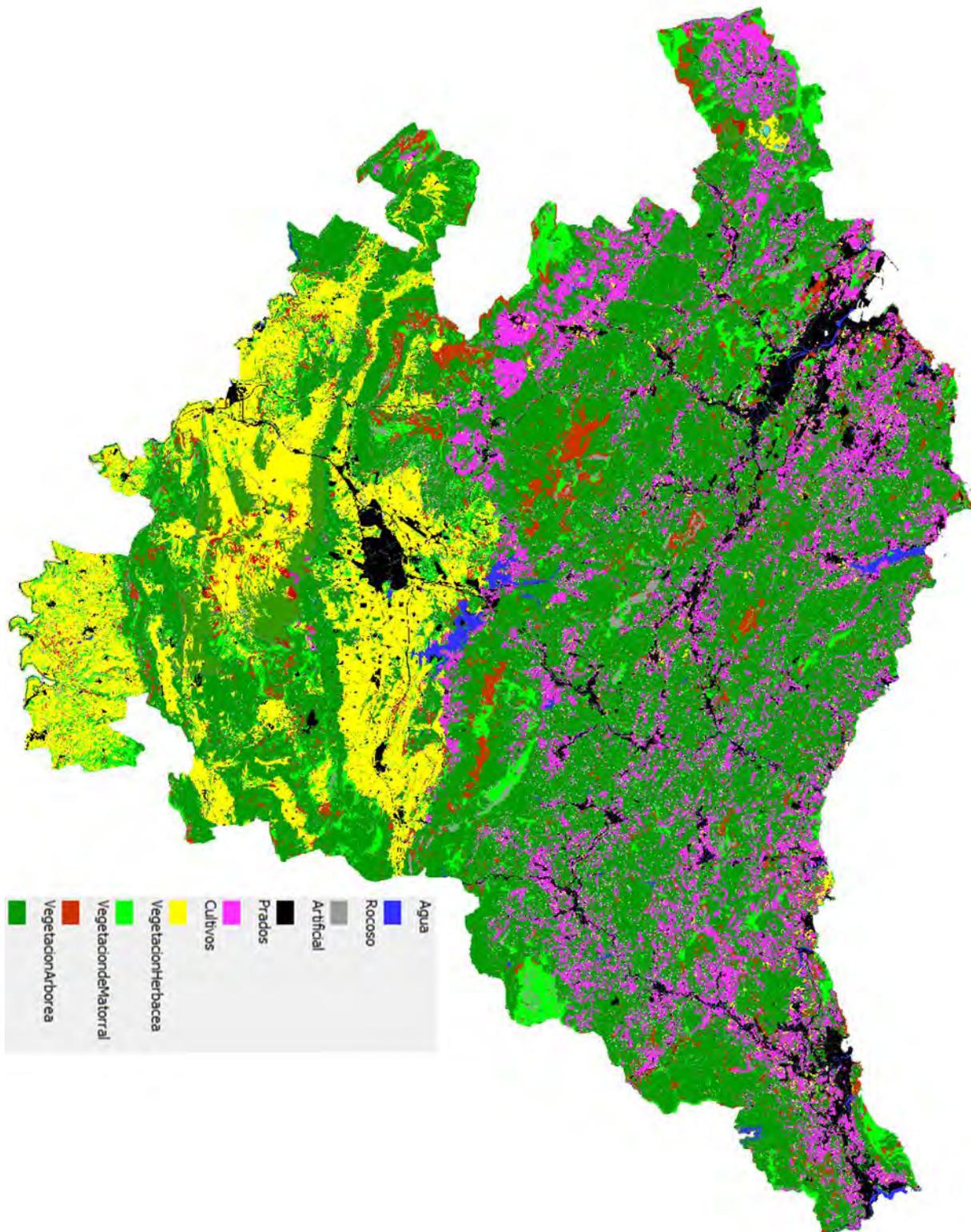
Son áreas constituidas por rocas y superficies naturales desnudas de vegetación, también se incluyen en este apartado las playas, dunas o arenales.

**Agua (1%):**

Se incluyen las zonas que habitualmente están cubiertas de agua como ríos, pantanos, marismas, estuarios, humedales, salinas, etc.

Para realizar el inventario de emisiones biogénicas se tienen en cuentas solamente las superficies agrícola y forestal, que son las zonas de emisión de compuestos biogénicos. El

resto de usos de suelo se supone que son de emisión cero. En la siguiente figura se muestra la geolocalización de estos tipos estructurales de suelos:



19. Figura: Tipos estructurales de suelo en Euskadi

### **3.3.1. DISTRIBUCIÓN DE USO FORESTAL**

La superficie forestal de Euskadi es de más 5.100 km<sup>2</sup>. La mayoría de estas superficies no son de tipo único, sino que son una mezcla en distintas proporciones de árboles, matorral y herbazal. Se usa el concepto Fracción de Cobertura Superior (FCC) que mediante porcentajes FCCARB (árboles) – FCCMAT (matorral) - FCCHEB (herbazal) caracteriza la tesela en función de su ocupación. La suma de estos porcentajes no tiene por qué ser del 100%. Puede darse el caso de superficies con talas o incendios que dejan el monte sin arbolado en el momento de realizar el Mapa Forestal, pero que previsiblemente volverán a estar pobladas en un breve espacio de tiempo.

#### **3.3.1.1. Formaciones forestales arboladas**

La superficie forestal arbolada de Euskadi se clasifica en más de 100 formaciones diferentes atendiendo a criterios de especie o estructura de la masa (como los bosques mixtos atlánticos). En este apartado se describen y geolocalizan las 9 formaciones mayoritarias y más representativas de Euskadi, que suponen el 85% de la superficie arbolada total, en orden decreciente de importancia según su superficie:

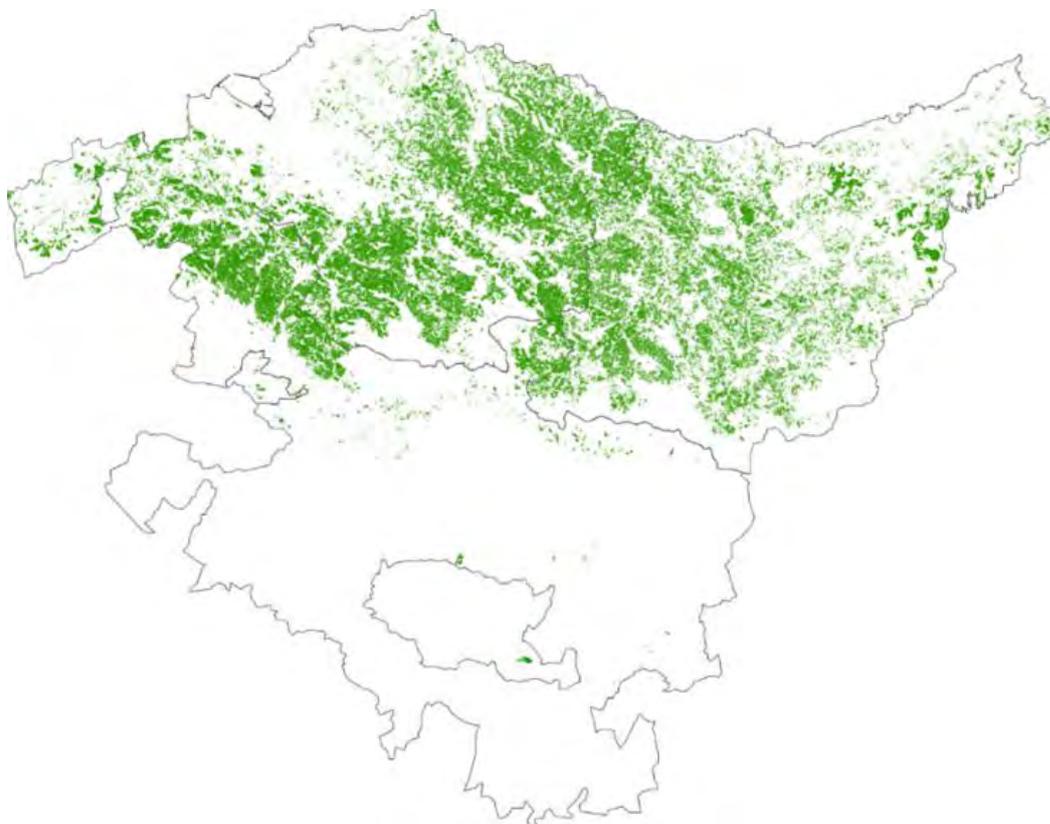
–	<i>Pino Radiata</i>	33%
–	<i>Hayedos</i>	14%
–	<i>Bosque mixto atlántico</i>	8%
–	<i>Encinares</i>	7%
–	<i>Quejigales</i>	7%
–	<i>Pino Silvestre</i>	5%
–	<i>Roble pedunculado</i>	4%
–	<i>Eucaliptos</i>	4%
–	<i>Pino Laricio</i>	3%
–	<i>Otros</i>	15%

## ***Pinares de Pino Radiata***

El *Pinus radiata*, más conocido como *pino insigne*, *pino de Monterrey* o *pino de California* es una especie arbórea perteneciente a la familia de las pináceas, género *Pinus*, de hoja perenne, originaria del suroeste de los Estados Unidos. Prefiere climas templados o cálidos, no soporta las temperaturas muy bajas ni las heladas, y necesita bastante humedad, aunque tolera algo de sequía estival. Es una especie de gran interés para la industria por la calidad de su madera y su rápido crecimiento, lo que hace que su cultivo comience a dar beneficios en pocos años.

Los pinares de pino radiata son la formación arbórea más importante en superficie de Euskadi, ocupando 134.000 hectáreas, lo que supone el 33% de la superficie arbolada autonómica. Los bosques de pino radiata son básicamente repoblaciones de carácter productor y se presentan en altitudes inferiores a los 600 metros, por todo el territorio de Gipuzkoa y Bizkaia, y en el extremo noroccidental de Araba/Álava (coincidiendo con los terrenos de menor cota de esta provincia).

El pino radiata es un típico emisor de MTS y MTP.



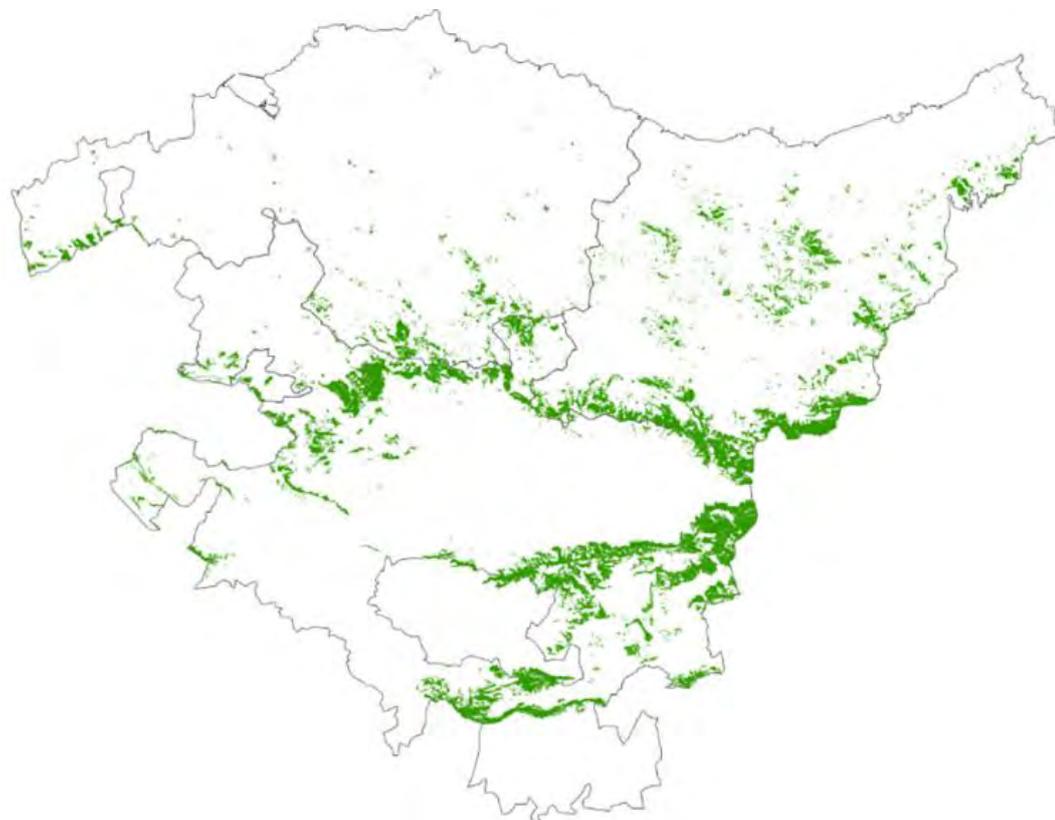
**20. Figura:** Localización de Pino Radiata

## **Hayedos**

El *haya común* o *Fagus sylvatica* es un árbol de hoja caduca de la familia de las fagáceas. Se desarrollan en bosques densos, monoespecíficos y con poca vegetación ya que sus hojas dejan pasar muy poca luz.

Los hayedos se extienden sobre el 14% de la superficie forestal arbolada de Euskadi, ocupando cerca de 57.000 hectáreas. Aparecen sobre las zonas de mayor altitud de la comunidad, mayoritariamente entre los 600 y 1.200 metros, con exposición preferente de umbría, por lo que los sistemas montañosos son localizaciones preferentes para este tipo de arbolado: destacan los montes de la divisoria de aguas cantábrico-mediterránea, la Sierra de Aralar, la Sierra de Entzia-Urbasa o las montañas del sur de Araba/Álava.

El haya es un alto emisor de MTS y de OVOC.



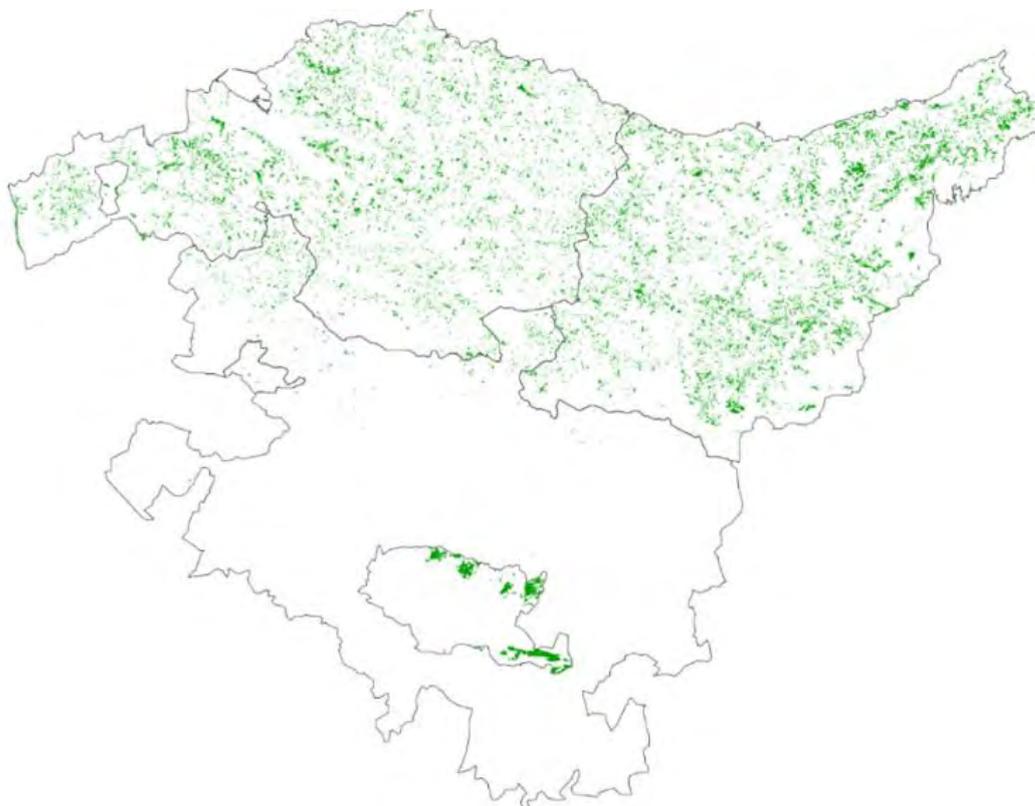
**21. Figura:** Localización de Hayas

## ***Bosque mixto atlántico***

Estos bosques se caracterizan por ser altamente pluriespecíficos, no se suele poder definir cuál de las especies es la principal en la mezcla, puesto que ninguna sobrepasa el 10% de presencia en pies mayores y hasta 19 especies pueden superar el 1%. Dentro de esta mezcla, aunque dominan principalmente las especies arbóreas del género *Quercus*, se agrupa una gran variedad de especies arbóreas y arbustivas, pudiendo encontrarse robles, quejigos, encinas, hayas, abedules, pinos, avellanos, majuelos, etc. Precisamente la gran diversidad de especies hace que haya variaciones entre diferentes inventarios y la interpretación sea dificultosa.

Los bosques mixtos atlánticos ocupan en Euskadi una extensión cercana al 8% de la superficie arbolada. Aparecen principalmente en zonas de umbría por debajo de los 600 metros, con distribución uniforme por toda la superficie de la comunidad, incluida en la región biogeográfica atlántica, especialmente en Gipuzkoa y Bizkaia.

Al ser una mezcla de diferentes especies se consideran zonas de emisión tanto de ISO como de MTS.



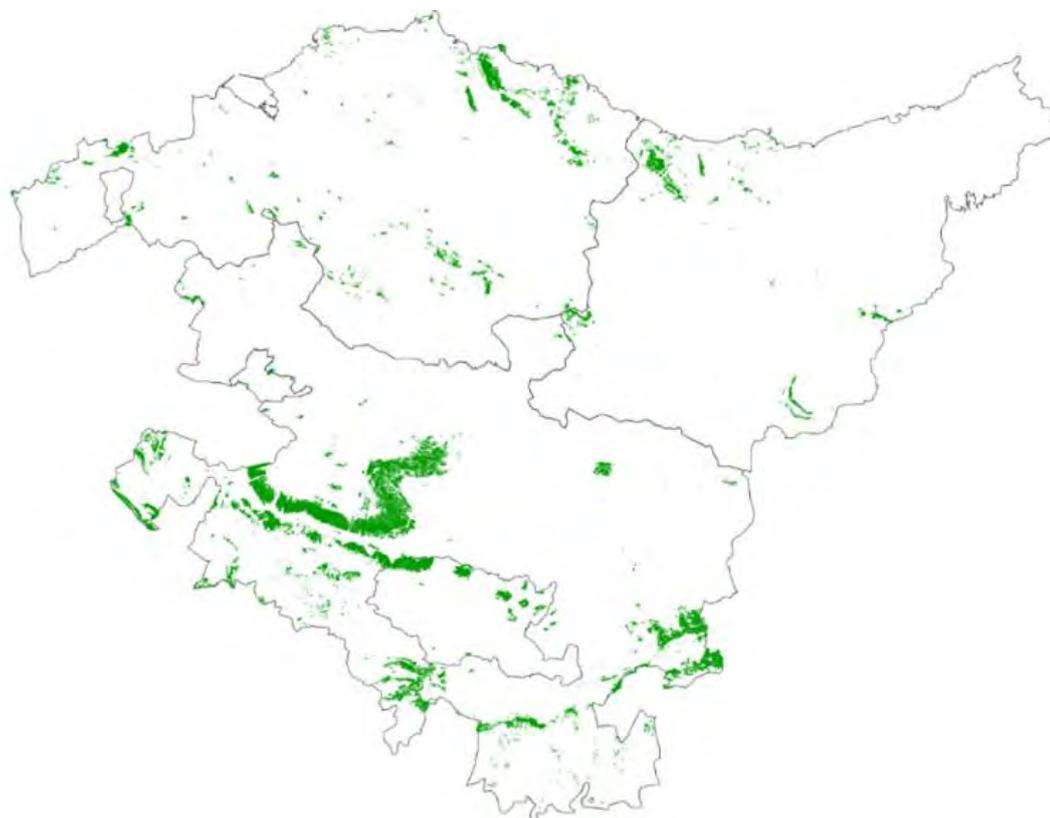
**22. Figura:** Localización de Bosques Mixtos Atlánticos

## **Encinares**

La encina o *Quercus ilex* es un árbol de la familia de las fagáceas. Las hojas son perennes y se cultiva principalmente por su fruto, las conocidas bellotas.

En Euskadi los encinares ocupan más del 7% de la superficie arbolada. Aunque aparecen discretamente sobre la región atlántica, su distribución es mayoritaria sobre las estribaciones montañosas de la provincia alavesa en la vertiente mediterránea, entre los 400 y los 1.000 metros de altitud, con exposición dominante de solana y preferentemente sobre sustratos calizos.

La encina es considerada como una especie de alta emisión de MTS y de OVOC.



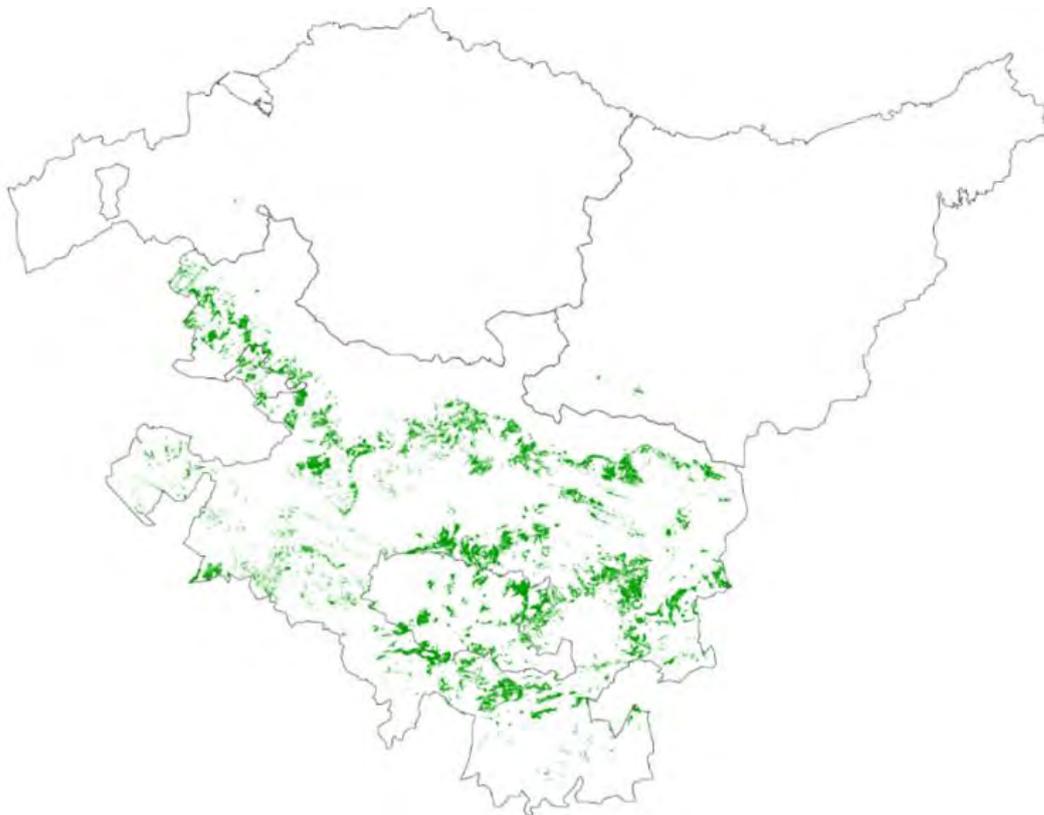
**23. Figura:** Localización de Encinares

## Quejigales

El quejigo o *Quercus faginea* es un árbol semejante a la encina, aunque de hoja caduca y menos denso. También se le conoce como roble carrasqueño o roble valenciano, y es típico del clima mediterráneo.

Los quejigales cubren sobre el 7% de la superficie arbolada vasca, aparecen casi exclusivamente en Araba/Álava, entre los 600 y 1.000 metros de altitud y en terrenos calizos rocosos y sometidos a cierta continentalidad y sequía estival. Se distribuyen por toda la provincia excepto la franja más septentrional en el límite con Gipuzkoa y Bizkaia.

El quejigo se considera como una de las especies de más alta emisión de ISO.



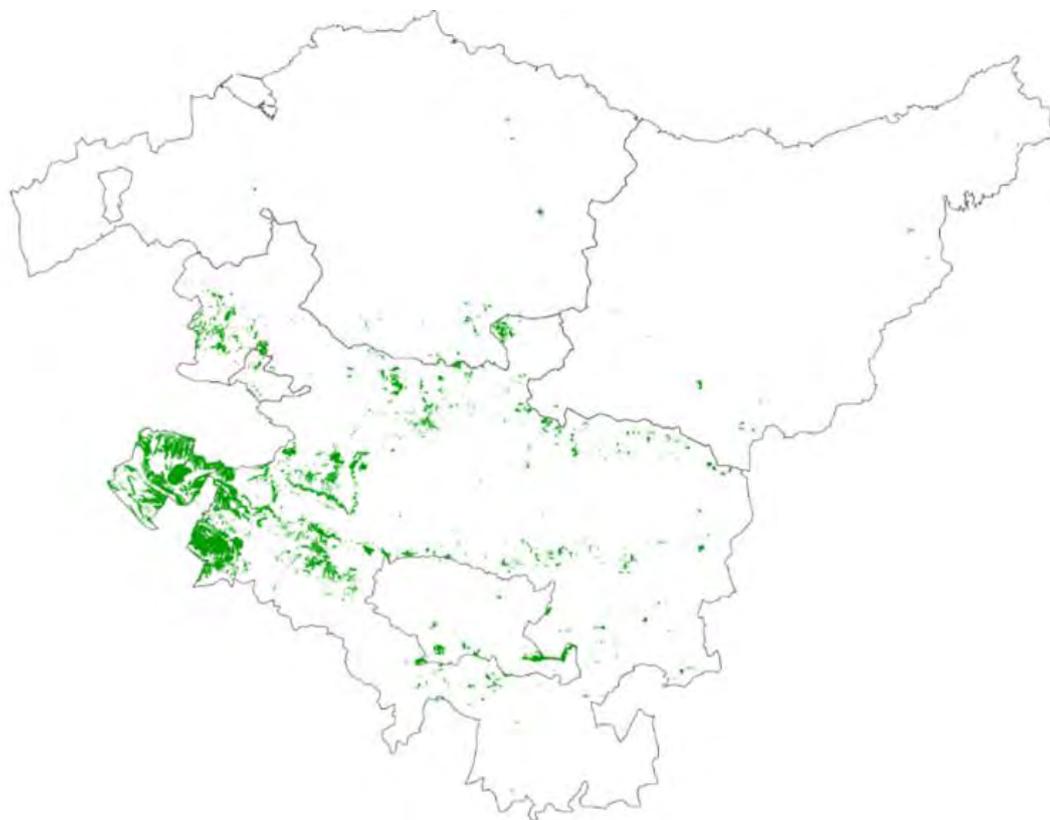
**24. Figura:** Localización de Quejigales

## **Pino Silvestre**

El pino silvestre o *Pinus sylvestris*, también conocido como pino de Valsaín, pino serrano, pino albar, pino del Norte, pino rojo o pino bermejo. Es una especie arbórea que pertenece a la familia Pinácea, género Pinus y es la única conífera autóctona que forma bosques densos en Euskadi. Soporta el pleno sol, pero no la sombra y se adapta a todo tipo de suelo, menos a los anegados. Su desarrollo es mayor en suelos fértiles y profundos y resiste la sequía. No tolera la contaminación y no vive mucho tiempo en competencia con otras especies que lo superen en altura. Resiste inviernos muy fríos.

En Euskadi el 5% de la superficie arbolada es de pinares de pino silvestre, en su mayor parte de origen natural, que aparecen casi exclusivamente en Araba/Álava y en concreto, de forma mayoritaria al oeste de la provincia, sobre la Sierra de Arcena entre los 600 y 1.000 metros de altitud.

Como el resto de la familia de los pinos se considera un típico emisor de MTS y MTP.



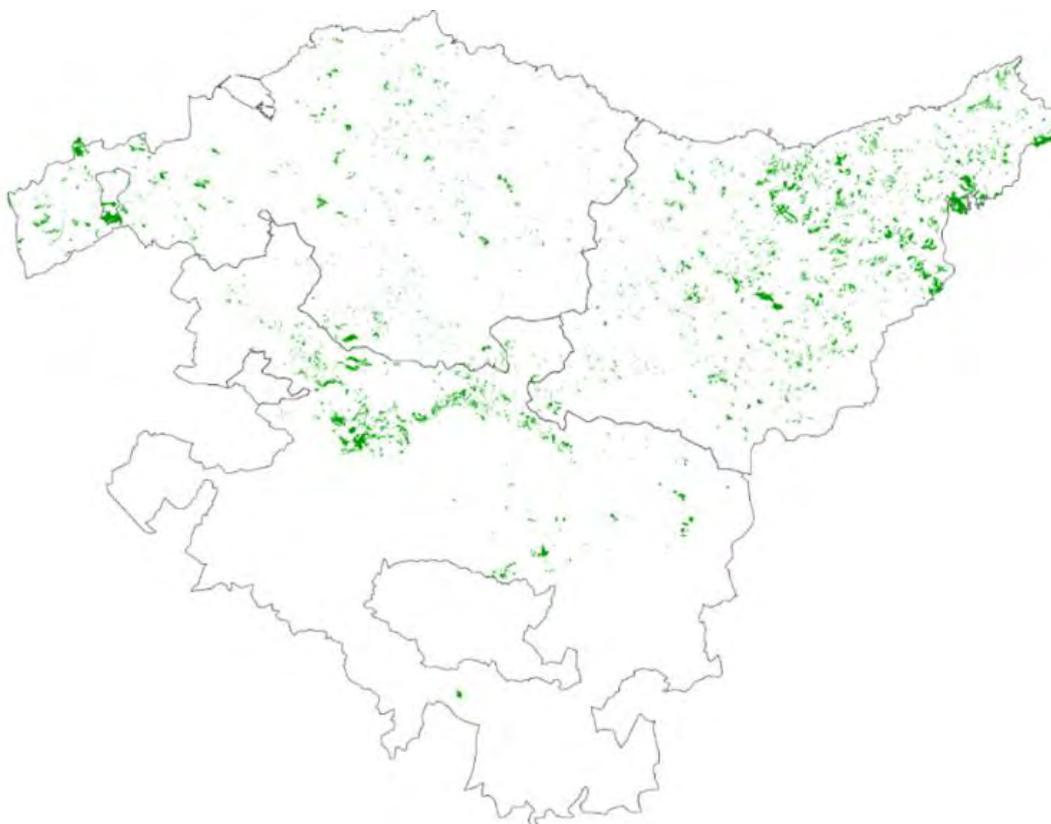
**25. Figura:** Localización de Pino Silvestre

## **Robledales**

El roble pedunculado o *Quercus robur*, también conocido como roble común, roble carballo o roble fresnal, es el más robusto de los robles europeos. Es un árbol de porte majestuoso y hoja caduca. Como curiosidad, este árbol es el símbolo de la Casa de Juntas de Gernika y su hoja es el logotipo oficial de la Diputación Foral de Bizkaia.

Los robledales ocupan en Euskadi el 4% de la superficie arbolada, y aparecen distribuidos por toda la región biogeográfica atlántica. Aunque pueden aparecer hasta los 800 metros, son mayoritarios por debajo de los 600 metros, en orientación preferente de umbría. La gran mayoría de los robledales vascos presentan dominancia de *Quercus robur* frente a *Quercus petraea*, siendo además bosques con gran riqueza de especies, entre las que destacan arces, hayas, abedules y castaños (*Hacer campestre*, *Fagus sylvatica*, *Betula alba* y *Castanea sativa*, respectivamente). También es frecuente la presencia de avellanos (*Corylus avellana*) que, dado su porte característico, se contabilizan en gran parte como pies menores, aumentando la proporción de éstos en la formación y dominando a nivel de especie este parámetro.

El roble pedunculado es un típico emisor de ISO.



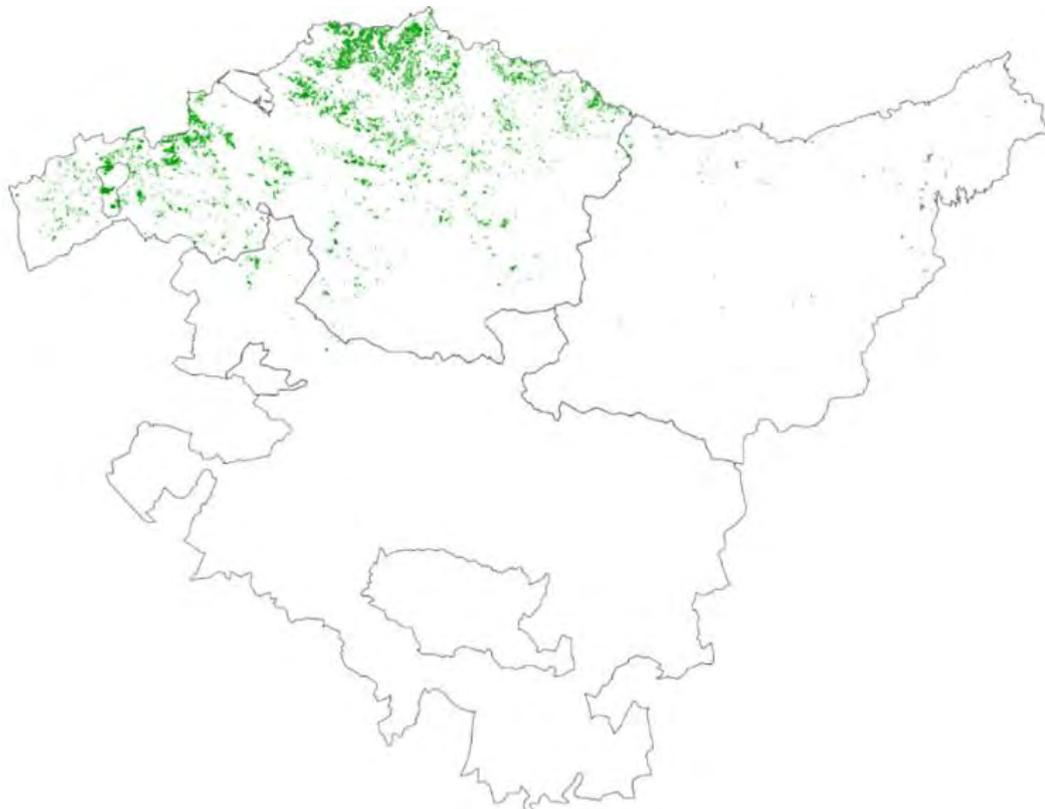
**26. Figura:** Localización de Robledales

## ***Eucaliptos***

Los eucaliptos o *Eucalyptus* son árboles perennes, de porte recto y debido a su rápido crecimiento se emplean frecuentemente en plantaciones forestales para la industria papelera, maderera o para la obtención de productos químicos. Se considera un sustituto del pino radiata en zonas afectadas por incendios forestales y suelos pobres.

Los eucaliptales vascos aparecen casi exclusivamente en la provincia de Bizkaia, siempre por debajo de los 400 metros y preferentemente cerca de la costa, en las zonas de influencia cantábrica. Representa sobre el 4% de las zonas arboladas de Euskadi y suelen ser bosques puros, en su mayoría de *Eucalyptus globulus* y en menor medida de *Eucalyptus nitens*, pero estos ya en el interior de Bizkaia, ya que esta especie se muestra más resistente a las heladas. Este tipo de árbol requiere un clima suave y lluvioso para desarrollar su potencial de crecimiento.

Los eucaliptos emiten gran cantidad de ISO y en menor medida MTP.



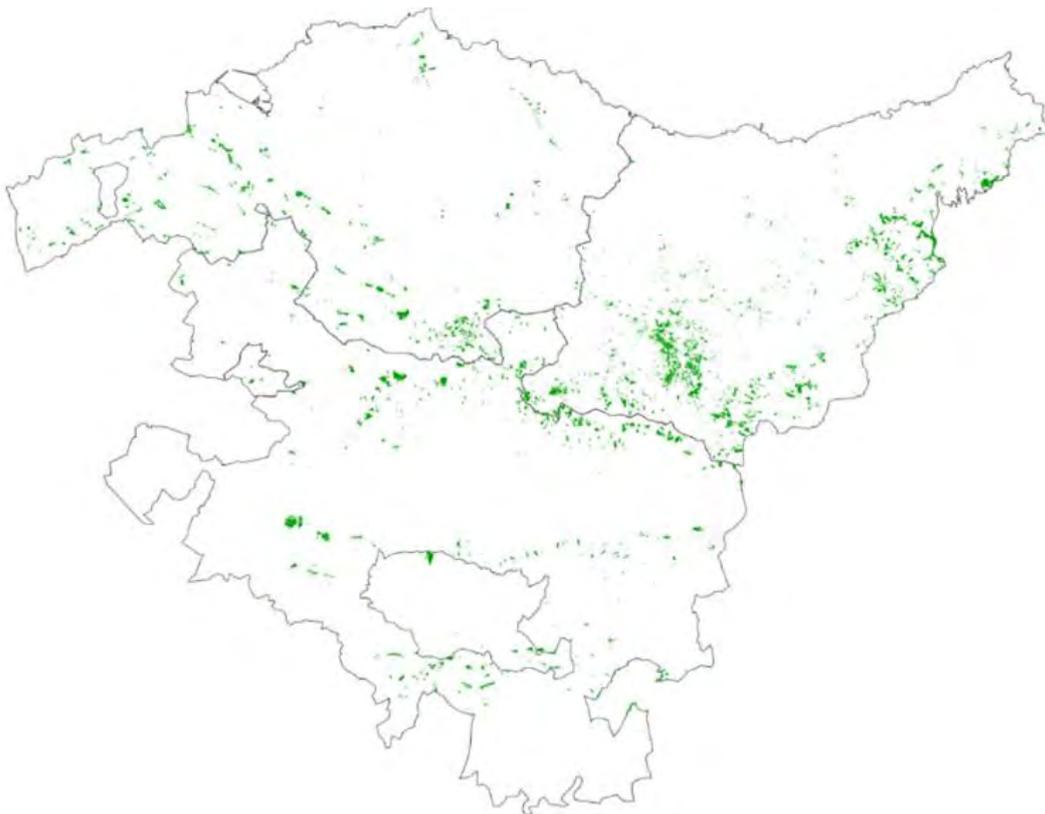
**27. Figura:** Localización de Eucaliptos

## ***Pino Laricio***

El pino laricio o *Pinus nigra* es una especie arbórea de la familia de las pináceas. También se conoce como pino salgareño y pino negral, aunque este nombre lo comparte con otras especies como el *Pinus pinaster*.

Más del 3% de la superficie arbolada de Euskadi son pinares de pino laricio, que en su mayoría constituyen repoblaciones de carácter productor y se considera como un buen sustituto del pino radiata para zonas altas. Principalmente están distribuidos por el interior de la comunidad en una amplia franja de este a oeste y pueden encontrarse hasta a los 1.000 metros de altitud, aunque se presentan preferentemente entre los 400 y 800 metros con exposición de solana.

El pino laricio es un típico emisor de MTS y MTP.



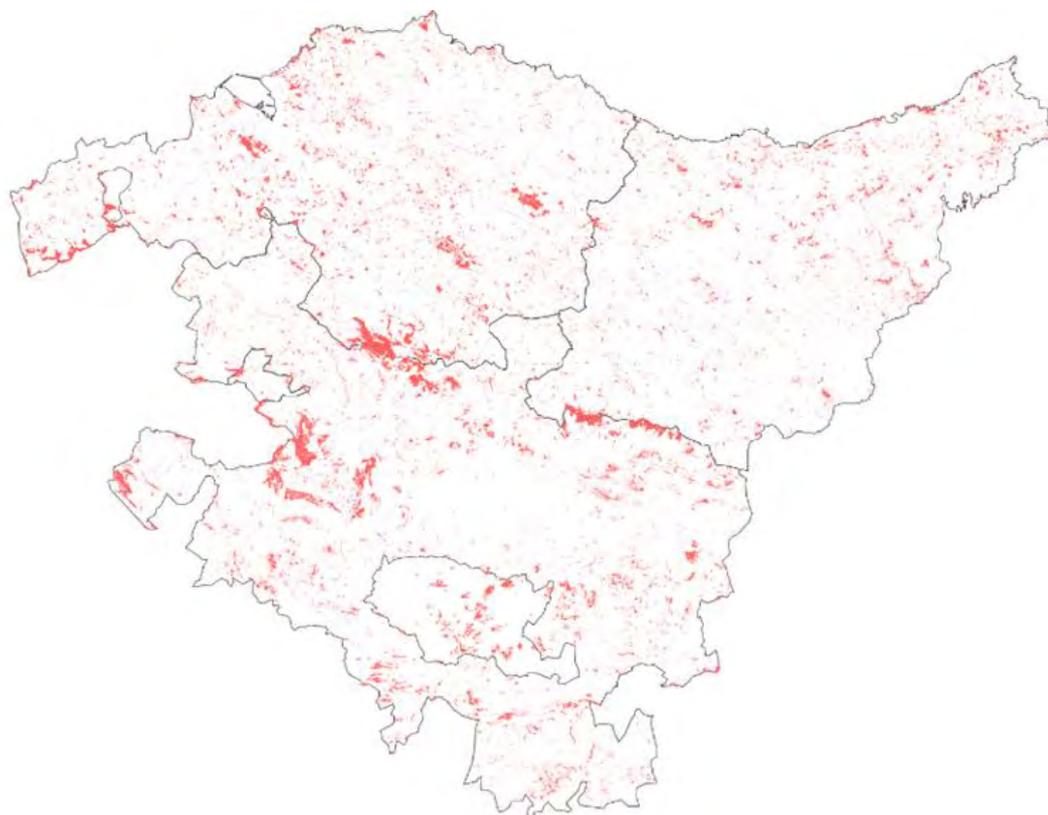
**28. Figura:** Localización de Pino Laricio

### **3.3.1.2. Formaciones forestales arbustivas o de matorral**

Las formaciones arbustivas representan 430 km<sup>2</sup> de superficie en Euskadi y están repartidas homogéneamente por todo el territorio. Las especies predominantes son los tojares, los brezales, los helechos y agrupaciones afines. Los tojares son más abundantes en la zona norte y se encuentran habitualmente en superficies arboladas. Los brezales son más típicos en la vertiente mediterránea y básicamente en superficies desarboladas. También aparecen romerales en la Rioja Alavesa y coscojares en el límite con la provincia de Burgos.

El mapa forestal no distingue los distintos tipos de matorral y en este inventario de emisiones se consideran los diferentes tipos de matorrales por igual.

Los arbustos o matorrales se consideran emisores de ISO y en menor medida de MTP y MTS



**29. Figura: Localización de Matorrales**

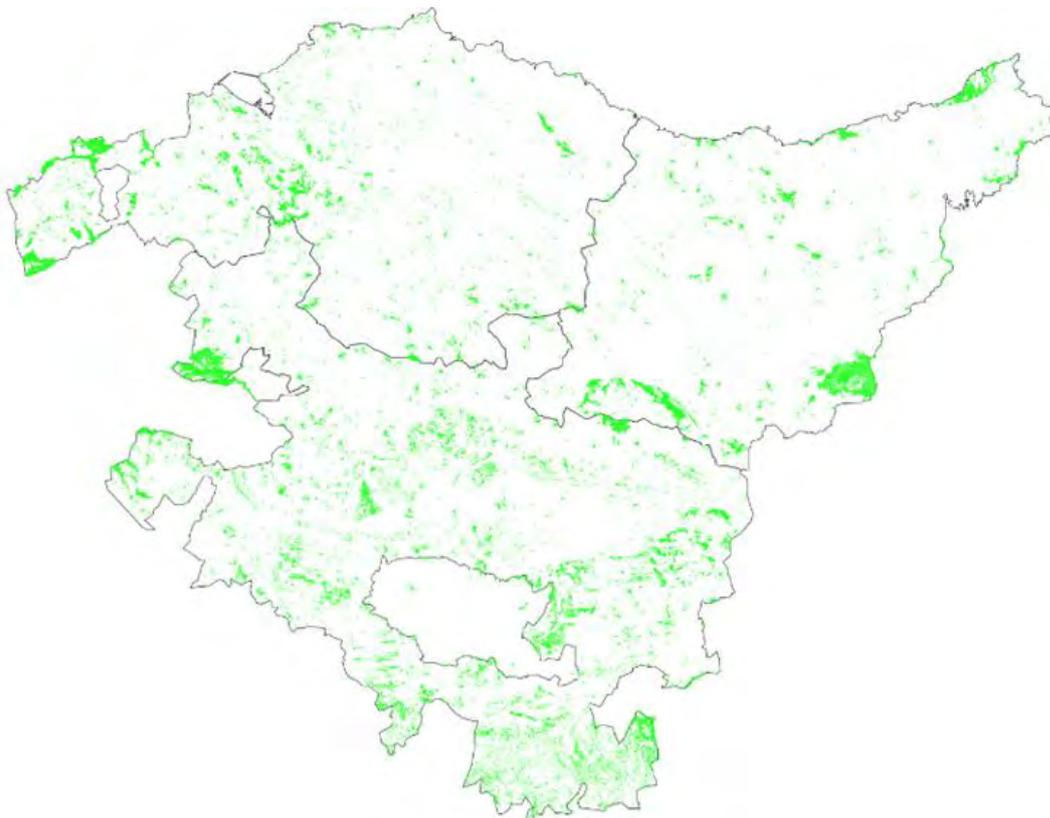
### **3.3.1.3. Formaciones forestales de herbazal**

Los herbazales ocupan en Euskadi cerca de 500 km<sup>2</sup> y están homogéneamente repartidos por todo el territorio. Se considera que el impacto de la mano del hombre en estas zonas es mínimo y, aunque suelen soportar cierta presión ganadera, su mantenimiento no depende de esta.

Las formaciones típicas de herbazal son las praderas de montaña (Aitzgorri, Aralar, Gorbea), sometidas a pastoreo durante la época estival, los lastonares y los fenalares en la vertiente mediterránea y los juncales en las zonas cercanas a los cursos de agua o en depresiones encharcables.

En cualquier caso, el mapa forestal no distingue los distintos tipos de herbazales y en este inventario de emisiones se consideran todos los herbazales por igual.

El herbazal se considera que es emisor de OVOC y en menor medida de ISO y de MT.



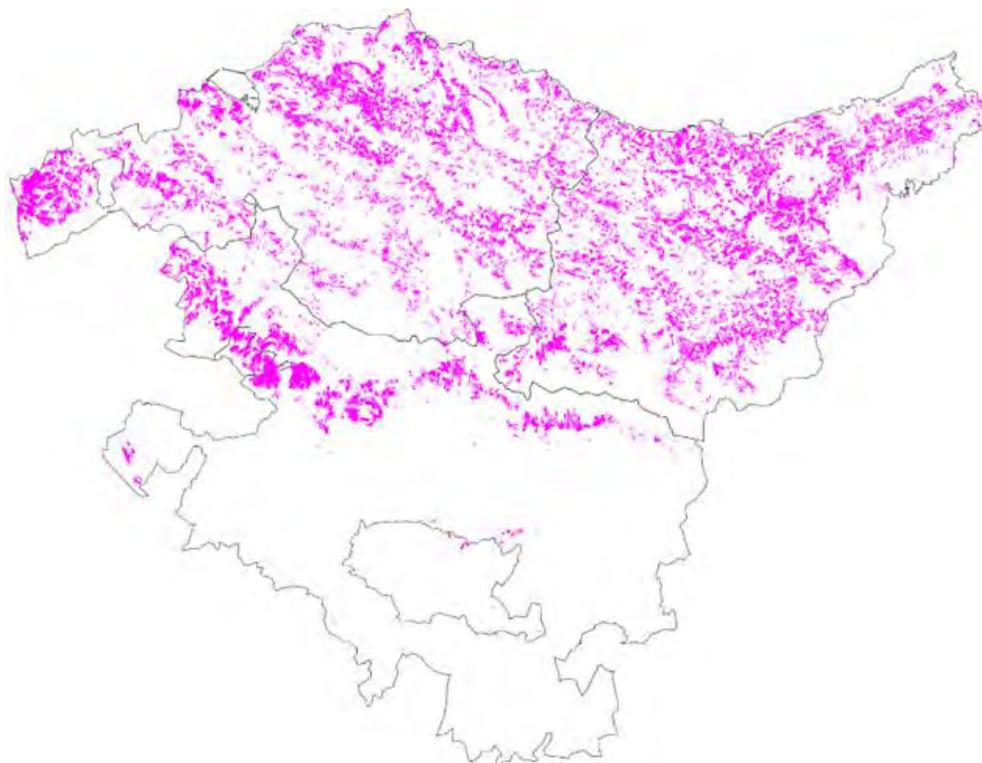
**30. Figura:** Localización de Herbazales

### 3.3.2. DISTRIBUCIÓN DE USO AGRÍCOLA

El suelo agrícola en Euskadi ocupa más de 1.830 km<sup>2</sup> y se puede dividir en dos tipos de paisajes diferentes: en el norte o vertiente atlántica, representada por prados de siega dirigidos a la ganadería, y en el sur o vertiente mediterránea, con predominio de los cultivos extensivos, especialmente en la Llanada Alavesa y la Rioja Alavesa.

#### 3.3.2.1. Prados

En Euskadi se contabilizan en 930 km<sup>2</sup> las superficies destinadas a prados donde se realizan actividades de siega, abonado y algo de pastoreo. Estas labores continuas de siega y abonado favorecen el crecimiento de ciertas gramíneas y leguminosas de alto valor forrajero como: *Cynosurus cristatus*, *Lolium perenne*, *Trisetum flavescens*, *Gaudinia fragilis*, *Trifolium pratense*, *Trifolium repens*. Otras plantas frecuentes son: *Plantago lanceolata*, *Crepis capillaris* y *Linum bienne*. La composición florística varía con las diversas prácticas: fechas de corte, tipo de abono, manejo del ganado en el prado, etc. Su importancia económica en la región norte de Euskadi es indudable, ya que su alta productividad y relativamente fácil manejo han contribuido a la configuración del paisaje actual en estos territorios. Sin embargo, actualmente se tiende a su abandono para su sustitución por plantaciones madereras de pinos y eucaliptos, con la intención de obtener un mayor rendimiento económico. Los prados se consideran emisores de OVOC y en menor medida de ISO y de MT.



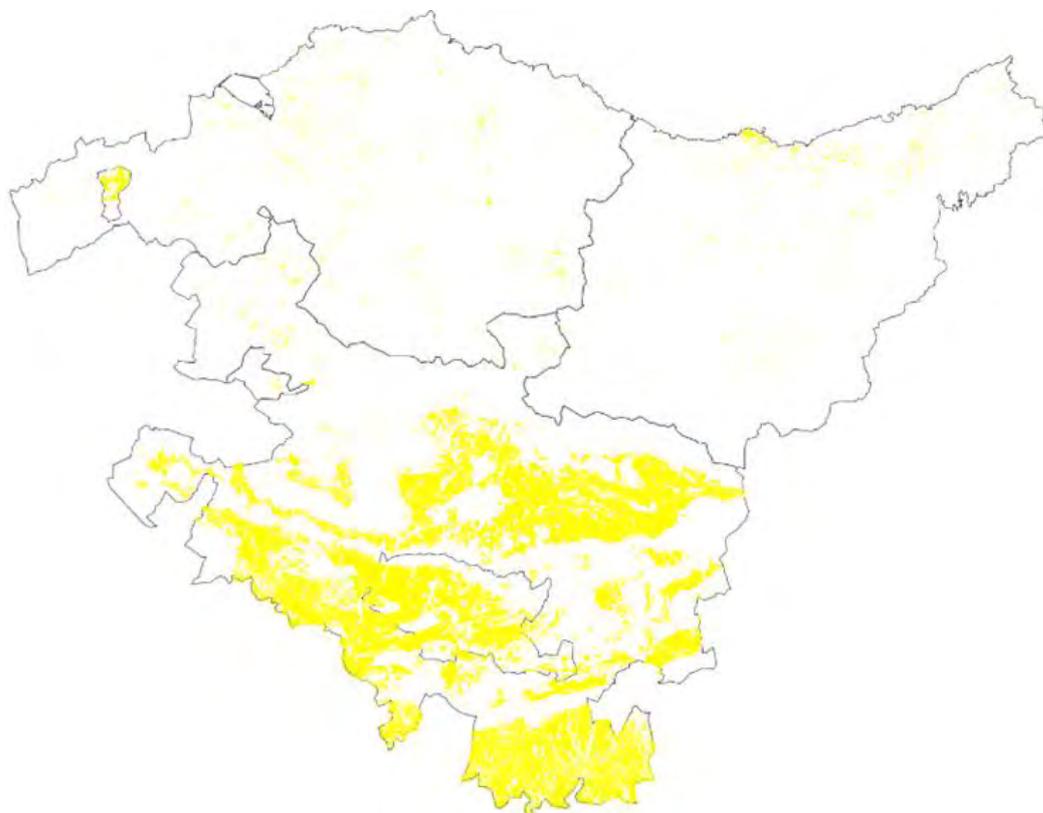
31. Figura: Localización de Prados

### 3.3.2.2. Cultivos

En Euskadi se dedican 900 km<sup>2</sup> como terreno para cultivos. De esta superficie el 96% se usa en monocultivos intensivos básicamente en la provincia de Álava y el 4% restante son huertas y viveros de pequeña extensión que se encuentran dispersas por todo el territorio.

Respecto a los monocultivos el cereal ocupa más de la mitad de las tierras, que están centradas en el binomio cebada-trigo. Por su parte, la Llanada y los valles más fértiles de la Montaña Alavesa, pese a mantener el predominio del cereal, posibilitan un policultivo de remolacha azucarera, patata y cultivos forrajeros, gracias a la ayuda de riegos obtenidos mediante balsas artificiales. Al sur de la Sierra de Cantabria, el secano continúa manteniendo el cereal, pero encuadrado dentro de un policultivo de tipo mediterráneo, con la vid como elemento dominante. La extensión del viñedo se ha incrementado en los últimos años, como respuesta a las favorables perspectivas económicas que tiene con la actual política agraria común de la UE y al reconocimiento de su calidad mediante las Denominaciones de Origen.

En la zona norte, las huertas y viveros de pequeña extensión combinan los cultivos de maíz, leguminosas, producción hortícola, árboles frutales, viñedos para obtención de txakoli, invernaderos de flores y plantas ornamentales.



32. *Figura: Localización de Cultivos*

### **3.4. ANÁLISIS DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN OBTENIDOS DESDE SATÉLITE**

La teledetección, con instrumentos a bordo de satélites de observación de la Tierra, es una tecnología que se utiliza habitualmente para la elaboración de mapas de recursos forestales y agrícolas. Dentro de esta tecnología, existen una serie de índices, denominados de vegetación, que se utilizan como herramientas para el análisis y monitoreo de propiedades y procesos ecosistémicos relacionados con los tipos de vegetación y su estado de evolución. Los índices de vegetación son medidas ópticas del verdor de la vegetación, una propiedad compuesta del contenido de clorofila de las hojas, el área de las hojas, la cobertura y estructura del dosel (*Huete et al. 2011*).

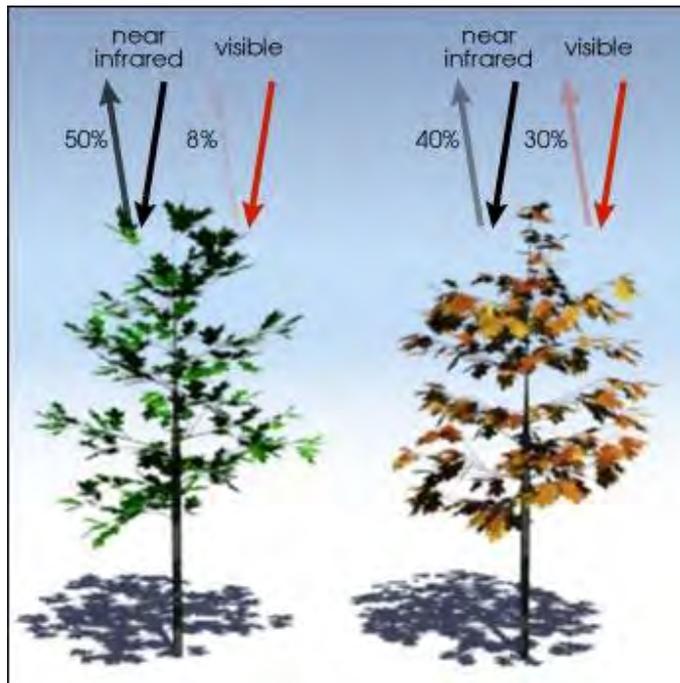
Ejemplos de procesos de ecosistemas que pueden ser analizados con datos de satélite son: la fotosíntesis y la transpiración de plantas, la producción y la descomposición brutas y netas, los ciclos del carbono y de los nutrientes, el enverdecimiento y desarrollo de hojas, la senectud, la duración de la estación de crecimiento, la sucesión vegetal, y los cambios de uso y cubiertas del suelo. La evaluación de los procesos del ecosistema y sus respuestas temporales a cambios ambientales se relacionan más adelante con las interacciones de luz, temperatura, nutrientes y humedad en el estado y condición de la vegetación.

Este apartado está dividido en dos subapartados principales: en el primero se hace una revisión de los índices de vegetación satelitales más comunes y en el segundo se presentan mediciones de estos índices en localizaciones de Euskadi para analizar su comportamiento y utilidad en la zona de estudio.

#### **3.4.1. ÍNDICES SATELITALES DE VEGETACIÓN**

La base teórica para el cálculo de los distintos índices de vegetación son las características espectrales de la reflectancia de las hojas. La vegetación verde y vigorosa refleja muy poca radiación en el rango visible, debido a la alta absorción de los pigmentos fotosintéticamente activos, con un máximo de valores de absorción en las longitudes de onda azul (470 nm) y rojo (670 nm). En cambio, casi toda la radiación del infrarrojo cercano (NIR) se refleja de nuevo ya que apenas es absorbida por la vegetación.

En la siguiente figura se muestra cómo se puede diferenciar una planta con vigor de otra que ya ha entrado en decadencia. La vegetación saludable (izquierda) absorbe la mayor parte de la luz visible que le impacta, y refleja una gran parte de la luz infrarroja cercana. La vegetación insalubre o escasa (derecha) refleja más luz visible y menos luz infrarroja cercana.



**33. Figura:** Diferencia de absorción de radiación. Fuente: Robert Simmon

Las cifras de la figura anterior son representativas de valores típicos, pero la vegetación real tiene una respuesta mucho más variada. Casi todos los índices de vegetación utilizan este concepto base, con diferentes variantes para conseguir mediciones más fiables y reducir ruido.

De la gran variedad de índices de vegetación existentes, los más conocidos y utilizados para evaluar el comportamiento de la vegetación en un territorio son: el LAI (índice de área foliar), la FPAR (fracción de la radiación activa fotosintética absorbida por la vegetación), el NDVI (índice de diferencia normalizada de vegetación) y EVI (índice de vegetación mejorado):

### **LAI (índice de área foliar)**

El LAI mide la cantidad de material foliar o de hojas que hay en un ecosistema, el cual es importante en el control de la fotosíntesis, la respiración, la interacción con la lluvia y otros procesos que relacionan la vegetación y el clima. Es un número adimensional que se define como el área foliar verde de una cara por unidad de superficie del suelo en vegetación de hoja ancha y como la mitad de la superficie total de la aguja por unidad de superficie en coníferas (Ranga Myneni 2012). El índice LAI define, por tanto, el área de vegetación que interactúa con la radiación solar y representa el tamaño de la interfase para el intercambio de energía entre el ramaje y la atmósfera. Es un parámetro importante, puesto que, por ejemplo, en las zonas con ramajes muy densos, éstos protegen el suelo del viento y las tormentas, pero ni la radiación solar ni gran parte de

la lluvia son capaces de penetrar y llegar hasta el suelo, con lo que esto conlleva para la flora y la fauna que habitan por debajo.

El sistema de modelización MEGAN utiliza el parámetro LAI obtenido de bases de datos de medidas desde satélite, para cuantificar la cantidad de masa foliar que hay en una determinada localización y los cambios en el LAI se utilizan para estimar la edad de esta masa foliar.

### ***FPAR (fracción de la radiación activa fotosintética absorbida por la vegetación)***

El parámetro FPAR, también adimensional, mide la proporción de la radiación absorbida por la vegetación, respecto de radiación fotosintéticamente activa incidente. El rango de longitudes de onda aproximado de este tipo de radiación está entre los 400 y los 700 nm y se corresponde básicamente con el espectro visible (*Ranga Myneni 2012*). Este parámetro está asociado directamente con producción primaria de la fotosíntesis y se emplea en varios modelos para estimar la asimilación del dióxido de carbono por la vegetación, puesto que expresa la capacidad de absorción de energía. El parámetro FPAR indica también la salud de la vegetación y está relacionado con el parámetro LAI, que es mayor cuanto más saludables y desarrollados están los ramajes de la vegetación.

### ***NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada)***

El NDVI se usa para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación. Se calcula mediante la diferencia, normalizada por el cociente, entre los valores de reflectancia bidireccional de la banda del infrarrojo cercano (NIR) y la banda del rojo (Red). Comúnmente se expresa como:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Una ventaja importante del NDVI es que al ser un cociente normalizado produce valores más uniformes y así se reduce el impacto de fuentes externas de ruido. También presenta algunas desventajas relacionadas con el comportamiento no lineal del cociente, la sensibilidad a las propiedades del suelo y problemas de saturación en caso de densidades de vegetación moderada a altas. (*Didan 2015*)

## ***EVI (índice mejorado de vegetación)***

El EVI es una optimización del NDVI, diseñado para mejorar la sensibilidad en las regiones de alta biomasa, monitorear mejor la vegetación mediante la disociación de la señal de fondo del dosel y reducir la influencia atmosférica. Combina los valores de reflectancia bidireccional de las bandas azul (Blue), rojo (Red) e infrarrojo cercano (NIR), para extraer los valores del verdor de la vegetación, independientemente de las variaciones del suelo y del aerosol atmosférico. La fórmula del EVI es la siguiente (*Didan 2015*):

$$EVI = G \frac{NIR - Red}{NIR + C1 \times Red - C2 \times Blue + L}$$

L es el ajuste de fondo del dosel, G es un factor de ganancia y C1 y C2 son coeficientes de resistencia de aerosoles, que usan la banda azul para corregir la influencia del aerosol atmosférico en la banda roja. Los coeficientes adoptados para el algoritmo MODIS EVI son, L=1, C<sub>1</sub>=6, C<sub>2</sub>=7,5 y G=2,5.

Todos estos índices son herramientas útiles para monitorizar procesos relacionados con la situación fisiológica de la vegetación, cada uno de ellos con sus fortalezas y sus debilidades. El problema que surge es que no existe un consenso generalizado sobre sus aplicaciones.

Los índices de vegetación también tienen inconvenientes. Al ser observaciones desde el espacio, las nubes y los aerosoles atmosféricos a menudo pueden bloquear por completo la visión de la superficie desde el satélite, el brillo del sol puede saturar ciertos píxeles y problemas de operación en los propios instrumentos de medida pueden distorsionar las imágenes. Consecuentemente, muchos de los píxeles de algunas imágenes pueden ser indescifrables y los mapas obtenidos pueden ser irregulares o contener datos erróneos.

Tanto el EVI como el NDVI se calculan de forma similar, pero el EVI es capaz de corregir algunas distorsiones en la luz reflejada causadas por el aerosol atmosférico, así como por la cubierta del suelo debajo de la vegetación. El EVI parece ser superior en la discriminación de diferencias sutiles en áreas de alta densidad de vegetación en bosques tropicales y áreas de la tierra con grandes cantidades de clorofila, situaciones en las que el NDVI tiende a saturarse. Por otro lado, el NDVI se ha utilizado durante varias décadas, lo que es ventajoso para el estudio de series históricas. (*Huete et al. 2011*) reportan valores interanuales de estacionalidad de NDVI entre 0,10 y 0,90 y valores de EVI entre 0,07 y 0,65 en diferentes localizaciones de México, desde desiertos (los valores más bajos), a bosques tropicales (los valores más altos).

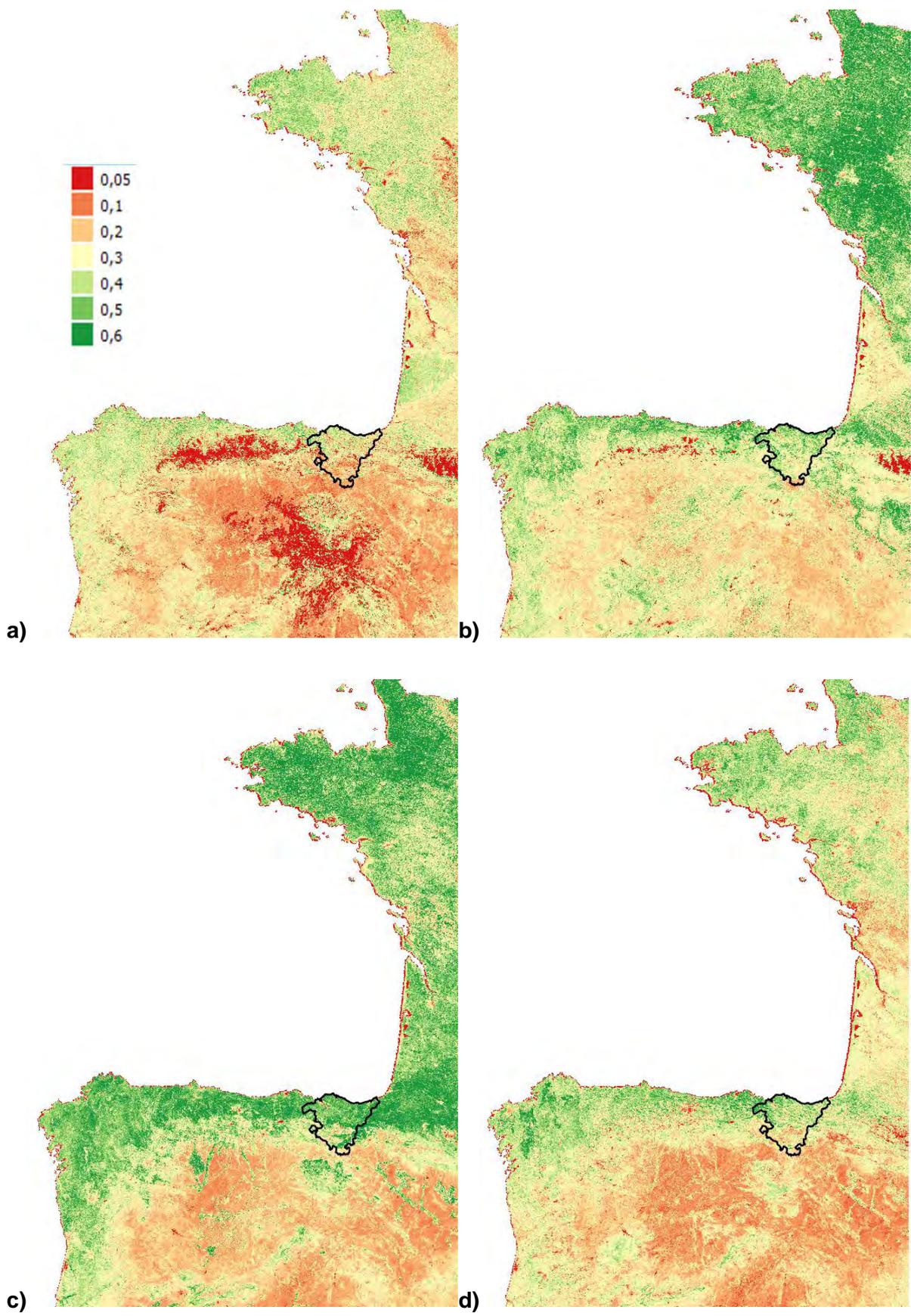
La relación entre el NDVI y el LAI ha sido extensamente estudiada y se reporta que ambos índices estiman de forma similar la estacionalidad interanual de la vegetación a nivel continental. Sin embargo, se encuentran diferencias en el periodo de crecimiento, indicando que el índice NDVI tiende a sobreestimar el periodo de crecimiento en cultivos y en bosques, haciéndolo más largo y con un comienzo más prematuro (*Zhang et al. 2004*).

Distintos estudios han reportado una relación lineal entre FPAR y NDVI, sin embargo un estudio de (*Zhang et al. 2005*) señala que hasta un 40% de la PAR incidente puede ser absorbida por los componentes no fotosintéticos del dosel, como puede ser la materia muerta o leñosa. Usando los datos MODIS y un modelo de transferencia radiativa acoplado de hojas de dosel (PROSAIL-2), separaron el FPAR en componentes de clorofila, hoja y dosel y encontraron que los NDVI de MODIS se aproximaban mejor al FPAR del dosel total, mientras que los EVI estaban más cercanamente acoplados con el FPAR asociado a la clorofila, que es usada para la fotosíntesis.

### **3.4.2. APLICACIÓN DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN**

Los datos de los índices satelitales estudiados son los derivados de las medidas realizadas con los instrumentos MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) de la NASA a bordo de los satélites Terra y Aqua del sistema de observación de la Tierra, que orbitan en órbitas heliosíncronas. De las observaciones de estos instrumentos se derivan muchos productos que describen características de la tierra, los océanos y la atmósfera y pueden utilizarse para estudios de procesos y tendencias a escalas locales y globales. Entre estos productos están los índices de vegetación LAI, FPAR, NDVI y EVI que se han utilizado en este estudio.

En la siguiente imagen se puede ver un ejemplo del tipo de imágenes obtenidas a partir del instrumento MODIS. En este caso se presenta una imagen por cada estación del año del producto EVI. Cuanto mayor es el índice quiere decir que la vegetación tiene mayor vigor, representado por el color verde. En invierno hay poco verde y en primavera-verano el verde se hace más intenso, de manera que se puede obtener información de la estacionalidad de la vegetación.



34. **Figura:** Estacionalidad Índice EVI a)9enero2009 b)14abril2009 c)19julio2009 d)23octubre2009

Las imágenes NDVI y EVI se han obtenido a partir del producto MYD13Q1 de la plataforma MODIS-Aqua, que corresponde a una imagen compuesta cada 16 días, con una resolución de 250 m, desde la web de U.S. Geological Survey (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

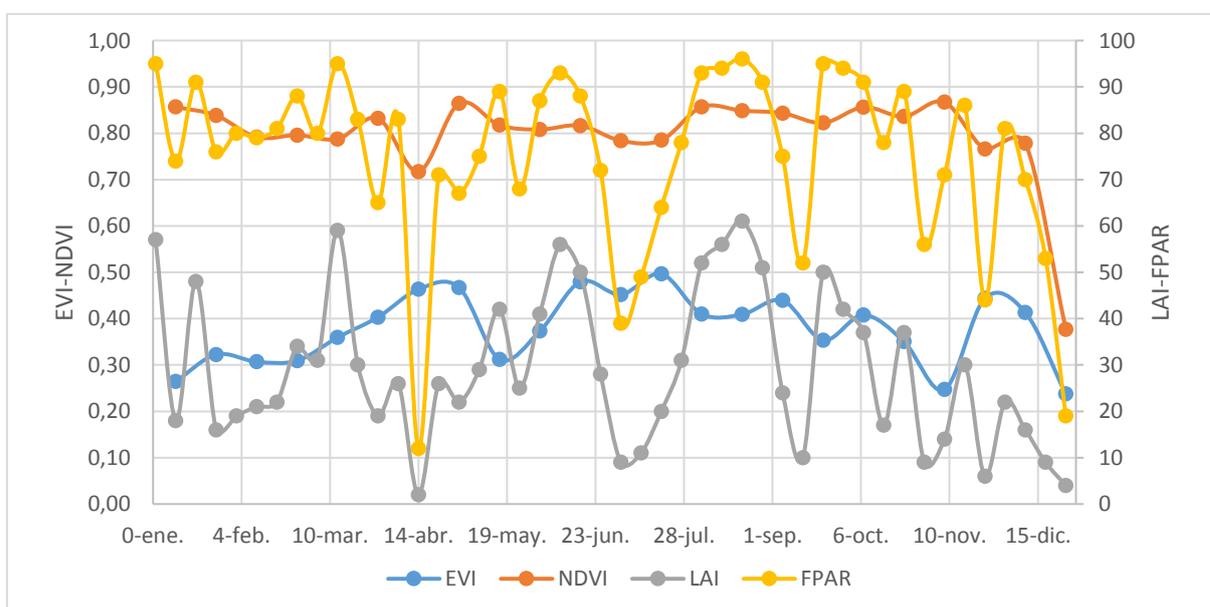
Los índices LAI y FPAR se han obtenido del producto MCD15A2 de la plataforma MODIS, una imagen compuesta cada 8 días, con una resolución de 1 km, obtenida combinando imágenes de los satélites Terra y Aqua, también descargados de la web de U.S. Geological Survey (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

En el siguiente estudio se han buscado y seleccionado localizaciones en el inventario forestal con una única especie arbórea, cuya ocupación y densidad sea del 100% y cuyo estado de masa sea latizal o fustal, para así garantizar que el análisis se realiza sobre una especie en concreto y minimizar interpretaciones confusas por mezcla de especies, baja densidad arbórea, etc. Las especies analizadas han sido las más comunes en Euskadi: haya y quejigo faginea como árboles de hoja caduca y pino y encina como arboles perennes.

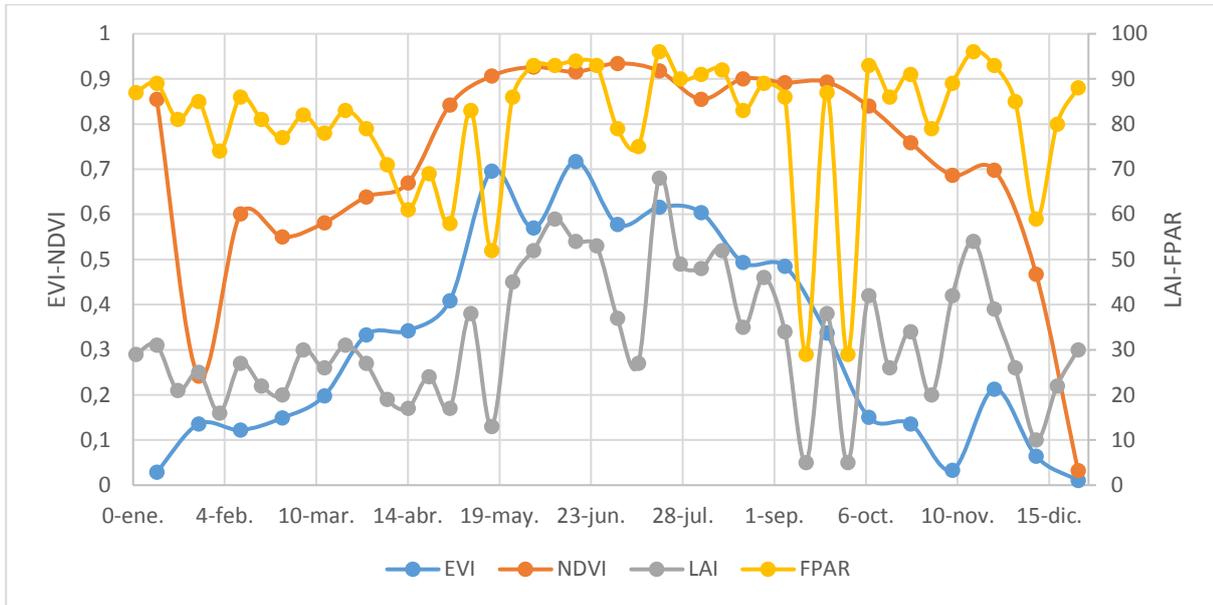
Una de las ventajas que presentan los índices NDVI-EVI respecto LAI-FPAR es que están normalizados, lo que ayuda a reducir el ruido. Los valores de LAI-FPAR, extraídos del producto MCD15A2 presentan una variabilidad muy alta, incluso en periodos muy cercanos donde debieran ser similares. Esta razón ha hecho que se haya descartado su uso en este estudio.

En los siguientes gráficos se puede ver la variación de estos índices en dos localizaciones, una de pinos y otra de hayas. Se puede apreciar claramente la inestabilidad de los índices LAI-FPAR, mientras que los índices NDVI-EVI son en general mucho más estables.

**10. Gráfico: Comparativa índices vegetación en pinos. Año 2009 X:531790 Y:4788300**

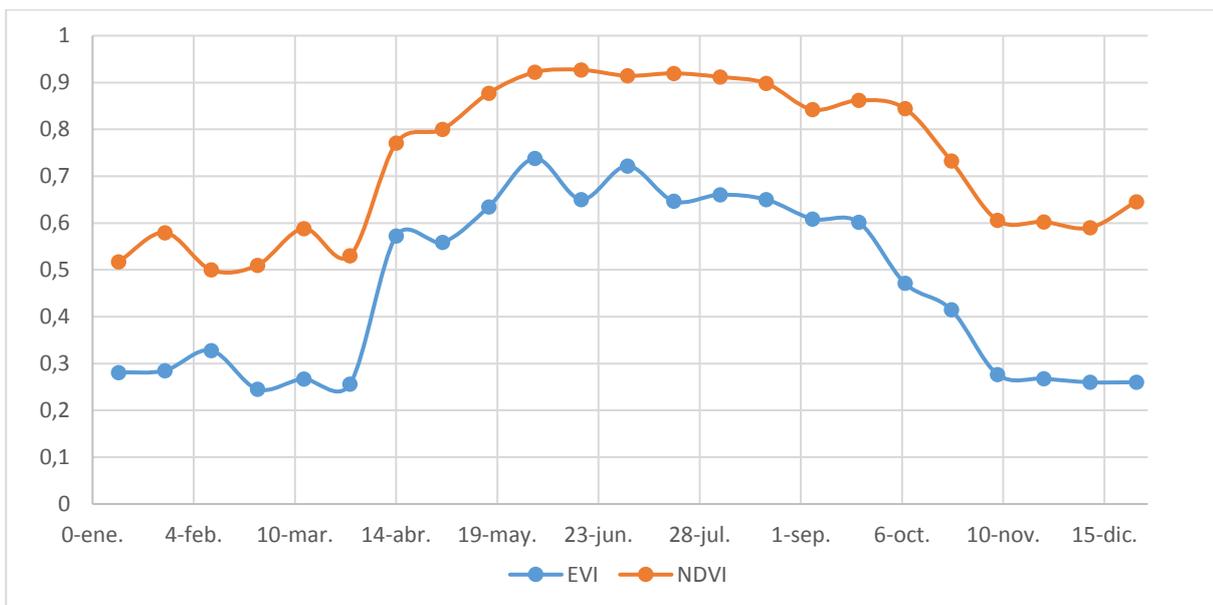


**11. Gráfico: Comparativa índices vegetación en hayas. Año 2009 X:493830 Y:4778490**

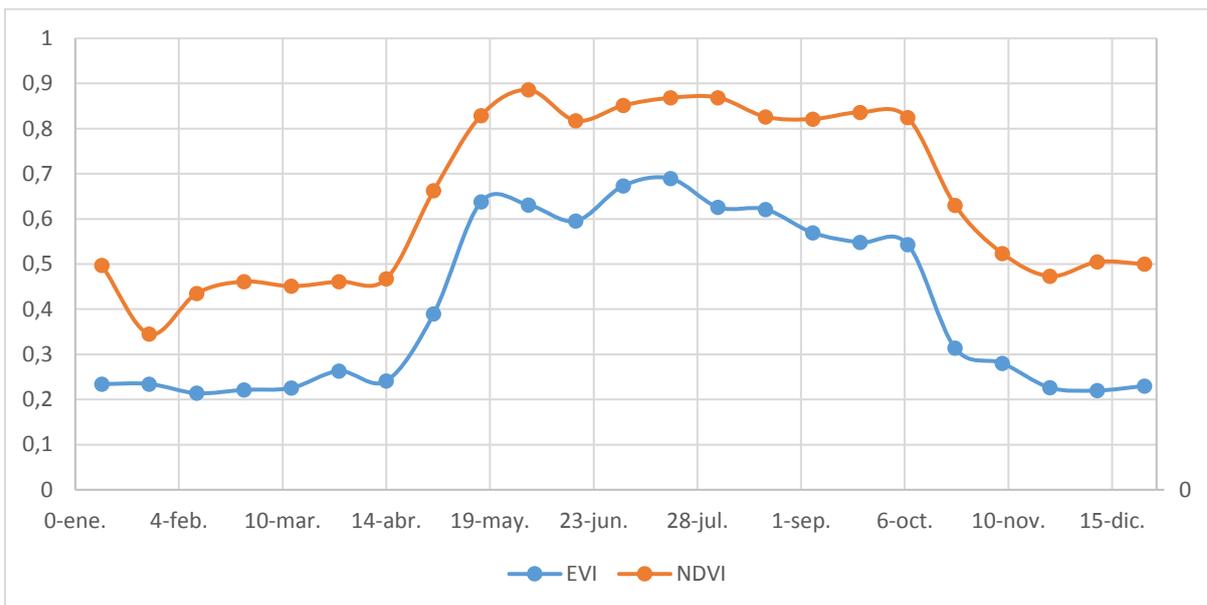


Los árboles de hoja caduca tienen una respuesta similar en los índices EVI y NDVI. En invierno tienen valores mínimos, un periodo de crecimiento en el mes de abril, máximos en los meses de junio-julio y sobre el mes de octubre hay decrecimiento debido a la caída de las hojas. El índice NDVI oscila entre los valores 0,5-0,6 en invierno, hasta 0,9 en verano, donde se satura. En cambio, el índice EVI oscila entre los valores 0,2-0,3 en invierno y 0,6-0,7 en verano, detectándose en algunas ocasiones valores de hasta 0,8. A continuación se presentan gráficos con un ejemplo de evolución anual para el haya y para el quejigo faginea.

**12. Gráfico: Análisis EVI NDVI Haya. Año 2010 X: 531790 Y: 4788300**

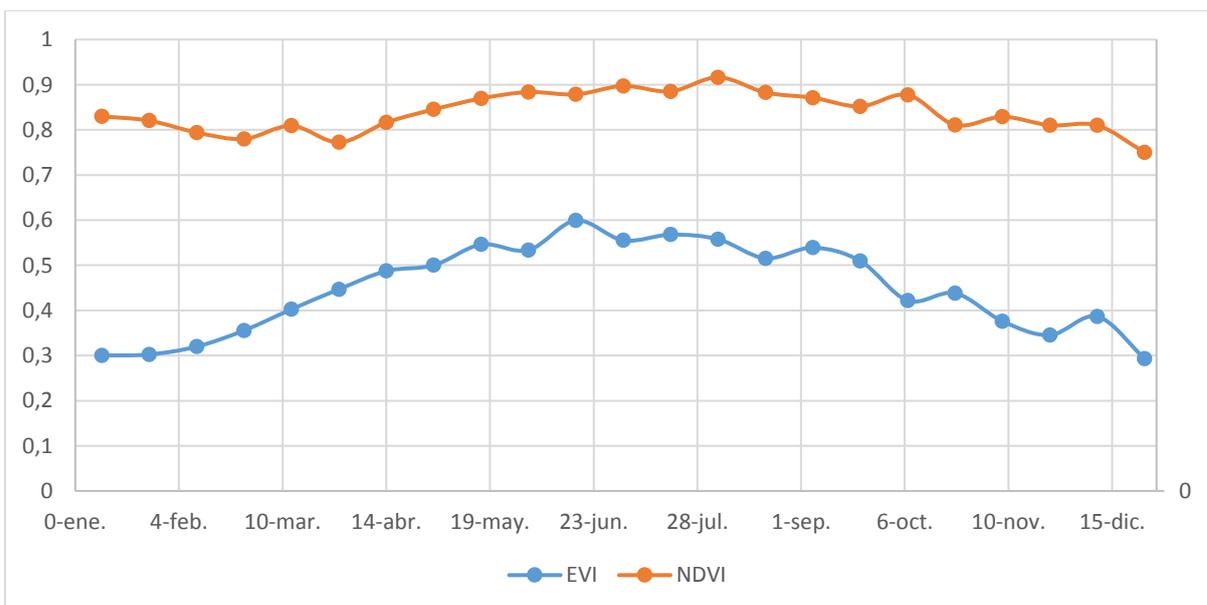


13. Gráfico: Comparativa NDVI-EVI Quejigo Faginea. Año 2009 X: 493830 Y: 4778490



En el caso de árboles de hoja perennes los índices EVI y NDVI no se comportan de la misma manera. El índice NDVI es bastante estable durante todo el año, oscilando entre valores de 0,8 en invierno y 0,9 en verano. Se aprecia un menor rango en los valores que el observado en los árboles de hoja caduca. El índice EVI en cambio, mantiene un rango similar de valores: 0,3 en invierno y 0,6 en verano, pero la forma de la curva es distinta a la de los árboles de hoja caduca. En la siguiente gráfica se puede ver un ejemplo de los índices NDVI-EVI para el caso de la encina.

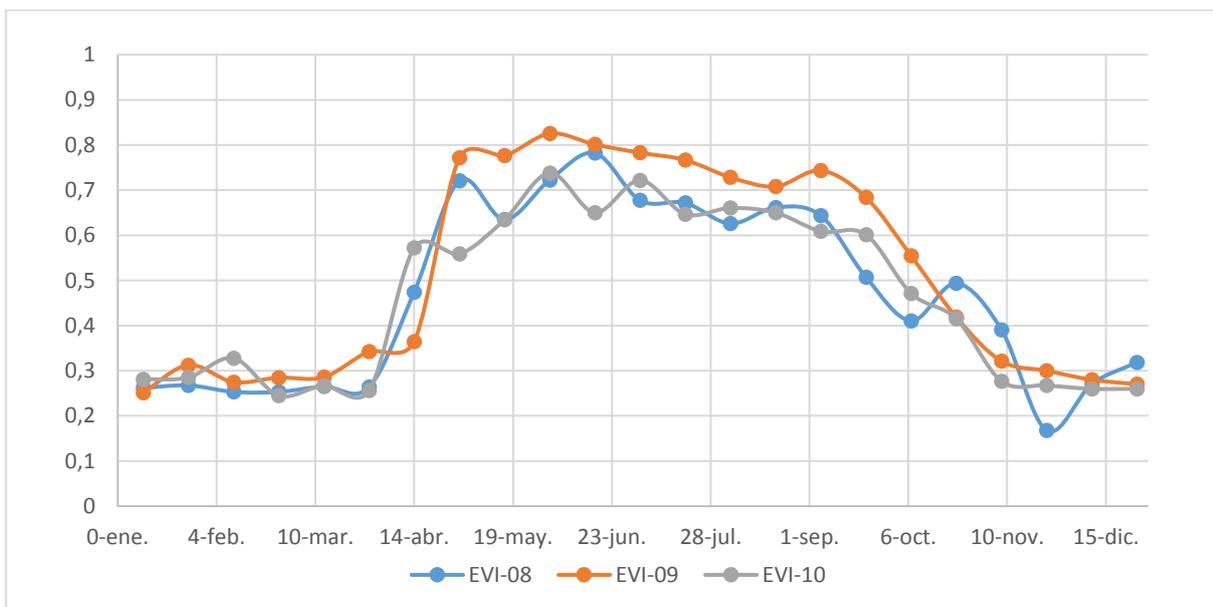
14. Gráfico: Comparativa NDVI- EVI Encina. Año 2009 X: 527143 Y: 4803129



La conclusión a la que se llega es que NDVI detecta bien la presencia de hojas en los árboles perennes, pero EVI es capaz de detectar mejor la variación de la actividad enzimática responsable de la producción de compuestos biogénicos y por lo tanto es más adecuado para modelizar el factor de emisión a largo plazo de la vegetación. Este comportamiento está de acuerdo con las investigaciones de (Zhang, Q. et al. 2005) donde se concluía que NDVI representa mejor el dosel total mientras que EVI está más asociado a la clorofila usada en la fotosíntesis.

Otra de las potencialidades de los índices de vegetación es que permiten detectar diferencias de desarrollo de la vegetación en función del año o de la localización. Por ejemplo, en el siguiente gráfico se puede apreciar la diferencia en el desarrollo de un mismo hayedo en diferentes años. En el año 2009 el vigor de las plantas ha sido mayor que en 2008 y 2010, lo que se observa por que los valores de EVI son mayores. Además, la duración de la estación de plenitud ha sido más larga y las hojas se han caído más tarde.

**15. Gráfico:** Evolución EVI Haya. Años 2008/2009/2010 X: 531790 Y: 4788300



### **3.5. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE EMISIONES BIOGENICAS**

El modelo de emisiones utilizado está basado en las ampliamente aceptadas fórmulas de Guenther (Guenther et al. 1995), las cuales se encuentran desarrolladas en el artículo (Oderbolz et al. 2013).

Se distinguen dos tipos de modelos de emisión: de síntesis (dependientes de T y PAR) y de almacenamiento (dependientes únicamente de T). Las emisiones de ISO y de MTS se consideran de síntesis, las de MTP, SQT y OVOC se consideran de almacenamiento. Las ecuaciones básicas para el cálculo de emisión son las siguientes:

$$E_{ISOP,i} = A_i \times FE_{ISOP,i} \times D_i \times \gamma_S(PAR, T) \times C$$

$$E_{MTS,i} = A_i \times FE_{MTS,i} \times D_i \times \gamma_S(PAR, T) \times C$$

$$E_{MTP,i} = A_i \times FE_{MTP,i} \times D_i \times \gamma_P(T) \times C$$

$$E_{SQT,i} = A_i \times FE_{SQT,i} \times D_i \times \gamma_P(T) \times C$$

$$E_{OVOC,i} = A_i \times FE_{OVOC,i} \times D_i \times \gamma_P(T) \times C$$

Donde:

$E$ : Emisión de cada compuesto químico ( $\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$ )

$A$ : Área proyectada cubierta por tipo de vegetación ( $\text{m}^2$ )

$i$ : Tipo de vegetación

$FE$ : Factor de emisión a  $T = 30^\circ\text{C}$  y  $PAR = 1000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}$  para cada componente químico y tipo de vegetación ( $\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ )

$D$ : Densidad de la biomasa foliar seca ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ )

$\gamma_S$ : Factor adimensional de corrección ambiental para emisiones de síntesis

$\gamma_P$ : Factor adimensional de corrección ambiental para emisiones de almacenamiento

$C$ : Factor adimensional de ajuste de la estacionalidad

Estas ecuaciones se analizan en los siguientes apartados utilizando los siguientes conceptos: **potencial de emisión** ( $A_i \times FE_i \times D_i$ ), **factor de corrección ambiental** ( $\gamma$ ) y **factor de ajuste de estacionalidad** ( $C$ ).

### 3.5.1. POTENCIAL DE EMISIÓN (PE)

El potencial de emisión se define como la capacidad que tiene una superficie de emitir BVOC en condiciones ambientales estándar de  $T = 30^{\circ}\text{C}$  y de  $\text{PAR} = 1000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , ignorando la estacionalidad.

El cálculo del potencial de emisión de un área determinada se realiza multiplicando el factor de emisión de cada tipo de vegetación por la densidad de la biomasa foliar seca y teniendo en cuenta el porcentaje de ocupación.

$$PE_j = \sum A_i \times FE_{j,i} \times D_i$$

Donde:

<i>PE:</i>	<i>Potencial de emisión</i>	$(\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2})$
<i>j:</i>	<i>Especie química</i>	
<i>i:</i>	<i>Tipo de vegetación</i>	
<i>A:</i>	<i>Área proyectada cubierta por tipo de vegetación</i>	$(\text{m}^2)$
<i>FE:</i>	<i>Factor de emisión a <math>T = 30^{\circ}\text{C}</math> y <math>\text{PAR} = 1000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}</math> para cada componente químico y tipo de vegetación</i>	$(\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1})$
<i>D:</i>	<i>Densidad de la biomasa foliar seca</i>	$(\text{g}\cdot\text{m}^{-2})$

El *tipo de vegetación*, su geolocalización y su densidad se obtienen del Mapa Forestal de la Comunidad Autónoma de Euskadi del año 2010 (*Eusko Jaurlaritzza/Gobierno Vasco 2010*). Los *factores de emisión* y la *densidad de la biomasa foliar seca* utilizados son los publicados por (*Oderbolz et al. 2013, Steinbrecher et al. 2009*) y se adjuntan en el Anexo II, que es una revisión y adaptación de diversas bases de datos de factores de emisión existentes. En cada una de las casi 200.000 teselas en las que está dividido el mapa forestal se asigna a cada especie biogénica su factor de emisión, su densidad foliar y su grado de ocupación: al multiplicarlos se obtiene el potencial de emisión. Finalmente, este resultado se rasteriza a un mapa de cuadrícula 250x250 m<sup>2</sup>.

El interés de este tipo de mapa está en conocer donde se esperan a priori zonas de alta o baja emisión en función del tipo y la densidad de la vegetación. En las siguientes páginas se muestran los potenciales de emisión para cada componente en Euskadi.

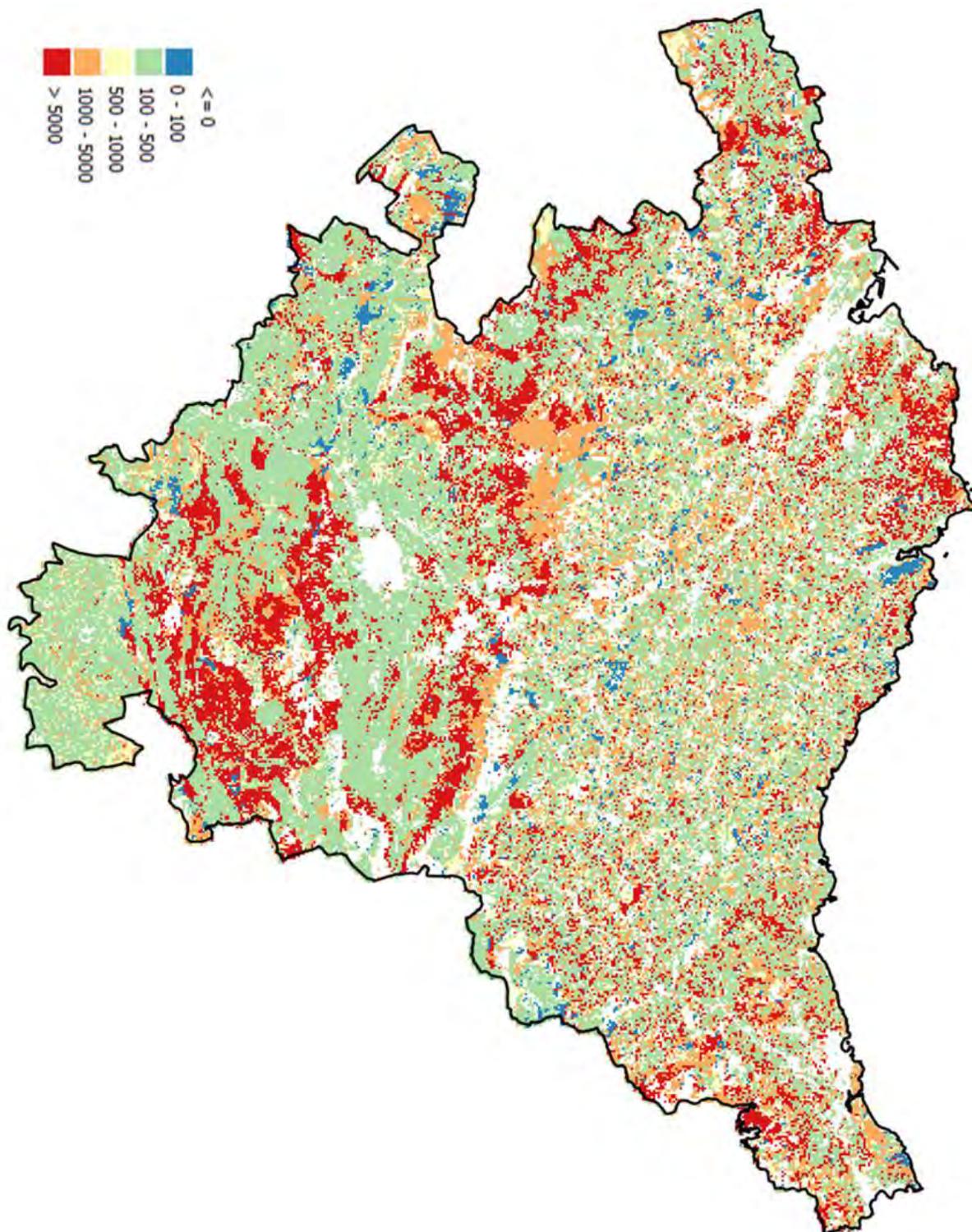
## **Potencial ISO**

El potencial de emisión medio de ISO en Euskadi es de  $1.450 \mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  y llega en algunos casos a máximos de más de  $35.000 \mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  en la zona de los quejigares alaveses. La segunda zona con potencial de emisión más alto son las plantaciones de eucaliptus en la zona costera de Bizkaia, donde también se pueden encontrar zonas con potenciales superiores a los  $30.000 \mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ .

En Euskadi los principales emisores de ISO son los quejigares, las plantaciones de eucaliptus y los robledales, siendo responsables de más del 75% del potencial de emisión. En la siguiente tabla se muestran las principales especies emisoras de ISO en Euskadi, y en la siguiente página se presenta un mapa con la geolocalización de los potenciales de emisión:

**11. Tabla:** Porcentaje de potencial de emisión de ISO por especie arbórea en Euskadi

<b>TIPO</b>	<b>EMISIÓN ISO</b>
<b>Quejigo Faginea</b>	<b>38,7%</b>
<b>Eucaliptus</b>	<b>20,0%</b>
<b>Robles</b>	<b>17,9%</b>
<b>Rebollo</b>	<b>9,7%</b>
<b>Bosque Mixto</b>	<b>7,7%</b>
<b>Arbustedos</b>	<b>2,5%</b>
<b>Cultivos</b>	<b>0,9%</b>
<b>Otros</b>	<b>2,7%</b>



35. **Figura:** Potencial emisión de ISO (FExD) en  $(\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^2)$  en resolución de  $250\times 250\text{ m}^2$

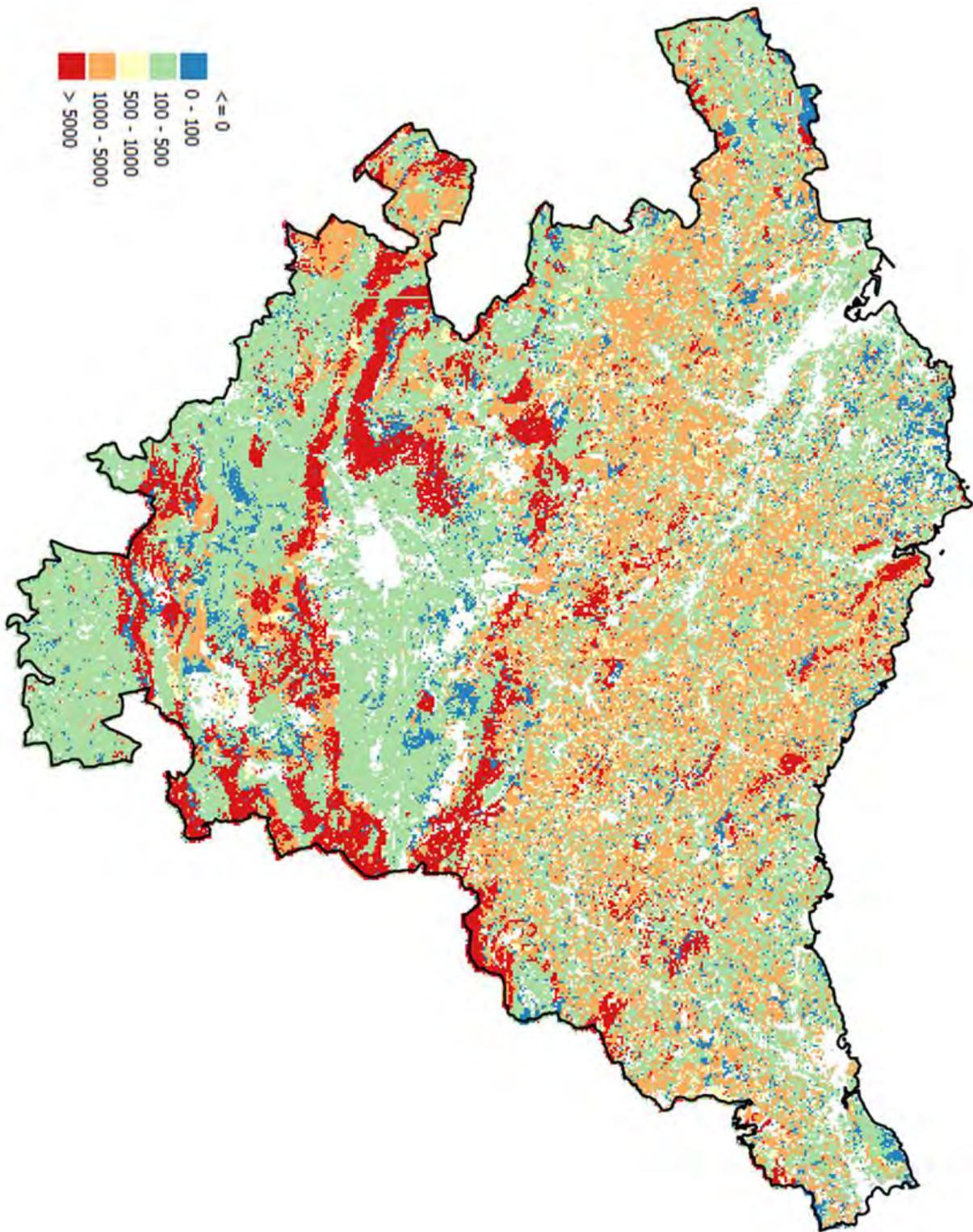
## **Potencial MTS**

El potencial de emisión medio de MTS en Euskadi es de 900  $\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  y puede llegar a máximos de 25.000  $\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  en los bosques de encinas.

Los encinares de la zona de Cuartango y del Urdaibai son las zonas de más alto potencial de emisión. Tampoco son despreciables los potenciales de los bosques de hayas que se encuentran en la provincia de Álava y sur de Bizkaia. Otro emisor de MTS a tener en cuenta son los pinos que, aunque su factor de emisión sea bastante menor que el de hayas o encinas, es importante debido a la gran superficie plantada. Los encinares, hayedos y pinares son los responsables de más del 85% de las emisiones de MTS en Euskadi.

**12. Tabla:** Porcentaje de potencial de emisión de MTS por especie arbórea en Euskadi

<b>TIPO</b>	<b>EMISIÓN MTS</b>
<b>Encina</b>	44,0%
<b>Haya</b>	24,5%
<b>Pino Radiata</b>	16,8%
<b>Bosque Mixto</b>	8,2%
<b>Otros Pinos</b>	3,8%
<b>Cultivos</b>	1,3%
<b>Otros</b>	1,5%



36. *Figura:* Potencial emisión de MTS (FExD) en ( $\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^2$ ) en resolución de 250x250 m<sup>2</sup>

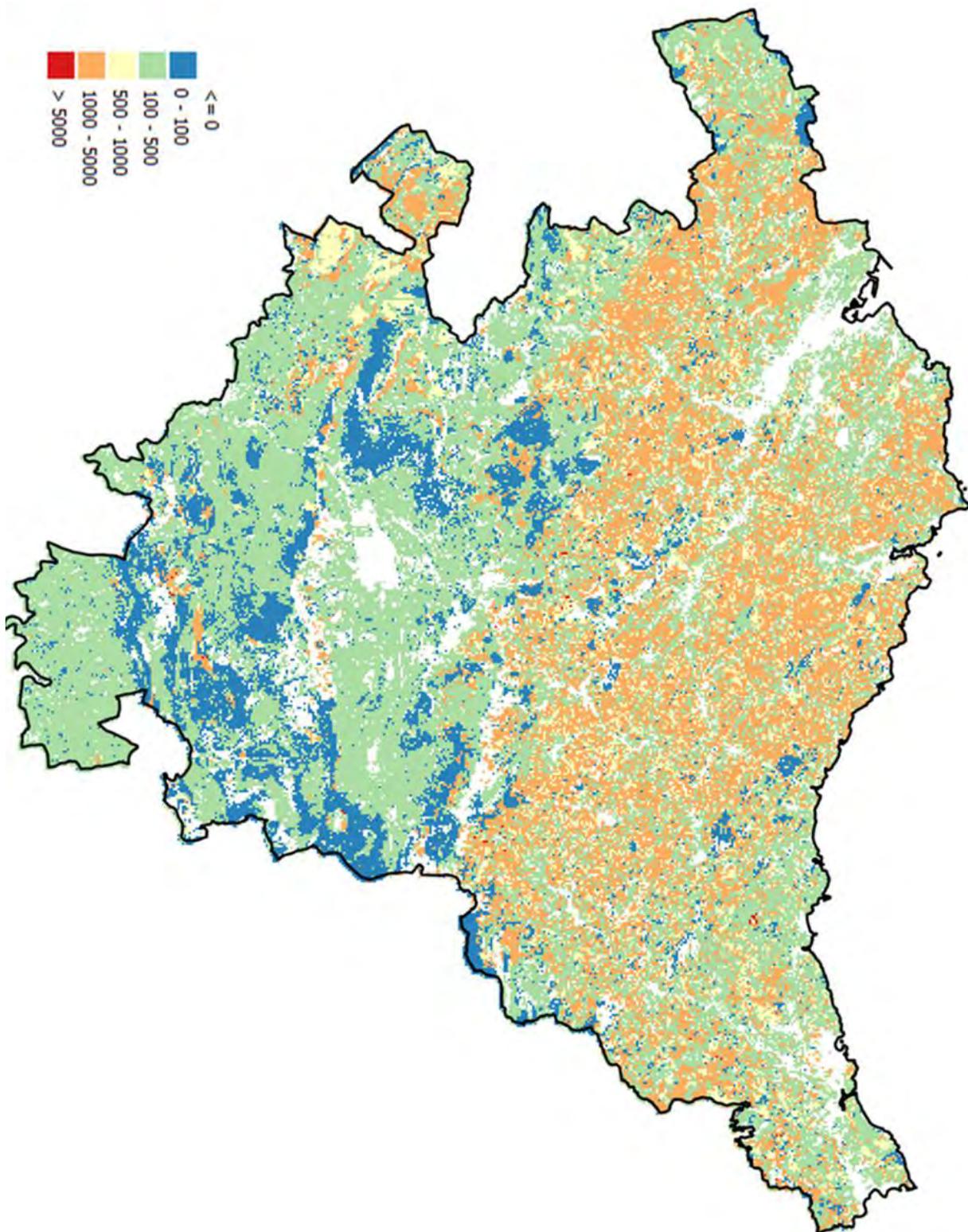
## **Potencial MTP**

El potencial medio de emisión de MTP en Euskadi es de 275  $\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  y llega a un máximo de 9.000  $\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  en un pequeño bosque de Picea de Sitka que hay en territorio guipuzcoano. Este máximo del potencial se puede considerar como excepcional por ser en un área muy pequeña. Es más adecuado considerar que los potenciales máximos de emisión están cercanos a los 3.000  $\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  que se dan en las plantaciones de pinos y de eucaliptus.

Se puede decir que la emisión de MTP es debida a la industria maderera, ya que entre pinos y eucaliptus cubren más del 75% del potencial. Estas plantaciones se sitúan principalmente en las provincias de Bizkaia y Gipuzkoa debido a su clima más templado, más adecuado para el crecimiento de estas especies.

**13. Tabla:** Porcentaje de potencial de emisión de MTP por especie arbórea en Euskadi

<b>TIPO</b>	<b>EMISIÓN MTP</b>
<b><i>Pino Radiata</i></b>	<b>52,5%</b>
<b><i>Otros Pinos</i></b>	<b>14,1%</b>
<b><i>Eucaliptus</i></b>	<b>10,0%</b>
<b><i>Bosque Mixto</i></b>	<b>7,7%</b>
<b><i>Cultivos</i></b>	<b>4,1%</b>
<b><i>Abeto Douglas</i></b>	<b>2,4%</b>
<b><i>Alerce</i></b>	<b>2,3%</b>
<b><i>Prados</i></b>	<b>2,1%</b>
<b><i>Arbustados</i></b>	<b>1,2%</b>
<b><i>Otros</i></b>	<b>3,6%</b>



37. **Figura:** Potencial emisión de MTP (FExD) en  $(\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^2)$  en resolución de  $250\times 250\text{ m}^2$

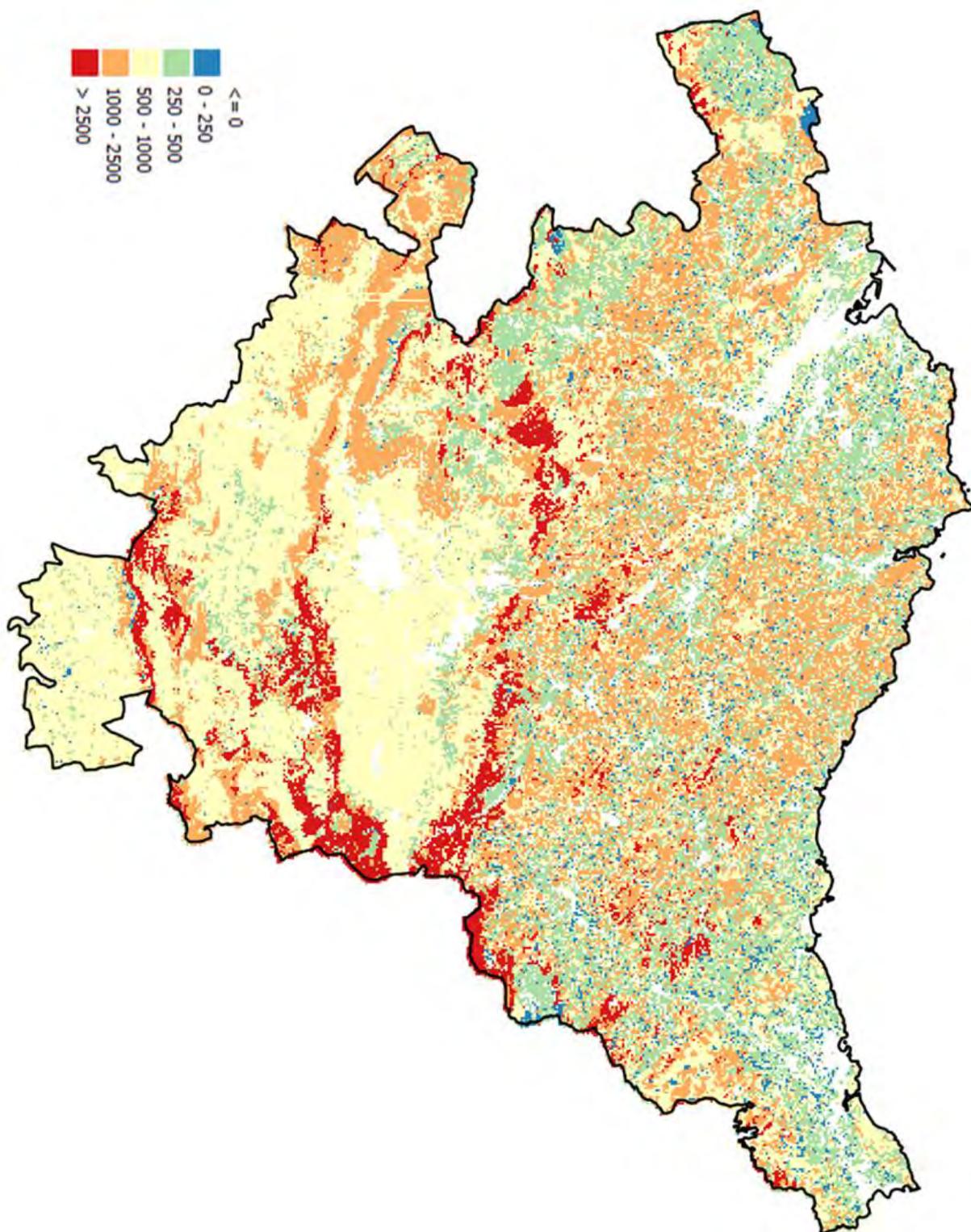
## **Potencial OVOC**

El potencial medio de emisión de OVOC es de  $480 \mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  y aunque el máximo calculado corresponde a  $4.000 \mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ , en el pequeño bosque de Picea de Sitka en Gipuzkoa ya mencionado, los máximos más comunes son potenciales de  $3.400 \mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  que se dan en los bosques de hayas.

Los hayedos, pinares y encinares cubren casi el 70% del potencial de emisión de OVOC. Analizando el mapa de potenciales de la siguiente página, se puede decir que el potencial de emisión de OVOC es bastante homogéneo en todo el territorio. Es reseñable el impacto que tienen las zonas agrícolas en este tipo de emisiones y se estima que más del 17% del potencial de emisión se debe a los cultivos y a los prados.

**14. Tabla:** Porcentaje de potencial de emisión de OVOC por especie arbórea en Euskadi

<b>TIPO</b>	<b>EMISIÓN OVOC</b>
<b>Haya</b>	25,5%
<b>Pino Radiata</b>	24,6%
<b>Cultivos</b>	11,6%
<b>Encina</b>	9,2%
<b>Prados</b>	5,8%
<b>Otros Pinos</b>	7,7%
<b>Arbustedos</b>	3,3%
<b>Quejigo Faginea</b>	2,3%
<b>Eucaliptus</b>	2,6%
<b>Abeto Douglas</b>	1,7%
<b>Robles</b>	1,8%
<b>Otros</b>	4,0%



38. **Figura:** Potencial emisión de OVOC (FExD) en ( $\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ ) en resolución de  $250\times 250\text{ m}^2$

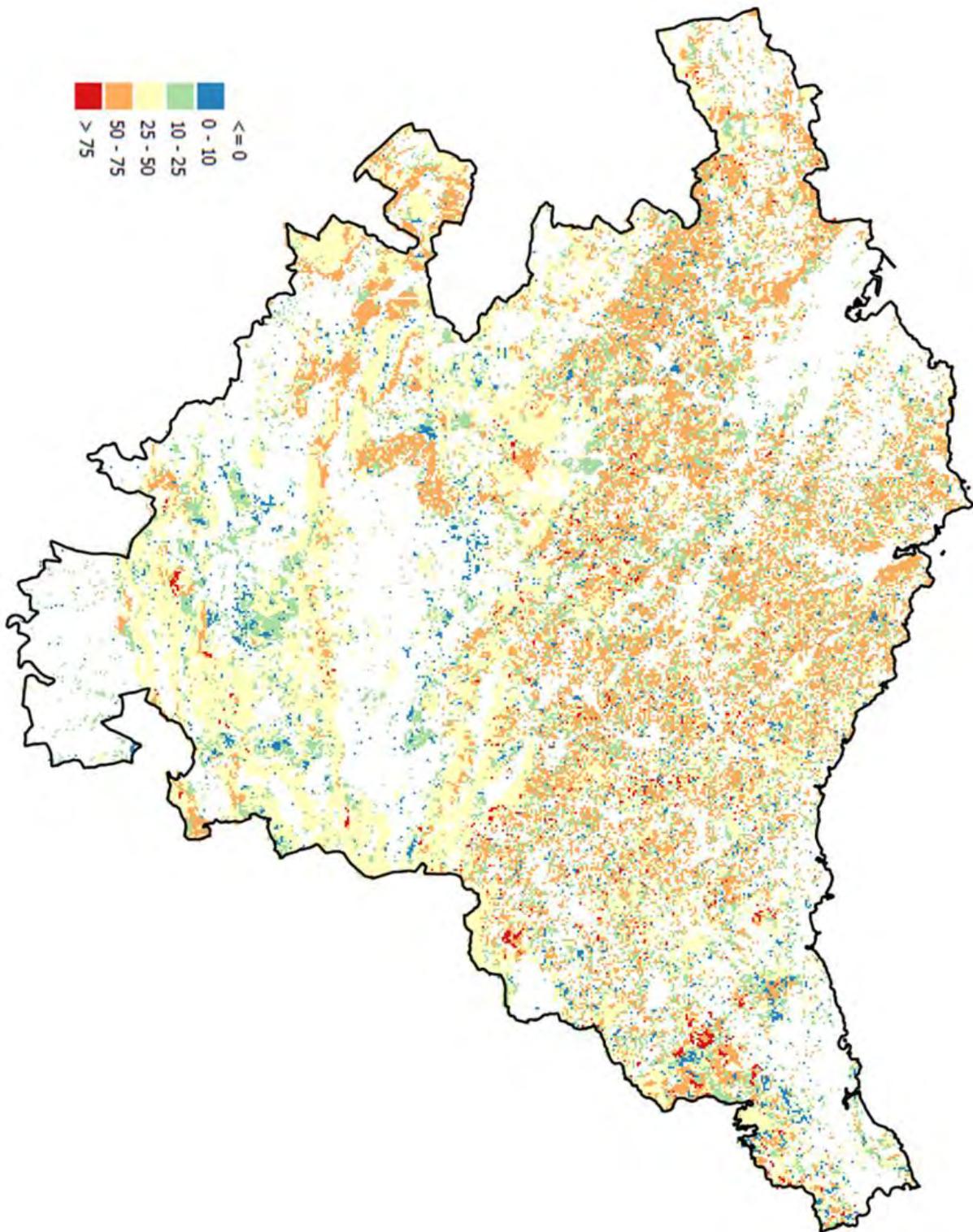
## **Potencial SQT**

El potencial medio de emisión de SQT en Euskadi es de  $10 \mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  y aunque se ha calculado un máximo de  $460 \mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  en pequeñas plantaciones de abedules en Gipuzkoa, los máximos habituales son potenciales de  $70 \mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  que se dan en los pinares.

Se estima que casi todas las especies arbóreas emiten SQT. Esto hace que este tipo de emisiones estén distribuidas más o menos homogéneamente en todo el territorio, aunque se puede apreciar una mayor intensidad en las grandes masas forestales de Bizkaia y Gipuzkoa. Entre pinos, hayedos y encinares se cubre más del 75% del potencial de emisión de SQT. Es también reseñable que las zonas agrícolas y los herbazales se consideran zonas de emisión cero.

**15. Tabla:** Porcentaje de potencial de emisión de SQT por especie arbórea en Euskadi

<b>TIPO</b>	<b>EMISIÓN SQT</b>
<b><i>Pino Radiata</i></b>	<b>45,1%</b>
<b><i>Otros Pinos</i></b>	<b>14,0%</b>
<b><i>Haya</i></b>	<b>9,3%</b>
<b><i>Encina</i></b>	<b>8,3%</b>
<b><i>Quejigo Faginea</i></b>	<b>4,2%</b>
<b><i>Eucaliptus</i></b>	<b>4,8%</b>
<b><i>Abeto Douglas</i></b>	<b>3,1%</b>
<b><i>Robles</i></b>	<b>3,3%</b>
<b><i>Rebollo</i></b>	<b>2,0%</b>
<b><i>Alerce</i></b>	<b>1,2%</b>
<b><i>Otros</i></b>	<b>4,8%</b>



39. **Figura:** Potencial emisión de SQT (FExD) en  $(\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^2)$  en resolución de  $250\times 250\text{ m}^2$

### 3.5.2. FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA Y POR RADIACIÓN

Los factores de corrección ambiental  $\gamma$  son funciones empíricas que corrigen los factores de emisión para una determinada temperatura de hoja (T) y radiación fotosintéticamente activa (PAR). Se consideran dos tipos de emisión: por síntesis  $\gamma_s$  (ISO, MTS) o por almacenamiento  $\gamma_p$  (MTP, SQT, OVOC). Las emisiones por síntesis se consideran como un producto directo de la fotosíntesis, por tanto, dependen de la temperatura y también de la radiación recibida. Por el contrario, las emisiones de almacenamiento se deben únicamente a la evaporación de compuestos volátiles almacenados en la vegetación, no están acopladas con la fotosíntesis y por lo tanto solo dependen de la temperatura.

Las funciones utilizadas para modelar la corrección ambiental son las desarrolladas por (Guenther 1997) y son ampliamente aceptadas:

$$\gamma_s (ISO, MTS) = \left[ \frac{\alpha \times C_{L1} \times PAR}{\sqrt{1 + \alpha^2 \times PAR^2}} \right] \times \left[ \frac{\exp\left(\frac{C_{T1} \times (T - T_0)}{R \times T \times T_0}\right)}{C_{T3} + \exp\left(\frac{C_{T2} \times (T - T_M)}{R \times T \times T_0}\right)} \right]$$

$$\gamma_p (MTP, SQT, OVOC) = \exp(\beta \times [T - T_0])$$

Donde:

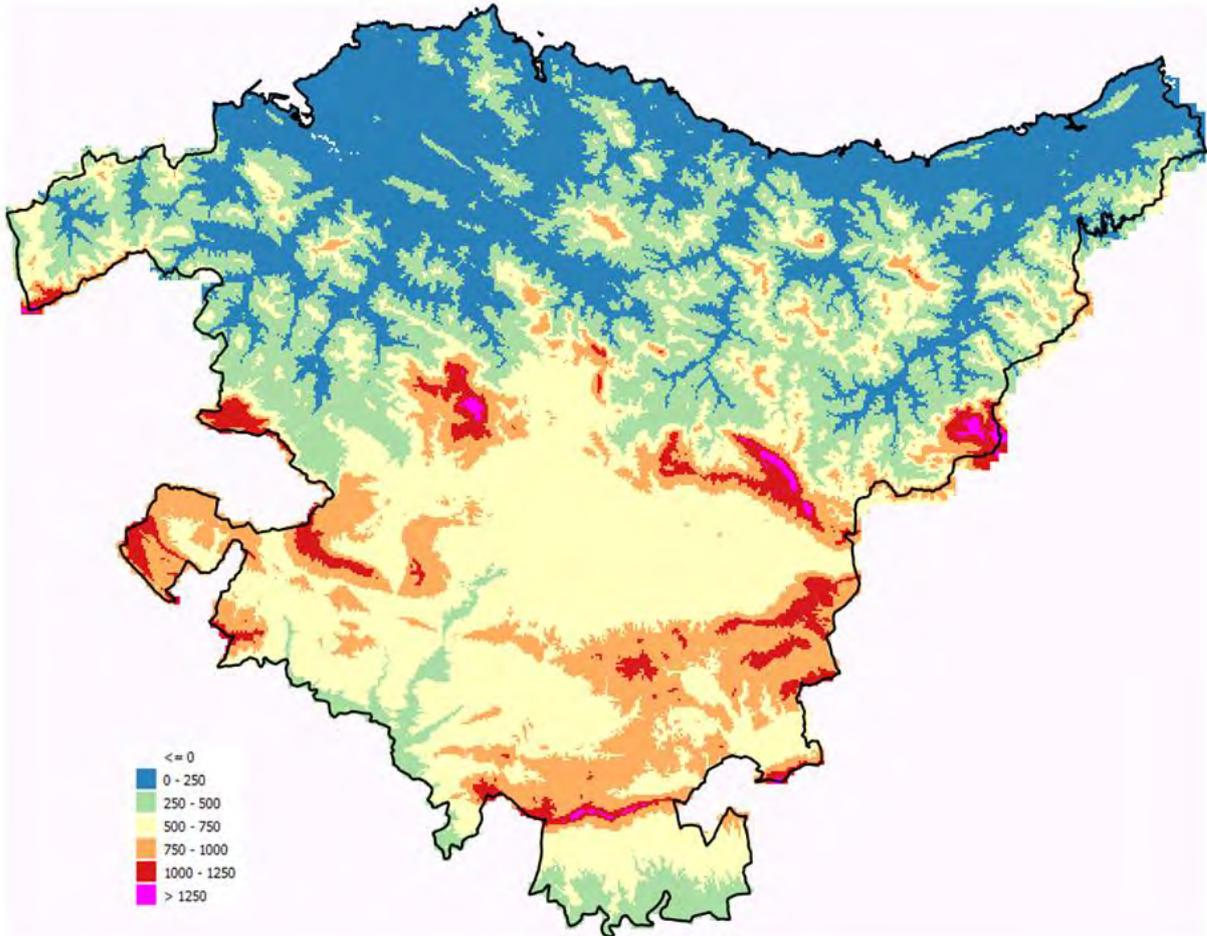
<i>PAR:</i>	<i>Radiación fotosintéticamente activa</i>	<i>(<math>\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}</math>)</i>
<i>T:</i>	<i>Temperatura de hoja</i>	<i>(K)</i>
<i>T<sub>0</sub> =</i>	<i>303,15 Temperatura de hoja en condiciones estándar</i>	<i>(K)</i>
<i>R =</i>	<i>8,314 Constante de gases</i>	<i>(J.mol<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>)</i>
<i><math>\alpha</math> =</i>	<i>0,0027 Coeficiente empírico</i>	
<i><math>\beta</math> =</i>	<i>0,09 Coeficiente empírico</i>	<i>(°C<sup>-1</sup>)</i>
<i>T<sub>M</sub> =</i>	<i>314</i>	<i>(K)</i>
<i>C<sub>L1</sub> =</i>	<i>1,066 Coeficiente empírico</i>	
<i>C<sub>T1</sub> =</i>	<i>95.000 Coeficiente empírico</i>	<i>(J.mol<sup>-1</sup>)</i>
<i>C<sub>T2</sub> =</i>	<i>230.000 Coeficiente empírico</i>	<i>(J.mol<sup>-1</sup>)</i>
<i>C<sub>T3</sub> =</i>	<i>0,961 Coeficiente empírico</i>	

Los datos meteorológicos utilizados se han obtenido de 80 estaciones de la red de EUSKALMET disponibles, que se pueden descargar libremente desde el portal *Open Data Euskadi* (EUSKALMET 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015). En la siguiente imagen se ve la localización de estas estaciones de donde se han obtenido los datos de temperatura.



**40. Figura:** Red de estaciones de Euskalmet con medida de temperatura

Aunque los datos que suministra la red de EUSKALMET son diezminutales, para este trabajo se han utilizado los datos horarios, confeccionando un mapa cada hora con una medida de temperatura en cada punto que representa a una estación. Mediante interpolación se puede obtener el mapa de temperaturas de todo el territorio. No obstante, existe un problema que distorsiona este cálculo: las estaciones meteorológicas no están situadas a la misma altitud, y es conocido que la temperatura varía con la altitud. Para solucionarlo se ha considerado un gradiente térmico vertical medio de  $-6,5 \text{ }^\circ\text{C.km}^{-1}$ . Con este criterio se interpola los datos de temperatura, teniendo en cuenta la altitud del terreno que se obtiene del modelo digital de elevaciones (MDE) de Euskadi que se presenta en la siguiente imagen (Eusko Jaurlaritz / Gobierno Vasco 2008):



**41. Figura:** Modelo Digital de Elevaciones de Euskadi. Altura en (m)

Además, los datos de todas las estaciones no son siempre correctos: puede haber medidas sin sentido (tanto por defecto o por exceso) y también periodos de tiempo donde no hay datos. Debido a esto es necesario hacer un control de calidad previo de los datos, corrigiendo datos manualmente o directamente eliminándolos si no cumplen un mínimo criterio de calidad.

Para generar los mapas de temperatura de todo el territorio de Euskadi se ha usado el siguiente procedimiento:

- Control de calidad y preparación de datos de temperatura de las estaciones meteorológicas.
- Cálculo de la temperatura a cota cero utilizando la siguiente fórmula

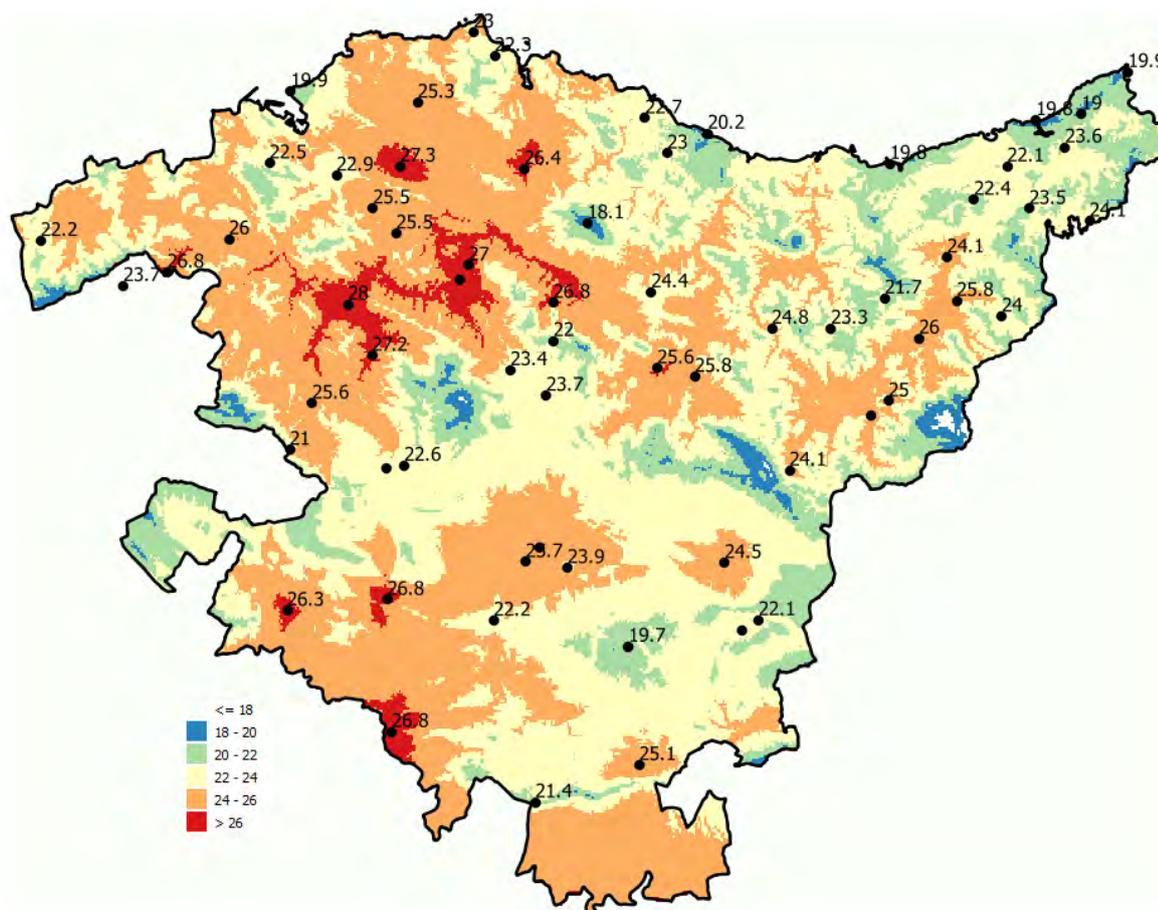
$$T(0) = T(z) + 6,5^{\circ} \times z(\text{km})$$

- Interpolación de los datos usando el método del inverso de la distancia al cuadrado ( $1/d^2$ ).

Con el mapa generado a cota cero y utilizando el modelo de elevaciones de Euskadi se genera un nuevo mapa de temperaturas utilizando la siguiente fórmula:

$$T(z) = T(0) - 6,5^{\circ} \times z(\text{km})$$

Una vez finalizado el proceso se generan mapas de temperatura que tienen el aspecto de la siguiente imagen. De esta forma, se consigue mantener invariante la temperatura medida en cada estación y además en la interpolación se tiene en cuenta la influencia de la altitud.



**42. Figura:** Temperatura (°C) de Euskadi calculada por interpolación a las 12 h del 24 junio 2010

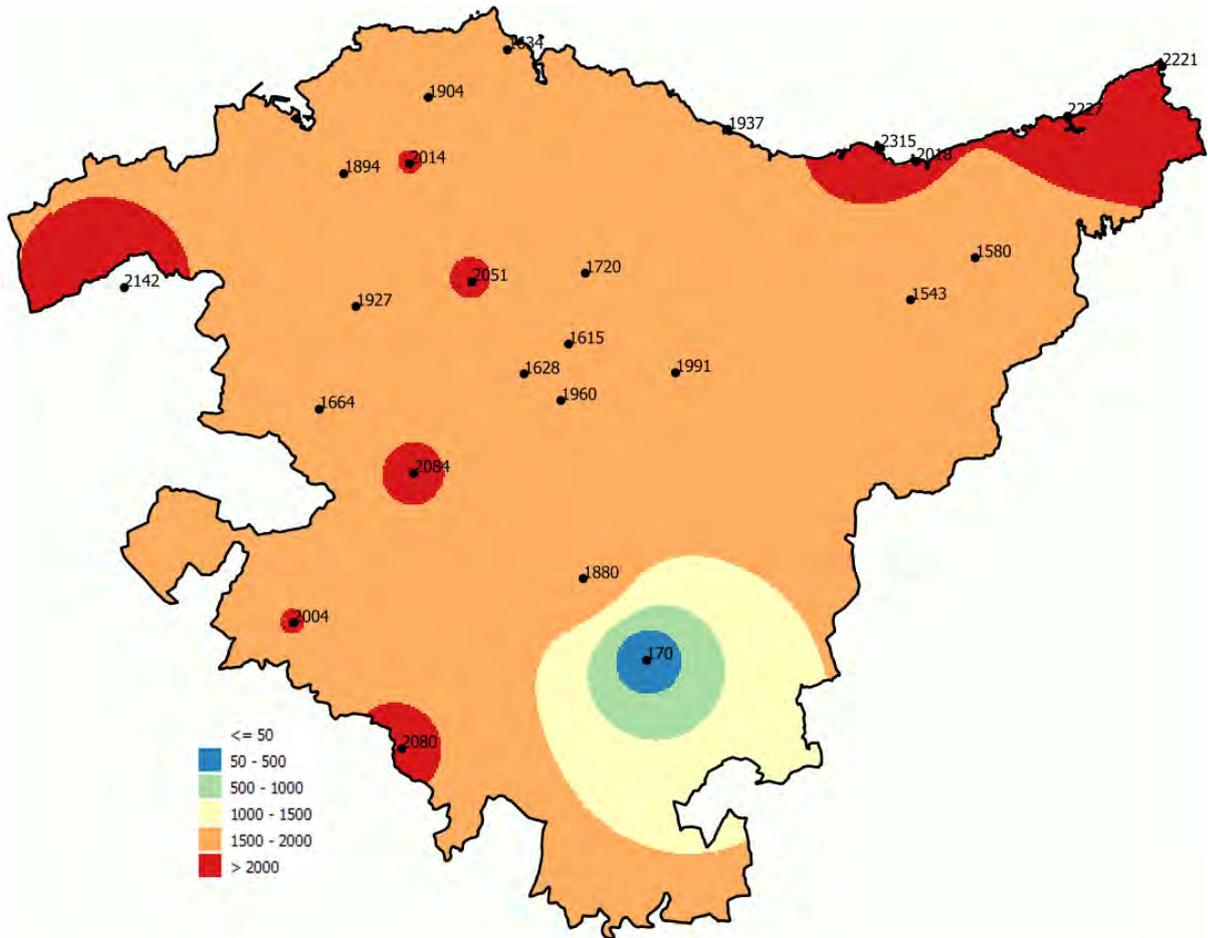
La radiación solar se mide en las estaciones meteorológicas de EUSKALMET como Radiación Solar Global, en unidades de  $W.m^{-2}$ . Pero como lo que se necesita en las fórmulas de Guenther son valores de PAR en  $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$ , es necesario hacer su transformación utilizando la equivalencia  $1 W.m^{-2} = 4,6 \mu mol.m^{-2}.s^{-1}$  (utilizando una longitud de onda promedio de 550 nm), además de considerar que el PAR es aproximadamente el 45% de la Radiación Global. Con este criterio, se consigue un factor de **2,07** para la conversión de los datos de EUSKALMET a los necesarios en la fórmula de Guenther.

Las medidas de radiación no son tan habituales en las estaciones de EUSKALMET como las de temperatura. Se pueden obtener datos de radiación solo en las 30 estaciones que se representan a continuación:



**43. Figura:** Red de estaciones de Euskalmet con medida de radiación

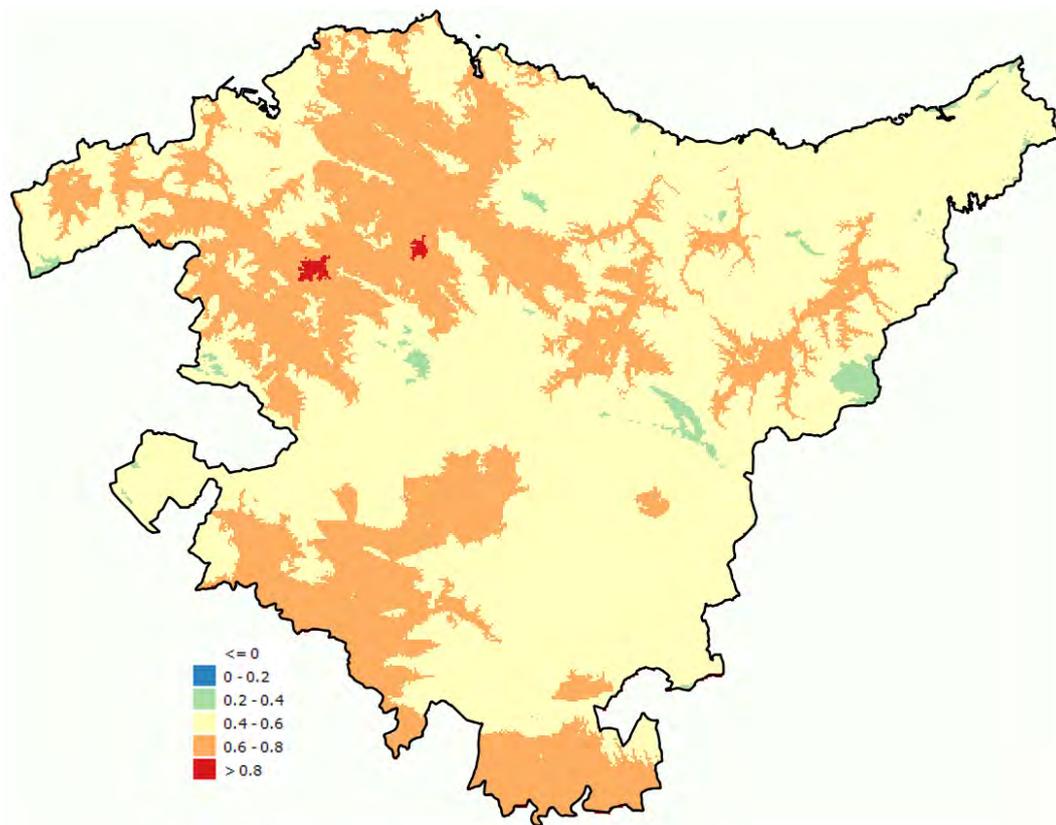
Los datos de radiación suministrados por EUSKALMET, al igual que los de temperatura son también diezminutales, por lo que también se promedian a datos horarios. Para la radiación no se considera el efecto de la altitud y la generación de mapas de todo el territorio se hace por interpolación directa de los datos utilizando el método del inverso de la distancia al cuadrado ( $1/d^2$ ). El tipo de mapas generados es el que se presenta a continuación:



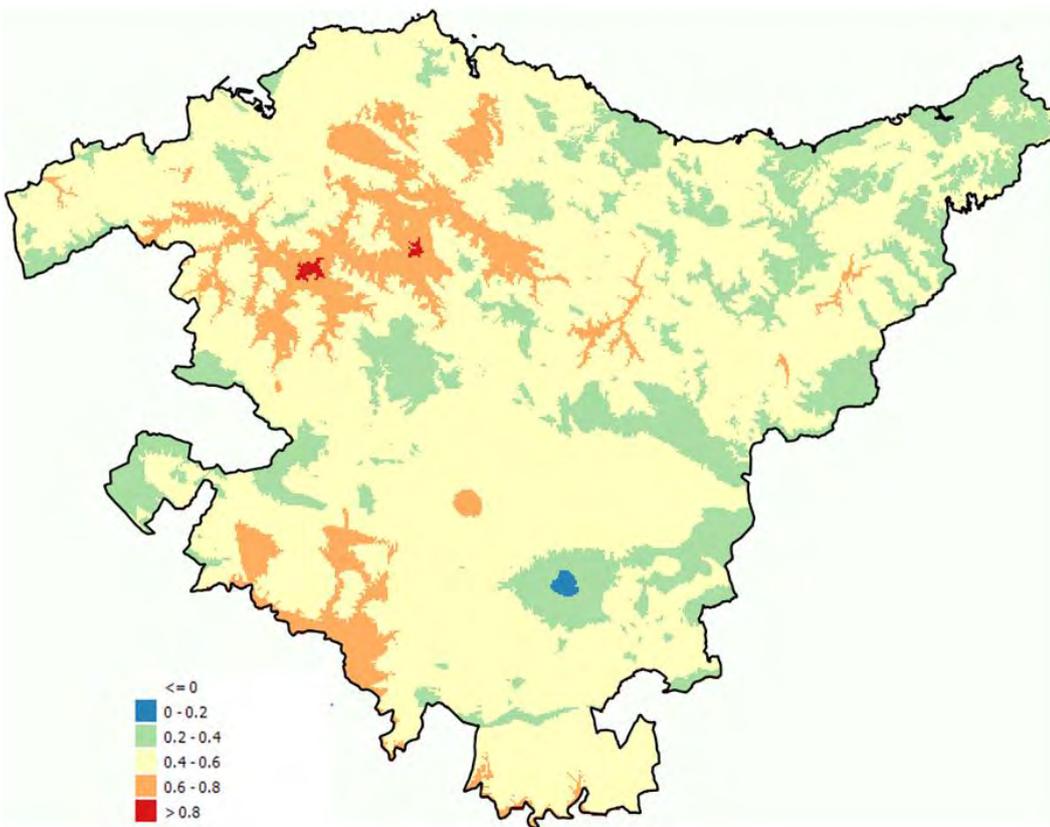
**44. Figura:** PAR ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) de Euskadi calculada por interpolación a las 12 h del 24 junio 2010

Una vez obtenidos los mapas de todo el territorio de temperatura y radiación se calculan los mapas de corrección ambiental tanto de síntesis como de almacenamiento. En las siguientes imágenes se pueden ver ejemplos de los cálculos realizado para el mediodía del día 24 de junio del 2012.

El factor de corrección por almacenamiento solo depende de la temperatura y los mapas que se obtienen son directamente proporcionales a los mapas de temperatura. No ocurre lo mismo con el factor de corrección por síntesis: al depender de la temperatura y de la radiación, por ejemplo, si en un día caluroso entra una gran nubosidad, puede hacer que las emisiones se desplomen al bajar la radiación recibida.



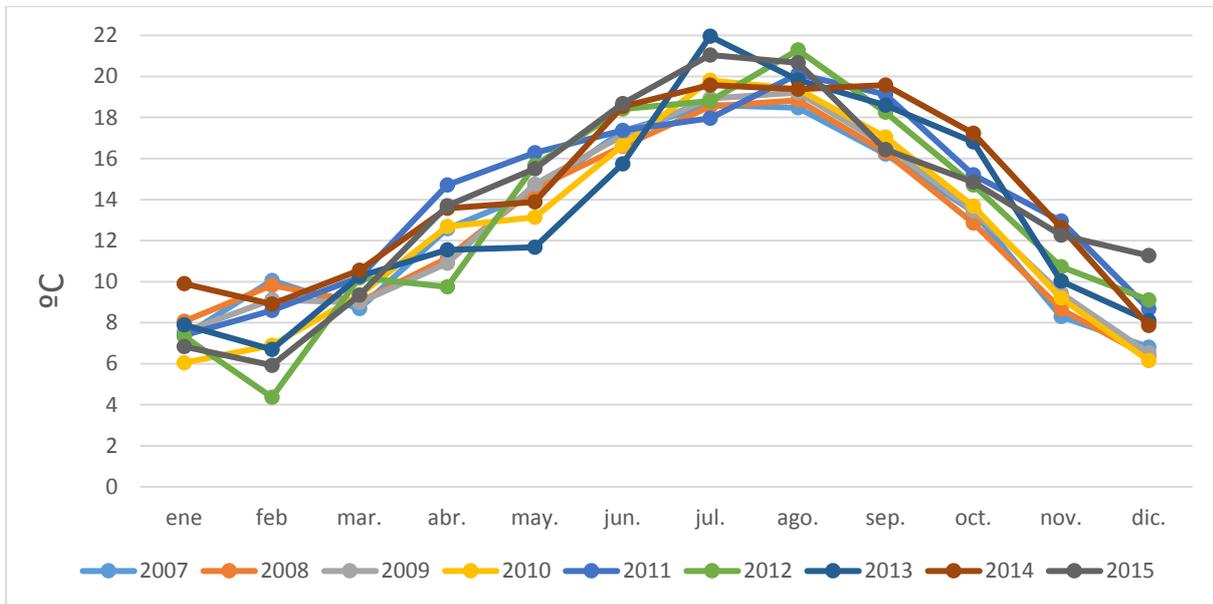
45. **Figura:** Factor de corrección ambiental por almacenamiento a las 12h del 24 junio de 2010



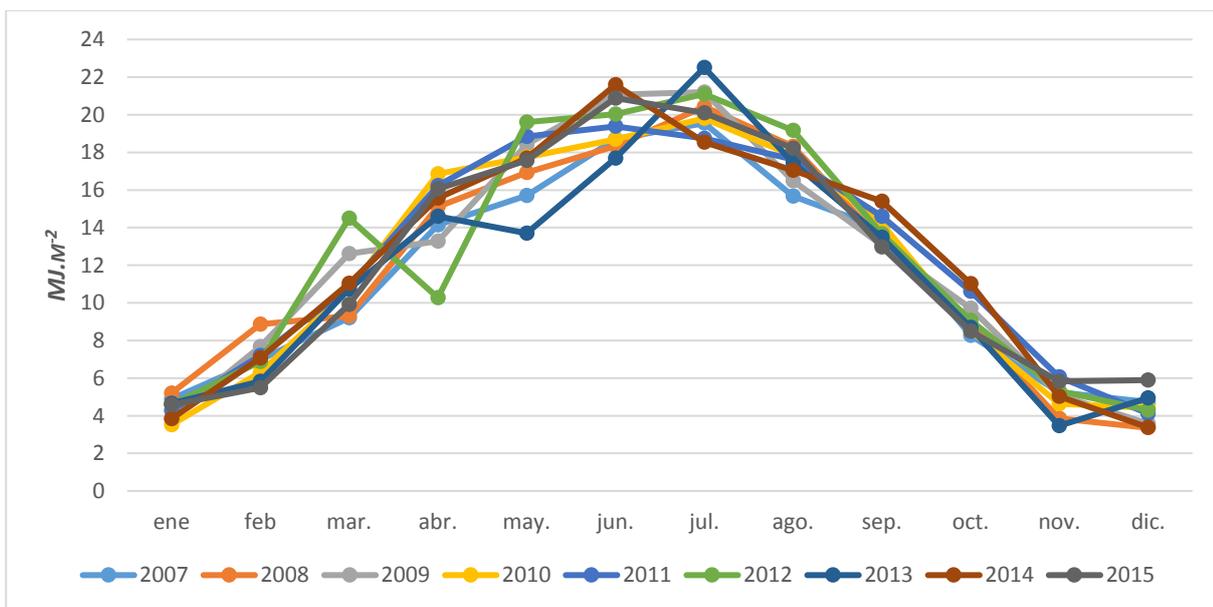
46. **Figura:** Factor de corrección ambiental por síntesis a las 12h del 24 junio de 2010

Los factores de corrección ambientales son únicos para cada momento y lugar. La temperatura y radiación siguen un patrón estacional, pero varían de un año a otro y no hay dos momentos que sean iguales. En los siguientes gráficos se comparan las temperaturas y la radiación media mensual en Euskadi para el periodo 2007-2015. Se puede ver que en el mismo mes de años distintos la temperatura media puede variar varios grados, por ejemplo, en julio de 18°C a 22°C. Esta variación puede suponer un incremento de más del 40% en las emisiones por almacenamiento y más del 60% en las emisiones de síntesis. Algo similar ocurre con la variación de la radiación en las emisiones de síntesis, aunque su impacto es menor que el de la temperatura.

**16. Gráfico: Temperatura media mensual Euskadi (°C). Fuente: Euskalmet**



**17. Gráfico: Radiación media mensual Euskadi (MJ.m<sup>-2</sup>). Fuente: Euskalmet**



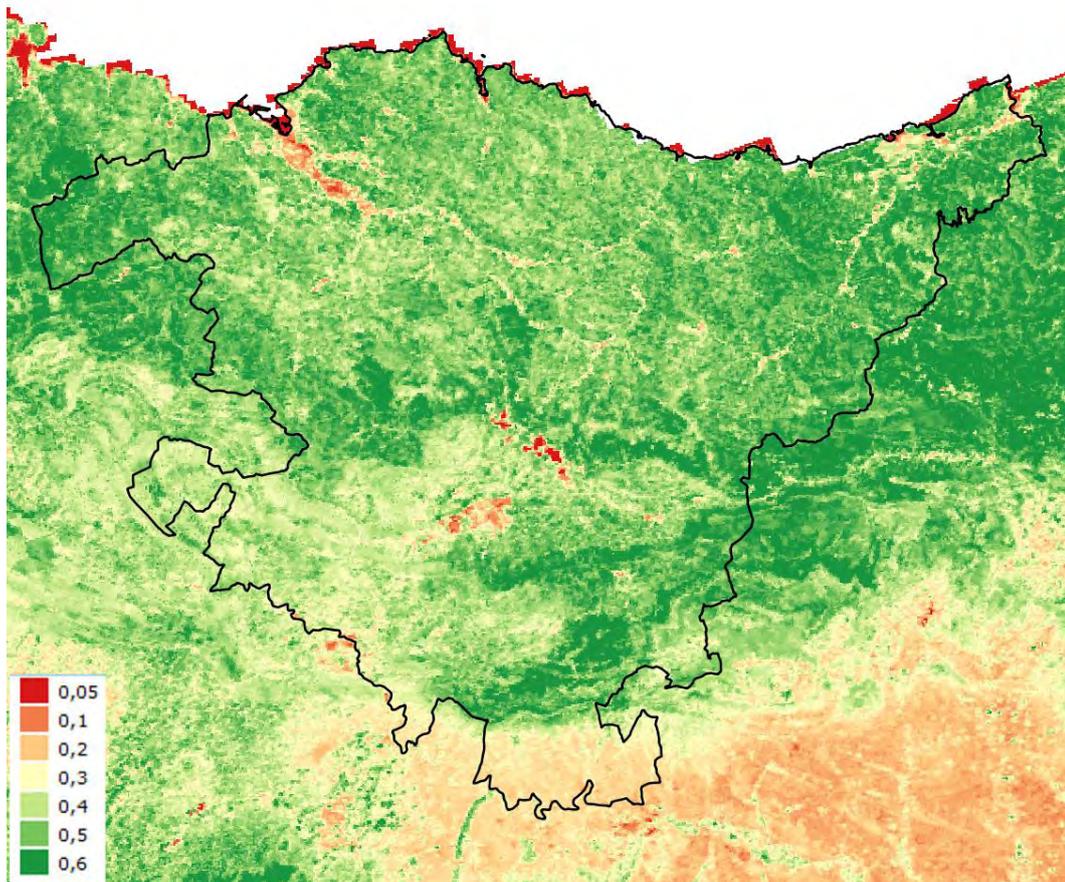
### 3.5.3. COEFICIENTE DE ESTACIONALIDAD (C)

Para cuantificar la cantidad de masa foliar y su estado se ha utilizado el índice de vegetación EVI. Este índice está asociado a la clorofila necesaria para la fotosíntesis y de esta forma además de la cantidad de vegetación presente en el dosel, también tiene en cuenta la actividad de su aparato fotosintético, necesaria para la formación de los compuestos que finalmente son emitidos a la atmósfera. El **Factor de ajuste de la estacionalidad C** es una propuesta de este estudio y se obtiene mediante un proceso de normalización del índice EVI que se realiza de la siguiente manera:

$$C = 0 \quad \text{para } EVI \leq 0,3$$

$$C = \frac{EVI - 0,3}{0,35} \quad \text{para } 0,3 < EVI < 0,65$$

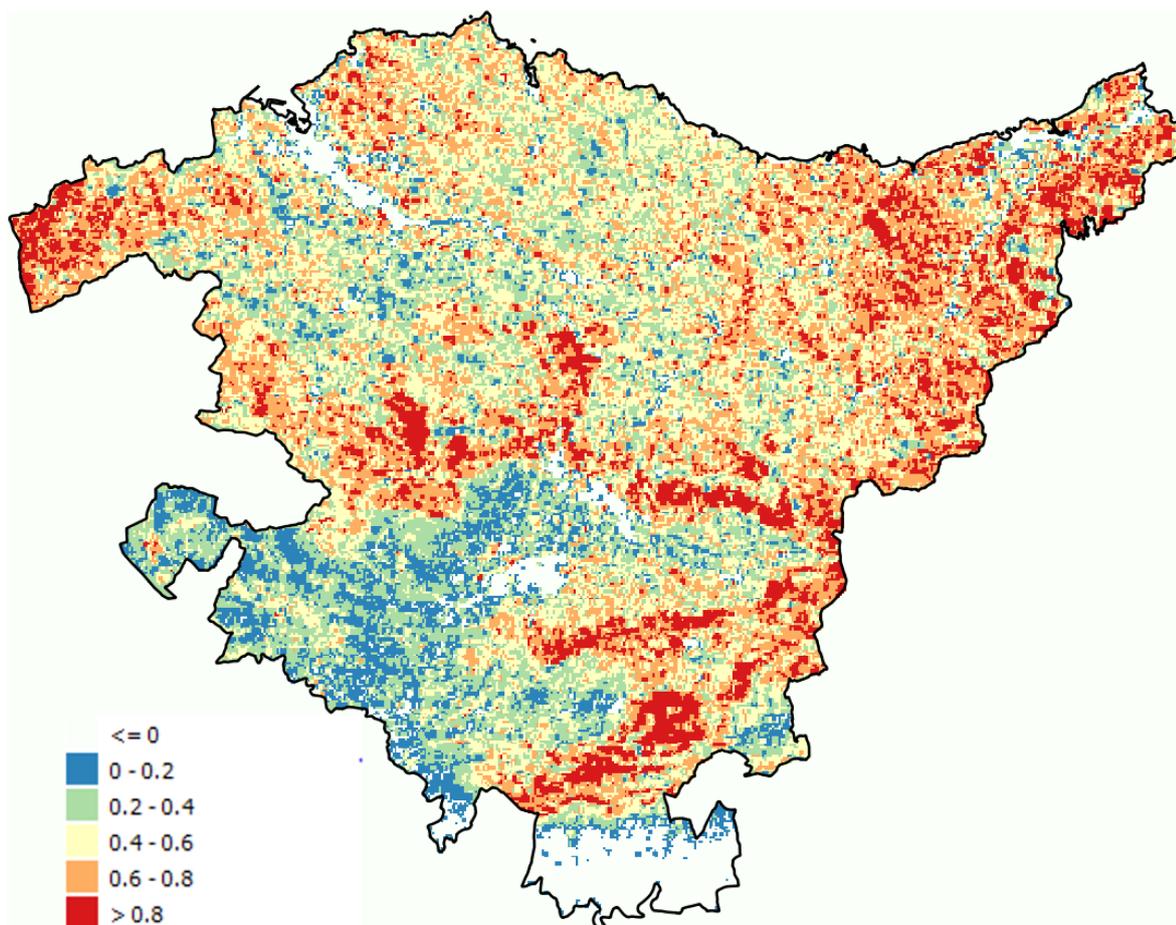
$$C = 1 \quad \text{para } EVI \geq 0,65$$



47. **Figura:** Índice EVI del producto MODIS MYD13Q1. Día 17 de junio de 2010

Los valores de partida del índice EVI se obtienen del producto MODIS MYD13Q1. Son imágenes de periodos de 16 días y pueden estar en el rango (-1,1), siendo 1 el máximo verdor y los valores negativos pueden indicar agua, nieve etc. Un análisis del comportamiento de este índice en Euskadi ha llevado a las siguientes decisiones a la hora de definir la normalización propuesta:

- En invierno, en regiones con vegetación caduca, se dan valores de EVI de 0,3 y menores, por lo que se toma este valor como el mínimo necesario para afectar al coeficiente de estacionalidad.
- Los valores máximos de EVI dependen mucho del tipo de vegetación: se han encontrado valores máximos de hasta 0,8 en hayas, 0,7 en quejigo faginea, 0,55 en pino radiata, 0,62 en encinas, 0,7 en prados y herbazales y 0,63 en arbustedos. Se ha tomado un valor máximo de normalización de 0,65, como compromiso para hacer viables los cálculos a realizar, asumiendo que se puedan minusvalorar o sobrevalorar las emisiones de algunas especies.



48. Figura: EVI normalizado del día 17 junio de 2010

### 3.5.4. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

El modelo de cálculo de emisiones biogénicas desarrollado se representa esquemáticamente en la figura de la página siguiente y se describe a continuación. Se han utilizado los programas gvSIG y QGIS como herramientas de gestión y cálculo de los mapas necesarios.

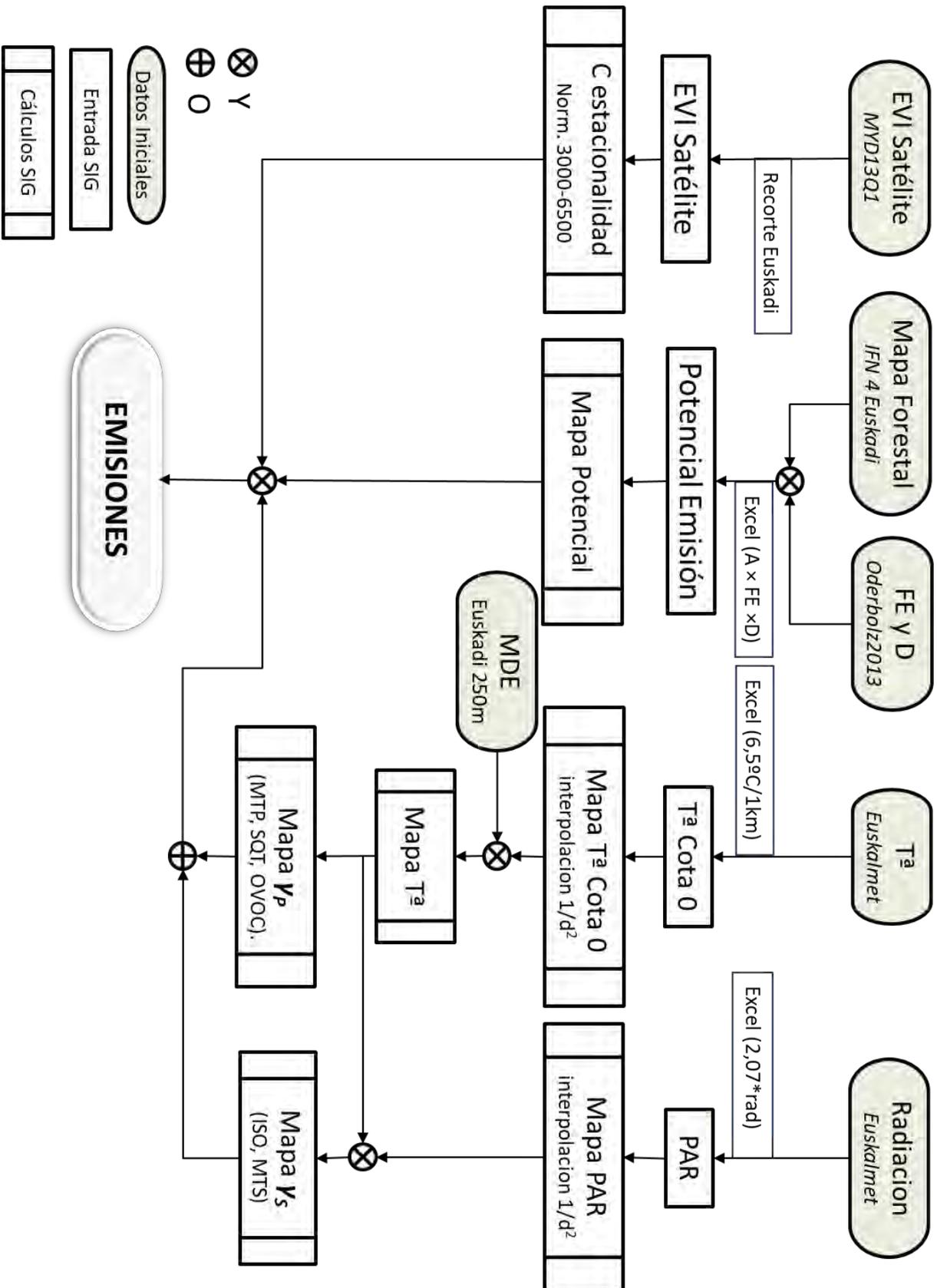
El modelo tiene tres partes principales: i) cálculo del factor de estacionalidad ii) cálculo del potencial de emisión del suelo iii) cálculo de los factores de corrección ambiental por temperatura y radiación.

- i) *Factor de estacionalidad*: se parte de la imagen de satélite EVI MYD13Q1, se recorta para el área de Euskadi y se genera un mapa normalizado con el criterio (0,3 - 0,65) que representa la actividad de la vegetación.
- ii) *Potencial de Emisión del Suelo*: partiendo del Mapa Forestal de Euskadi y utilizando los valores FE y D para tipo de compuesto emitido y tipo de vegetación, se genera un mapa por cada compuesto emitido donde se identifica el potencial de emisión del suelo en condiciones estándar.
- iii) *Factor ambiental*: los datos de entrada son las mediciones de temperatura y radiación de Euskalmet y el modelo de elevaciones. Para emisiones de síntesis se calcula el factor ambiental que depende de la temperatura y radiación y para emisiones de almacenamiento se calcula el factor ambiental utilizando solamente la temperatura.

Una vez calculados los tres apartados, para calcular las emisiones de cada compuesto se multiplican los tres, siendo posibles las siguientes combinaciones:

- El factor de estacionalidad es único para todos los compuestos
- El potencial de emisión del suelo es característico de cada tipo de compuesto
- El factor ambiental tiene dos opciones: de síntesis o de almacenamiento

Todos estos factores se desarrollan para el periodo de tiempo que se defina como el adecuado para una correcta interpretación de las emisiones.



49. Figura: Diagrama de flujo de cálculo de emisiones biogénicas

### **3.6. RESULTADOS DEL CÁLCULO DE EMISIONES BIOGENICAS DE EUSKADI**

En este apartado se presentan distintos ejemplos de cálculos de emisiones biogénicas para Euskadi:

- Inicialmente se presentan los cálculos de las emisiones anuales de ISO, MTS, MTP, SQT y OVOC para el periodo 2007-2015. También se realiza una comparativa de las emisiones en periodos de 16 días para los años 2008 y 2010.
- Se presentan las emisiones horarias de ISO, MTS, MTP, SQT y OVOC para el periodo 23 de junio - 1 de julio de 2010.
- Se realiza una comparativa de las emisiones horarias de ISO calculadas para el valle de Valderejo con las medidas de concentración de este compuesto en aire ambiente realizadas en la estación de calidad de aire del GIA de la UPV/EHU para el periodo 4 de julio - 20 de julio de 2010.
- Se presenta finalmente una comparativa de las emisiones de ISO calculadas para Euskadi, con diferentes inventarios mundiales realizados con el programa MEGAN y también a partir de estimaciones inversas empleado la columna de formaldehído medida desde satélite (GOME2 proyecto GlobEmission) para el año 2010.

Para realizar estos cálculos se han mantenido constantes los usos de suelo y las variables utilizadas han sido la meteorología y las imágenes satelitales para caracterizar el vigor de la vegetación. No se han tenido en cuenta situaciones de stress como falta de agua, episodios de ozono etc. y se ha considerado que si existe una anomalía en la situación de la vegetación esta se detecta con las imágenes satelitales. Dentro de las variables utilizadas, se ha constatado que la temperatura es la variable que mayor impacto tiene en los resultados finales.

#### **3.6.1. EMISIONES BIOGÉNICAS ANUALES EN EUSKADI**

Las emisiones de BVOC calculadas para Euskadi para el periodo 2007-2015 varían entre 16,4 Gg para el año 2008 y 20,7 Gg para el año 2012, siendo de media el 36% ISO, otro 36% MT, 28% OVOC y menos del 1% SQT.

Las emisiones de los años 2008 y 2010 se han calculado utilizando los datos meteorológicos de todas las horas del año. Para el cálculo de las emisiones del resto de años, se han hecho

estimaciones a partir de medias mensuales de los datos meteorológicos de las zonas de mayor potencial de emisión.

**16. Tabla: Emisiones de BVOC en Euskadi (Gg)**

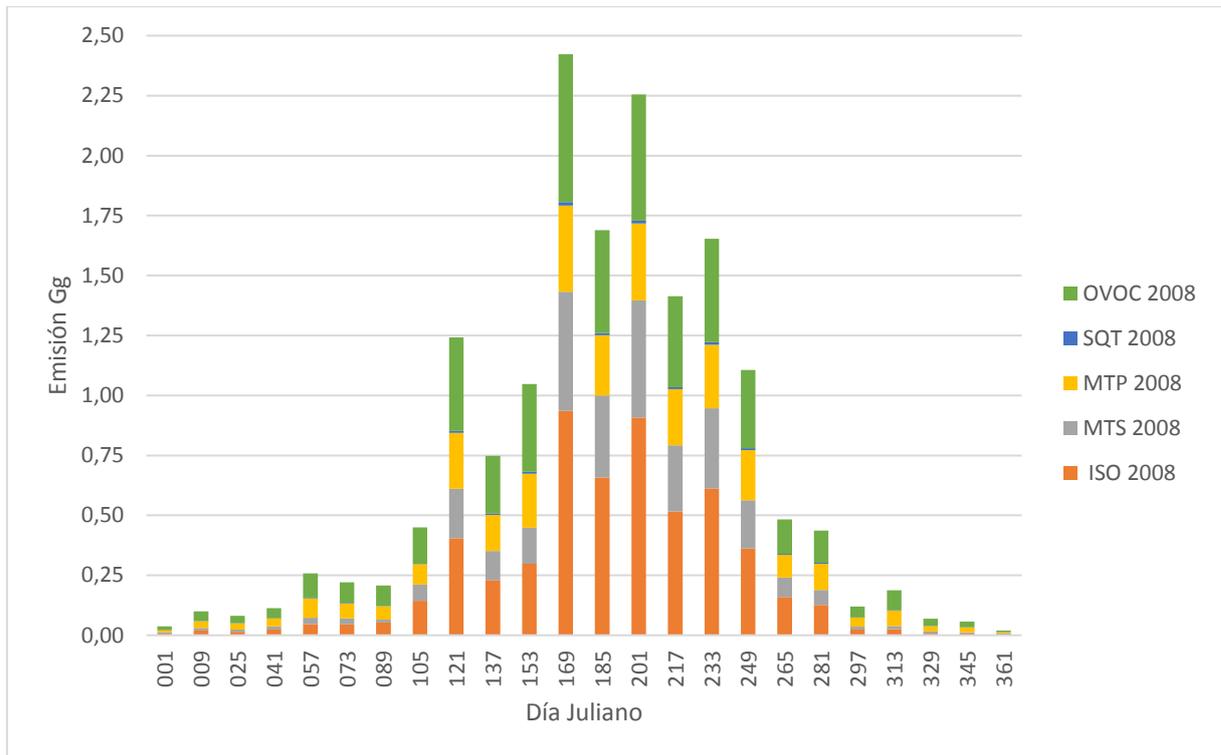
	<b>ISO</b>	<b>MTS</b>	<b>MTP</b>	<b>SQT</b>	<b>OVOC</b>	<b>TOTAL</b>
<b>2007</b>	5,6	3,0	3,0	0,11	4,7	<b>16,4</b>
<b>2008</b>	5,6	3,0	3,0	0,11	4,7	<b>16,4</b>
<b>2009</b>	7,7	3,6	3,2	0,12	5,1	<b>19,7</b>
<b>2010</b>	6,3	3,2	2,9	0,11	4,8	<b>17,3</b>
<b>2011</b>	7,1	3,6	3,4	0,12	5,4	<b>19,6</b>
<b>2012</b>	7,6	4,0	3,5	0,13	5,5	<b>20,7</b>
<b>2013</b>	5,9	3,5	3,2	0,12	5,1	<b>17,9</b>
<b>2014</b>	6,3	3,8	3,5	0,13	5,5	<b>19,2</b>
<b>2015</b>	7,6	3,5	3,5	0,13	5,5	<b>20,3</b>

La variabilidad en las emisiones de tipo síntesis (ISO, MTS) en el periodo analizado puede ser hasta de un 35% y las de tipo almacenamiento (MTP, SQT, OVOC) de hasta un 20%.

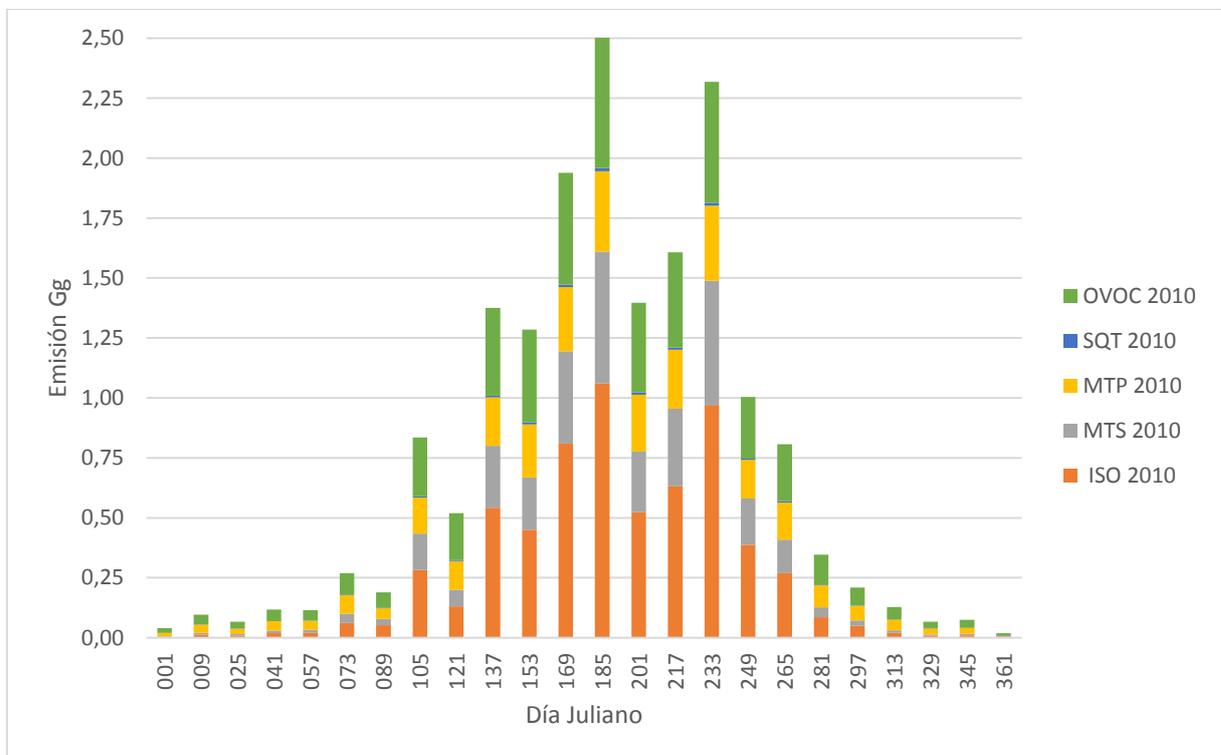
Las emisiones biogénicas son típicas de la temporada estival, que es cuando la vegetación alcanza su máximo esplendor. De hecho, se calcula que el 85% de las emisiones totales se producen entre los meses de mayo y septiembre.

En los siguientes gráficos se puede ver la evolución estacional de las emisiones de BVOC para los años 2008 y 2010 segregadas por periodos de 16 días. Es interesante la influencia que tiene la meteorología ya que, por ejemplo, en periodos cercanos como pueden ser los de los días julianos 169 y 185 en el año 2008, las emisiones pueden pasar de 2,4 Gg a 1,7 Gg (casi un 30% menos). Algo similar puede ocurrir para el mismo periodo de años distintos: por ejemplo, el periodo de día juliano 185 tiene una emisión total del 1,7 Gg en 2008 y de 2,5 Gg en 2010, un 47% más de emisión en el mismo periodo de tiempo, pero en años distintos.

18. Gráfico: Emisiones totales de BVOC para el año 2008 en periodos de 16 días (Gg)



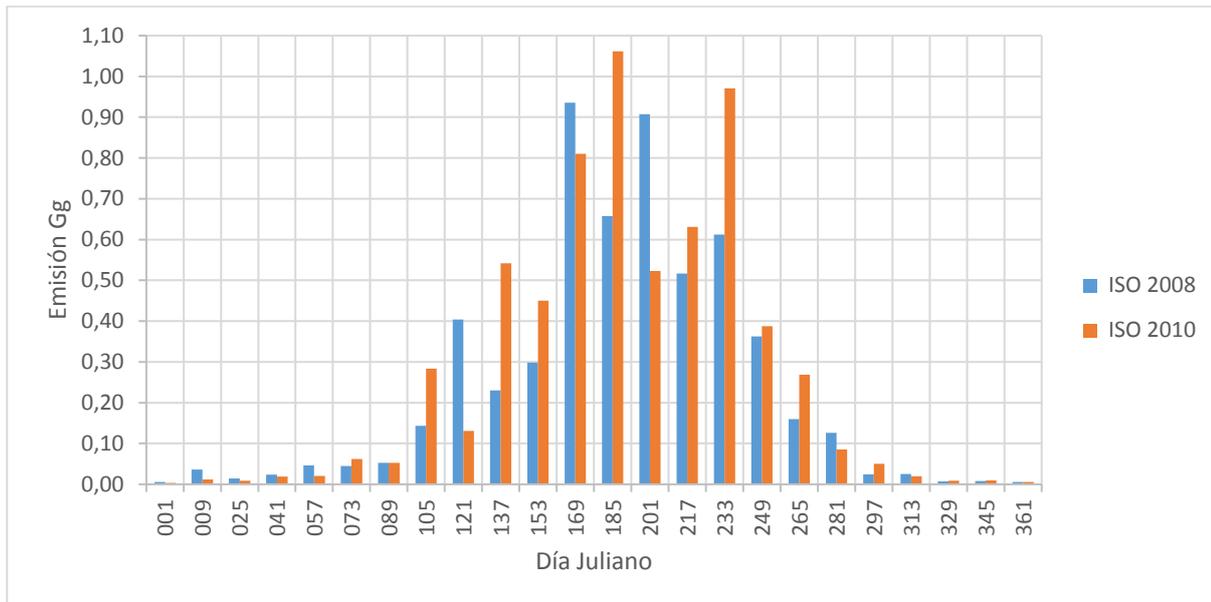
19. Gráfico: Emisiones totales de BVOC para el año 2010 en periodos de 16 días (Gg)



### 3.6.1.1. Emisiones anuales de isopreno

Las emisiones de ISO calculadas para Euskadi son de 5,6 Gg para el año 2008 y de 6,4 Gg para el año 2010. En el siguiente gráfico se comparan las emisiones de estos dos años en periodos de 16 días.

20. Gráfico: Comparativa de emisiones de ISO en los años 2008-2010 en periodos de 16 días (Gg)

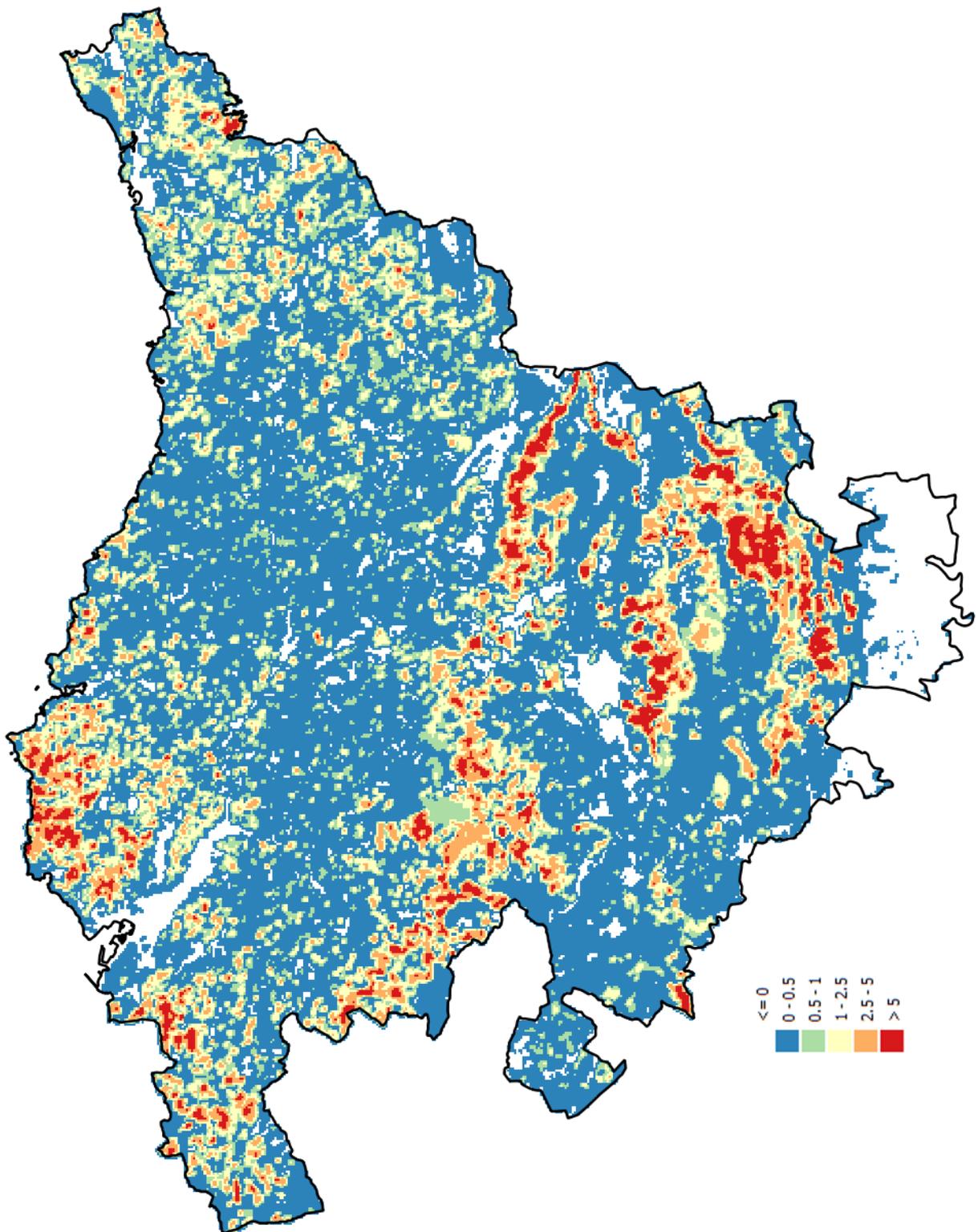


La emisión se concentra en el periodo estival: entre los meses de mayo y septiembre se produce el 90% de las emisiones globales. No obstante, esto no significa que todos los veranos sean iguales y la emisión puede estar distribuida de forma irregular, sin un patrón anual definido. En función de la meteorología la emisión de ISO puede variar hasta un 75% en un determinado periodo entre distintos años, tal y como por ejemplo se puede apreciar durante el periodo de día juliano 201 entre los años 2008 y 2010.

En la siguiente página se representan las emisiones anuales totales de ISO geolocalizadas para el año 2010.

La zona de mayor emisión de ISO de Euskadi se encuentra en los quejigares de los montes de Vitoria, donde se puede llegar a zonas con una emisión de  $15 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$ . Otras zonas de alta emisión son los rebollares y quejigares de la Sierra de Cantabria y del Parque Natural de Izki y también los bosques mixtos del norte de Bizkaia.

La media de emisión anual de todo el territorio de Euskadi es de  $0,88 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$ .

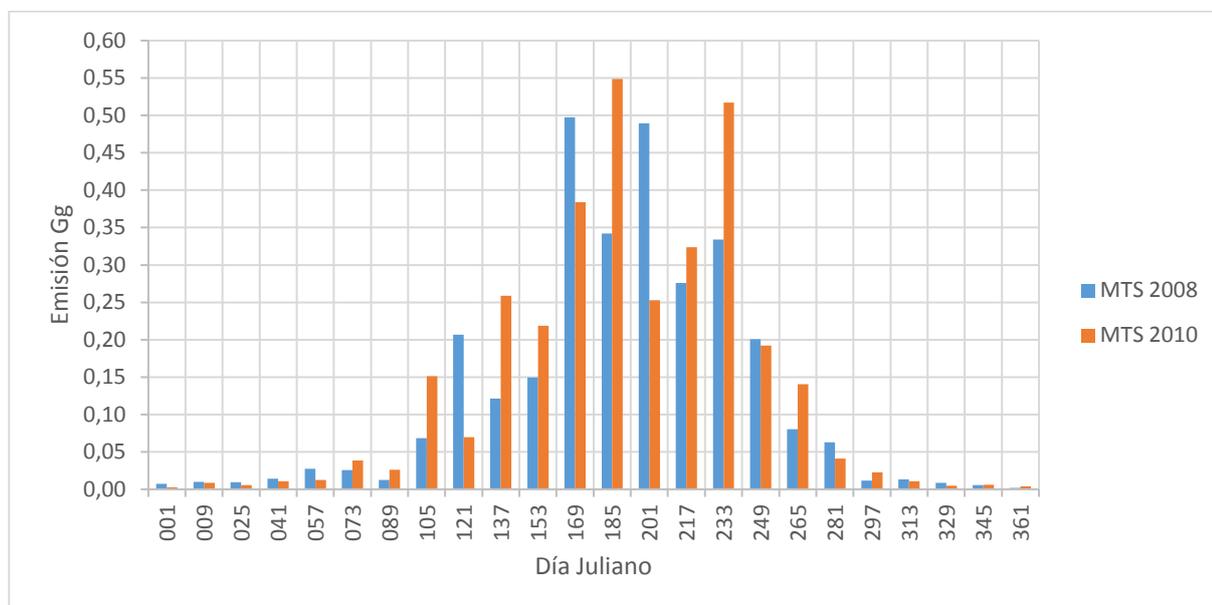


**50. Figura:** Emisión anual de ISO para el año 2010 (g.m<sup>2</sup>)

### 3.6.1.2. Emisiones anuales de monoterpenos de síntesis

Las emisiones de MTS calculadas para Euskadi son de 3,0 Gg para el año 2008 y de 3,2 Gg para el año 2010. En el siguiente gráfico se ve la comparativa de las emisiones de estos dos años en periodos de 16 días.

**21. Gráfico:** Comparativa de emisiones de MTS en los años 2008-2010 en periodos de 16 días (Gg)

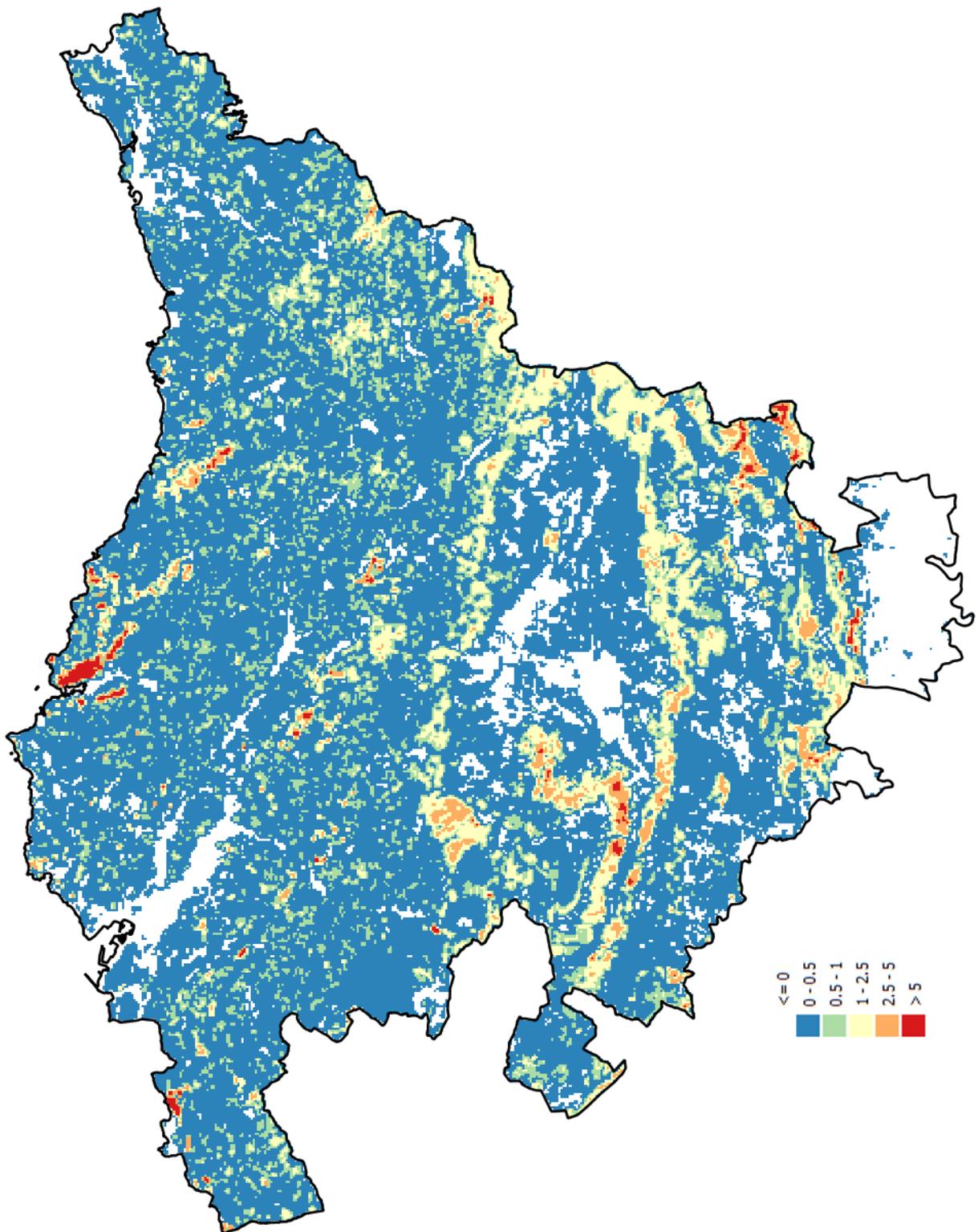


La emisión de MTS se concentra en el periodo estival, entre mayo y septiembre se produce el 90% de las emisiones, y depende en gran medida tanto de la temperatura como de la radiación del periodo. En función de la meteorología la emisión de MTS puede variar hasta un 95% en un determinado periodo entre distintos años, tal y como por ejemplo se puede apreciar durante el periodo de día Juliano 201 entre los años 2008 y 2010.

En la siguiente página se representan las emisiones anuales totales de monoterpenos de síntesis geolocalizadas para el año 2010.

La zona de mayor emisión de monoterpenos de síntesis de Euskadi se encuentra en los encinares de la margen derecha del Urdaibai, donde se puede llegar a zonas con una emisión de  $12 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$ . Otras zonas de alta emisión son los encinares de los bosques de Cuartango y de la sierra de Cantabria.

La media de emisión de todo el territorio de Euskadi es de  $0,46 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$ .

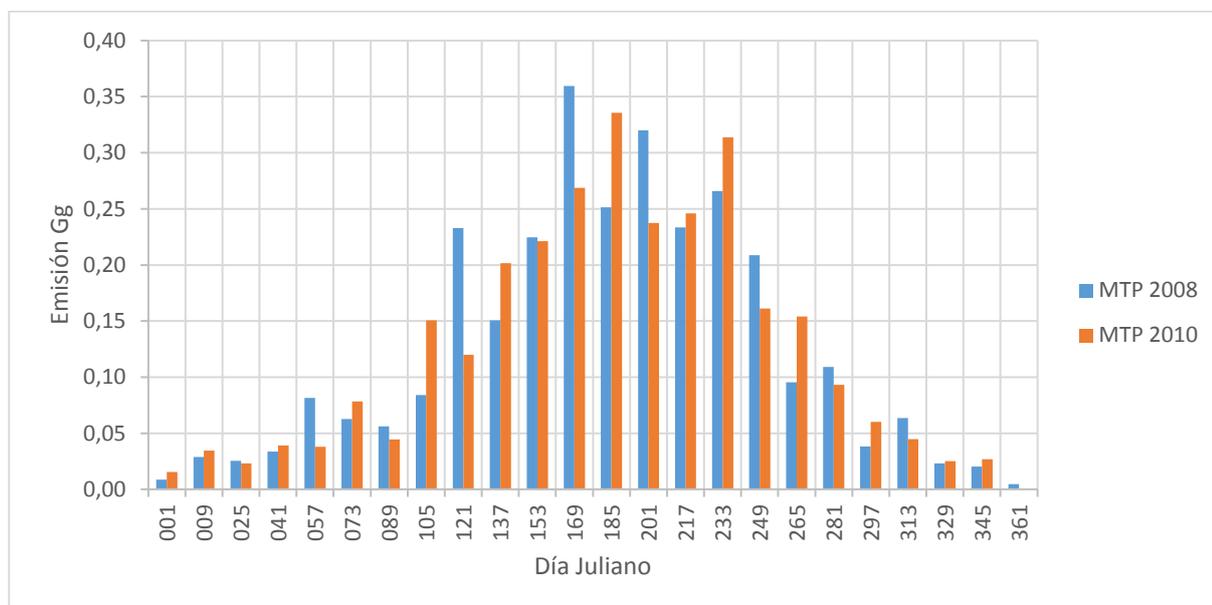


**51. Figura:** Emisión anual de MTS para el año 2010 (g.m<sup>-2</sup>)

### 3.6.1.3. Emisiones anuales de monoterpenos de almacenamiento

Las emisiones de MTP calculadas para Euskadi son de 3,0 Gg para el año 2008 y de 2,9 Gg para el año 2010. En el siguiente gráfico se ve la comparativa de las emisiones de estos dos años en periodos de 16 días.

22. Gráfico: Comparativa de emisiones de MTP en los años 2008-2010 en periodos de 16 días (Gg)

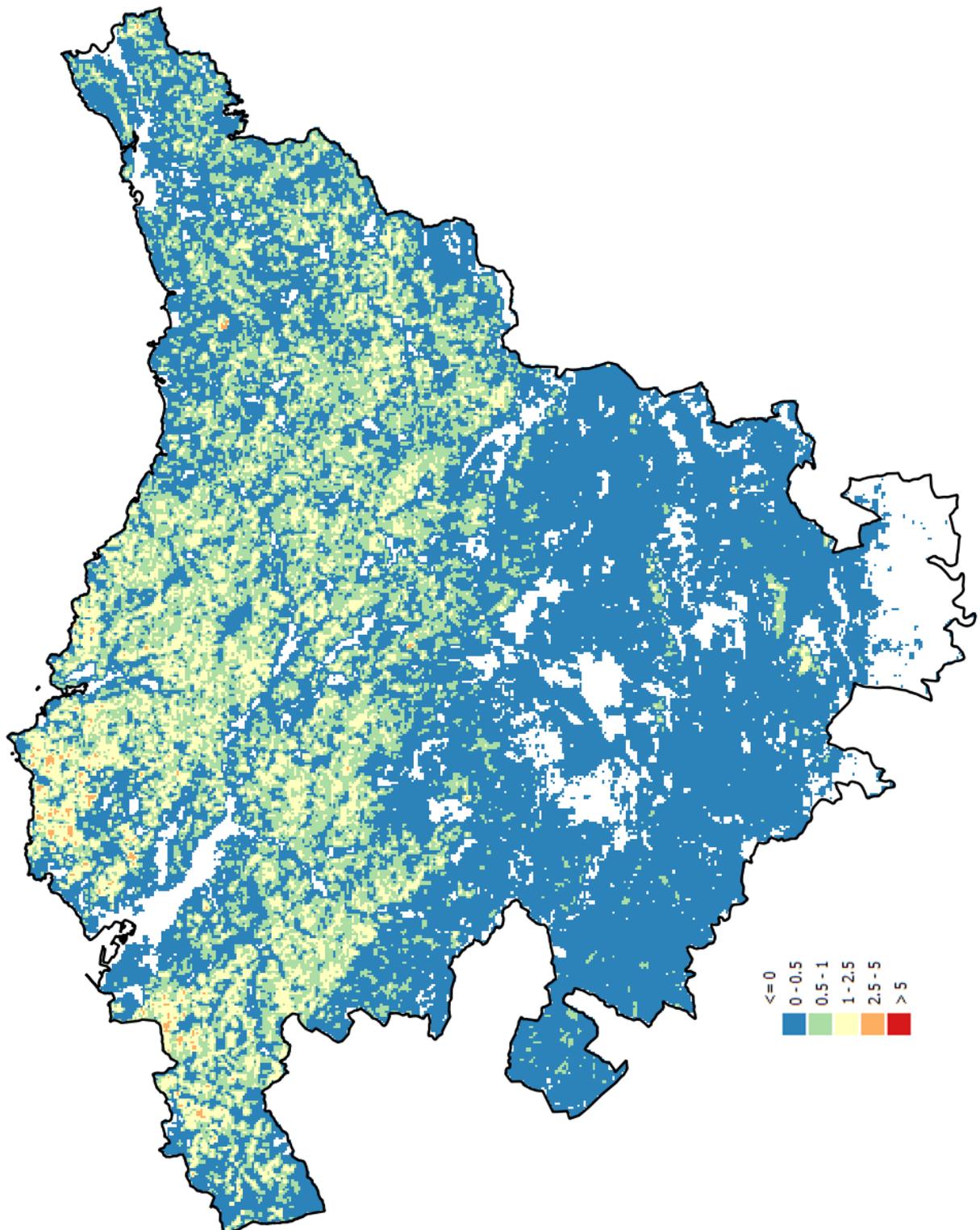


La emisión de MTP se concentra en el periodo estival, pero esta concentración no es tan acusada como para los compuestos de síntesis. Así, entre mayo y septiembre, se emiten cerca del 80% de las emisiones totales. Esta menor concentración de las emisiones en el periodo estival se atribuye a que solamente dependen de la temperatura. La radiación no tiene un efecto directo sobre ellas. En función de la meteorología la emisión de MTP puede variar hasta un 100% en un determinado periodo entre distintos años, tal y como por ejemplo se puede apreciar durante el periodo de día juliano 121 entre los años 2008 y 2010.

En la siguiente página se representan las emisiones anuales totales de monoterpenos de almacenamiento geolocalizadas para el año 2010.

En las zonas de emisión máxima se puede llegar a emitir hasta  $4,5 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$ , siendo una emisión típica de los pinares y de las plantaciones de eucaliptus del norte de Bizkaia y Gipuzkoa. En la provincia de Álava las emisiones de MTP son muy bajas.

La media de emisión de todo el territorio de Euskadi es de  $0,43 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$ .

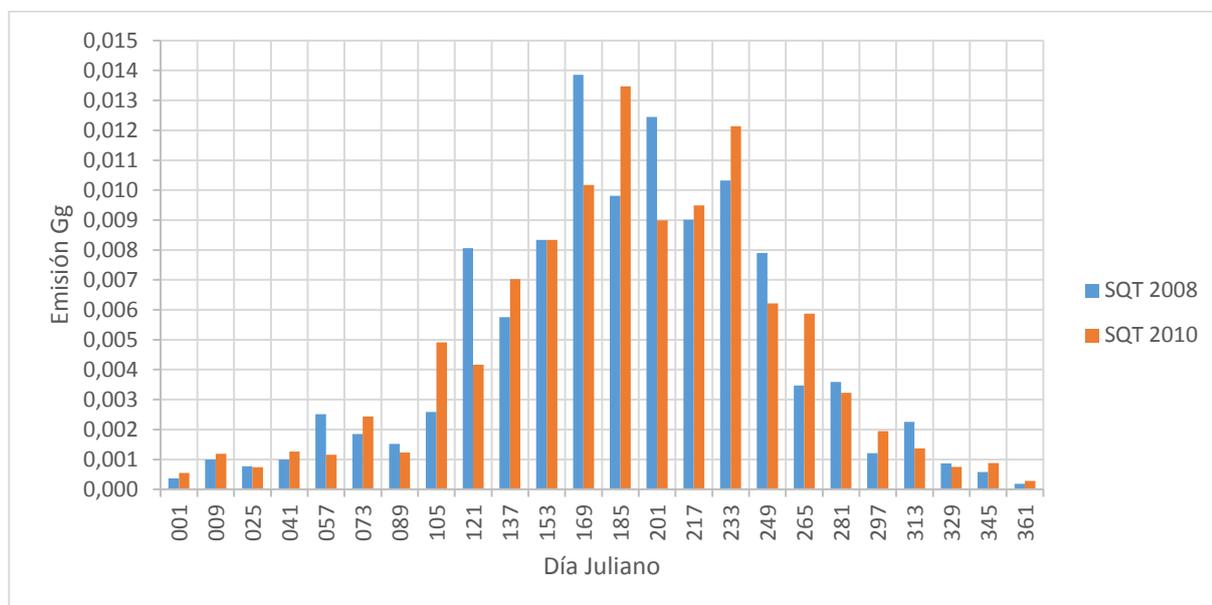


**52. Figura:** Emisión anual de MTP para el año 2010 (g.m<sup>-2</sup>)

### 3.6.1.4. Emisiones anuales de sesquiterpenos

Las emisiones de SQT calculadas para Euskadi son de 0,11 Gg tanto para el año 2008 como para el año 2010. En el siguiente gráfico se ve la comparativa de las emisiones de estos dos años en periodos de 16 días.

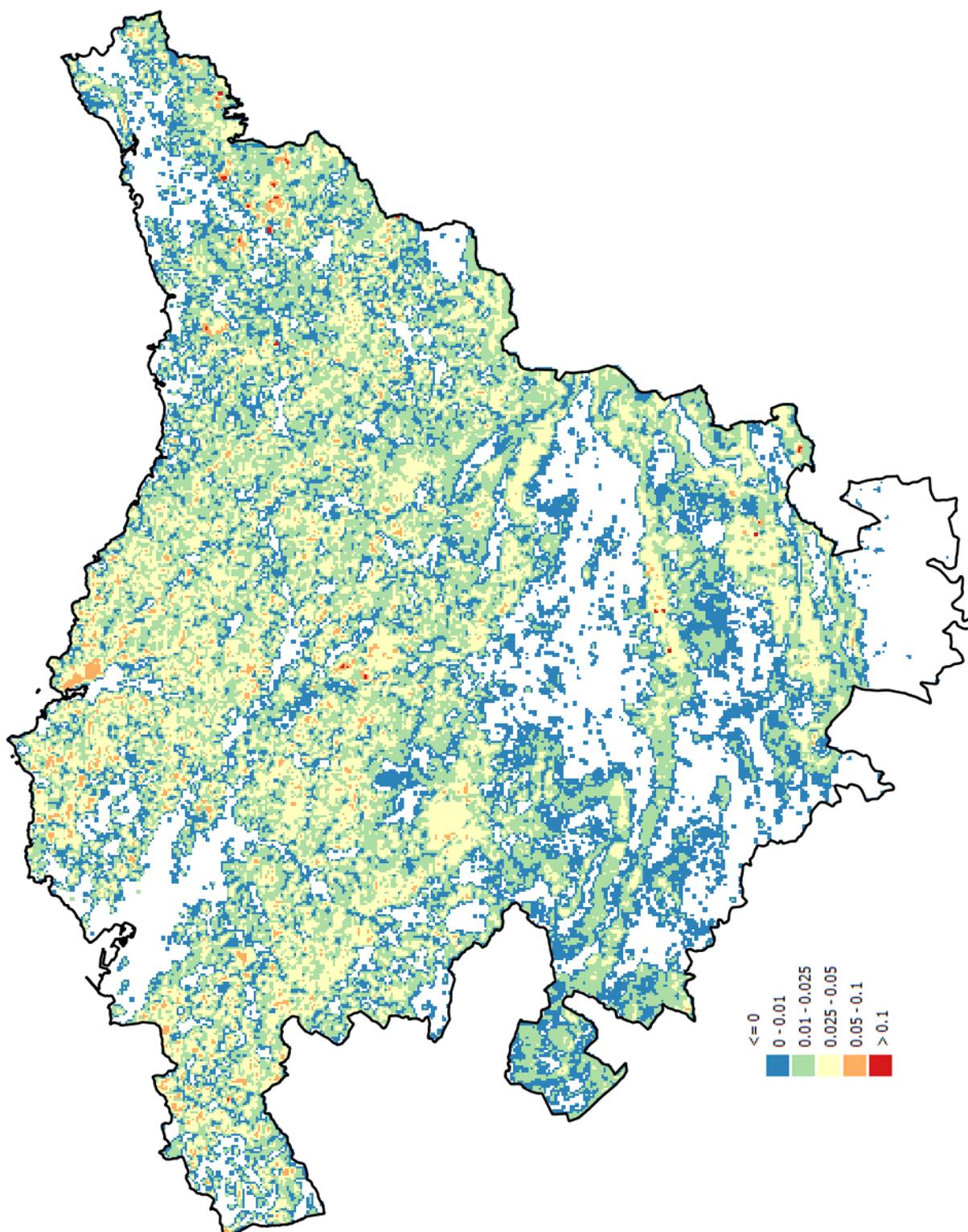
23. Gráfico: Comparativa de emisiones de SQT en los años 2008-2010 en periodos de 16 días (Gg)



Las emisiones entre los meses de mayo y septiembre son el 80% de las emisiones anuales, y al igual que los MTP las variaciones entre mismos periodos de distintos años pueden alcanzar hasta un 100% en función de la meteorología, como por ejemplo en el periodo del día Juliano 121.

En la siguiente página se representan las emisiones anuales totales de SQT geolocalizadas para el año 2010.

El máximo de emisión se ha identificado en un pequeño bosque de abedules que hay en Gipuzkoa, donde se ha calculado una emisión anual de  $0,25 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$ , aunque al ser la zona tan pequeña apenas tiene impacto en el total de emisiones. En líneas generales la emisión es bastante homogénea en todo el territorio, si exceptuamos las áreas de cultivo donde no se considera emisión. Se puede considerar una emisión media en todo el territorio de aproximadamente  $16 \text{ mg.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$ .

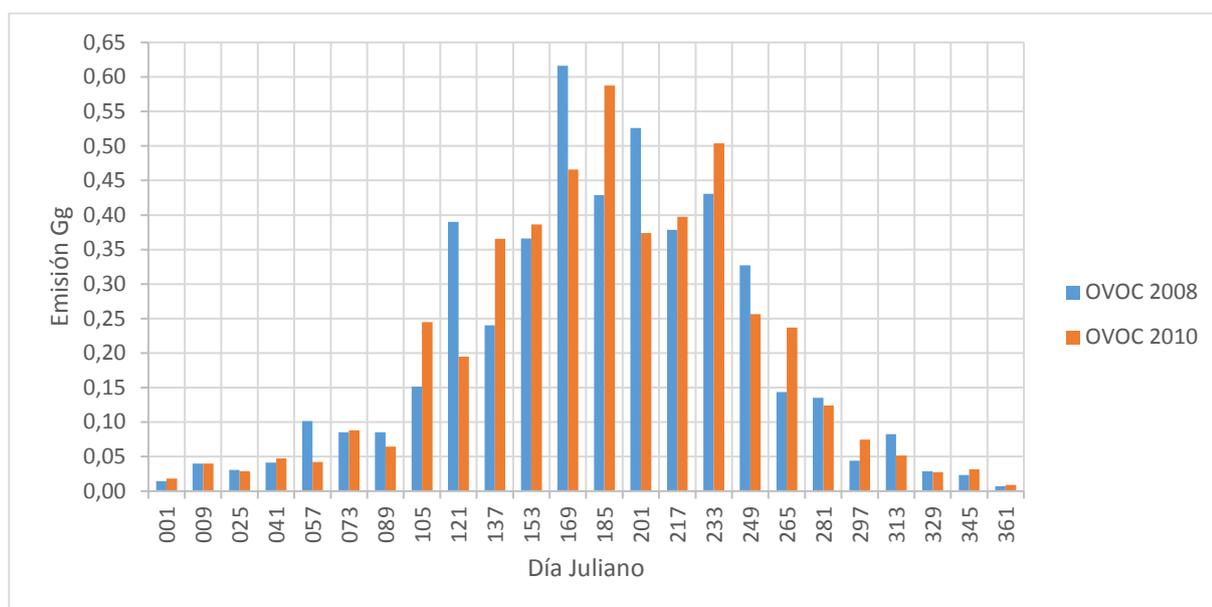


53. Figura: Emisión anual de SQT para el año 2010 (g.m<sup>-2</sup>)

### 3.6.1.5. Emisiones anuales de compuesto orgánicos volátiles oxigenados

Las emisiones de OVOC calculadas para Euskadi son de 4,72 Gg para el año 2008 y de 4,66 Gg para el año 2010. En el siguiente gráfico se ve la comparativa de las emisiones de estos dos años en periodos de 16 días.

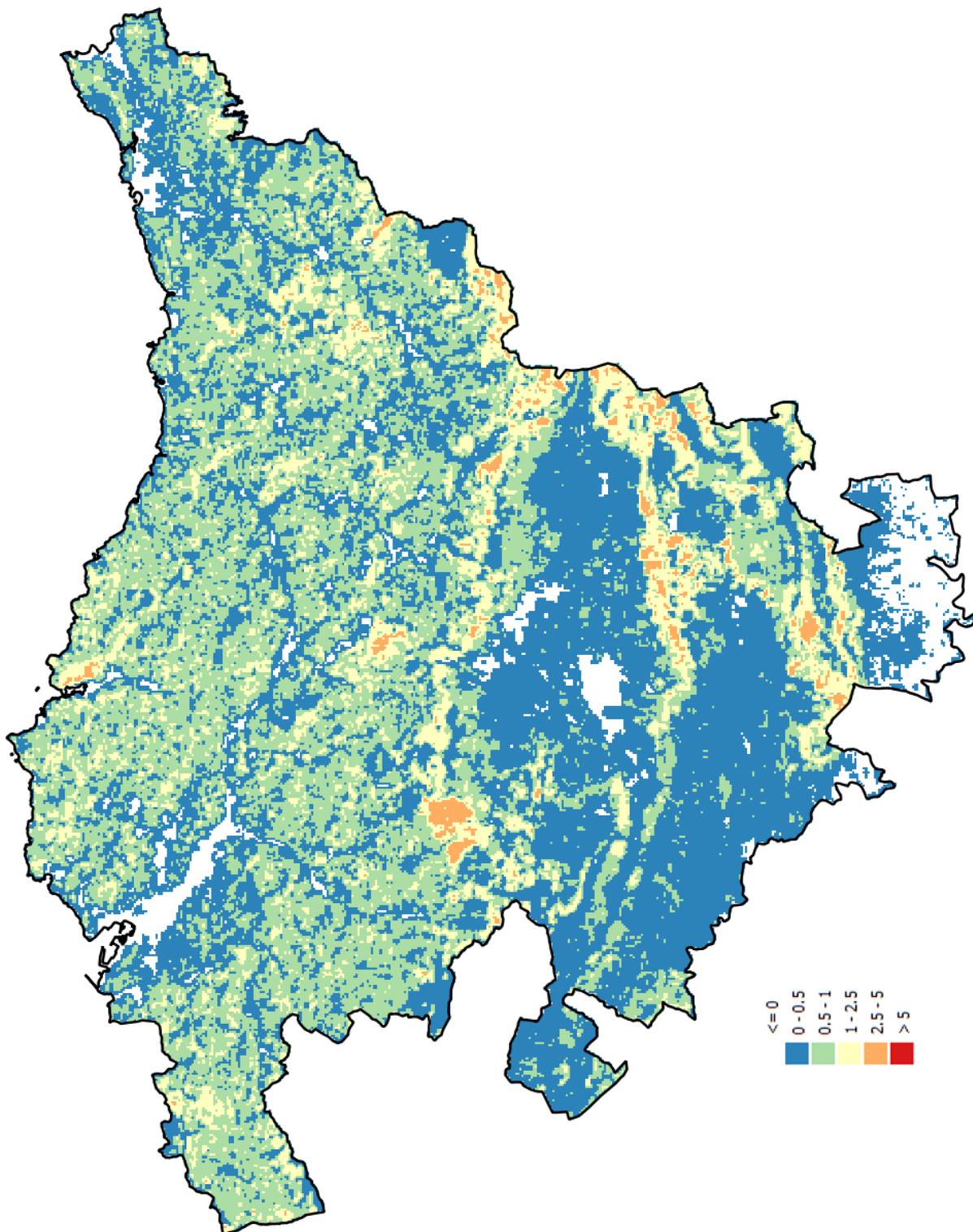
24. Gráfico: Comparativa de emisiones de OVOC en los años 2008-2010 en periodos de 16 días (Gg)



Las emisiones entre los meses de mayo y septiembre son el 80% de las emisiones anuales, siguiendo la misma dinámica que MTP y SQT. También ocurre que puede haber variaciones entre mismos periodos de distintos años de hasta un 100% en función de la meteorología, como por ejemplo en el periodo del día juliano 121.

Los máximos de emisión se dan en los hayedos de la Sierra de Cantabria con emisiones anuales de hasta  $4 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$ . También se dan emisiones importantes en los rebollares del Gorbea, y se han de tener en cuenta las emisiones de los pinares de Bizkaia y Gipuzkoa debido a la gran extensión de las plantaciones.

La media de emisión de todo el territorio de Euskadi es de  $0,68 \text{ g.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$ .

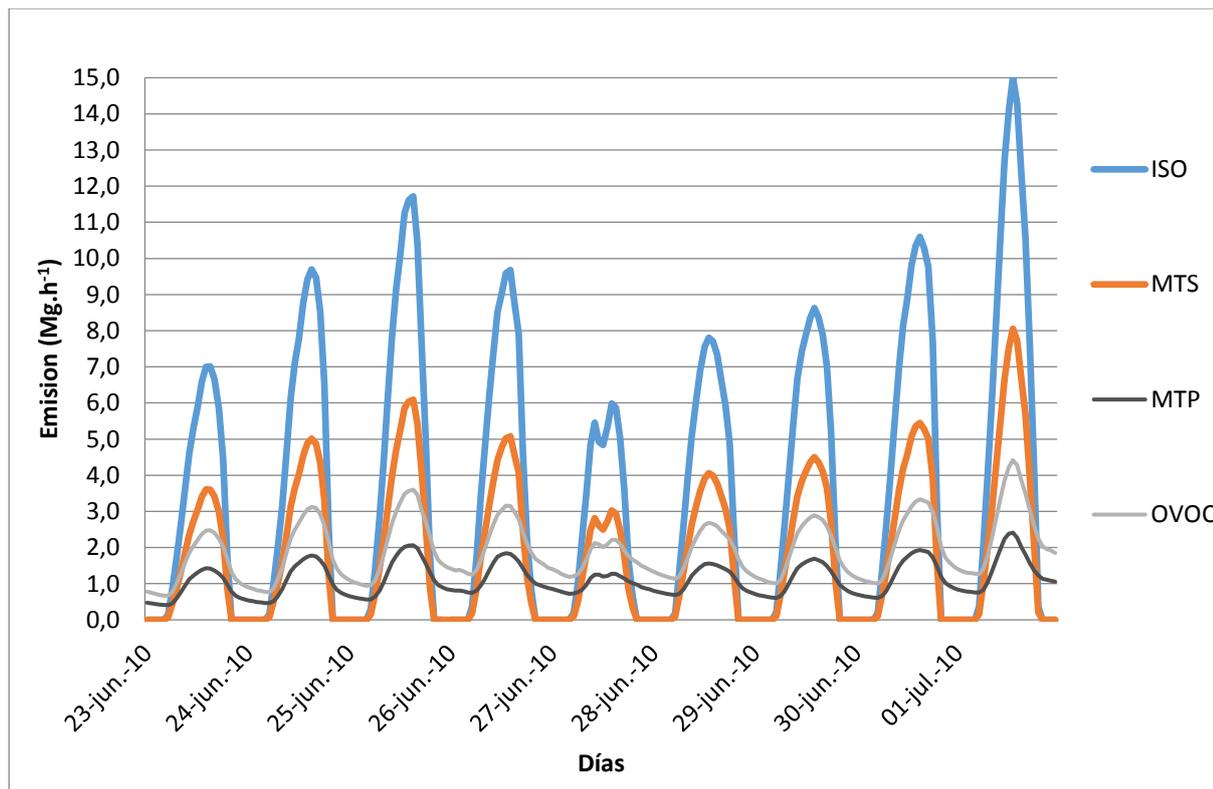


54. Figura: Emisión anual de OVOC para el año 2010 (g.m<sup>2</sup>)

### 3.6.2. EMISIONES BIOGÉNICAS HORARIAS EN EUSKADI

En este apartado se muestra el cálculo de las emisiones en Euskadi desde el 23 de junio de 2010 hasta el 1 de julio de 2010, para periodos de 1 hora. En el siguiente gráfico se ve el comportamiento de las emisiones de ISO, MTS, MTP y OVOC a lo largo de los distintos días. No aparecen las emisiones de SQT, porque al ser muy bajas están fuera de escala, pero tendrían un comportamiento similar a las de MTP y OVOC.

**25. Gráfico:** Emisiones horarias de BVOC en Euskadi. Periodo 23 junio 2010 – 01 julio 2010 ( $\text{Mg}\cdot\text{h}^{-1}$ )



Las emisiones de ISO y MTS solo se dan durante las horas diurnas y por la noche son cero. Su oscilación depende de la temperatura y de la radiación recibida. En una misma semana, en función de la meteorología se puede pasar de una emisión pico de ISO de  $6 \text{ Mg}\cdot\text{h}^{-1}$  v.g. el día 27 de junio, hasta  $15 \text{ Mg}\cdot\text{h}^{-1}$ , 2,5 veces más, el 1 de julio. Las emisiones pico se dan entre las 14:00 y 15:00 horas, que suele ser el momento más caluroso del día.

Las emisiones de MTP, OVOC y SQT se dan tanto de día como de noche, ya que solo dependen de la temperatura. Los picos de emisión son sobre las 14:00-15:00 horas del mediodía y las emisiones más bajas sobre las 04:00-05:00 horas de la madrugada, que suele ser el momento más frío del día en este periodo del año. En función de la temperatura de cada día la emisión pico puede ser muy diferente. Por ejemplo, el día 27 de junio tiene una emisión pico de  $2,1 \text{ Mg}\cdot\text{h}^{-1}$  de OVOC mientras que el día 1 julio tiene  $4,3 \text{ Mg}\cdot\text{h}^{-1}$ , es decir más del doble.

Si se analiza la emisión total diaria, también se pueden encontrar variaciones importantes entre los distintos días, tal y como se puede ver en la siguiente tabla.

**17. Tabla: Emisiones diarias de BVOC en Euskadi. Periodo 23 junio 2010 – 01 julio 2010 (Mg)**

	<b>ISO</b>	<b>MTS</b>	<b>MTP</b>	<b>SQT</b>	<b>OVOC</b>	<b>TOTAL</b>
<b>23-jun-10</b>	64,1	32,8	20,6	0,8	35,1	<b>153,4</b>
<b>24-jun-10</b>	86,9	44,5	25,1	0,9	43,0	<b>200,5</b>
<b>25-jun-10</b>	101,5	52,5	29,2	1,1	50,1	<b>234,3</b>
<b>26-jun-10</b>	84,9	44,2	28,7	1,1	48,6	<b>207,6</b>
<b>27-jun-10</b>	55,2	28,1	23,9	0,9	40,1	<b>148,1</b>
<b>28-jun-10</b>	76,2	39,3	26,0	1,0	43,7	<b>186,3</b>
<b>29-jun-10</b>	83,2	43,0	26,1	1,0	44,4	<b>197,7</b>
<b>30-jun-10</b>	99,1	50,8	29,2	1,1	49,5	<b>229,6</b>
<b>01-jul-10</b>	122,2	64,3	33,2	1,3	59,2	<b>280,2</b>

Si se comparan las emisiones de síntesis del día 27 de junio con las del 01 de julio, pasan de (55,2+28,1) Mg/d a (122,2+64,3) Mg/d, una variación de más del doble en días muy cercanos. Las emisiones de almacenamiento también pueden variar entre días cercanos. Por ejemplo, si se compara el día 23 de junio (20,6 + 0,8 + 35,1) Mg/d y el día 01 de julio (33,2 + 1,3 + 59,2) Mg/d las emisiones de almacenamiento han variado más de un 60%.

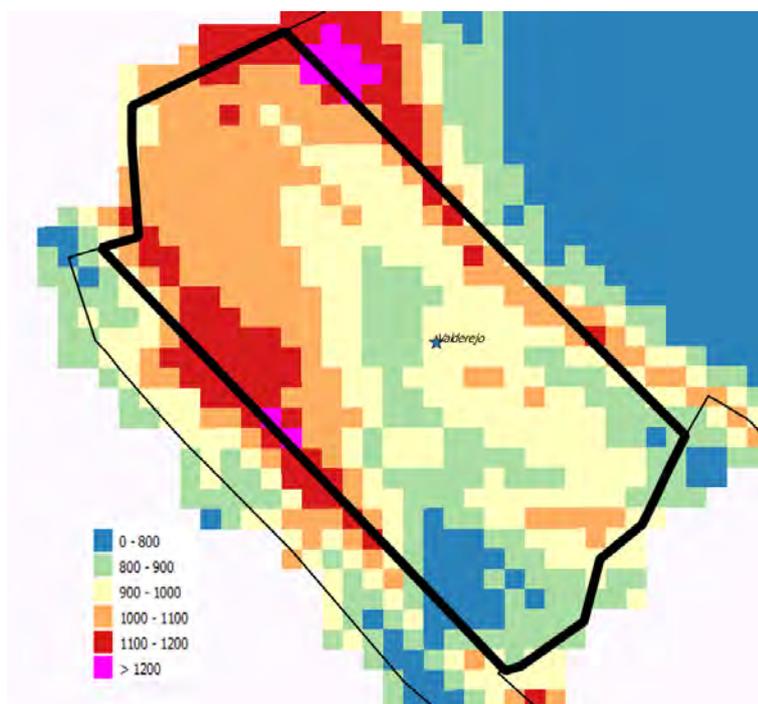
Este ejemplo nos da una idea de que las emisiones biogénicas no se pueden considerar como algo estable en el tiempo, sino que la alta dependencia que tienen de la temperatura y de la radiación requiere realizar cálculos detallados si se necesita obtener un análisis preciso.

### 3.6.3. COMPARATIVA DE EMISIONES CON MEDIDAS DE CONCENTRACIONES EN AIRE AMBIENTE

Este apartado presenta una comparativa entre las emisiones de ISO calculadas para un área determinada y las concentraciones de ISO en el aire ambiente medidas en una estación de calidad de aire avanzada. Para ello se han utilizado las medidas realizadas por un equipo del GIA de la Escuela de Ingeniería de la UPV/EHU en la estación situada en el Parque Natural de Valderejo en Álava (*Ramón et al. 2014*).

El Parque Natural de Valderejo se encuentra en el Oeste de la provincia de Álava, en el límite con Burgos. Una característica de este parque es que es un valle que está a una altitud de unos 900 m y, exceptuando la zona sur, está rodeado de montes con una altitud entre los 1.000-1.200 metros. Se puede decir que es una especie de cajón. La estación de medida está justo en el centro del valle a una altitud de 911 m.

El cálculo de las emisiones se ha realizado sobre un área de 27 km<sup>2</sup> que rodea a la estación de medida y que incluye todo el valle hasta las cotas más altas, como se ve en la siguiente imagen.

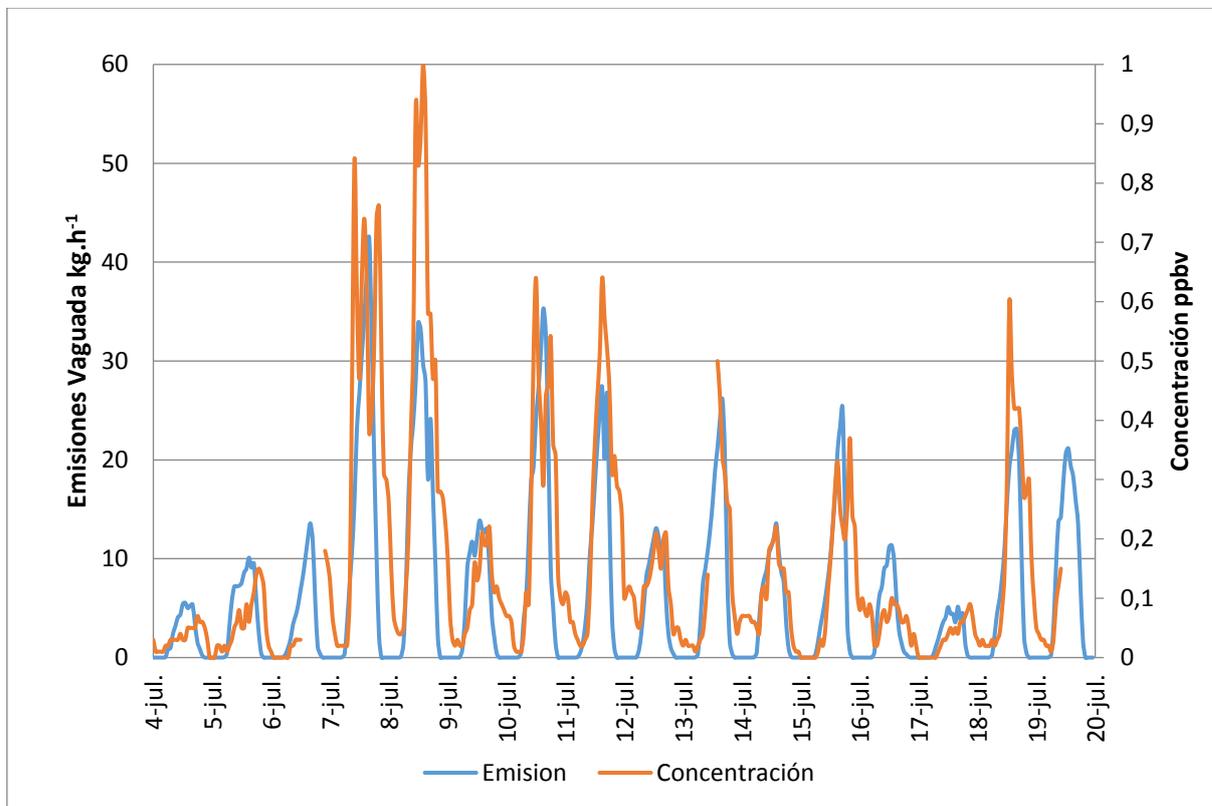


**55. Figura:** Área de emisión (27 km<sup>2</sup>) considerada alrededor de la estación de Valderejo (altitud en m)

El parque tiene un gran diversidad de vegetación donde destacan los quejigares, pinares de pino silvestre, hayedos, encinares, arbustedos, prados y también cultivos, todas ellas entremezcladas.

En el siguiente gráfico se presenta la comparativa de las emisiones de isopreno calculadas para el parque de Valderejo y las medidas de la concentración de isopreno en aire para el periodo 4 de julio – 19 julio de 2010.

**26. Gráfico:** *Comparativa Emisiones ISO Vaguada vs Medidas ISO Estación Calidad Aire Valderejo*



El análisis de este gráfico permite extraer las siguientes conclusiones:

- La forma relativa de las emisiones y de las concentraciones se parece bastante.
- El aumento de las emisiones y de las concentraciones por la mañana coincide en el tiempo.
- La disminución de la concentración en aire ambiente se da 4-5 horas más tarde que la disminución de las emisiones, una indicación del tiempo de vida del ISO en esta área.
- Los días 8, 11 y 18 de julio la concentración en aire es entre un 60-70% superior a lo esperado.
- El día 16 de julio la concentración es casi un 50% inferior a lo esperado.
- El resto de días se aprecia una buena relación entre las emisiones calculadas y las concentraciones en aire medidas.

### 3.6.4. COMPARATIVA CON OTROS INVENTARIOS

Se consideran tres inventarios como elementos de comparación, siendo el compuesto elegido para la comparativa el ISO debido a que es el de mayor emisión. Los tres inventarios son mundiales y de ellos se han extraído los valores que corresponden a Euskadi para el año 2010. El inventario presentado en esta tesis se denominará EMIGIA, para diferenciarlo del resto.

#### **MEGAN MACC**

Es un inventario de emisiones mundial de BVOC, realizado para el periodo 1980-2010 con una base mensual. Tiene una resolución de 0,5° y está disponible en la página de ECCAD (Emissions of atmospheric Compounds & Compilation of Ancillary Data) (<http://eccad.pole-ether.fr>). Este inventario se calculó utilizando MEGANv2.0 y está descrito en (Sindelarova et al. 2014).

#### **MEGAN-ECMWF-v2**

Es un inventario de emisiones global mundial realizado por BIRA-IASB (*The Royal Belgian Institute for Space Aeronomy*) y está basado en MEGAN y en MOHYCAN (modelo de comportamiento del canopio). Para ello se utilizan los datos meteorológicos de ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*). Tiene una resolución de 0,5°, está calculado en base a medias mensuales y está disponible una base histórica desde 1979 hasta 2013, la cual se puede consultar en la página (<http://tropo.aeronomie.be/models/isoprene.htm>). El desarrollo de este modelo se puede consultar en (Müller et al. 2008).

#### **INVERSO FORMALDEHÍDO (GlobEmission project)**

Es un inventario mundial de emisiones de ISO realizado dentro del proyecto GlobEmisión, calculado a partir de la inversión de los datos de columna de formaldehído extraídas del sensor GOME-2 y para el que se ha usado el modelo de transporte químico global IMAGESv2. Tiene una resolución de 0,5°, está calculado en base a medias mensuales y los resultados están disponibles para el periodo 2007-2012. Se pueden consultar en la web (<http://www.globemission.eu/data.php>). El desarrollo del modelo está descrito en el trabajo (Bauwens et al. 2013).

Hay que considerar varios aspectos a la hora de valorar la comparativa:

- La resolución de los tres inventarios es de 0,5°, que corresponde a una cuadrícula de aproximadamente 40x50 km<sup>2</sup> de área en esta latitud. Esto supone que las emisiones para todo Euskadi están representadas por solo 8 valores. La resolución de EMIGIA es de cuadrículas de 250x250 m<sup>2</sup>, que en Euskadi representan más de 120.000 valores.
- El cálculo de los tres inventarios está basado en medias mensuales y el de EMIGIA en base a periodos de 16 días, que se han prorrateado a meses para hacer la comparativa.

La comparativa es la siguiente:

**18. Tabla: Comparativa inventarios emisiones ISO para el año 2010 (Gg)**

	<b>MEGAN-ECMWF</b>	<b>MEGAN-MACC</b>	<b>HCHO INVERSO</b>	<b>EMIGIA</b>
<b>ene-10</b>	0,01	0,01	0,01	0,02
<b>feb-10</b>	0,03	0,03	0,03	0,03
<b>mar-10</b>	0,12	0,09	0,11	0,09
<b>abr-10</b>	0,34	0,37	0,33	0,33
<b>may-10</b>	0,59	0,42	0,58	0,64
<b>jun-10</b>	0,99	0,93	0,90	1,14
<b>jul-10</b>	1,90	1,80	1,69	1,61
<b>ago-10</b>	1,57	1,51	1,40	1,43
<b>sep-10</b>	0,74	0,70	0,71	0,84
<b>oct-10</b>	0,22	0,18	0,21	0,23
<b>nov-10</b>	0,04	0,03	0,04	0,05
<b>dic-10</b>	0,02	0,01	0,02	0,02
<b>TOTAL</b>	<b>6,55</b>	<b>6,09</b>	<b>6,03</b>	<b>6,42</b>

El orden de magnitud de todos los inventarios es similar y las variaciones de resultados entre ellos son inferiores al 10%. La forma de la curva anual resultante también es similar, aunque se encuentra una discrepancia en los valores de junio y julio, que puede ser causado por el prorrateo de periodos de 16 días a periodo mensual realizado en el modelo EMIGIA para la comparativa de resultados.



### **3.7. FORTALEZAS Y LIMITACIONES DEL INVENTARIO DE EMISIONES BIOGÉNICAS**

Estimar la incertidumbre del inventario realizado es bastante difícil por no decir cuasi imposible, más allá de las comparativas con otros inventarios presentadas en el apartado anterior. En las siguientes líneas se discuten los factores más importantes que contribuyen a la incertidumbre del inventario realizado:

#### ***Potencial de emisión***

El potencial de emisión es un dato crucial a la hora de calcular un inventario de emisiones. El problema radica primero en el método experimental empleado para la estimación de este potencial (*Niinemets et al. 2011*) y segundo, en los distintos factores abióticos y bióticos que hacen que este potencial varíe. Es importante que a la hora de presentar los resultados de un inventario de BVOC se defina la fuente primaria de donde se obtienen los potenciales de emisión y que esta fuente sea reconocida.

En este inventario se han utilizado los factores de emisión publicados en el artículo (*Oderbolz et al. 2013*). Hay que señalar además que los potenciales de emisión de SQT y OVOC publicados hasta la fecha tienen una alta incertidumbre debido a que se dispone de muy poca información respecto de las emisiones de estos compuestos.

#### ***Dato de usos de suelo***

Una correcta descripción de la vegetación existente en la zona de estudio es básica. Una de las fortalezas de este inventario es que emplea un mapa de usos de suelo de alta resolución. El Mapa Forestal de Euskadi IFN4 que consta de cerca de 200.000 teselas, está realizado con trabajos de fotointerpretación aérea de ortofotos del año 2009 de 25 cm de pixel. Los inventarios de emisión de BVOC que se realicen en años cercanos al 2009 tendrán una buena precisión, pero debido a que los usos de suelo van cambiando, los inventarios que se hagan para años más lejanos perderán precisión.

#### ***Densidad de Biomasa***

Uno de los aspectos desarrollados en este trabajo es el cálculo de la biomasa activa, para ello se ha propuesto *el factor de ajuste de la estacionalidad C* mediante un proceso de normalización del índice EVI. Se ha relacionado la densidad de biomasa foliar estándar con el valor del índice de vegetación EVI obtenido a partir de observaciones desde satélite. La

identificación de la cantidad de biomasa con clorofila activa es necesaria para un correcto cálculo de emisiones. Este método permite identificar las fases de crecimiento, vigor de la vegetación y caída de hoja en los árboles de hoja caduca. En los árboles de hoja perenne, permite identificar aumentos y reducciones de la actividad enzimática, que está relacionada con las emisiones.

### ***Datos de Temperatura y Radiación***

Los datos de temperatura y radiación están obtenidos de una fuente fiable como es la red de estaciones de superficie de Euskalmet, de alta densidad. La incertidumbre aumenta porque a partir de datos puntuales se han de interpolar estos datos a toda la región.

Respecto a la temperatura, se disponen de datos de una red de 80 estaciones de medida. La variable de la altitud introduce incertidumbre en la interpolación de los datos. En situaciones de estabilidad meteorológica, el factor de  $6,5\text{ }^{\circ}\text{C.km}^{-1}$  simula bien a esta variabilidad, pero en situaciones como la inversión térmica, no se ajusta bien. Hay que señalar que estas situaciones se suelen dar en épocas frías y a primeras horas de la mañana, por lo que el efecto en las emisiones se considera pequeño.

Los datos disponibles de radiación son de 30 estaciones de medida, mucho menos densos que los de temperatura y esto afecta a la calidad del mapa generado por interpolación. Situaciones de alta nubosidad concentrada en el punto de medida o, al contrario, claros con alta radiación en días nubosos pueden tener un alto impacto en el mapa generado.

### ***Modelos de Canopio***

Los modelos de canopio se usan para estimar diferentes niveles de radiación y temperatura a distintas alturas de la vegetación. Se estima que la diferencia entre el uso de modelos de canopio con temperaturas a nivel de hoja y el uso de modelos más simples puede ser de hasta un 20% (Oderbolz *et al.* 2013). Pero la complejidad del modelo de canopio (distintos perfiles de temperatura y radiación a lo largo de la altura de la vegetación) respecto de la mejora esperada en los cálculos, ha determinado su no utilización en este estudio.

## **4. EMISIONES DE TRÁFICO**



## **4.1. ANTECEDENTES DE LAS ESTIMACIONES DE LAS EMISIONES DE TRÁFICO**

Los vehículos a motor por carretera están considerados como una de las mayores fuentes de contaminación del aire urbano. La estimación de estas emisiones es importante para la planificación del transporte, modelos de calidad de aire y en general para la evaluación del impacto ambiental. La modelización de estas emisiones es la herramienta que se utiliza para dar respuesta a estas tareas.

Según la literatura, se han desarrollado diferentes modelos de emisión de contaminantes de tráfico en todo el mundo, pero los principales se han desarrollado en Europa y Estados Unidos y son los siguientes:

### ***NAEI (National Atmospheric Emissions Inventory)*** (<http://naei.beis.gov.uk>)

NAEI es el inventario nacional de emisiones del Reino Unido, y puede estimar emisiones en caliente, en frío, evaporativas y también emisiones de partículas de no escape. Es un modelo basado en la velocidad media. Dispone de una base de datos de más de 25.000 test realizados en ciclos de conducción reales europeos. Anualmente proporciona factores de emisión agregados por tipo de vehículo calculados en función de la composición y datos de tráfico del Reino Unido.

### ***COPERT (Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport)*** (<https://emisia.com/utilities/copert/>)

COPERT es un programa que se usa para calcular las emisiones contaminantes del transporte por carretera. Es un modelo basado en la velocidad media. Ha sido desarrollado para la Agencia Medioambiental Europea (EEA) con el objetivo de ayudar en la preparación de los inventarios oficiales de los países de la comunidad europea. La metodología COPERT es parte de la guía EMEP/EEA para inventarios de emisiones de contaminantes del aire.

### ***HBFEA (Handbook Emission Factors for Road Transport)*** (<http://www.hbefa.net/e/index.html>)

HBFEA se desarrolló por las Agencias de Protección Ambiental de Alemania, Suiza y Austria. Otros países como Suecia, Noruega y Francia, además del JRC (Joint Research Centre) están dando soporte a este modelo. HBFEA proporciona factores de emisión para los distintos tipos de vehículos en diferentes situaciones de tráfico, basados en las características de conducción de Alemania y Suiza.

## **ARTEMIS (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems)**

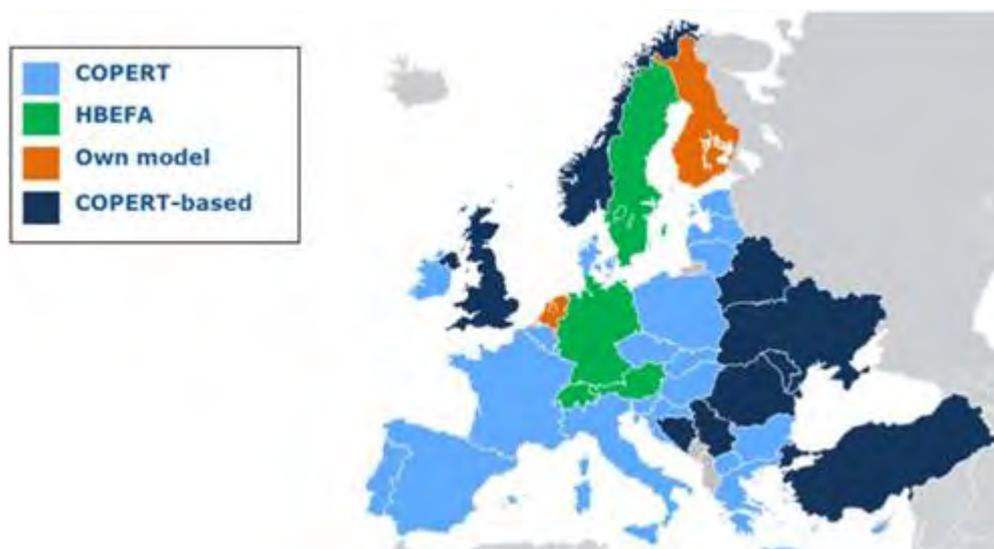
[https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/sites/roadsafety/files/pdf/projects/artemis.pdf](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/projects/artemis.pdf)

ARTEMIS es un proyecto europeo desarrollado en el quinto programa marco de la Comisión Europea. Se desarrolló entre 2000-2007 y tuvo dos objetivos principales: el primero, obtener una mejor comprensión de las causas de las diferencias entre las predicciones de distintos modelos y el segundo, desarrollar una metodología armonizada para estimar las emisiones de todos los modos de transporte a nivel nacional e internacional. El proyecto incluyó un programa de medición de emisiones, diseñado para generar una gran base de datos. Se utilizaron mediciones de muchos laboratorios europeos para examinar las razones de la variabilidad de los datos y para formar la base de una guía de «mejores prácticas» para mediciones futuras.

## **MOVES (MOTOR Vehicle Emission Simulator)** (<https://www.epa.gov/moves>)

MOVES es el modelo de la EPA (Agencia Federal de Protección Ambiental de los Estados Unidos) para estimar las emisiones de gases contaminantes de fuentes móviles. Sustituye al antiguo modelo MOBILE. Las bases de datos utilizadas están diseñadas con las flotas y modos de conducción de los Estados Unidos.

En Europa está el grupo ERMES (European Research for Mobile Emission Sources) (<https://www.ermes-group.eu/web/>), formado por instituciones, autoridades competentes y asociaciones con la misión de dar soporte a la investigación en el campo de la modelización de las emisiones de transporte. Surgió de la colaboración de los desarrolladores de los modelos COPERT y HBEFA, para facilitar el intercambio de información y la cooperación en el campo de la modelización de vehículos en carretera. Según se puede ver en la siguiente figura, estos dos modelos son los que usan mayoritariamente en Europa:



**56. Figura:** Modelos de emisión utilizados en Europa. Fuente: ERMES group

Respecto a los inventarios de emisiones de tráfico en España se han documentado diferentes experiencias, de las que se pueden destacar las realizadas en Barcelona en el Centro Nacional de Supercomputación (BSC-CNS), en la Universidad Politécnica de Madrid y los inventarios nacionales del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Todos estos inventarios son a nivel nacional y toman como referencia la metodología COPERT.

### **Centro Nacional de Supercomputación de Barcelona (BSC-CNS)**

El BSC-CNS dentro de las emisiones antropogénicas, en el apartado SNAP07, estima las emisiones del tráfico por carretera. Para ello, el programa HERMES utiliza el método Tier3 descrito en la *Guía de inventarios de emisiones de contaminantes atmosféricos EMEP (EEA 2009)*, con la incorporación completa del programa COPERT. Para las emisiones evaporativas, de desgaste de carretera, de frenos y de neumáticos, utiliza el método Tier2, también descrito en la guía EMEP (*Guevara et al. 2013*).

Los datos del tráfico los obtiene a partir de una red de más de 24.000 afloramientos de observación gestionados por organismos públicos, incluyendo información de las grandes ciudades (Barcelona, Madrid, Hospitalet, Valencia y Bilbao) y que están representados en una red digital de más 111.000 km.

### **Universidad Politécnica de Madrid**

El Ayuntamiento de Madrid en colaboración con la Fundación para el Fomento de la Innovación Industrial – Universidad Politécnica de Madrid ha realizado diversos trabajos para el Inventario de Contaminantes a la Atmósfera utilizando la metodología EMEP/EEA de la Agencia Europea de Medio Ambiente. De especial interés son las campañas experimentales de captura de matrículas con cámaras para la caracterización del parque circulante en un “vehículo tipo”, que sea representativo para el cálculo de las emisiones en el área objeto de estudio (*Ayuntamiento de Madrid 2014*).

### **Inventarios nacionales de España**

El Sistema Español de Inventario y Proyecciones de Emisiones a la Atmósfera (SEI) elabora anualmente el Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera, tanto para los gases de efecto invernadero como para otros contaminantes atmosféricos. En el capítulo de “transporte por carretera” describe la metodología COPERT como la seguida para la realización de estos cálculos y hace una estimación de las emisiones totales agregadas por vehículo y carburante (*MAPAMA 2014*).



## **4.2. INTRODUCCIÓN A LA CONTAMINACIÓN DEBIDA AL TRÁFICO**

El tráfico por carretera posibilita el movimiento de personas y bienes, permitiendo el crecimiento de la economía y creando así puestos de trabajo. Sin embargo, detrás de estos beneficios, el tráfico en carretera es una de las mayores fuentes de contaminación del aire y genera problemas tanto de salud humana como ambientales.

Algunos de los contaminantes debidos al tráfico por carretera son emitidos directamente por los vehículos, por ejemplo, el material particulado (PM) y los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), mientras que otros, como el ozono y el material particulado secundario, se forman en la atmósfera como resultado de las emisiones precursoras, como son los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles. Es difícil calcular la afección a la población de estos contaminantes ya que depende de cómo se desplacen en la atmósfera, su mezcla y como reaccionen en determinadas condiciones meteorológicas. En cualquier caso, las emisiones del tráfico en carretera son especialmente perjudiciales para la salud de la población ya que gran parte de ellas se emiten en el interior de las ciudades, cerca de donde viven y trabajan las personas (*Pastorello et al. 2016*).

Los contaminantes atmosféricos debidos al tráfico en carretera, se pueden dividir en dos grandes grupos:

a) *Contaminantes regulados* por la legislación de transporte en carretera de la EU:

- **CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono)**: es junto con el agua, el principal producto de la combustión de combustible en los vehículos a motor.
- **HC (Hidrocarburos)**: se producen por una combustión incompleta y algunos de ellos son tóxicos para la salud humana.
- **CO (Monóxido de Carbono)**: es producto de una combustión incompleta y es incoloro e inodoro, pero altamente tóxico para la salud humana.
- **PM (Material Particulado)**: es producido por una incompleta combustión y/o por una compleja mezcla de gases precursores como el SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, algunos COV etc.
- **NO<sub>x</sub> (Óxidos de Nitrógeno)**: se producen durante los procesos de combustión del motor debido principalmente al uso de aire.

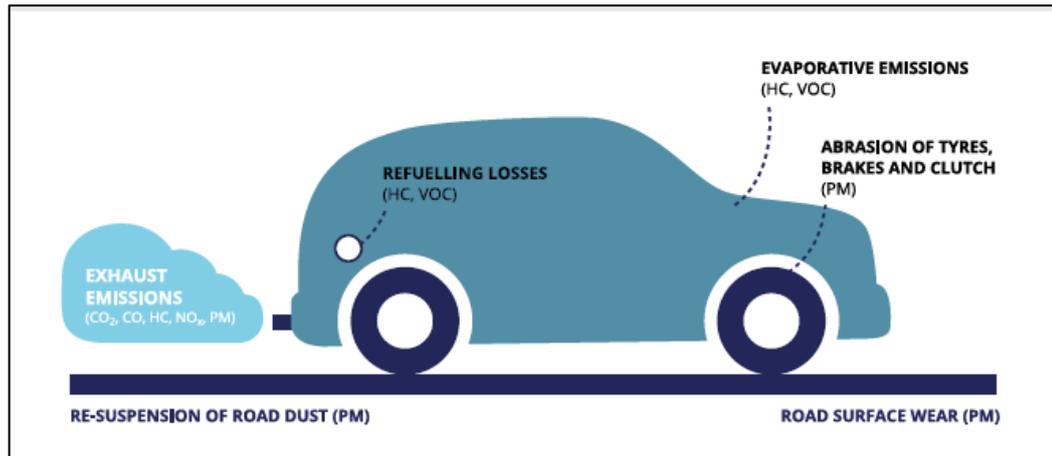
b) Los *contaminantes NO regulados* por la legislación de transporte de la EU incluyen:

- **Acidificantes** como NH<sub>3</sub>.
- **Cancerígenos y tóxicos** como PAH (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos), COP (Compuestos Orgánicos Persistentes) y dioxinas y furanos.
- **Metales Pesados** como arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, selenio zinc, etc.

#### 4.2.1. TIPOS DE EMISIONES DE TRÁFICO

Las emisiones de vehículos se pueden dividir según el siguiente esquema teniendo en cuenta solo los contaminantes regulados por la EU:

- **Emisiones de escape (CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM, CO<sub>2</sub>):**
  - o Emisiones en caliente
  - o Emisiones por arranque en frío
- **Emisiones evaporativas (HC):**
  - o Emisiones diurnas
  - o Emisiones por paradas en caliente (Hot-soak)
  - o Emisiones en circulación
  - o Emisiones en reposo
  - o Emisiones al repostar
- **Emisiones por desgaste (PM):**
  - o Desgaste de neumáticos
  - o Desgaste de frenos
  - o Desgaste de la carretera
- **Otros:**
  - o Resuspensión del polvo de la carretera
  - o Corrosión



**57. Figura:** Tipos de emisiones contaminantes en vehículos. Fuente: (Pastorello et al. 2016)

#### **4.2.1.1. Emisiones de escape**

Son las emisiones que se producen principalmente por la combustión de gasolina y diésel. Existen otras tecnologías como la combustión de gas natural (GN) y de gases licuados del petróleo (GLP) pero para este estudio no se van a considerar por ser de un uso prácticamente inexistente en Euskadi.

Tanto la gasolina como el diésel son una mezcla de compuestos que contienen básicamente hidrógeno y carbono y que al reaccionar con el oxígeno del aire producen H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>. No obstante, debido a la composición del combustible y a que la combustión no es perfecta, pueden emitir contaminantes adicionales, algunos regulados por normativa EU (CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM) y otros que no lo están. Es interesante destacar que la proporción de contaminantes emitidos es diferente si se trata de tecnología gasolina o tecnología diésel. Los vehículos gasolina destacan por sus emisiones de CO y HC, mientras que los vehículos diésel destacan por sus emisiones de NO<sub>x</sub> y PM.

La diferenciación en el tipo de emisiones en función del combustible es muy importante ya que puede ser clave para la toma de decisiones en la gestión del tráfico.

Las emisiones de escape se pueden dividir en dos tipos: emisiones en caliente y emisiones en frío.

### ***Emisiones en caliente:***

Son las emisiones que se producen cuando el motor y el sistema de post-tratamiento de gases están trabajando a temperaturas normales de operación, típicamente cuando el refrigerante del motor se sitúa entre 70-90°C y los gases de escape a unos cientos de grados centígrados.

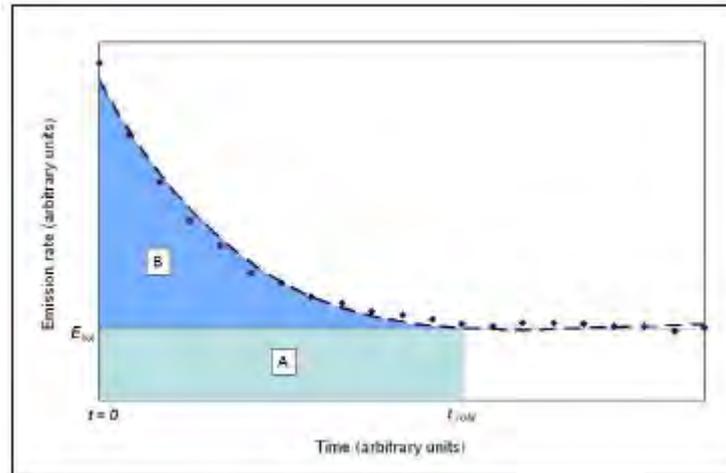
Las emisiones dependen del tipo de vehículo, el tipo de combustible, el estilo de conducción o la situación del tráfico y de las regulaciones de emisión en vigor cuando el vehículo fue registrado por primera vez, ya que esto define el tipo de tecnología de reducción de emisiones con la que el vehículo está equipado.

### ***Emisiones en frío:***

Se define como “*emisión en frío*” la cantidad de contaminantes extra que emite un vehículo con el motor a temperatura ambiente hasta que alcanza las condiciones estables de operación en caliente. Cuando un vehículo se arranca y no ha sido usado en las últimas horas, el motor y el sistema de escape estarán a temperatura ambiente. Según el motor vaya funcionando se irá calentando hasta su temperatura estable de operación. Durante este periodo, la emisión de contaminantes y el consumo de combustible son superiores a las que se producen durante la fase caliente y estable. Las razones de que esto ocurra son varias (*Boulter et al. 2009*):

- *Combustión incompleta*: al estar el motor frío el combustible condensa en las paredes y se reduce el combustible disponible. Para compensar esta pérdida se suministra más combustible del necesario y esto causa emisiones más ricas en CO e hidrocarburos (HC) no quemados.
- *Catalizador ineficiente*: el catalizador de un vehículo necesita una temperatura mínima de 300°C para funcionar adecuadamente, así que hasta llegar a esta temperatura no se produce de manera eficiente la reducción de óxidos de nitrógeno a nitrógeno y oxígeno, y el monóxido de carbono e hidrocarburos no se oxidan adecuadamente.
- *Mayor fricción*: se produce un mayor consumo de combustible como resultado de una mayor fricción entre las partes mecánicas del vehículo debido a la baja temperatura de los lubricantes y un incremento de la fricción de rodadura en los neumáticos.

En la siguiente figura se muestra una representación simplificada de la emisión de contaminantes después de un arranque. El área A representa la emisión cuando el motor y el sistema de escape del vehículo están funcionando a temperaturas normales de trabajo. El área B representa el extra de emisión cuando el motor y el sistema de escape están todavía fríos y que termina cuando se alcanza la temperatura de régimen.



**58. Figura:** Emisión en función del tiempo tras un arranque. Fuente: (André et al. 2005)

El exceso de emisión en frío depende del contaminante, de la temperatura ambiente y del estilo de conducción (Boulter 2009):

- La emisión en frío de CO y HC es alta, y es superior en los vehículos gasolina que en los vehículos diésel.
- Las emisiones en frío de NO<sub>x</sub> son similares a las emisiones en caliente (Boulter 1997).
- A menor temperatura del motor en el arranque, mayores serán las emisiones contaminantes y el consumo de combustible. Es el factor más importante a tener en cuenta a la hora de generar un inventario de emisiones en frío.
- A mayor velocidad de conducción en el periodo frío las emisiones en frío se incrementan en vehículos de gasolina, pero en cambio disminuyen en vehículos diésel (Weilenmann et al. 2005).

#### **4.2.1.2. Emisiones evaporativas**

Son las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) que proceden de la evaporación de combustible y no de la combustión, es decir, se emiten a través de componentes diferentes al tubo de escape, como pueden ser el tanque de combustible, el cárter, latiguillos, etc. Estos vapores pueden ser emitidos en cualquier momento y son muy sensibles a la temperatura ambiente. Básicamente, las emisiones evaporativas se producen en los vehículos gasolina y consisten en hidrocarburos ligeros (C<sub>4</sub> a C<sub>6</sub>). Las emisiones evaporativas en vehículos diésel se consideran despreciables debido a la presencia de hidrocarburos pesados y de muy baja volatilidad.

Se suelen considerar cinco mecanismos de emisión en la evaporación de la gasolina (Hausberger et al. 2005):

### ***Emisiones diurnas***

El incremento de la temperatura durante el día respecto de la noche hace que el vapor de la gasolina del tanque sufra una expansión térmica. Sin el mecanismo de control adecuado este incremento de volumen es expulsado a la atmósfera. A la noche, el vapor se contrae y deja sitio al aire que penetra en el depósito, permitiendo una nueva evaporación. A este efecto se le llama “respiración del depósito”.

### ***Emisiones por paradas en caliente (Hot-soak)***

Cuando un vehículo se aparca y se apaga el motor, existe una transferencia de calor del motor y escape al sistema de combustible. Este incremento de temperatura facilita la evaporación de combustible. Los vehículos viejos con carburador tienen altas emisiones de este tipo, mientras que, en los vehículos nuevos, este efecto es mucho más reducido.

### ***Emisiones en circulación***

Son las que ocurren cuando el vehículo está circulando y todo el sistema de combustible se calienta por el calor del motor y del escape.

### ***Emisiones en reposo***

Son las emisiones que ocurren por difusión, permeabilidad, filtración, fugas, etc. y no es necesario un incremento de la temperatura para que ocurran. A veces no se consideran y se incluyen en las categorías de emisiones diurnas o de paradas en caliente.

### ***Emisiones al repostar***

Son las que ocurren al llenar el tanque de gasolina y expulsar el vapor del depósito. En los vehículos nuevos hay sistemas para recuperar y controlar estas emisiones. Habitualmente se consideran como parte de la cadena de distribución y manipulación de combustibles más que de los vehículos.

### **4.2.1.3. Emisiones por desgaste**

Son las emisiones de material particulado (PM) que no proceden del escape del motor, son debidas al desgaste de distintos componentes principalmente los neumáticos, los frenos y el pavimento de la carretera. Mientras que se han hecho importantes mejoras tecnológicas para reducir las emisiones de contaminantes en el escape, no ha ocurrido lo mismo con las emisiones de partículas por desgaste (*Amato et al. 2014*). Esta falta de mejoras tecnológicas hace que su contribución al total de emisiones sea cada vez mayor en términos relativos y de esta forma, el interés en conocer mejor su impacto está aumentando.

La climatología tiene una gran importancia en estas emisiones: inviernos fríos y la utilización de neumáticos de invierno y sal para el hielo, así como temperaturas altas y poca humedad contribuyen a un incremento de PM en el aire. Por otro lado, la falta de mantenimiento de los vehículos y carreteras, así como la utilización de materiales peores y más baratos en la construcción de carreteras son factores que incrementan la emisión de este tipo de partículas.

#### **Desgaste de neumáticos**

El desgaste de los neumáticos es causado por la fricción de la cubierta de la rueda y la superficie de la carretera. Este desgaste se da principalmente durante las aceleraciones, las frenadas y los virajes en curva. El neumático es el contacto del vehículo con la carretera, ofrece tracción y absorbe las variaciones e imperfecciones de esta.

La composición de los neumáticos es una mezcla de cauchos, la mayoría de las veces confidencial, ya que los fabricantes no suelen proporcionar las composiciones exactas por motivos comerciales. El desgaste del neumático depende de varios factores, como el estilo de conducción, la tracción del vehículo, la edad, el tipo de asfalto y la meteorología. Un neumático para turismos puede durar entre 10.000 km y 60.000 km, pudiendo perder hasta el 10% de su peso total. En los camiones, la vida típica puede llegar hasta los 100.000 km. Se puede estimar que, durante el periodo de vida útil, un neumático puede perder unos cientos de gramos en motocicletas, entre 1-1,5 kg en turismos y hasta 10 kg en camiones y autobuses (*Ntziachristos et al. 2013*).

#### **Desgaste de frenos**

El desgaste de frenos se produce debido a las fuertes deceleraciones, al transformar la energía cinética del vehículo en rozamiento, que se produce entre los materiales que conforman el sistema de frenado. Al igual que en el desgaste de neumáticos, el factor de

desgaste de los frenos varía sustancialmente dependiendo del tipo, los materiales con que estén fabricados y el modo de conducción.

Hay dos tipos mayoritarios de sistemas de frenado: los frenos de disco y los frenos de tambor. En los frenos de disco, unas pastillas de freno presionan un disco de metal (normalmente de fundición gris o aluminio reforzado), que va unido al eje o rueda y transforman la energía cinética del vehículo en calor disipado, reduciendo así la velocidad. Los frenos de tambor producen la frenada mediante unas zapatas que presionan la superficie interior de un tambor rotatorio que va unido al eje o la rueda. En ambos casos, debido a este rozamiento, las pastillas y el disco o tambor se van desgastando y generan material particulado que se libera a la atmósfera.

Los turismos están equipados habitualmente con frenos de disco en el eje delantero y discos o tambores en el trasero. Los vehículos modernos además están equipados con sistemas antibloqueaje (ABS). Los vehículos comerciales tienden a usar frenos de tambor, aunque algunos fabricantes están incorporando frenos de disco.

Durante muchos años las pastillas de freno eran de fibra de amianto, que actualmente no se utiliza por motivos de salud. Hoy en día existen varios tipos de pastillas de freno:

- *Orgánicas sin amianto (NAO)*: se refieren generalmente como "orgánicas" y están hechas a partir de fibras de vidrio, caucho, kevlar y carbono.
- *Bajas en metal*: Estas pastillas están fabricadas con una mezcla similar a la orgánica, pero con un pequeño porcentaje de elementos metálicos, normalmente del 10% al 30%, para proporcionar un mejor frenado y transferencia de calor. La adición de elementos metálicos puede dar lugar a la producción de polvo de frenos y ruido añadido.
- *Semi-metálicas*: contienen una mezcla del 30% al 65% por ciento de metal y por lo general contienen lana de acero y polvo de hierro o de cobre mezclado con cargas inorgánicas. Las pastillas semi-metálicas de freno se caracterizan por ser duraderas y transferir el calor de una manera eficiente.
- *Cerámicas*: Estas pastillas están fabricadas a partir de fibras cerámicas, materiales no ferrosos, agentes de unión y pequeñas cantidades de metal. Son más silenciosas y limpias que el resto de pastillas, pero también son más caras.

En turismos y motocicletas la fuerza de frenado es mayor en las ruedas delanteras, mientras que los frenos traseros se utilizan para dar estabilidad al vehículo. Por esto las pastillas delanteras se cambian con más frecuencia que las traseras, cada 30.000 km recorridos frente a 50.000 km. En los vehículos pesados, la energía de frenado está distribuida de una forma

más equilibrada entre ejes y se estima una durabilidad de las pastillas del orden de 60.000 km (Ntziachristos et al. 2013).

### ***Desgaste de la carretera***

Es el desgaste de la superficie de la carretera causado por la fricción de los neumáticos. Existe poca información sobre los efectos del desgaste del pavimento de las carreteras en las emisiones de partículas al aire. El desgaste de la carretera depende de la composición del pavimento, su estado, el tipo de vehículos que circulan, el modo de conducción y también de las condiciones meteorológicas. Por ejemplo, en Suecia debido a que en invierno los neumáticos tienen clavos y al uso de sal para prevenir el hielo, el desgaste del pavimento es muy alto (Barlow, 2014). En Euskadi este efecto no es tan acusado.

#### ***4.2.1.4. Emisiones por otros motivos***

Existen otros motivos por los que se emiten contaminantes al aire debido al tráfico rodado. Los principales son la resuspensión de polvo acumulado en la carretera y la corrosión de los materiales que componen los vehículos.

### ***Resuspensión del polvo de la carretera***

La emisión por resuspensión se debe a que las partículas depositadas en el suelo son vueltas a poner en el aire al paso de los vehículos. No se considera en este estudio, se supone que estas partículas ya han sido emitidas por alguno de los mecanismos anteriormente descritos.

### ***Corrosión***

La degradación de los componentes de los vehículos, de los elementos de protección en las carreteras y del variado mobiliario vial, también contribuye a la emisión de material particulado al aire. Este tipo de emisión no se considera en este estudio, apenas existe información sobre estos mecanismos.

## 4.2.2. REGULACIÓN DE LA EMISIÓN DE CONTAMINANTES POR VEHÍCULOS DE CARRETERA EN LA UNIÓN EUROPEA

Desde los años 70 del siglo pasado, existe legislación europea que limita las emisiones de escape en vehículos. La normativa de emisión “EURO 1” se introdujo en 1992, y a partir de ahí las siguientes, cada vez más restrictivas, desde la EURO 2 a la EURO 6, actualmente en vigor. Esto ha llevado a los fabricantes de vehículos a la introducción de nuevas tecnologías. Como consecuencia, los vehículos actuales tienen niveles de emisión inferiores en un orden de magnitud a los de hace veinte años.

Reseñar que cuando se trata la normativa para vehículos ligeros se utiliza numeración arábica (ej. EURO 5), mientras que cuando se refiere a vehículos pesados se utiliza numeración romana (ej. EURO V) (*EMEP 2016*).

Desde el año 1992, para homologar un vehículo y analizar si cumple la normativa de emisión europea, se ha utilizado el ciclo NEDC (*New European Driving Cycle*). Este ciclo consta de una parte urbana y otra parte interurbana. El NEDC se diseñó cuando los vehículos eran más ligeros y menos potentes que los de hoy en día, de manera que el patrón de aceleraciones y velocidades que utiliza hace que los motores actuales trabajen a baja carga. Está ampliamente aceptado que el ciclo NEDC estaba desfasado y existen múltiples evidencias de que los valores de emisión medidos subestiman los niveles de emisión en condiciones de conducción real (*Barlow et al. 2009*).

La Comisión Europea ha implantado desde septiembre del 2018 el ciclo WLTP (*New Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure*). Se trata de un ciclo de pruebas más dinámico y riguroso, que espera reducir la divergencia entre la prueba y la carretera. Se ha estimado una divergencia del 49% en el consumo de combustible para el ciclo NEDC si se mantuviera en el año 2020 y se espera sea del 23% para el nuevo ciclo WLTP (*Mock et al. 2014*).

En los siguientes apartados se muestran las sucesivas normativas de emisión para los diferentes tipos de vehículos. Esta información no se debe utilizar para realizar cálculos de emisiones, pero es interesante conocer el marco normativo para tener una referencia de las mejoras esperadas en cada avance tecnológico.

## **Límites de emisión para turismos**

Para los vehículos de gasolina, existen distintas regulaciones europeas desde el año 1971 hasta el año 1992, que es cuando se implanta la norma EURO 1. A partir de este año las mejoras tecnológicas que se producen se pueden resumir en el uso del catalizador, incorporación del sensor lambda para la regulación de la inyección y mejoras en la alimentación y monitorización del tratamiento de gases. Los límites de emisión se dan en la siguiente tabla:

**19. Tabla: Normativa europea para emisiones de turismos gasolina (g.km<sup>-1</sup>)**

<b>Normativa</b>	<b>CO</b>	<b>HC</b>	<b>HC + NO<sub>x</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>PM</b>	<b>NP</b>
<b>EURO 1</b>	2,72	-	0,97	-	-	-
<b>EURO 2</b>	2,20	-	0,50	-	-	-
<b>EURO 3</b>	2,30	0,20	-	0,15	-	-
<b>EURO 4</b>	1,00	0,10	-	0,08	-	-
<b>EURO 5</b>	1,00	0,10	-	0,06	0,005	-
<b>EURO 6</b>	1,00	0,10	-	0,06	0,0045	6x10 <sup>11</sup>

Para los vehículos diésel no existió ninguna regulación hasta el año 1985, y estaban equipados con motores de inyección indirecta. En 1992, con la entrada de la norma EURO 1, se aplicaron los mismos criterios que a los vehículos de gasolina y se añadió un límite extra sobre la materia particulada. Los avances tecnológicos introducidos, según ha ido evolucionando la normativa, han sido los siguientes: utilización de catalizador, recirculación de gases de escape, sistemas de inyección directa y filtro de partículas. Los límites de emisión para turismos diésel se muestran en la siguiente tabla:

**20. Tabla: Normativa europea para emisiones de turismos diesel (g.km<sup>-1</sup>)**

<b>Normativa</b>	<b>CO</b>	<b>HC</b>	<b>HC+NO<sub>x</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>PM</b>	<b>NP</b>
<b>EURO 1</b>	2,72	-	0,97	-	0,14	-
<b>EURO 2</b>	1,00	-	0,70	-	0,08	-
<b>EURO 3</b>	0,64	-	0,56	0,50	0,05	-
<b>EURO 4</b>	0,50	-	0,30	0,25	0,025	-
<b>EURO 5</b>	0,50	-	0,23	0,18	0,005	-
<b>EURO 6</b>	0,50	-	0,17	0,08	0,0045	6x10 <sup>11</sup>

## Límites de emisión para Vehículos Comerciales Ligeros (VCL)

Los VCL a gasolina han tenido diferentes normativas EU hasta 1992, cuando se implanta la norma EURO 1. En general, las mejoras y la tecnología usada en este tipo de vehículos es la misma que la de los turismos, pero con un retraso en su implantación de 1-2 años. La siguiente tabla muestra la normativa para VCL entre 1.760-3.500 kg:

**21. Tabla: Normativa europea para emisiones de furgonetas gasolina (N1-III) (g.km<sup>-1</sup>)**

<b>Normativa</b>	<b>CO</b>	<b>HC+NO<sub>x</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>PM</b>	<b>NP</b>
<b>EURO 1</b>	6,9	1,7	-	-	-
<b>EURO 2</b>	5,0	0,8	-	-	-
<b>EURO 3</b>	5,22	-	0,21	-	-
<b>EURO 4</b>	2,27	-	0,11	-	-
<b>EURO 5</b>	2,27	-	0,082	0,005	-
<b>EURO 6</b>	2,27	-	0,082	0,0045	6x10 <sup>11</sup>

Lo comentado para los VCL gasolina se puede aplicar casi exactamente a los VCL diésel, ya que usan la misma tecnología que los turismos diésel pero con un retraso de 1-2 años:

**22. Tabla: Normativa europea para emisiones de furgonetas diesel (N1-III) (g.km<sup>-1</sup>)**

<b>Normativa</b>	<b>CO</b>	<b>HC+NO<sub>x</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>PM</b>	<b>NP</b>
<b>EURO 1</b>	6,9	1,7	-	0,25	-
<b>EURO 2</b>	1,5	1,2	-	0,17	-
<b>EURO 3</b>	0,95	0,86	0,78	0,10	-
<b>EURO 4</b>	0,74	0,46	0,39	0,06	-
<b>EURO 5</b>	0,74	0,35	0,28	0,005	-
<b>EURO 6</b>	0,74	0,215	0,125	0,0045	6x10 <sup>11</sup>

## Límites de emisión para Vehículos Pesados

La primera regulación para vehículos pesados diésel es del año 1988, pero la normativa EURO I se comienza a aplicar a partir del año 1992. Las mejoras obtenidas han sido debidas a diferentes sistemas como: uso de catalizador, reducción catalítica selectiva (SCR), filtro de partículas, recirculación de gases de escape (EGR) y sistemas de post tratamiento de gases de escape. La normativa de emisiones es diferente a la de turismos ya que no hace referencia a la distancia recorrida, sino que refiere la emisión a una unidad de trabajo (g.kwh<sup>-1</sup>).

**23. Tabla: Normativa europea para emisiones de camiones y autobuses (g.kwh<sup>-1</sup>)**

<b>Normativa</b>	<b>CO</b>	<b>HC</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>PM</b>	<b>NP</b>
<b>EURO I</b>	4,5	1,10	9,0	0,36	-
<b>EURO II</b>	4	1,10	7,0	0,15	-
<b>EURO III</b>	2,1	0,66	5,0	0,13	-
<b>EURO IV</b>	1,5	0,46	3,5	0,02	-
<b>EURO V</b>	1,5	0,46	2,0	0,02	-
<b>EURO VI</b>	1,5	0,13	0,4	0,01	8,0 x 10 <sup>11</sup>

### **Límites de emisión para Ciclomotores y Motocicletas**

Hasta junio de 1999 no se introdujo normativa europea EURO 1 para ciclomotores y motocicletas. En el año 2002 se introdujo la norma EURO 2. La norma EURO 3 se puso en marcha en el año 2006 pero solamente para las motocicletas, no tuvo impacto en los ciclomotores. En el año 2018 se ha implantado la norma EURO 4 y se espera la EURO 5 a partir de 2020.

**24. Tabla: Normativa europea para emisiones de ciclomotores (g.km<sup>-1</sup>)**

<b>Normativa</b>	<b>CO</b>	<b>HC+NO<sub>x</sub></b>	<b>HC</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>
<b>EURO 1</b>	6,0	3,0	-	-
<b>EURO 2/3</b>	1,0	1,2	-	-
<b>EURO 4</b>	1,0		0,63	0,17

**25. Tabla: Normativa europea para emisiones de motocicletas (g.km<sup>-1</sup>)**

<b>Normativa</b>	<b>CO</b>	<b>HC</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>
<b>EURO 1</b>	13,0	3,0	0,3
<b>EURO 2</b>	5,5	1,0	0,3
<b>EURO 3</b>	2,0	0,3	0,15
<b>EURO 4</b>	1,14	0,17	0,09

## Periodos de vigencia de la normativa europea

En la siguiente tabla se muestra a partir de qué año se considera la aplicación completa de las diferentes normativas EURO. Este ha sido el criterio seguido en este estudio a la hora de asignar la tecnología de un vehículo en función de su fecha de matriculación.

**26. Tabla: Diferenciación de vehículos por normativa y año de matriculación**

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Categoría y año de homologación</b>
<b>Turismos</b>	"Pre-EURO 1": previos a 1992 EURO 1: 1993 – 1996 EURO 2: 1997 – 1999 EURO 3: 2000 – 2004 EURO 4: 2005 – 2009 EURO 5: 2010 – 2014 EURO 6: 2015 –
<b>Vehículos Comerciales Ligeros (N1)</b>	"Pre-EURO 1": previos a 1992 EURO 1: 1993 – 1996 EURO 2: 1997 – 2000 EURO 3: 2001 – 2005 EURO 4: 2006 – 2009 EURO 5: 2010 – 2014 EURO 6: 2015 –
<b>Camión Rígido</b>	"Pre-EURO I": previos a 1992 EURO I: 1993 – 1995 EURO II: 1996 – 2000 EURO III: 2001 – 2004 EURO IV: 2005 – 2008 EURO V: 2009 – 2013 EURO VI: 2014 –
<b>Camión Articulado</b>	"Pre-EURO I": previos a 1992 EURO I: 1993 – 1995 EURO II: 1996 – 2000 EURO III: 2001 – 2004 EURO IV: 2005 – 2008 EURO V: 2009 – 2013 EURO VI: 2014 –
<b>Autobús</b>	"Pre-EURO I": previos a 1992 EURO I: 1993 – 1995 EURO II: 1996 – 2000 EURO III: 2001 – 2004 EURO IV: 2005 – 2008 EURO V: 2009 – 2013 EURO VI: 2014 –
<b>Ciclomotores</b>	"Pre-EURO 1": previos a 1999 EURO 1: 2000 – 2002 EURO 2: 2003 –
<b>Motocicletas</b>	"Pre-EURO 1": previos a 1999 EURO 1: 2000 – 2002 EURO 2: 2003 – 2005 EURO 3: 2006 –

### **4.3. EL TRÁFICO EN EUSKADI**

El cálculo de emisiones del tráfico rodado de un territorio requiere de un análisis detallado de la tipología y las características de los vehículos que circulan y la cantidad de kilómetros que recorren. Esto implica una adecuada caracterización del parque de vehículos que realmente se desplaza por el territorio (que suele ser diferente del parque de vehículos censado) y de los recorridos realizados (vehículos\*kilómetro). Se debe diferenciar la tipología de vehículo, el combustible utilizado y la tecnología de reducción de emisiones instalada.

El escenario ideal sería disponer de sistemas de lectura automática de matrículas que cubriera toda la red de carreteras del territorio a estudiar. El problema surge cuando los datos disponibles no son suficientes para una adecuada caracterización del tráfico y se han de realizar estimaciones basadas en experiencias previas, que introducen incertidumbres en los cálculos.

Para el análisis del tráfico en Euskadi realizado en este trabajo, se ha seguido el siguiente proceso:

- (i) Modelo de clasificación de los vehículos a partir de la metodología EMEP/EEA.
- (ii) Generación del parque de vehículos censados a partir de datos de la DGT.
- (iii) Generación de un parque circulante de vehículos a partir de los informes de tráfico de las Diputaciones Forales, estudios propios y datos de la literatura.
- (iv) A partir del mapa de carreteras de Euskadi, generación de un modelo de carreteras dividido en tramos aforados a partir de los informes de tráfico de las Diputaciones Forales.
- (v) Asignación de la cantidad de tráfico a todos los tramos aforados en el modelo de carreteras.
- (vi) Modelo de tráfico final.

#### **4.3.1. CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS**

En un inventario de emisiones de tráfico es necesario agrupar los vehículos en distintas categorías para poder analizar cuál es el efecto de su variación en el comportamiento de las emisiones. Para la clasificación del parque de vehículos, se ha partido de la metodología EMEP/EEA y se han realizado algunas modificaciones para su simplificación y adaptación a

las características propias del parque de Euskadi. Los vehículos se han dividido en cinco niveles jerárquicos:

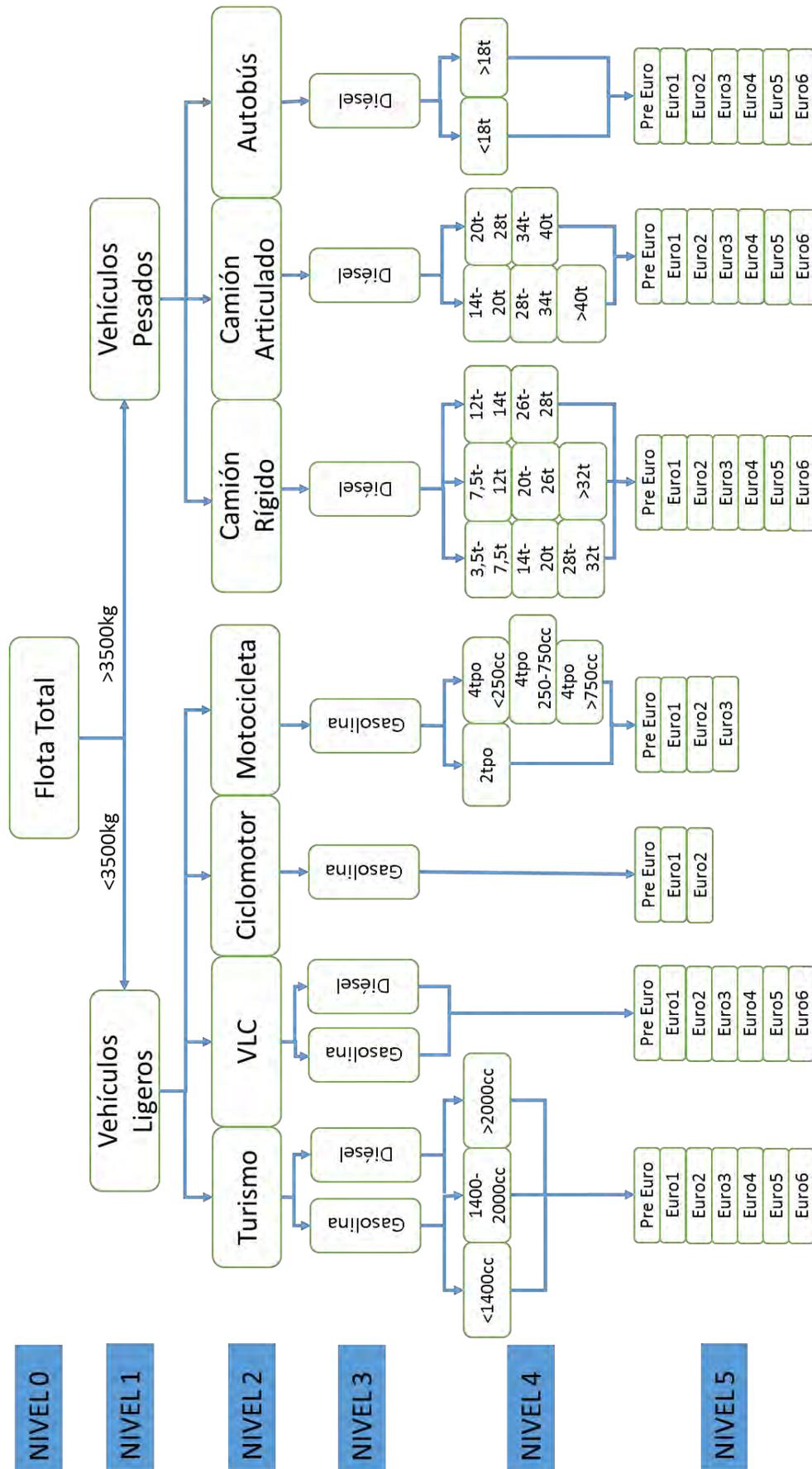
- *Nivel 1*: Vehículo ligero o vehículo pesado
- *Nivel 2*: Sector al que pertenece: turismo, vehículo comercial ligero, camión rígido, camión articulado, autobús, ciclomotor y motocicleta
- *Nivel 3*: Combustible utilizado: diésel o gasolina
- *Nivel 4*: Cilindrada o peso del vehículo
- *Nivel 5*: Tecnología de reducción de emisiones

Con el objetivo de simplificar la clasificación y que no existan grupos con muy pocos vehículos o que no se disponga de la información necesaria, se han seguido los siguientes criterios:

- Solo se contempla el uso de diésel y de gasolina como combustibles, el resto de alternativas (gas, híbridos, eléctricos) se considera residual.
- Todas las tecnologías previas a la implantación de EURO1 se han unificado en una sola llamada "Pre-EURO", con vehículos matriculados antes de 1992.
- En el *Nivel 4* los vehículos comerciales ligeros (VCL), se agrupan en un único tamaño, la categoría N1(III). No se contemplan las categorías N1(I) y N1(II) ya que habitualmente se confunden con los turismos (*Brauer 2010*).
- Los vehículos pesados solo usan diésel. Se considera residual el uso de gasolina en este tipo de vehículos.
- Las motocicletas y ciclomotores sólo usan gasolina.
- Todos los autobuses se unifican en un único sector, no se pueden diferenciar los autocares de largo recorrido y los autobuses urbanos.

Se podría plantear una última cuestión en relación con la tecnología de reducción de emisiones utilizada en los vehículos: en la segregación de Nivel 5, para un mismo estándar de emisión, los vehículos pueden usar tecnologías diferentes, pudiendo hacer necesario introducir nuevas categorías. No obstante, la información disponible no permite esta segregación.

En la siguiente figura se representa el esquema final seguido para la clasificación de los vehículos en Euskadi:



59. Figura: Clasificación del Parque de Vehículos

Para una mejor comprensión, se definen a continuación los distintos tipos de vehículos considerados:

**Turismo:** vehículo destinado al transporte de personas de al menos cuatro ruedas y máximo 9 plazas.

**Vehículo Comercial Ligero:** vehículo de uso comercial, principalmente furgoneta o camión con un peso inferior a 3.500 kg.

**Ciclomotor:** vehículo similar a la motocicleta, pero que no puede superar los 45 km.h<sup>-1</sup> de velocidad, ni los 50 cc de cilindrada. No puede circular por autopistas y autovías.

**Motocicleta:** vehículo generalmente de dos ruedas, accionados por un motor, generalmente en su rueda trasera.

**Camión Rígido:** vehículo de peso superior a 3.500 kg, diseñado para el transporte de mercancías cuya cabina y caja de carga está sobre el mismo chasis.

**Camión Articulado:** vehículo de peso superior a 3.500 kg, diseñado para el transporte de mercancías cuya cabina es independiente de la caja de carga.

**Autobús:** vehículo de peso superior a 3.500 kg diseñado para el transporte de personas.

## 4.3.2. PARQUE DE VEHÍCULOS

El “Anuario Estadístico General” que anualmente publica la Dirección General de Tráfico (DGT) proporciona información sobre el parque censado de vehículos por provincia. En este apartado se presenta la información a partir de la cual se ha generado el parque móvil censado de Euskadi (DGT 2007-2015). En la siguiente tabla se presenta la evolución del **parque móvil** global en función del tipo de vehículo:

**27. Tabla:** Parque de vehículos de Euskadi. Fuente: DGT

<b>Año</b>	<b>Turismos</b>	<b>Furgonetas</b>	<b>Camiones</b>	<b>Autobuses</b>	<b>Motocicletas</b>	<b>Ciclomotores</b>
<b>2007</b>	928.759	76.813	114.871	2.908	82.564	52.954
<b>2008</b>	939.235	76.162	118.217	2.944	90.721	52.453
<b>2009</b>	943.394	75.258	119.696	3.006	96.000	51.143
<b>2010</b>	949.655	75.351	120.500	3.055	101.448	49.553
<b>2011</b>	955.598	75.439	118.420	3.151	106.356	47.824
<b>2012</b>	955.937	75.463	115.296	3.157	109.202	46.069
<b>2013</b>	945.833	74.809	111.991	3.120	111.176	44.550
<b>2014</b>	946.694	75.392	107.569	3.178	114.901	43.649
<b>2015</b>	956.170	77.174	103.708	3.162	119.328	42.729

Del análisis del periodo 2007-2015 se puede destacar lo siguiente:

- El parque de turismos censados crece un 3%, el de autobuses un 8% y el de motocicletas un 45%.
- El parque de ciclomotores baja un 19%.
- El parque de furgonetas se mantiene estable.
- El parque de camiones creció hasta el año 2010 y después ha ido decreciendo hasta situarse en 2015, un 10% inferior que en el 2007.

La distribución de **turismos** de la DGT según su cilindrada está dividida en cuatro grupos y en la siguiente tabla se presenta su evolución:

**28. Tabla: Distribución de cilindradas de Turismos en Euskadi. Fuente: DGT**

<b>Año</b>	<b>hasta 1.199 cc</b>	<b>de 1.200 cc a 1.599 cc</b>	<b>de 1.600 cc a 1.999 cc</b>	<b>más de 1.999 cc</b>	<b>Total</b>
<b>2007</b>	86.005	299.752	450.218	92.784	<b>928.759</b>
<b>2008</b>	83.459	306.325	454.131	95.320	<b>939.235</b>
<b>2009</b>	80.332	313.824	452.591	96.647	<b>943.394</b>
<b>2010</b>	78.655	322.190	450.532	98.278	<b>949.655</b>
<b>2011</b>	77.638	328.813	449.175	99.972	<b>955.598</b>
<b>2012</b>	77.360	333.599	443.787	101.191	<b>955.937</b>
<b>2013</b>	75.064	335.454	434.819	100.496	<b>945.833</b>
<b>2014</b>	76.133	342.513	428.031	100.017	<b>946.694</b>
<b>2015</b>	81.408	352.039	421.398	101.325	<b>956.170</b>

Los turismos con cilindradas intermedias son los más comunes y corresponden a más del 80% del parque.

El parque de **furgonetas** está distribuido según la carga que puede transportar y se aprecia una tendencia a la compra de furgonetas cada vez más grandes.

**29. Tabla: Distribución de Furgonetas según carga en Euskadi. Fuente DGT**

<b>Año</b>	<b>hasta 499 kg</b>	<b>de 500 kg a 749 kg</b>	<b>de 750 kg a 999 kg</b>	<b>más de 999 kg</b>	<b>Total</b>
<b>2007</b>	17.600	39.520	10.856	8.837	<b>76.813</b>
<b>2008</b>	17.660	38.864	10.869	8.769	<b>76.162</b>
<b>2009</b>	17.506	38.190	10.917	8.645	<b>75.258</b>
<b>2010</b>	17.338	38.067	11.135	8.811	<b>75.351</b>
<b>2011</b>	17.186	37.887	11.265	9.101	<b>75.439</b>
<b>2012</b>	16.979	37.875	11.302	9.307	<b>75.463</b>
<b>2013</b>	16.446	37.151	11.273	9.939	<b>74.809</b>
<b>2014</b>	16.149	37.658	11.556	10.029	<b>75.392</b>
<b>2015</b>	15.986	38.182	12.018	10.988	<b>77.174</b>

El parque de **motocicletas** está distribuido en seis grupos, en función de la cilindrada y existe una tendencia clara de aumento de este tipo de vehículo en el parque móvil. El parque de las motocicletas de alta cilindrada ha crecido más de un 40%, pero también es reseñable que la cilindrada de 76cc-125cc ha tenido un aumento de unidades censadas del 80%.

**30. Tabla: Distribución de cilindradas de Motocicletas en Euskadi. Fuente: DGT**

<b>Año</b>	<b>hasta 75 cc</b>	<b>de 76 cc a 125 cc</b>	<b>de 126 cc a 250 cc</b>	<b>de 251 cc a 500 cc</b>	<b>de 501 cc a 750 cc</b>	<b>más de 750 cc</b>	<b>Total</b>
<b>2007</b>	4.394	24.451	22.464	8.018	15.059	8.178	<b>82.564</b>
<b>2008</b>	4.267	27.544	23.475	8.879	17.101	9.455	<b>90.721</b>
<b>2009</b>	4.203	30.495	24.019	9.435	18.016	9.832	<b>96.000</b>
<b>2010</b>	4.093	33.125	24.202	10.221	18.972	10.835	<b>101.448</b>
<b>2011</b>	4.022	35.942	24.332	10.877	19.527	11.656	<b>106.356</b>
<b>2012</b>	3.975	38.079	24.216	11.275	19.864	11.793	<b>109.202</b>
<b>2013</b>	3.785	39.793	23.736	11.550	20.081	12.231	<b>111.176</b>
<b>2014</b>	3.711	41.834	23.398	12.064	20.582	13.312	<b>114.901</b>
<b>2015</b>	3.730	44.068	23.410	12.674	21.145	14.301	<b>119.328</b>

La clasificación de los **camiones** se realiza según la carga transportable, pero no se hace distinción entre camiones rígidos y articulados. Se aprecia una tendencia generalizada a la disminución de este tipo de vehículo a partir del año 2010.

**31. Tabla: Distribución por carga de Camiones en Euskadi. Fuente: DGT**

<b>Año</b>	<b>hasta 999 kg</b>	<b>de 1.000 kg a 1.499 kg</b>	<b>de 1.500 kg a 2.999 kg</b>	<b>de 3.000 kg a 4.999 kg</b>	<b>de 5.000 kg a 6.999 kg</b>	<b>de 7.000 kg a 9.999 kg</b>	<b>más de 9.999 kg</b>	<b>Total</b>
<b>2007</b>	73.360	21.090	6.771	3.729	1.509	2.743	5.669	<b>114.871</b>
<b>2008</b>	75.711	21.723	6.953	3.694	1.552	2.811	5.773	<b>118.217</b>
<b>2009</b>	77.274	21.919	6.905	3.600	1.546	2.798	5.654	<b>119.696</b>
<b>2010</b>	78.619	21.834	6.827	3.428	1.515	2.760	5.517	<b>120.500</b>
<b>2011</b>	77.438	21.566	6.663	3.330	1.483	2.718	5.222	<b>118.420</b>
<b>2012</b>	75.661	21.035	6.478	3.230	1.436	2.601	4.855	<b>115.296</b>
<b>2013</b>	73.490	20.416	6.322	3.205	1.404	2.529	4.625	<b>111.991</b>
<b>2014</b>	70.420	20.117	5.759	3.032	1.381	2.450	4.410	<b>107.569</b>
<b>2015</b>	67.524	19.477	5.533	3.010	1.348	2.435	4.381	<b>103.708</b>

La clasificación de **autobuses** se realiza por número de plazas y año a año se ha incrementado el parque móvil de este tipo de vehículo. Es curioso reseñar que el parque de autobuses de más de 50 plazas y los de menos de 50 plazas está repartido a partes iguales.

**32. Tabla: Distribución por plazas en Autobuses en Euskadi. Fuente: DGT**

<b>Año</b>	<b>De 0 a 20 plazas</b>	<b>De 21 a 35 plazas</b>	<b>De 36 a 50 plazas</b>	<b>Más de 50 plazas</b>	<b>Total</b>
<b>2007</b>	339	772	357	1.440	<b>2.908</b>
<b>2008</b>	391	775	345	1.433	<b>2.944</b>
<b>2009</b>	405	821	360	1.420	<b>3.006</b>
<b>2010</b>	400	838	373	1.444	<b>3.055</b>
<b>2011</b>	354	867	404	1.526	<b>3.151</b>
<b>2012</b>	354	857	421	1.525	<b>3.157</b>
<b>2013</b>	345	851	435	1.489	<b>3.120</b>
<b>2014</b>	357	871	454	1.496	<b>3.178</b>
<b>2015</b>	343	837	493	1.489	<b>3.162</b>

### **Distribución por combustible**

En la siguiente tabla se presentan los datos del parque móvil segregados según el tipo de vehículo y el combustible utilizado:

**33. Tabla: Parque de vehículos según combustible en Euskadi. Fuente: DGT**

<b>Año</b>	<b>Vehículo</b>	<b>Gasolina</b>	<b>Diésel</b>	<b>Otros</b>	<b>Total</b>
<b>2007</b>	<b>Furgonetas y Camiones</b>	20.468	171.065	151	<b>191.684</b>
	<b>Autobuses</b>	25	2.882	1	<b>2.908</b>
	<b>Turismos</b>	470.078	455.967	2.714	<b>928.759</b>
	<b>Motocicletas</b>	82.489	72	3	<b>82.564</b>
<b>2008</b>	<b>Furgonetas y Camiones</b>	19.915	174.316	148	<b>194.379</b>
	<b>Autobuses</b>	26	2.917	1	<b>2.944</b>
	<b>Turismos</b>	463.386	473.413	2.436	<b>939.235</b>
	<b>Motocicletas</b>	90.642	72	7	<b>90.721</b>
<b>2009</b>	<b>Furgonetas y Camiones</b>	19.276	175.533	145	<b>194.954</b>
	<b>Autobuses</b>	25	2.980	1	<b>3.006</b>
	<b>Turismos</b>	448.496	492.816	2.082	<b>943.394</b>
	<b>Motocicletas</b>	95.901	81	18	<b>96.000</b>
<b>2010</b>	<b>Furgonetas y Camiones</b>	18.934	176.771	146	<b>195.851</b>
	<b>Autobuses</b>	21	3.033	1	<b>3.055</b>
	<b>Turismos</b>	437.239	510.633	1.783	<b>949.655</b>
	<b>Motocicletas</b>	101.341	77	30	<b>101.448</b>

<b>Año</b>	<b>Vehículo</b>	<b>Gasolina</b>	<b>Diésel</b>	<b>Otros</b>	<b>Total</b>
<b>2011</b>	<b>Furgonetas y Camiones</b>	18.389	175.318	152	<b>193.859</b>
	<b>Autobuses</b>	24	3.112	15	<b>3.151</b>
	<b>Turismos</b>	429.557	524.445	1.596	<b>955.598</b>
	<b>Motocicletas</b>	106.225	79	52	<b>106.356</b>
<b>2012</b>	<b>Furgonetas y Camiones</b>	17.948	172.635	176	<b>190.759</b>
	<b>Autobuses</b>	23	3.116	18	<b>3.157</b>
	<b>Turismos</b>	419.724	534.754	1.459	<b>955.937</b>
	<b>Motocicletas</b>	109.010	82	110	<b>109.202</b>
<b>2013</b>	<b>Furgonetas y Camiones</b>	17.131	169.497	172	<b>186.800</b>
	<b>Autobuses</b>	19	3.083	18	<b>3.120</b>
	<b>Turismos</b>	403.384	541.161	1.288	<b>945.833</b>
	<b>Motocicletas</b>	110.949	88	139	<b>111.176</b>
<b>2014</b>	<b>Furgonetas y Camiones</b>	16.286	166.482	193	<b>182.961</b>
	<b>Autobuses</b>	3	3.156	19	<b>3.178</b>
	<b>Turismos</b>	391.107	554.348	1.239	<b>946.694</b>
	<b>Motocicletas</b>	114.635	77	189	<b>114.901</b>
<b>2015</b>	<b>Furgonetas y Camiones</b>	15.946	164.648	288	<b>180.882</b>
	<b>Autobuses</b>	3	3.135	24	<b>3.162</b>
	<b>Turismos</b>	389.257	565.697	1.216	<b>956.170</b>
	<b>Motocicletas</b>	118.988	112	228	<b>119.328</b>

Del análisis de esta tabla se pueden señalar los siguientes aspectos:

- Se confirma que, en este periodo, los vehículos que no sean de motor gasolina o diésel son de uso residual en Euskadi, siendo su parque inferior al 1% del total.
- El parque de furgonetas y camiones de gasolina es de aproximadamente el 10% del total de este tipo de vehículos y se estima que la mayor parte de ellos son pequeños, por debajo de 3.500 kg.
- El porcentaje de autobuses de gasolina es residual, menor de 1%.
- Las motocicletas son en su gran mayoría de gasolina. La fracción diésel u otros no llega al 0,3%.
- Los ciclomotores se consideran todos de gasolina y no se presentan en esta tabla.
- El parque de turismos en Euskadi se ha dieselizado progresivamente en el periodo 2007-2015.

En la siguiente tabla se ve la evolución del mix gasolina/diésel del parque de turismos de Euskadi. Se ha pasado de un 50,7/49,2 a un 40,7/59,2 en ocho años siguiendo una tendencia prácticamente lineal.

**34. Tabla: % de Turismos según combustible en Euskadi**

<b>Año</b>	<b>%Gasolina</b>	<b>%Diésel</b>
<b>2007</b>	50,76%	49,24%
<b>2008</b>	49,46%	50,54%
<b>2009</b>	47,65%	52,35%
<b>2010</b>	46,13%	53,87%
<b>2011</b>	45,03%	54,97%
<b>2012</b>	43,97%	56,03%
<b>2013</b>	42,71%	57,29%
<b>2014</b>	41,37%	58,63%
<b>2015</b>	40,76%	59,24%

Con todos estos datos y utilizando la información de vehículos censados según antigüedad del Anuario Estadístico General de la DGT se propone una distribución del parque de vehículos de Euskadi, que se puede consultar en el Anexo III.

Los criterios seguidos para realizar la distribución hasta el nivel 5, requerido en la clasificación del parque de vehículos anteriormente propuesta, son los siguientes:

### **Turismos**

- En la segregación a nivel 4 (cilindrada), se ha pasado de 4 grupos (DGT) a 3 grupos (EMEP) asignando vehículos de una forma proporcional.
- Para la asignación de combustible y cilindrada se han seguido los criterios de la Base de Datos COPERT para España (EMISIA S.A. 2014).
- Para la asignación del nivel 5 (tecnología de reducción de emisiones), que es función de la fecha de primera matriculación, se ha utilizado una combinación de datos de los informes de la DGT y los utilizados por la Base de Datos COPERT España.

### **VLC**

- En este tipo de vehículos se incluyen todas las furgonetas y los camiones con carga menor de 1.500 kg.

- Se considera que todas las furgonetas y camiones gasolina son VLC.
- Para la asignación del nivel 5 (tecnología), que es función de la fecha de primera matriculación, se ha utilizado una combinación de datos de los informes de la DGT y los utilizados por la Base de Datos COPERT España.

### **Ciclomotores**

- Para la asignación del nivel 5 (tecnología), que es función de la fecha de primera matriculación, se ha utilizado una combinación de datos de los informes de la DGT y los utilizados por la Base de Datos COPERT España.

### **Motocicletas**

- Respecto de la cilindrada, se ha pasado de 6 grupos (DGT) a 3 grupos (EMEP) por simple agrupación.
- Para la segregación en motores de 2 tiempos y de 4 tiempos se han seguido los criterios de la Base de Datos COPERT España.
- Para la asignación del nivel 5 (tecnología), que es función de la fecha de primera matriculación, se ha utilizado una combinación de datos de los informes de la DGT y los utilizados por la Base de Datos COPERT España.

### **Camiones Rígidos y Articulados**

- Para este tipo de vehículo, se han considerado camiones a todos aquellos con carga útil superior a 1.500 kg, y se ha supuesto que todos son diésel.
- Para la asignación de nivel 2 (rígido o articulado) y nivel 4 (peso) se han seguido los criterios de la Base de Datos COPERT para España (*EMISIA S.A. 2014*).
- Para la asignación del nivel 5 (tecnología), que es función de la fecha de primera matriculación, se ha utilizado una combinación de datos de los informes de la DGT y los utilizados por la Base de Datos COPERT España.

### **Autobuses**

- Se ha considerado que todos los autobuses son diésel.
- No se ha realizado distinción entre autobuses urbanos e interurbanos.

- Se han considerado los autobuses de más de 50 plazas como de un peso superior a 18 t y los de menos de 50 plazas como de un peso inferior a 18 t.
- Para la asignación del nivel 5 (tecnología), que es función de la fecha de primera matriculación, se ha utilizado una combinación de datos de los informes de la DGT y los utilizados por la Base de Datos COPERT España, ya que no se dispone de los valores locales.

Una vez generada la clasificación total, se puede ver que más del 98% del parque móvil de Euskadi son vehículos ligeros y los vehículos pesados no llegan al 2%.

**35. Tabla: Parque móvil Euskadi a Nivel 1 (ligeros y pesados)**

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Ligeros</b>	1.235.540	1.256.006	1.264.988	1.276.460	1.278.279	1.283.368	1.270.274	1.271.172	1.282.398
<b>Pesados</b>	23.327	23.725	23.509	23.103	22.566	21.758	21.206	20.210	19.869
<b>TOTAL</b>	<b>1.258.867</b>	<b>1.279.731</b>	<b>1.288.497</b>	<b>1.299.563</b>	<b>1.300.845</b>	<b>1.305.126</b>	<b>1.291.480</b>	<b>1.291.382</b>	<b>1.302.267</b>

De los vehículos ligeros, en números redondos, el 74% son turismos, el 14% son VLC y el 12% son ciclomotores y motocicletas.

**36. Tabla: Parque móvil porcentual de vehículos ligeros de Euskadi**

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Turismo gasolina</b>	38,0%	36,9%	35,5%	34,3%	33,6%	32,7%	31,8%	30,8%	30,4%
<b>Turismo diésel</b>	37,1%	37,9%	39,1%	40,1%	40,7%	41,8%	42,7%	43,7%	44,2%
<b>VLC gasolina</b>	1,7%	1,6%	1,5%	1,5%	1,4%	1,4%	1,3%	1,3%	1,2%
<b>VLC diésel</b>	12,2%	12,2%	12,3%	12,3%	12,2%	12,0%	11,9%	11,8%	11,6%
<b>Ciclomotor</b>	4,3%	4,2%	4,0%	3,9%	3,7%	3,6%	3,5%	3,4%	3,3%
<b>Motocicleta</b>	6,7%	7,2%	7,6%	7,9%	8,3%	8,5%	8,8%	9,0%	9,3%

Respecto a los vehículos pesados casi la mitad son camiones rígidos.

**37. Tabla: Parque móvil porcentual de vehículos pesados de Euskadi**

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Camión Rígido</b>	49,9%	49,9%	49,7%	49,5%	49,0%	48,7%	48,6%	48,0%	47,9%
<b>Camión Articulado</b>	37,6%	37,7%	37,5%	37,3%	37,0%	36,8%	36,7%	36,2%	36,2%
<b>Autobús</b>	12,5%	12,4%	12,8%	13,2%	14,0%	14,5%	14,7%	15,7%	15,9%

Un dato importante es la cantidad de vehículos antiguos existente en el parque móvil. En la siguiente tabla se muestra el porcentaje del parque móvil por cada tipo de vehículo pre-normativa EURO que sigue operativo. En el año 2015, había más de 90.000 turismos de gasolina fuera de la normativa EURO de emisiones. Al tratarse de vehículos matriculados antes del año 1992, tienen más de 23 años. Aunque la cantidad es relativamente alta, se puede suponer que son vehículos que recorren pocos kilómetros al año y es por eso que a pesar de ser muy viejos siguen en activo.

**38. Tabla:** Porcentaje de vehículos Pre-EURO por tipo de vehículo en 2015

<b>Año 2015</b>	<b>%PRE EURO</b>
<b>Turismo gasolina</b>	23,4%
<b>Turismo diésel</b>	1,5%
<b>VLC gasolina</b>	53,7%
<b>VLC diésel</b>	12,5%
<b>Camión Rígido</b>	1,0%
<b>Camión Articulado</b>	2,3%
<b>Autobús</b>	14,0%
<b>Ciclomotor</b>	32,1%
<b>Motocicleta</b>	30,7%

### **4.3.3. ANÁLISIS DE LA CIRCULACIÓN DE VEHÍCULOS**

La estimación del kilometraje anual recorrido en una determinada área es un dato importante para una adecuada estimación de emisiones. Este kilometraje, unido a la flota de vehículos (en concreto el kilometraje que recorre cada tipo de vehículo), proporciona información sobre el tipo y la cantidad de tráfico en el área en estudio. Para gestionar adecuadamente este tipo de información se suele utilizar la variable “*vehículo-kilómetro*” (vkm) y para una modelización de la circulación es necesario conocer los siguientes parámetros:

- el número de vehículos que circulan
- el tipo de vehículos que circulan
- el recorrido que cada uno de esos vehículos realiza

La manera típica de realizar mediciones de tráfico es mediante el aforo de un determinado punto, es decir, el conteo del número de vehículos que pasan por ese punto, ya sea de forma manual o automática. Para conseguir el concepto “vehículo-kilómetro” se debe asignar ese aforo a un determinado tramo que se considere representativo, normalmente entre dos cruces. En la siguiente figura se ve como a partir de un conteo de vehículos en un punto (estación de aforo), se pasa, al multiplicar por la longitud del tramo de carretera asignado a ese aforo, a “vehículo-kilómetro”.



60. *Figura: Asignación de estación de aforo a tramo*

Las estaciones de aforos se suelen situar en puntos estratégicos escogidos, pero no todas realizan medidas de la misma calidad. Mientras que las situadas en zonas de gran tráfico realizan un conteo más exhaustivo y de mayor duración, otras se limitan al conteo durante periodos limitados de tiempo. Se pueden distinguir los siguientes tipos de estaciones comúnmente utilizadas:

- *Permanentes*: realizan un aforo continuo por medio de un contador automático durante todo el año, conociéndose de esta forma la intensidad de tráfico de cada una de las horas de todo el año.
- *De control primarias*: realizan aforos durante una semana completa cada uno o dos meses.
- *De control secundarias*: suele aforarse un día laborable completo cada dos meses.
- *De cobertura*: su finalidad es la estimación de la IMD (Intensidad Media Diaria) a partir de un único aforo anual y de duración no superior a las 24 horas.

La forma más común de representar el número de vehículos que pasan por un aforo, es la magnitud IMD. Se define como: “el número de vehículos que ha pasado por una sección de carretera durante un año dividido por 365”.

Se entiende por “*parque circulante*” a las proporciones relativas en que los vehículos de las diferentes clases participan en los distintos recorridos realizados. Este es un parámetro

fundamental a la hora de hacer un inventario de emisiones de tráfico ya que, no todos los vehículos se utilizan de la misma forma y el parque circulante puede diferir notablemente del parque móvil censado. Los principales factores que influyen en la diferente utilización de los vehículos son (Ntziachristos et al. 2008, Adra et al. 2004):

- Las características del vehículo como categoría, tamaño, combustible y edad.
- El propietario del vehículo: sexo, edad, procedencia, status.
- Tipo de uso: para transporte de personas, mercancías...

La información que comúnmente dan las estaciones de aforo es el número de vehículos que circulan por esa sección de carretera desglosado en vehículos ligeros y pesados. Ocasionalmente, se pueden encontrar estudios donde hay información sobre el tipo de vehículo que circula a nivel 2 y excepcionalmente, existen experiencias como la utilización de cámaras para la captura de matrículas, de modo que es posible caracterizar el tipo de vehículo, su combustible y su normativa EURO, adaptándolo al modelo propuesto. Experiencias de este tipo se han desarrollado en ciudades como Madrid (Ayuntamiento de Madrid 2014).

El parque circulante es un parámetro particular de cada zona y es variable en el tiempo. Son necesarios análisis periódicos exhaustivos para poder realizar inventarios de emisiones robustos. En este estudio se ha analizado el parque circulante en los diferentes niveles del modelo propuesto, siguiendo el siguiente proceso:

- (i) se modeliza la red de carreteras de Euskadi en formato SIG,
- (ii) se asigna a cada tramo modelizado el IMD correspondiente,
- (iii) se desglosa el IMD en los 5 niveles propuestos en la clasificación de vehículos.

Este trabajo se ha realizado para el periodo entre el año 2007 y el año 2015. En los siguientes apartados se detalla cómo se ha desarrollado la modelización del tráfico, cuáles han sido los datos de entrada disponibles y cuáles han sido las decisiones tomadas en el proceso.

### 4.3.3.1. Modelización de la red de carreteras

La red de carreteras de Euskadi se puede dividir en dos clases: urbana e interurbana. La urbana es competencia de los ayuntamientos y la interurbana de las diputaciones forales.

#### **Red interurbana**

Para la elaboración del modelo en SIG del tráfico interurbano se han utilizado los informes anuales generados por las tres diputaciones vascas Bizkaia, Álava y Gipuzkoa, (DFG 2016, DFB 2015, DFA 2015) y se han completado con información de la comunidad limítrofe de Burgos en la zona de Armiñón (Ministerio de Fomento 2015). Según estos informes, en Bizkaia existen 513 estaciones de aforo de las cuales 18 son permanentes, 44 primarias, 133 secundarias, 269 de cobertura, 27 en régimen de concesión y 22 telemáticas. En Gipuzkoa se dispone de 12 permanentes, 15 primarias, 16 secundarias y 166 de cobertura. En Álava se tienen 64 permanentes, 62 primarias, 8 secundarias y 340 de cobertura.

En total, se han modelizado 913 tramos interurbanos que se corresponden con una longitud de 3.307 km y cada tramo se corresponde con uno de los aforos presentados en los informes anuales. En Bizkaia se ha utilizado un modelo de carreteras suministrado por la DFB en formato SIG, donde además de las 513 estaciones de aforo se estima el tráfico en 5 tramos más. En cambio, en Gipuzkoa y Álava se ha generado un modelo nuevo considerando solo las carreteras cuyo IMD sea superior a 1.000 vehículos por día.

**39. Tabla:** Segregación por provincias de los km modelados en SIG

	<b>km modelados</b>	<b>Nº Tramos</b>
<b>Álava + Burgos</b>	857	193
<b>Bizkaia</b>	1.552	518
<b>Gipuzkoa</b>	898	202
<b>Euskadi</b>	<b>3.307</b>	<b>913</b>

#### **Red Urbana**

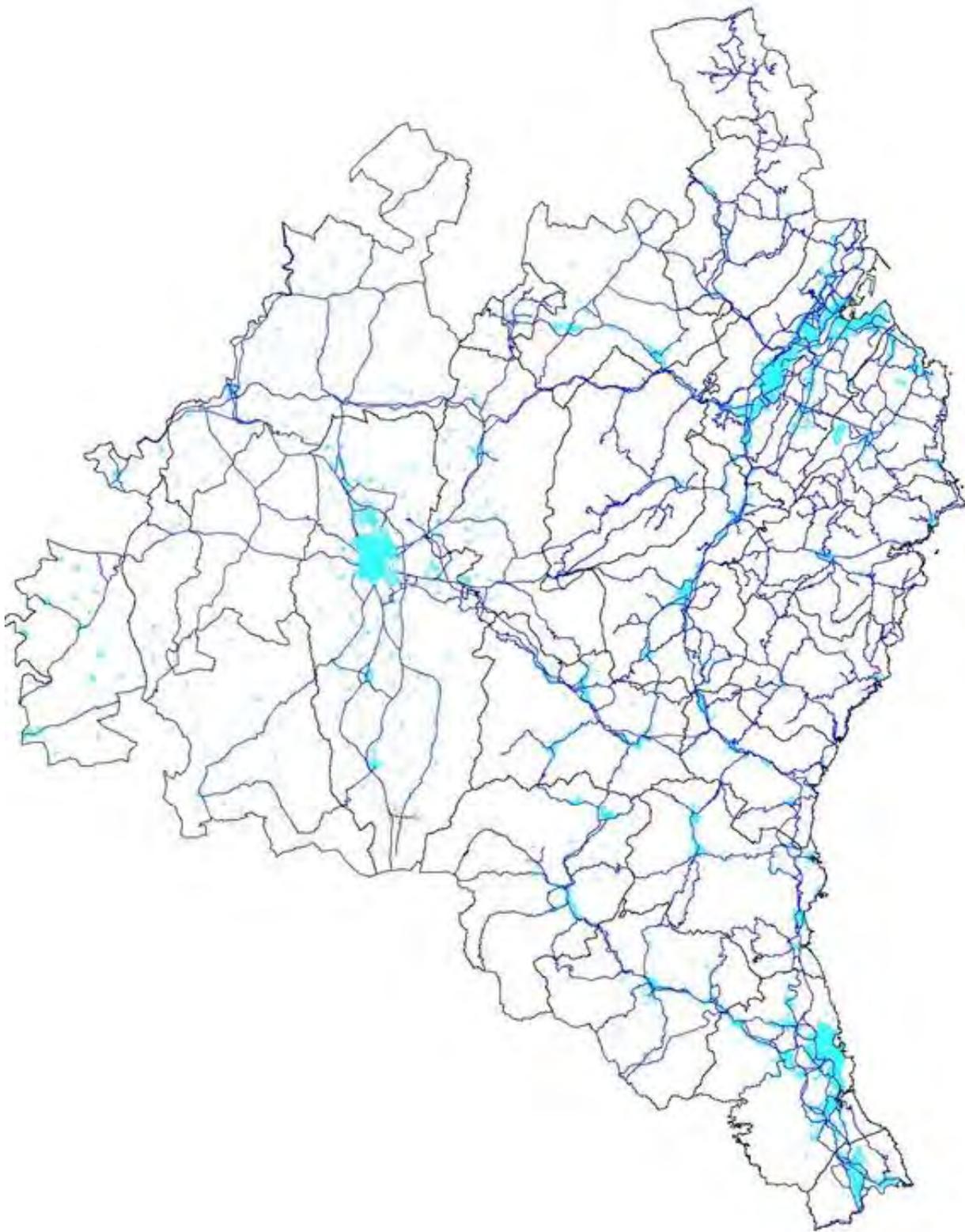
El modelo de carreteras para el tráfico urbano se ha realizado de forma diferente al del tráfico interurbano. La información de tráfico disponible en los ayuntamientos de Euskadi es bastante limitada y no todos ellos disponen de información actualizada. Por ello, la modelización del tráfico urbano se ha realizado utilizando un modelo de tráfico desarrollado por la empresa INGARTEK para el EVE (Ente Vasco de la Energía) (Ingartek Consulting Julio 2012). Este

modelo divide el territorio de Euskadi en 20 comarcas, donde se modelizan en total 4.698 km de carreteras urbanas divididas de la siguiente forma:

**40. Tabla: Carreteras urbanas modelizadas**

<b>NOMBRE</b>	<b>Longitud (km)</b>
<i>Valles Alaveses</i>	114
<i>Llanada Alavesa</i>	739
<i>Montaña Alavesa</i>	52
<i>Rioja Alavesa</i>	121
<i>Estribaciones Del Gorbea</i>	88
<i>Cantábrica Alavesa</i>	101
<i>Bajo Bidasoa</i>	191
<i>Bajo Deba</i>	100
<i>Alto Deba</i>	163
<i>Donostia-San Sebastián</i>	754
<i>Goierry</i>	160
<i>Tolosa</i>	131
<i>Urola Costa</i>	186
<i>Arratia-Nervi6n</i>	71
<i>Gran Bilbao</i>	1.159
<i>Duranguesado</i>	186
<i>Encartaciones</i>	70
<i>Gernika-Bermeo</i>	90
<i>Markina-Ondarroa</i>	46
<i>Plentzia-Mungia</i>	175
<b>EUSKADI</b>	<b>4.698</b>

En la siguiente figura se puede ver la distribuci6n espacial de las carreteras de Euskadi divididas en urbanas, en color azul claro, e interurbanas, en color azul oscuro. Las l6neas negras representan cada una de las veinte comarcas en que se ha dividido el territorio de Euskadi:



**61. Figura:** Mapa de carreteras modelizadas de Euskadi. Urbanas (claro) e Interurbanas (oscuro)

### 4.3.3.2. Nivel 1: Peso del vehículo (ligeros y pesados)

Para el cálculo del tráfico a nivel 1 (segregación en ligeros y pesados) se han hecho estudios separados, primero para el tráfico interurbano (diputaciones) y después para el tráfico urbano (ayuntamientos).

#### Tráfico Interurbano

Para el cálculo del tráfico interurbano, a cada tramo del modelo de carreteras generado se le asigna el IMD de ligeros y el IMD de pesados y se multiplica por la longitud de ese tramo y por los 365 días que tiene un año. De esta forma se obtiene el valor en vkm. Los criterios seguidos son los siguientes:

- Se supone que la intensidad de tráfico es constante en todo el tramo.
- Al no disponer de datos de aforos de Gipuzkoa en 2015, se ha optado por utilizar los datos de 2014 para ese año.

El tráfico interurbano estimado en Euskadi en millones de vkm (MMvkm) por año para vehículos ligeros desglosado por provincias es el siguiente:

41. Tabla: Tráfico interurbano de vehículos ligeros en Euskadi en MMvkm

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Álava</b>	1.850	1.833	1.775	1.775	1.755	1.712	1.688	1.694	1.710
<b>Bizkaia</b>	5.064	5.046	4.860	4.858	4.844	4.780	4.746	4.759	4.763
<b>Gipuzkoa</b>	3.237	3.233	3.299	3.217	3.228	3.176	3.176	3.171	3.171*
<b>Euskadi</b>	<b>10.151</b>	<b>10.112</b>	<b>9.935</b>	<b>9.850</b>	<b>9.828</b>	<b>9.669</b>	<b>9.610</b>	<b>9.624</b>	<b>9.646</b>

\*Los datos de Gipuzkoa de 2015 corresponden a 2014

Y lo mismo para vehículos pesados:

42. Tabla: Tráfico interurbano de vehículos pesados en Euskadi en MMvkm

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Álava</b>	430	412	353	338	334	318	310	315	321
<b>Bizkaia</b>	522	516	472	471	471	456	449	446	442
<b>Gipuzkoa</b>	686	660	565	592	598	573	561	561	561*
<b>Euskadi</b>	<b>1.638</b>	<b>1.588</b>	<b>1.389</b>	<b>1.401</b>	<b>1.402</b>	<b>1.347</b>	<b>1.321</b>	<b>1.322</b>	<b>1.324</b>

\*Los datos de Gipuzkoa de 2015 corresponden a 2014

Los datos de circulación interurbana indican que el tráfico de vehículos ligeros ha descendido un 5% y el de pesados un 19% en el período 2007-2015. Se aprecia además una brusca caída

en el año 2009 en el tráfico de pesados que se puede asociar con la crisis económica sufrida, manteniéndose más o menos constante en el periodo 2012-2015.

El tráfico de vehículos pesados representa el 12,1% del total para el año 2015, y es mayor en Álava y Gipuzkoa (15%), que en Bizkaia (8,5%).

La mayor densidad de tráfico ligero se da en el área del Gran Bilbao, más en concreto, en el puente de Rontegi y sus carreteras auxiliares, donde se dan IMD superiores a 100.000 vehículos ligeros día. La segunda zona con más tráfico de vehículos ligeros es el área de Donostia, con IMD superiores a 60.000 en algunos casos. Los grandes corredores y vías principales (A-8, N-1, ...) tienen IMD superiores a 10.000 vehículos ligeros por día.

El tráfico de vehículos pesados también señala el área del Gran Bilbao y en concreto el puente de Rontegi y sus accesos, como zona de mayor densidad con IMD con más de 10.000 vehículos por día. También se identifica la vía N-1, con IMD de vehículos pesados cercanos a esa cantidad. El tráfico de esta vía se puede interpretar como un tráfico de paso, en gran parte de vehículos no censados en Euskadi, ya que es una de las principales vías de comunicación de Europa con la Península Ibérica. En las siguientes figuras (62 y 63) se pueden ver las carreteras interurbanas que tienen una intensidad de tráfico ligero superior a 5.000 vehículos por día y un tráfico pesado superior a 500 vehículos por día.

### ***Tráfico Urbano***

Para estimar el tráfico urbano se utiliza el modelo desarrollado por INGARTEK para el EVE para la estimación del consumo de combustible en Euskadi (*Ingartek Consulting Julio 2012*). Este modelo utiliza como datos de entrada la siguiente información:

- Tráfico de la red interurbana por provincia, obtenida de las Diputaciones Forales en MMvkm.año<sup>-1</sup>.
- Estudios de Movilidad de Euskadi.
- Parque de automóviles, camiones y furgonetas de Euskadi.

Con esta información, se han desarrollado una serie de funciones mediante análisis de regresión, que permiten modelizar los flujos de tráfico ligero y pesado por comarca y por tipo de vía. La información de entrada tiene sus limitaciones:

- El tráfico interurbano se ha obtenido de los informes anuales de las Diputaciones Forales de Bizkaia, Álava y Gipuzkoa y está basado en los cálculos hechos en el apartado de tráfico interurbano.

- Los estudios de movilidad del Gobierno Vasco, a fecha de la redacción de este documento, solo están publicados para el año 2007 y 2011 (*Gobierno Vasco 2011*).
- El parque móvil utiliza la información derivada de los informes de la DGT.

El tráfico interurbano estimado en Euskadi en MMvkm por año para vehículos ligeros desglosado por provincias es el siguiente:

**43. Tabla:** Tráfico urbano de vehículos ligeros en Euskadi en MMvkm

	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
<b>Álava</b>	654	656	602	603	605	605	605	605	607
<b>Bizkaia</b>	1.682	1.688	1.556	1.559	1.562	1.562	1.490	1.490	1.495
<b>Gipuzkoa</b>	1.403	1.408	1.458	1.461	1.463	1.463	1.495	1.496	1.500
<b>Euskadi</b>	<b>3.739</b>	<b>3.751</b>	<b>3.616</b>	<b>3.623</b>	<b>3.630</b>	<b>3.630</b>	<b>3.590</b>	<b>3.591</b>	<b>3.601</b>

Y lo mismo para vehículos pesados:

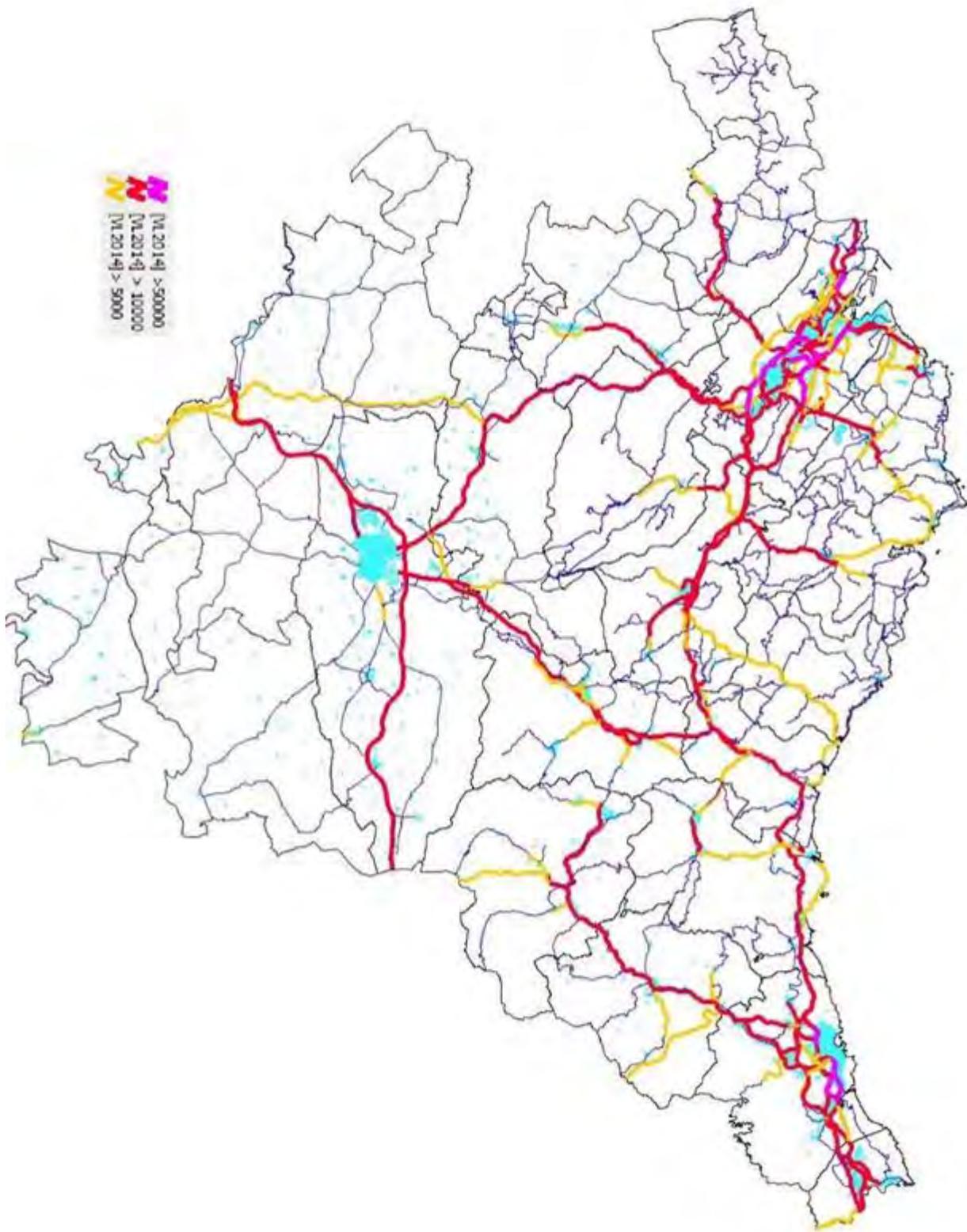
**44. Tabla:** Tráfico urbano de vehículos pesados en Euskadi en MMvkm

	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
<b>Álava</b>	19	19	17	17	17	17	17	17	17
<b>Bizkaia</b>	75	75	69	69	69	68	68	68	68
<b>Gipuzkoa</b>	82	82	76	76	76	76	76	76	76
<b>Euskadi</b>	<b>175</b>	<b>175</b>	<b>161</b>	<b>162</b>	<b>161</b>	<b>161</b>	<b>161</b>	<b>161</b>	<b>160</b>

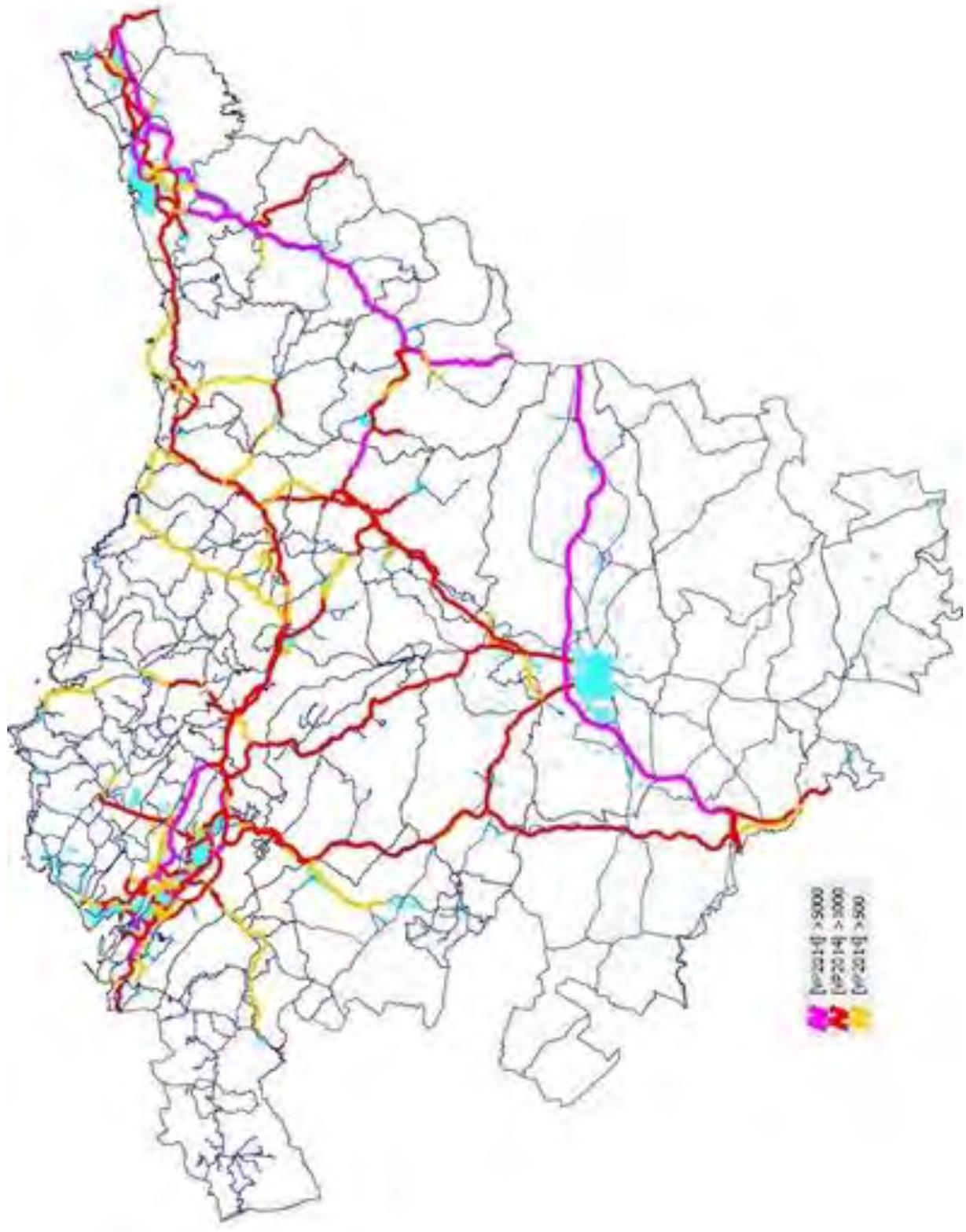
El tráfico urbano desglosado en las veinte comarcas vascas consideradas se presenta en el Anexo V.

Para calcular estos datos se ha utilizado el Estudio de Movilidad 2007, para los años 2007 y 2008, y el Estudio de Movilidad 2011, para el periodo 2009-2015. De los resultados obtenidos en el tráfico urbano se puede hacer el siguiente resumen:

- El tráfico urbano supone el 27% del tráfico total de vehículos ligeros y alrededor del 10% del tráfico total de vehículos pesados en Euskadi.
- Como no podía ser de otra forma, el tráfico urbano se concentra en las comarcas de las tres capitales vascas, con más del 75% en vehículos ligeros y más del 65% en vehículos pesados.
- El Gran Bilbao es, de las tres capitales, donde más tráfico urbano hay, con un 35 % del total en ligeros y un 33% en pesados.
- El tráfico pesado urbano representa el 4,3% del tráfico urbano total.



62. **Figura:** IMD 2014 Vehículos Ligeros > 50.000 (granate) > 10.000 (rojo) > 5.000 (naranja)



**63. Figura:** IMD 2014 Vehículos Pesados > 5.000 (granate) > 1.000 (rojo) > 500 (naranja)

### 4.3.3.3. Nivel 2: Categoría de vehículo

La segregación de Nivel 2 se hace en función del tipo de vehículo. Los vehículos ligeros se dividen en: turismo, vehículo comercial ligero, ciclomotor y motocicleta. Los vehículos pesados se dividen en camión rígido, camión articulado y autobús.

Para la segregación del **tráfico interurbano** se ha utilizado la información que suministra la Diputación Foral de Bizkaia en 18 aforos, donde se hacen campañas periódicas para esta medición. Se ha extrapolado este dato a toda la Comunidad, ya que para Gipuzkoa y Álava no se dispone de información al respecto.

45. *Tabla: Parque circulante en vías interurbanas estimado en Euskadi en %*

<b>LIGEROS</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
<b>Turismo</b>	83,8%	83,7%	83,7%	83,9%	83,9%	83,7%	83,6%	83,5%	83,5%
<b>VCL</b>	15,5%	15,7%	15,6%	15,4%	15,4%	15,5%	15,5%	15,5%	15,6%
<b>Ciclomotor</b>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>Motocicleta</b>	0,6%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,8%	0,9%	0,9%	0,9%
<b>PESADOS</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
<b>Camión Rígido</b>	39,2%	38,3%	41,0%	40,7%	50,1%	46,9%	43,8%	40,1%	38,2%
<b>Camión Articulado</b>	49,9%	50,7%	47,7%	47,7%	37,7%	39,9%	42,0%	44,6%	45,8%
<b>Autobús</b>	10,9%	11,0%	11,3%	11,6%	12,2%	13,2%	14,2%	15,3%	16,0%

Para la segregación del **tráfico urbano** no se dispone de datos oficiales. Es por ello que se han realizado tres campañas de conteo manual a Nivel 2: en junio del 2016, en enero de 2017 y en marzo de 2018. Estos conteos se hicieron en las calles de mayor tráfico urbano de Bilbao, en periodos de media hora en la franja horaria de 9 a 10 de la mañana, que es cuando se da el mayor pico de intensidad de tráfico. En junio de 2016 se tomó una muestra de aproximadamente 6.000 vehículos, en enero de 2017 de más de 23.000 vehículos y en marzo de 2018 de más de 7.500 vehículos.

El sondeo inicial de junio de 2016 ha sido el utilizado como entrada para calcular el parque circulante urbano de Euskadi y confirma la sospecha de que los parques circulantes urbano e interurbano son muy diferentes. Los sondeos de 2017 y 2018, se realizaron como contraste para validar el sondeo de 2016 y analizar su evolución. Los resultados de los tres sondeos son bastante similares, aunque se puede apreciar una bajada en los vehículos de dos ruedas y un incremento en el porcentaje de autobuses en el año 2018.

**46. Tabla: Sondeo parque circulante urbano de Bilbao**

<b>LIGEROS</b>	<b>junio 2016</b>	<b>enero 2017</b>	<b>marzo 2018</b>
<b>Turismo</b>	88,5%	88,7%	90,6%
<b>VCL</b>	8,0%	9,2%	7,5%
<b>Ciclomotor</b>	0,5%	0,15%	0,2%
<b>Motocicleta</b>	3,0%	2,0%	1,7%
<b>PESADOS</b>			
<b>Camión Rígido</b>	32,0%	31,1%	22,4%
<b>Camión Articulado</b>	3,0%	1,75%	2,7%
<b>Autobús</b>	65,0%	67,15%	74,9%

#### **4.3.3.4. Nivel 3: Combustible**

En el nivel 3 se segregan los vehículos circulantes en función del combustible que usan, gasolina o diésel. Esta segregación solo se produce en las categorías de turismos y de vehículos comerciales ligeros. En el resto de categorías no se aplica, ya que solo usan un tipo de combustible. Generalmente los usuarios de vehículos diésel hacen un uso más intensivo que los de los vehículos de gasolina y esto hace que difiera el parque móvil del parque circulante. Este detalle ha de ser tenido en cuenta y por eso se utiliza lo que se denomina un factor de uso (*Ntziachristos et al. 2008*).

Para generar el parque circulante a nivel 3, se parte de los datos a nivel 2 y se desglosan según el parque móvil censado anteriormente calculado, pero se ponderan los porcentajes aplicando una corrección, según los factores de uso que se presentan en la siguiente tabla:

**47. Tabla: Factor de uso por combustible**

<b>TURISMO</b>	
<b>Gasolina</b>	0,8
<b>Diésel</b>	1,4
<b>VEHICULO COMERCIAL LIGERO</b>	
<b>Gasolina</b>	0,5
<b>Diésel</b>	1,2

#### 4.3.3.5. Nivel 4: Tamaño del vehículo

Partiendo del nivel 3, en el nivel 4 se segregan los vehículos en función de su tamaño. También se utiliza un factor de uso ya que, dependiendo de su tamaño, los vehículos se utilizan más o menos. Esta es otra diferencia a tener en cuenta entre el parque móvil y el parque circulante. Para la segregación se utilizan los porcentajes del parque móvil censado y se ponderan con los siguientes factores de uso (Ntziachristos et al. 2008):

48. Tabla: Factor de uso por tamaño vehículo

<b>TURISMO GASOLINA</b>	
<1,4 cc	0,70
1,4-2,0 cc	0,88
>2,0 cc	0,94
<b>TURISMO DIÉSEL</b>	
<1,4 cc	1,30
1,4-2,0 cc	1,36
>2,0 cc	1,10
<b>CAMIÓN RÍGIDO</b>	
<7,5 t	0,60
7,5-14 t	0,70
14-20 t	0,80
>20 t	0,90
<b>CAMIÓN ARTICULADO</b>	
14-34 t	1,50
>34 t	1,90
<b>AUTOBÚS</b>	
≤18 t	0,93
>18 t	1,37
<b>MOTOCICLETA</b>	
<250 cc	0,80
250-750 cc	1,00
>750 cc	1,30

#### **4.3.3.6. Nivel 5: Tecnología del vehículo.**

La segregación a nivel 5 se hace en función de la edad del vehículo. Habitualmente, cuanto un coche es más viejo, menos se usa. La fecha de primera matriculación está relacionada con la tecnología de reducción de emisiones (EURO) de que dispone el vehículo. En un grupo de vehículos de la misma tecnología, los que se usan mucho y hacen un kilometraje anual mayor, se dan de baja antes y se retiran de la circulación debido a su mayor desgaste. Esto hace que al pasar los años solo quedan los vehículos que se usan menos. El efecto es, que cuanto más antigua es la tecnología de reducción de emisiones, el uso de ese tipo de vehículo es menor (Caserini et al. 2013).

En este estudio se ha utilizado el factor de uso de la base de datos de COPERT ESPAÑA (EMISIA S.A. 2014):

**49. Tabla: Factor de uso por tecnología de reducción de emisiones**

<b>Tecnología</b>	<b>Factor de uso nivel 5</b>					
<b>PreEURO</b>	0,45	0,51	0,58	0,67	0,76	0,87
<b>EURO 1</b>	0,51	0,58	0,67	0,76	0,87	1,00
<b>EURO 2</b>	0,58	0,67	0,76	0,87	1,00	-
<b>EURO 3</b>	0,67	0,76	0,87	1,00	-	-
<b>EURO 4</b>	0,76	0,87	1,00	-	-	-
<b>EURO 5</b>	0,87	1,00	-	-	-	-
<b>EURO 6</b>	1,00	-	-	-	-	-

Para utilizar adecuadamente la tabla anterior, se parte de la última tecnología disponible el año en que se quieren calcular las emisiones y a esa tecnología le corresponde el factor 1. Las tecnologías previas tienen un factor de uso menor. Por ejemplo, si ya está vigente la normativa EURO 6, un vehículo de normativa EURO 1 se usa aproximadamente la mitad (0,51) que un vehículo nuevo. De esta forma lo que se consigue es reflejar que un vehículo nuevo recorre más kilómetros al año que un vehículo antiguo y se tenga en cuenta a la hora de calcular el parque circulante.

### 4.3.3.7. Parque circulante de Euskadi por categoría de vehículos

Para obtener el vehículo circulante tipo por categoría, se multiplica el parque móvil por los factores de uso de combustible, de tamaño y de tecnología, según la siguiente fórmula:

$$\text{Parque Circulante } (i) = \text{Parque movil}(i) \times f_{com} (i) \times f_{tam}(i) \times f_{tec}(i)$$

Siendo:

$(i)$ : la categoría del vehículo

$f_{com}$ : el factor de uso por combustible

$f_{tam}$ : el factor de uso por tamaño

$f_{tec}$ : el factor de uso por tecnología de reducción de emisiones

Una vez multiplicado el parque móvil por los factores de uso y llevándolo a porcentaje se obtiene por cada categoría un mix de tecnologías que representa el vehículo equivalente que cada año recorre las carreteras de Euskadi. El parque circulante resultante se puede consultar en el Anexo IV.

A modo de ejemplo, en la siguiente tabla se puede ver la diferencia que existe entre el parque censado de vehículos con normativa Pre-EURO y la estimación que se hace del peso en circulación real de esta clase de vehículos para el año 2015. Si tomamos el caso de turismos gasolina, aunque el 23,4% de todos los turismos gasolina censados en 2015 sean de normativa pre-EURO, si se hiciera un conteo en la circulación real de este tipo de vehículos se estima que de 100 turismos gasolina contados solo 16 serían Pre-EURO.

**50. Tabla:** Comparativa parque censado vs parque circulante para vehículos Pre-EURO en 2015

<b>%PreEURO</b>	<b>% Parque censado 2015</b>	<b>%Parque circulante 2015</b>
<b>Turismo gasolina</b>	23,4%	16,2%
<b>Turismo diésel</b>	1,5%	0,9%
<b>VLC gasolina</b>	53,7%	44,2%
<b>VLC diésel</b>	12,5%	8,2%
<b>Camión Rígido</b>	1,0%	0,6%
<b>Camión Articulado</b>	2,3%	1,3%
<b>Autobús</b>	14,0%	8,6%
<b>Ciclomotor</b>	32,1%	26,8%
<b>Motocicleta</b>	30,7%	23,0%

La identificación del parque circulante es un tema clave para el cálculo de emisiones y se requiere que el estudio realizado sea detallado y particularizado para el área en estudio si se quieren obtener resultados fiables.

#### **4.3.3.8. Velocidades**

Para estimar las velocidades medias de circulación en los tramos interurbanos se han utilizado datos tanto de los informes de tráfico de las Diputaciones Forales como de la herramienta de tráfico de Google Earth. Los datos de velocidades son bastante incompletos y muchos aforos no disponen de esta información. La dinámica de asignación de velocidades ha seguido el siguiente orden:

- (i) Utilizar datos de las Diputaciones Forales
- (ii) Datos de velocidad en Google Earth
- (iii) En carreteras limítrofes dar continuidad a las velocidades
- (iv) Asignar una velocidad media  $10 \text{ km.h}^{-1}$  menor que el límite de la carretera

El cálculo de la velocidad media en el medio urbano es más difícil y menos estable que en el interurbano. Existen varios factores (semáforos, pasos de peatones etc.) que tienen influencia en este cálculo. En este estudio se ha utilizado en todo el tráfico urbano una velocidad media de  **$15 \text{ km.h}^{-1}$** .

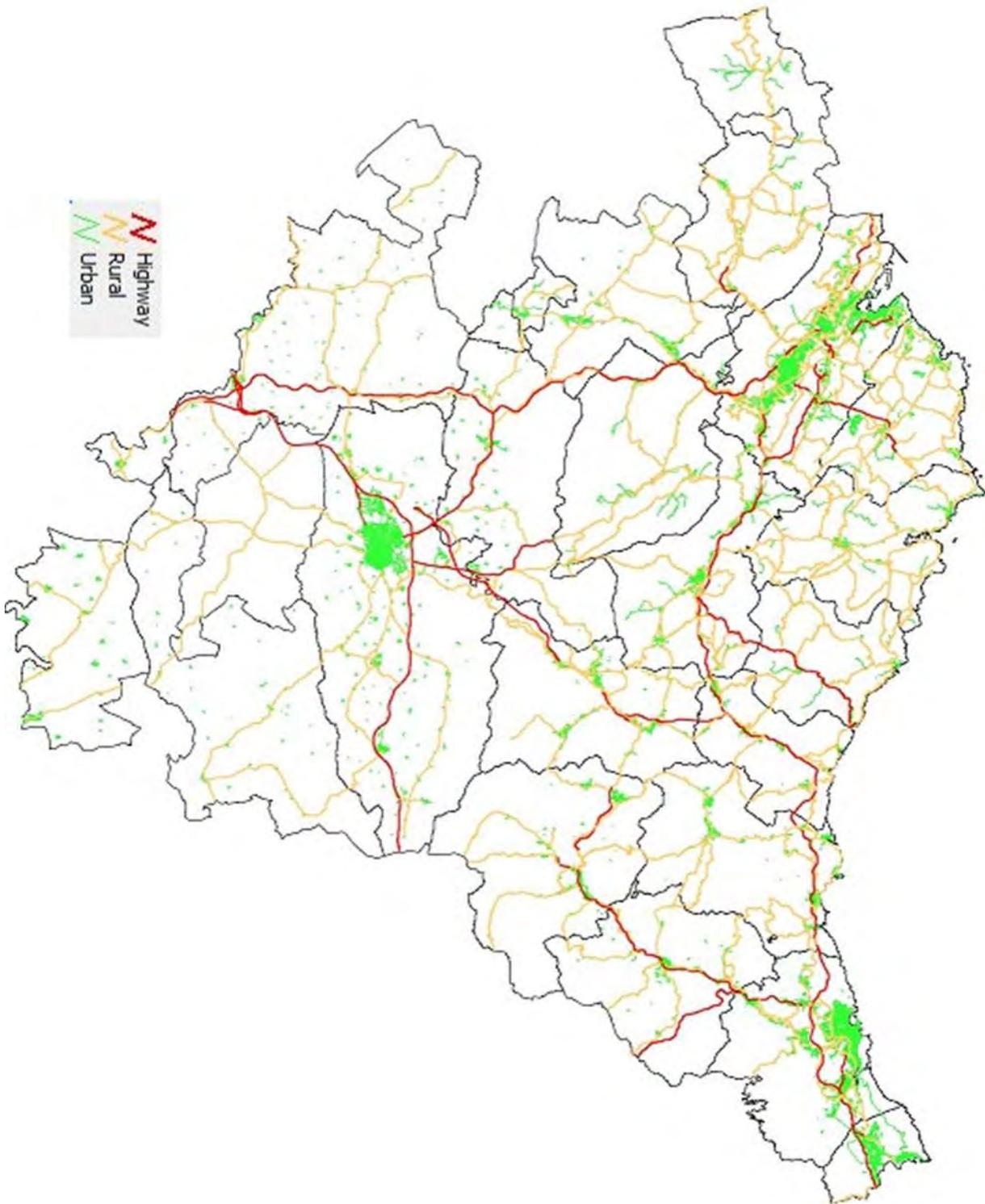
Una forma genérica de agrupar las velocidades es por el tipo de conducción: highway, rural y urban, utilizada por el programa COPERT:

**Highway:**  $\text{velocidad} \geq 90 \text{ km.h}^{-1}$

**Rural:**  $40 \text{ km.h}^{-1} < \text{velocidad} < 90 \text{ km.h}^{-1}$

**Urban:**  $\text{velocidad} \leq 40 \text{ km.h}^{-1}$

Utilizando este criterio se puede ver el mapa de velocidades de las carreteras de Euskadi en la imagen siguiente:



**64. Figura:** Tipo de conducción en las carreteras de Euskadi

#### **4.3.3.9. Caracterización temporal del tráfico**

En este apartado se propone una caracterización horaria del tráfico de Euskadi. En los apartados anteriores se ha analizado la circulación usando datos anuales, pero en algunos casos es interesante conocer las variaciones según el mes del año, si es día festivo o laborable, o si es de noche o de día. El objetivo es calcular la IH (Intensidad Horaria) de cualquier hora del año, a partir del IMD anual aplicando unos coeficientes correctores. La fórmula que se propone es la siguiente:

$$IH (hora, día, mes) = IMD \times Cmes \times Cdía \times Chora$$

Donde:

<i>IH (hora, día, mes):</i>	<i>Intensidad horaria</i>	<i>(nºvehículos.h<sup>-1</sup>)</i>
<i>Cmes:</i>	<i>Coficiente mensual</i>	
<i>Cdía:</i>	<i>Coficiente diario</i>	
<i>Chora:</i>	<i>Coficiente horario</i>	

Para ello, en el Grupo de Investigación Atmosférica de la Universidad del País Vasco (GIA) se desarrolló un modelo que divide el tráfico de Euskadi en diferentes tipos según el comportamiento estacional. El desarrollo y justificación de este modelo dio lugar a un Proyecto Fin de Carrera (*De la Torre 2014*) dirigido por la profesora de la Escuela de Ingenieros de Bilbao Estíbaliz Sáez de Cámara.

Las distintas variaciones en el comportamiento del tráfico en las carreteras de Euskadi se pueden agrupar en 4 tipos o categorías:

- **Tipo1:** Vías que muestran una reducción alta de Vehículos Ligeros en los días no laborables.
- **Tipo2:** Vías que muestran una reducción media de Vehículos Ligeros en los días no laborables.
- **Tipo3:** Vías con poca variación de Vehículos Ligeros entre días laborales y no laborables.
- **Tipo4:** Vías que muestran un incremento de Vehículos Ligeros los días no laborables.

Realizado el mismo estudio en los Vehículos Pesados no se llega a ninguna conclusión. El comportamiento de estos vehículos es más complejo y poco predecible. Las razones pueden ser varias: por un lado, diferentes resoluciones del Gobierno Vasco establecen medidas que regulan el tráfico de pesados, especialmente en días festivos y por otro lado este tipo de tráfico

está sujeto a la variabilidad de la actividad de zonas industriales y a diferentes itinerarios en la circulación del transporte internacional.

Como criterio, se han tomado los vehículos ligeros como referencia para realizar la caracterización temporal del tráfico, que siguen un patrón más estable y suponen el 89-90% del tráfico total.

### ***Coefficiente Diario:***

El cálculo de los coeficientes diarios se ha desglosado en laborables y festivos (sábados, domingos y festivos) y se ha de cumplir la siguiente fórmula:

$$5 \times C_{laborable} + 2 \times C_{festivo} = 7$$

Los coeficientes calculados para cada tipo de vía son los siguientes:

**51. Tabla: Coeficientes Diarios**

<b><i>Coeficientes Diarios</i></b>	<b><i>Tipo1</i></b>	<b><i>Tipo2</i></b>	<b><i>Tipo3</i></b>	<b><i>Tipo4</i></b>
<b><i>Ligeros Laborable</i></b>	1,11	1,07	1,01	0,96
<b><i>Ligeros Festivo</i></b>	0,72	0,82	0,97	1,10
<b><i>Pesados Laborable</i></b>	1,30	1,26	1,23	1,20
<b><i>Pesados Festivo</i></b>	0,25	0,35	0,42	0,50

### ***Coefficiente Mensual:***

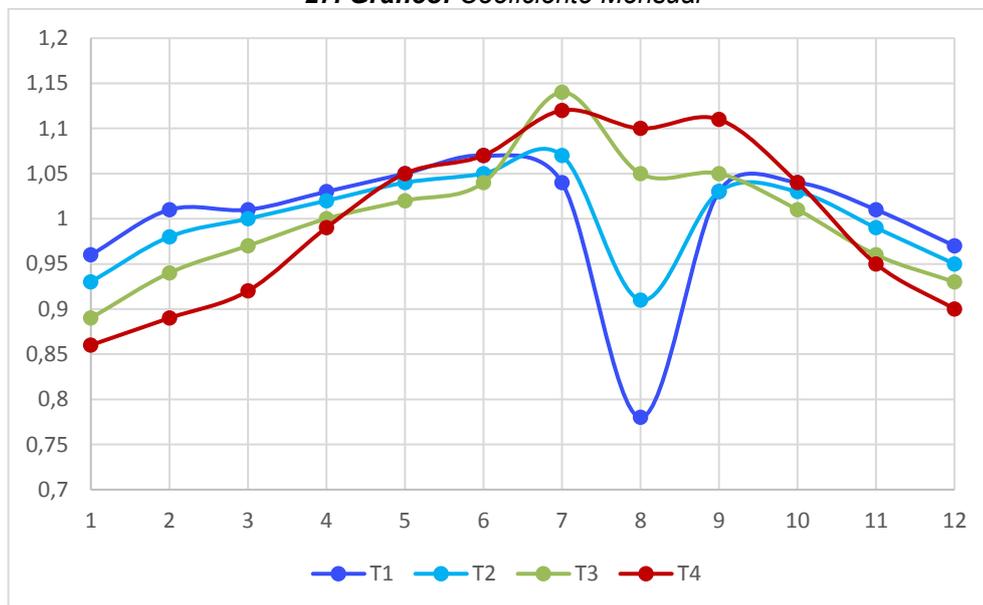
Para calcular los coeficientes mensuales se ha procedido a comprobar si la misma agrupación (T1 a T4) es válida para representar la variabilidad mensual. Esta hipótesis se basa en suponer que, si una vía se utiliza más en festivo, también se usa más en los meses de verano. Una vez realizado el análisis se demuestra que utilizando esta clasificación no se encuentra una variabilidad superior al 16% y se da por válida la hipótesis. Los coeficientes mensuales calculados son los siguientes:

52. Tabla: Coeficiente Mensual

MES	Tipo1	Tipo2	Tipo3	Tipo4
1	0,96	0,93	0,89	0,86
2	1,01	0,98	0,94	0,89
3	1,01	1,00	0,97	0,92
4	1,03	1,02	1,00	0,99
5	1,05	1,04	1,02	1,05
6	1,07	1,05	1,04	1,07
7	1,04	1,07	1,14	1,12
8	0,78	0,91	1,05	1,10
9	1,03	1,03	1,05	1,11
10	1,04	1,03	1,01	1,04
11	1,01	0,99	0,96	0,95
12	0,97	0,95	0,93	0,90

Si se representa gráficamente esta tabla se pueden analizar visualmente sus variaciones:

27. Gráfico: Coeficiente Mensual



Los tipos de vía T1 y T2 están ligados a la actividad laboral y presentan una fuerte caída en el mes de agosto. El tipo T3 tiene una intensidad de tráfico bastante homogénea todo el año, aunque presenta un pico el mes de julio. Se trata básicamente de zonas costeras donde es notable la influencia de las salidas vacacionales. El tipo T4 son vías de zonas montañosas y de conexión de municipios de baja población, donde se produce un incremento de tráfico durante el periodo estival.

## **Coeficientes Horarios**

Con la información disponible sobre intensidad horaria del tráfico, que es bastante limitada, se han tomado las siguientes consideraciones:

- El perfil horario de todos los tipos de carretera (T1 a T4) es muy similar.
- Los vehículos ligeros y los pesados siguen patrones distintos.
- Se han segregado los días no laborables, sábados y domingos, porque sus perfiles son muy distintos. Los sábados comienza antes la circulación a la mañana, y los domingos hay más circulación a última hora del día, al anochecer.

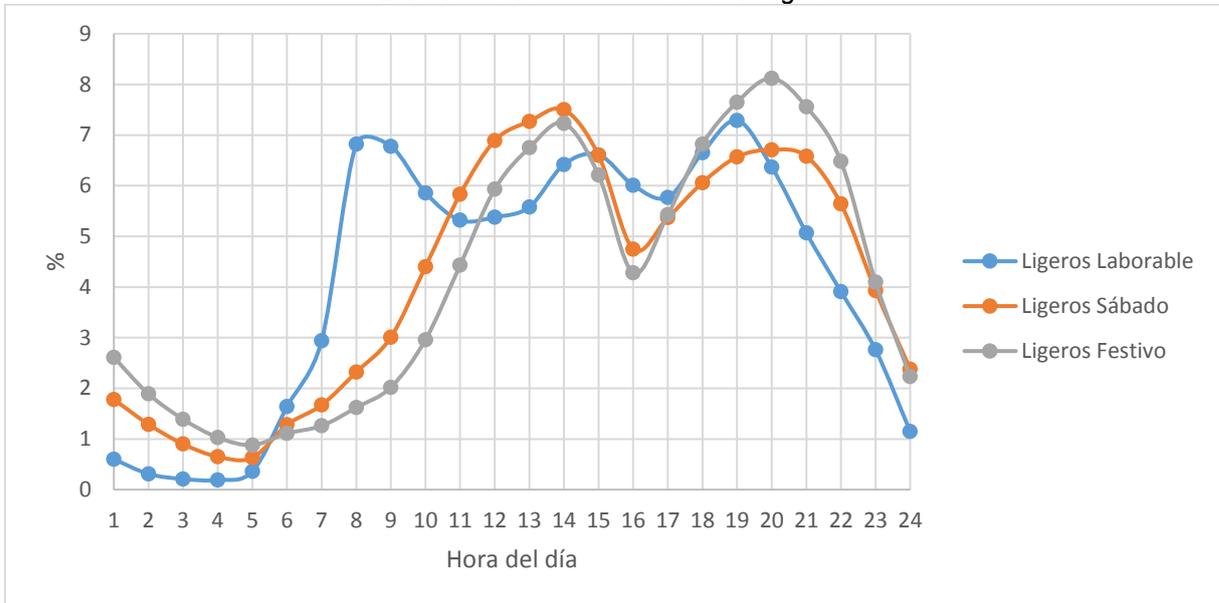
Con estos criterios se proponen los siguientes coeficientes horarios en % por hora, es decir la suma de 24 horas ha de dar el 100% de la intensidad diaria.

**53. Tabla: Coeficiente Horario**

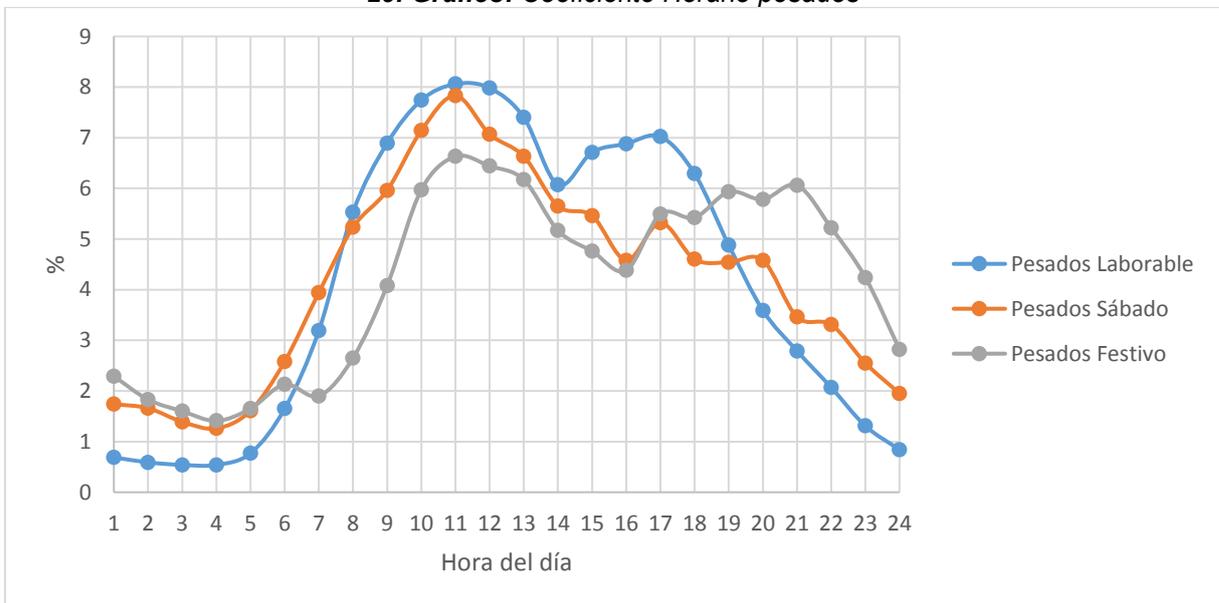
<b>Hora</b>	<b>Ligeros Laborable</b>	<b>Ligeros Sábado</b>	<b>Ligeros Festivo</b>	<b>Pesados Laborable</b>	<b>Pesados Sábado</b>	<b>Pesados Festivo</b>
<b>1</b>	0,60	1,78	2,61	0,69	1,74	2,29
<b>2</b>	0,31	1,29	1,89	0,59	1,66	1,83
<b>3</b>	0,21	0,90	1,39	0,54	1,39	1,60
<b>4</b>	0,19	0,65	1,03	0,54	1,26	1,41
<b>5</b>	0,36	0,63	0,88	0,77	1,61	1,65
<b>6</b>	1,64	1,28	1,11	1,65	2,58	2,13
<b>7</b>	2,94	1,67	1,26	3,19	3,94	1,90
<b>8</b>	6,82	2,32	1,62	5,53	5,23	2,65
<b>9</b>	6,78	3,01	2,02	6,89	5,96	4,08
<b>10</b>	5,86	4,40	2,96	7,74	7,14	5,97
<b>11</b>	5,32	5,83	4,43	8,06	7,83	6,63
<b>12</b>	5,38	6,89	5,93	7,98	7,07	6,44
<b>13</b>	5,58	7,27	6,75	7,40	6,63	6,17
<b>14</b>	6,42	7,50	7,23	6,07	5,65	5,17
<b>15</b>	6,61	6,60	6,21	6,71	5,46	4,76
<b>16</b>	6,01	4,75	4,28	6,88	4,58	4,38
<b>17</b>	5,77	5,37	5,43	7,02	5,32	5,49
<b>18</b>	6,65	6,06	6,82	6,29	4,60	5,42
<b>19</b>	7,29	6,57	7,65	4,88	4,54	5,93
<b>20</b>	6,37	6,71	8,12	3,59	4,58	5,78
<b>21</b>	5,07	6,58	7,56	2,79	3,46	6,06
<b>22</b>	3,91	5,64	6,48	2,07	3,31	5,22
<b>23</b>	2,76	3,93	4,10	1,31	2,55	4,24
<b>24</b>	1,15	2,38	2,23	0,84	1,95	2,82

En las siguientes gráficas se puede ver la variación del tráfico durante las distintas horas del día, desglosado en ligeros-pesados, y laborable-sábado y domingo, para una mejor comprensión:

28. Gráfico: Coeficiente Horario ligeros



29. Gráfico: Coeficiente Horario pesados



Una vez definido el modelo se clasifican las distintas carreteras en función del comportamiento del tráfico. El criterio seguido ha sido asignar el tipo a partir de la información de aforos disponible y si no existe, asignarlo manualmente siguiendo criterios de continuidad y de cercanía espacial.

Los tipos de vía T1 y T2 son mayoritarios, y son los típicos de zonas industriales. Las zonas que vertebran la autopista A8, Gran Bilbao, Duranguesado y Alto y Bajo Deba son las zonas mayoritarias Tipo 1. La N-1 es el eje donde se vertebran las zonas tipo T2 incluyendo Vitoria y Donosti. Las zonas Tipo 3 son zonas de costa como Plentzia y Gernika y zonas de paso para fin de semana como Encartaciones. Las zonas Tipo 4 son zonas menos accesibles y de tipo rural como la zona montañosa de Álava.

Las zonas tipo T1 y T2 son el 66% de los kilómetros, pero se corresponden con el 77% del tráfico real. Las zonas tipo 3 son el 23% de los kilómetros y se corresponden con el 19% del tráfico. Las zonas tipo 4, aunque son muchos kilómetros, casi el 10% del total, el tráfico real existente, es muy bajo y no llega al 3% del total.

**54. Tabla: % de cada tipo en vías interurbanas**

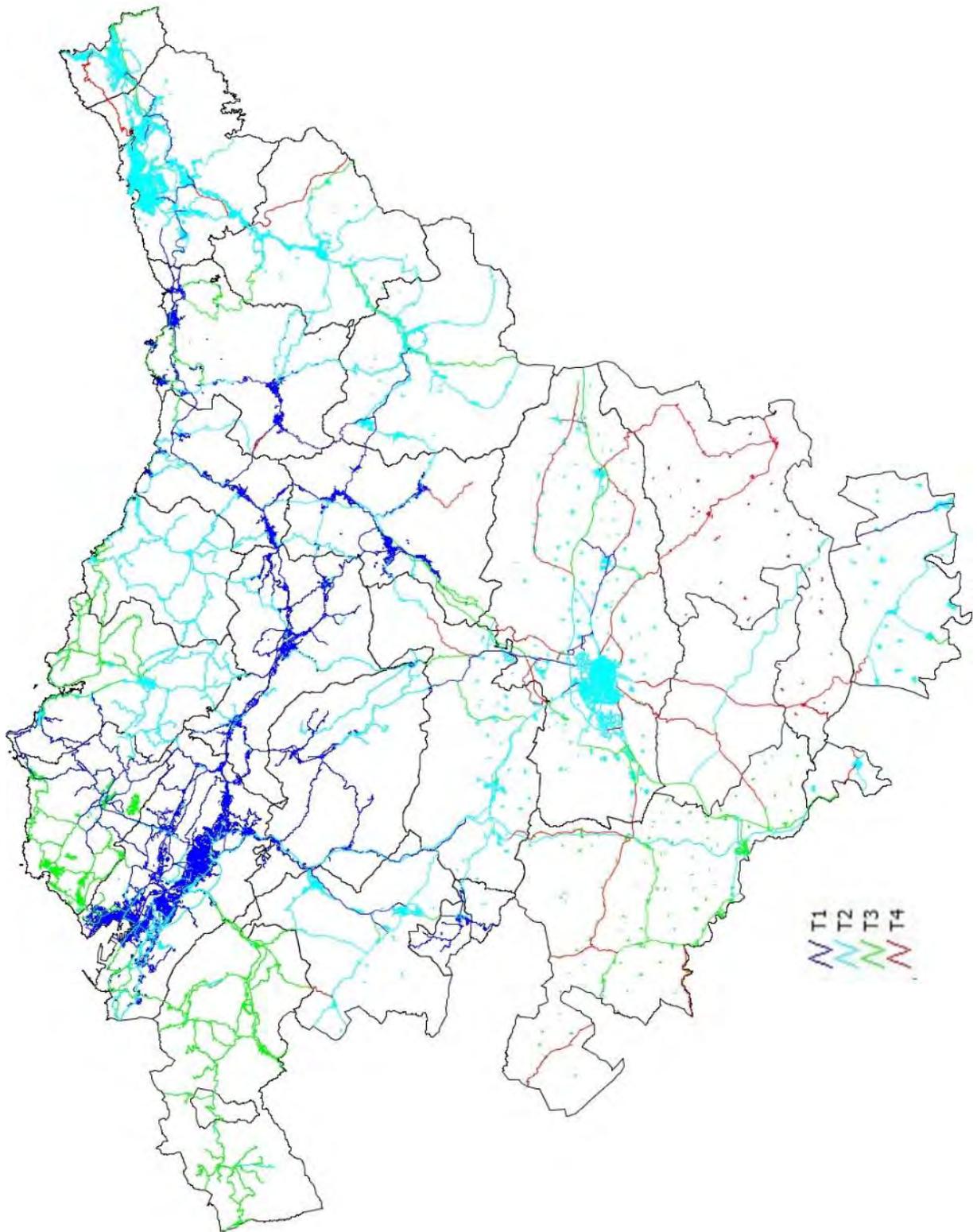
<b>Coeficientes Diarios</b>	<b>% km</b>	<b>% vkm ligeros</b>	<b>% vkm pesados</b>
<b>Tipo1</b>	26,96%	36,12%	30,84%
<b>Tipo2</b>	39,64%	42,35%	40,34%
<b>Tipo3</b>	23,64%	18,80%	26,06%
<b>Tipo4</b>	9,76%	2,73%	2,76%

Como ejemplo, se hace un análisis del año 2012 tomando el mes de julio, el de mayor intensidad de tráfico del año y el mes de agosto, el de menor intensidad de tráfico. En la siguiente tabla se ve la diferencia de tráfico entre los meses más críticos, siendo en agosto aproximadamente un 16% inferior al tráfico que hay en julio.

**55. Tabla: Intensidad de tráfico diario en Euskadi en MMvkm**

<b>Tráfico (MMvkm)</b>	<b>julio 2012</b>	<b>agosto 2012</b>
<b>Laborable Ligeros</b>	40,20	33,55
<b>Festivo Ligeros</b>	30,87	26,02
<b>Laborable Pesados</b>	5,16	4,37
<b>Festivo Pesados</b>	1,41	1,21

El mapa final con la clasificación de todos los tipos de vía es el siguiente:



**65. Figura:** Tipos de vía en las carreteras de Euskadi



#### **4.4. METODOLOGÍA DEL CÁLCULO DE EMISIONES DE TRÁFICO**

La metodología empleada para calcular las emisiones está basada en la guía del inventario EMEP/EEA de la Agencia Europea de Medio Ambiente (*EMEP 2016*), con algunas variaciones que se presentan a continuación.

Las emisiones totales del transporte por carretera en Euskadi están calculadas como la suma de emisiones de escape en caliente, emisiones de escape en frío, emisiones evaporativas y emisiones de desgaste.

$$E_{TOTAL} = E_{CALIENTE} + E_{FRIO} + E_{EVAPORATIVAS} + E_{DESGASTE}$$

Las emisiones se calculan combinando los datos de actividad de cada clase de vehículo con su correspondiente factor de emisión (FE). El FE es una relación que predice la cantidad de contaminante emitida o combustible consumido, por distancia recorrida, en este caso gramos por kilómetro ( $\text{g.km}^{-1}$ ) o litros por cada 100 km ( $\text{L.100km}^{-1}$ ), de un determinado grupo de vehículos. La calidad de un modelo de emisión depende en gran medida de la representatividad de los FE que se usen.

Los FE se desarrollan a partir de datos recogidos en campañas experimentales de medición de emisiones. La técnica de medición, los criterios de selección de vehículos y las condiciones de conducción tienen impacto sobre los FE que se definen. Las mediciones se pueden hacer en laboratorio, en bancos dinamométricos o en condiciones reales como mediciones a bordo (PEMS), en túnel o por sensores remotos. Estas mediciones son costosas y no se pueden medir todos los tipos y tecnologías de vehículos, hay que buscar un equilibrio entre la calidad y la disponibilidad de información (*Franco et al. 2013*).

Los ensayos en bancos dinamométricos son buenos para el desarrollo de FE, debido a que se pueden controlar independientemente todos los parámetros, modificando aquél que se está estudiando. Las mediciones a bordo son una interesante alternativa a los ensayos en laboratorio, ya que se trabaja en condiciones reales, pero se pierde la repetitividad de los resultados debido a las limitaciones y falta de control de algunos parámetros. Actualmente, estos ensayos se utilizan para identificar aspectos que no se aprecian en los ensayos de laboratorio (por ejemplo, regeneración del filtro de partículas, ensayos en altitud, etc.).

Ensayos idénticos con los mismos equipos muestran una gran variabilidad de resultados de los contaminantes emitidos en vehículos individuales, de distintos fabricantes y de la misma clasificación de vehículo y tecnología. En ocasiones, la emisión de ciertos contaminantes varía

en un orden de magnitud entre diferentes vehículos. Para evitar esto se miden decenas de vehículos de la misma categoría con el fin de dar robustez al FE, pero por otro lado puede ser un problema, si el mix de vehículos ensayados difiere mucho del mix de vehículos circulante de la zona a estudiar.

#### 4.4.1. CÁLCULO DE EMISIONES EN CALIENTE

Las emisiones en caliente dependen de varios factores, como el tipo de vehículo, su peso, su motorización, su edad, su velocidad, distancia recorrida, etc. Para obtener la emisión parcial de un contaminante en un tramo de carretera se multiplica un factor de emisión por la cantidad de vehículos de un determinado tipo y por la longitud del tramo. Se denomina emisión parcial ya que corresponde a las emisiones que emite una categoría de vehículos y no a la totalidad de los vehículos que transitan el tramo. El cálculo se realiza a través de la siguiente ecuación:

$$E_{CALIENTE\ i,j} = FE_{CALIENTE\ i,j}(u) \times N_i \times d$$

Donde:

$E_{CALIENTE\ i,j}$ :	<i>Emisión del contaminante j generado por los vehículos de tipo i</i>	<i>(g)</i>
$FE_{CALIENTE\ i,j}(u)$ :	<i>Factor de emisión en caliente del contaminante j para un vehículo de tipo i función de la velocidad u</i>	<i>(g.km<sup>-1</sup>)</i>
$N_i$ :	<i>Número de vehículos de tipo i que recorren el tramo</i>	
$d$ :	<i>Distancia del tramo</i>	<i>(km)</i>

Para obtener la emisión total de un contaminante en un tramo de carretera se suman las emisiones parciales de cada tipo de vehículo:

$$E_{CALIENTE\ T,j} = \sum_i E_{i,j}$$

Donde:

$E_{CALIENTE\ T,j}$ :	<i>Emisión en caliente total de contaminante j generado en el tramo</i>	<i>(g)</i>
-----------------------	---	------------

Sumando la emisión total de cada contaminante en todos los tramos de carretera considerados, se tiene la emisión total del contaminante de la zona de estudio.

Los contaminantes considerados en las emisiones en caliente son: CO, HC, NO<sub>x</sub>, y PM, a los que se añade un cálculo de consumo de combustible (FC), que se utilizará como referencia y que se considera proporcional a la emisión de CO<sub>2</sub>. Las equivalencias utilizadas entre el combustible consumido y el CO<sub>2</sub> emitido son las siguientes:

### **Gasolina**

$$1 \text{ L} = 0,75 \text{ kg} = 2,38 \text{ kg CO}_2$$

### **Diésel**

$$1 \text{ L} = 0,85 \text{ kg} = 2,70 \text{ kg CO}_2$$

Los FE en caliente utilizados en este estudio, son los recogidos en el informe “*Emission factors 2009: Report 3-exhaust emission factors for road vehicles in the United Kingdom*” (Boulter, Barlow et al. 2009a), realizado por la organización TRL para el Gobierno de Gran Bretaña (UK). En esta revisión se usaron datos de 29 programas de ensayos europeos con más de 48.000 ensayos en 3.400 vehículos ligeros y 1.450 ensayos en 125 vehículos pesados. Para los vehículos ligeros (turismos y VCL) se usaron los datos registrados en la base de datos del Departamento de Transporte del Reino Unido. Para los vehículos pesados (camiones y autobuses) se recopilaron los factores desarrollados en el programa ARTEMIS, para ciclomotores se tomaron del programa COPERT 4 y para motocicletas del programa ARTEMIS.

Los FE se desarrollan a partir de curvas de regresión, ajustadas a los valores de emisión con polinomios de 6º orden, dependientes de la velocidad (u) y divididos por el término de velocidad, de manera que la emisión se da en g.km<sup>-1</sup> y se expresan de la siguiente forma:

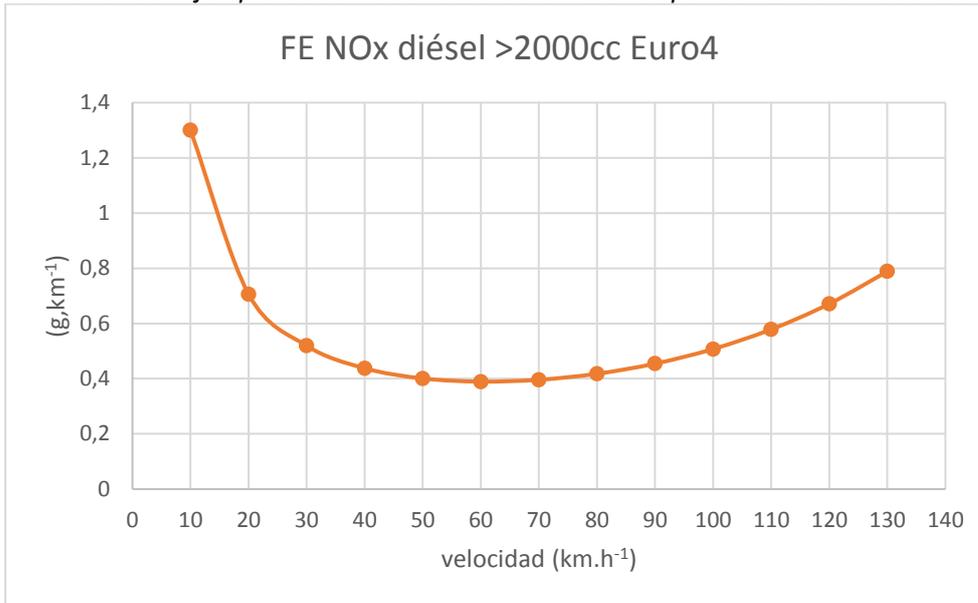
$$FE \text{ (g.km}^{-1}\text{)} = k * (a + b.u + c.u^2 + d.u^3 + e.u^4 + f.u^5 + g.u^6) / u$$

La ventaja de este método es que se utiliza la misma forma funcional para todos los FE, lo cual simplifica la programación de los cálculos a realizar.

El factor *k* se utiliza para permitir un simple ajuste en el caso de que se necesite un factor de emisión de una determinada categoría de vehículo y no existan datos de emisiones.

En el siguiente gráfico se puede ver un ejemplo de la forma que toma el polinomio de 6º de ajuste para el FE de NO<sub>x</sub>, para vehículos diésel con motor superior a 2.000 cc y para normativa EURO 4. La forma de la curva es siempre similar, a bajas velocidades la emisión es alta, alcanza el mínimo sobre los 60-70 km.h<sup>-1</sup> y vuelve a crecer a partir de los 80 km.h<sup>-1</sup> y velocidades superiores.

**30. Gráfico:** Ejemplo de curva de factor de emisión dependiente de la velocidad



Todos los FE están basados en datos de ensayos realizados en vehículos hasta la tecnología EURO 4. Los factores de emisión para vehículos EURO 5 y EURO 6 son hipótesis basadas en los valores límites de la legislación y en las mejoras tecnológicas que se prevé utilizarán los vehículos para cumplir estos nuevos estándares.

En este estudio se ha hecho un análisis de todos los FE estimados EURO 5 y EURO 6 según TRL y se han comparado con el estado del arte actual. Las evidencias encontradas estos últimos años recomiendan modificar los siguientes factores de emisión (*Ntziachristos et al. 2016*):

**Turismos diésel:**

$$FE_{NO_x} \text{ EURO 5} = FE_{NO_x} \text{ EURO 4}$$

$$FE_{NO_x} \text{ EURO 6} = 0,83 FE_{NO_x} \text{ EURO 4}$$

$$FC \text{ EURO 4} = FC \text{ EURO 5} = FC \text{ EURO 6}$$

**VCL diésel:**

$$FE_{NO_x} \text{ EURO 4} = 0,8 FE_{NO_x} \text{ EURO 3}$$

$$FE_{NO_x} \text{ EURO 5} = 1,56 FE_{NO_x} \text{ EURO 3}$$

$$FE_{NO_x} \text{ EURO 6} = 1,26 FE_{NO_x} \text{ EURO 3}$$

En el Anexo VI se muestran todas las curvas de factores de emisión utilizadas para todas las categorías de vehículos para CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM y FC.

El proceso seguido para el cálculo de las emisiones en caliente en Euskadi se ha dividido en interurbanas y urbanas debido a los datos iniciales de entrada.

### ***Emisiones interurbanas***

El punto inicial para calcular las emisiones interurbanas son los informes de tráfico que publican las Diputaciones Forales de Bizkaia, Gipuzkoa y Álava.

- (i) Con los informes de tráfico y el mapa de carreteras del Gobierno Vasco se genera un mapa de aforos interurbano en SIG, donde a cada tramo se le asigna un parque circulante a nivel 1 y la distancia de ese tramo.
- (ii) A partir del parque móvil de Euskadi de la DGT, se desarrolla un parque móvil censado de Euskadi en Excel hasta el nivel 5.
- (iii) Utilizando la información de la DFB sobre el parque circulante a nivel 2 y los factores de uso recomendados por la bibliografía se genera un parque circulante hasta el nivel 5.
- (iv) Con los FE en caliente desarrollados por TRL y utilizando las velocidades calculadas para cada tramo se obtienen los FE por cada tramo.
- (v) Con los FE, el parque circulante desglosado y las distancias de cada tramo, se aplica la ecuación de emisión en caliente y se obtiene la emisión en caliente interurbana como suma de las emisiones de todos los tramos.

Estas emisiones interurbanas se pueden representar en función de su geolocalización utilizando un software SIG.

### ***Emisiones urbanas***

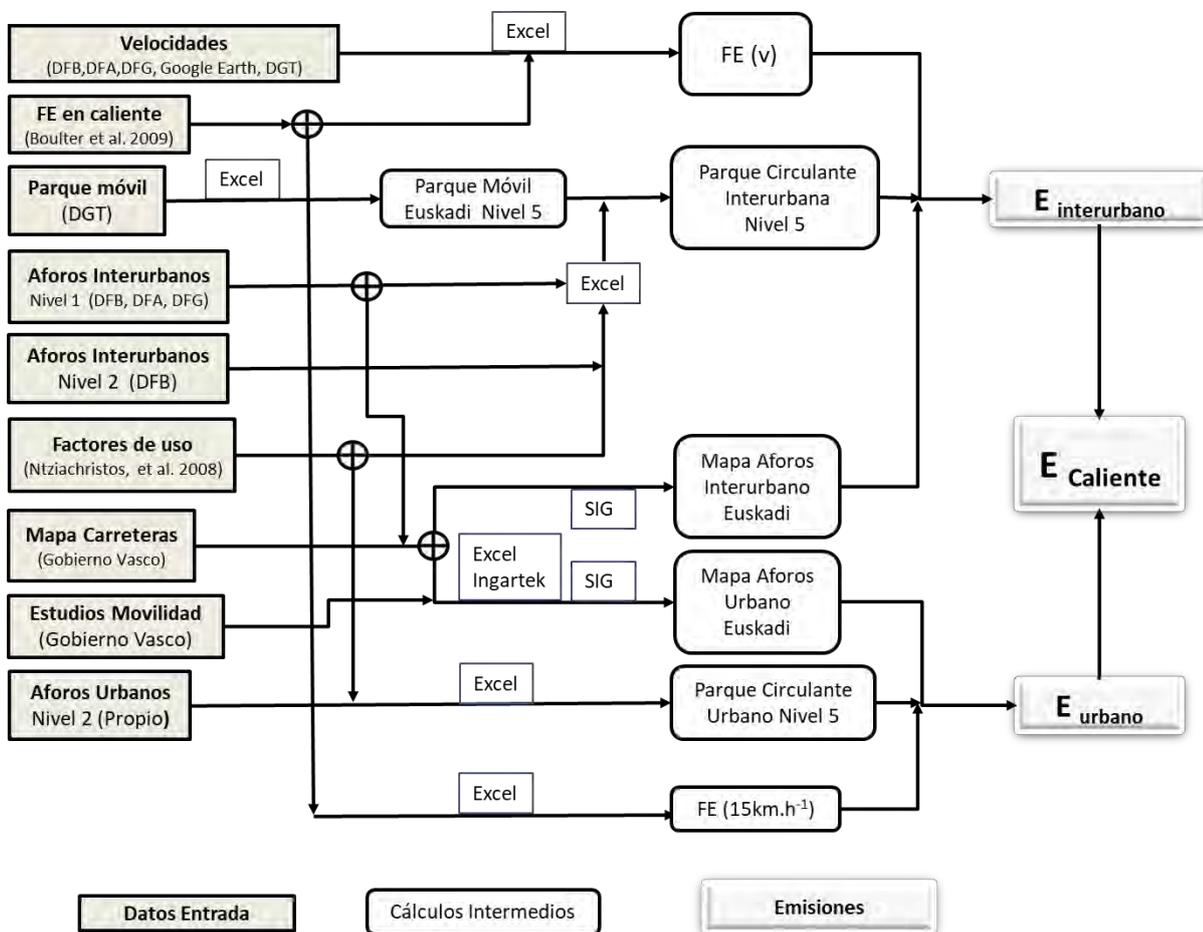
Para calcular las emisiones urbanas primero se debe estimar el tráfico urbano y para ello partimos también de los informes de tráfico de las diputaciones:

- (i) Se utiliza la herramienta Excel desarrollada por INGARTEK para estimar el tráfico urbano. Como datos de entrada se utilizan los aforos de tráfico de las diputaciones, los estudios de movilidad del Gobierno Vasco y el parque móvil de la DGT.
- (ii) Se genera un mapa de tráfico urbano desglosado en veinte comarcas de Euskadi.
- (iii) Utilizando los estudios de tráfico circulante urbano a nivel 2 y los factores de uso de la bibliografía se genera el parque circulante a nivel 5.

- (iv) Con los FE en caliente desarrollados por TRL y aplicando una velocidad urbana de 15 km.h<sup>-1</sup>, se calculan los FE para cada clase de vehículo.
- (v) Con el parque circulante, el mapa de carreteras urbano y los FE calculados, se aplica la ecuación de emisión en caliente y se obtiene la emisión en caliente urbana como suma de las emisiones de todos los tramos.

Esta emisión calculada se representa en un SIG en función de la comarca de la que procedían.

En la siguiente figura se ve gráficamente el proceso unificado seguido para el cálculo de las emisiones en caliente urbanas e interurbanas.



66. Figura: Diagrama de flujo para el cálculo de emisiones en caliente

## 4.4.2. CÁLCULO DE EMISIONES EN FRÍO

Las emisiones en frío se calculan como un extra de emisión a añadir a las emisiones que se producen si todos los vehículos circularan siempre con los motores y sistemas en régimen caliente. Aunque estas emisiones en frío se pueden producir tanto en tráfico urbano como interurbano, parece lógico suponer que el mayor porcentaje se emita en los núcleos urbanos, que es donde mayoritariamente suelen estar aparcados. En principio este fenómeno ocurre en todos los vehículos, pero en la literatura no se suele aplicar a los vehículos pesados. Se considera que el impacto es mínimo comparativamente a sus emisiones en caliente, debido básicamente a que los recorridos de viaje medios suelen ser elevados.

El modelo propuesto para calcular los factores de emisión en frío, está desarrollado en el programa ARTEMIS y una descripción más detallada se encuentra en el informe “*Emission factor modelling and database for light vehicles - Artemis deliverable 3*” (Joumard et al. 2007)(p.86-97). Este modelo calcula un exceso de emisión por cada arranque (en gramos) para un tipo de vehículo y contaminante como función de la temperatura ambiente ( $T$ ), la velocidad media durante el periodo frío ( $u$ ), la distancia del recorrido medio ( $d$ ) y el tiempo previo de parking ( $t$ ).

$$E_{ARRANQUEFRIO}(T, u, \delta, t) = \omega_{20^{\circ}C, 20 \text{ km.h}^{-1}} \times f(T, u) \times h(\delta) \times g(t)$$

Siendo:

$E_{ARRANQUEFRIO}(T, u, \delta, t)$ : Exceso de emisión por cada arranque (g.arranque<sup>-1</sup>)

$T$ : Temperatura ambiente (°C)

$u$ : Velocidad media durante el recorrido (km.h<sup>-1</sup>)

$\delta = d/dc(T, u)$  Distancia adimensional

$d$ : Distancia recorrida (km)

$dc(T, u)$ : Distancia en frío (km)

$\omega_{20^{\circ}C, 20 \text{ km/h}}$ : Referencia de exceso de emisión a 20°C y 20km.h<sup>-1</sup>

$f(T, u)$ : Función adimensional para corregir el efecto de la velocidad y la temperatura

$h(\delta)$ : Efecto de la distancia

$g(t)$ : Influencia del tiempo de parking

$t$ : Tiempo de parking (min)

$$h(\delta) = \frac{1 - e^{a, \delta}}{1 - e^a}$$

$a$ : Coeficiente adimensional para el cálculo

Las ecuaciones para el cálculo de los factores  $dc(T, u)$ ,  $\omega_{20^{\circ}C, 20 \text{ km.h}^{-1}}$ ,  $f(T, u)$ ,  $g(t)$  y el valor del coeficiente  $a$ , para los contaminantes CO, HC, NO<sub>x</sub> y CO<sub>2</sub>, están recogidas en el Anexo VII: "Factores de emisión en frío". Estas ecuaciones están desarrolladas para turismos y se asume que los VLC se comportan como turismos.

Este modelo de emisión en frío ARTEMIS no da información sobre los factores de emisión de material particulado y en la literatura consultada no existe mucha información. Los resultados de unos ensayos realizados por (Blaikley et al. 2001) sugieren que las emisiones en frío de material particulado en turismos de gasolina son un orden de magnitud inferiores al de turismos diésel. En el Anexo VII se muestran los factores de emisión por arranque propuestos por NAEI, que han sido los utilizados en este estudio.

Para ciclomotores y motocicletas el estudio ARTEMIS propone un extra de emisión en frío fijo por arranque, basado en tendencias y opiniones de expertos. Los valores de emisión se muestran en el Anexo VII (Boulter et al. 2009).

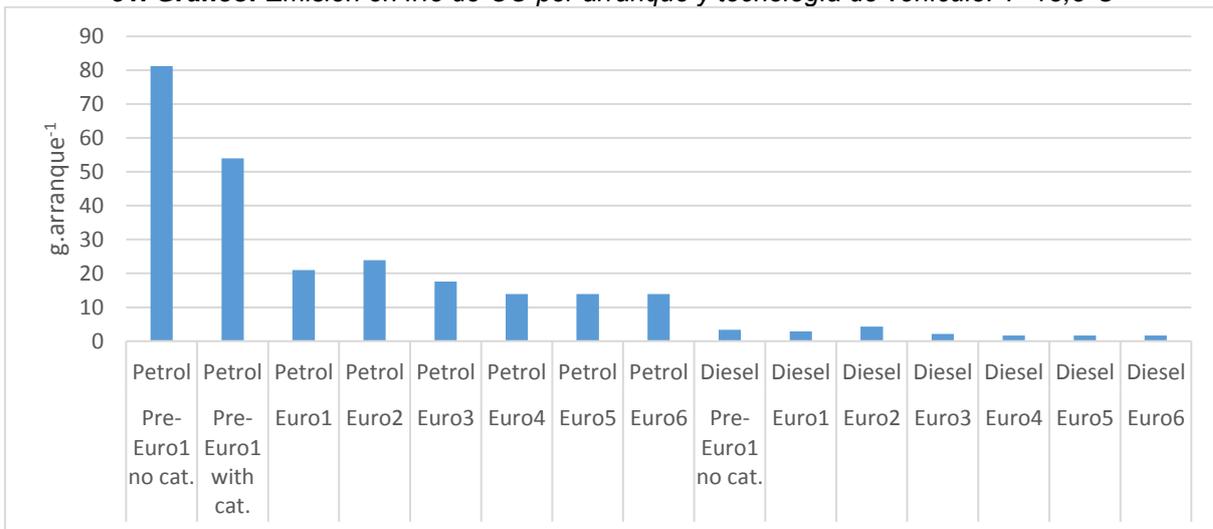
Existen pocos estudios sobre las emisiones en frío de los vehículos pesados y aunque en este estudio no se van a tener en cuenta, en el ANEXO VII se adjunta la propuesta de factores de emisión de la metodología MEET (*Methodologies for estimating air pollutant emissions from transport*) (Boulter et al. 2009) a título informativo. El resto de metodologías consultadas no aporta información sobre este tema.

Las variables más importantes a la hora de caracterizar las emisiones en frío son: el contaminante, el tipo de vehículo, la temperatura ambiente, el recorrido de viaje medio, la velocidad media en el periodo en frío y el tiempo de parking que está relacionado con la temperatura del motor previo al arranque.

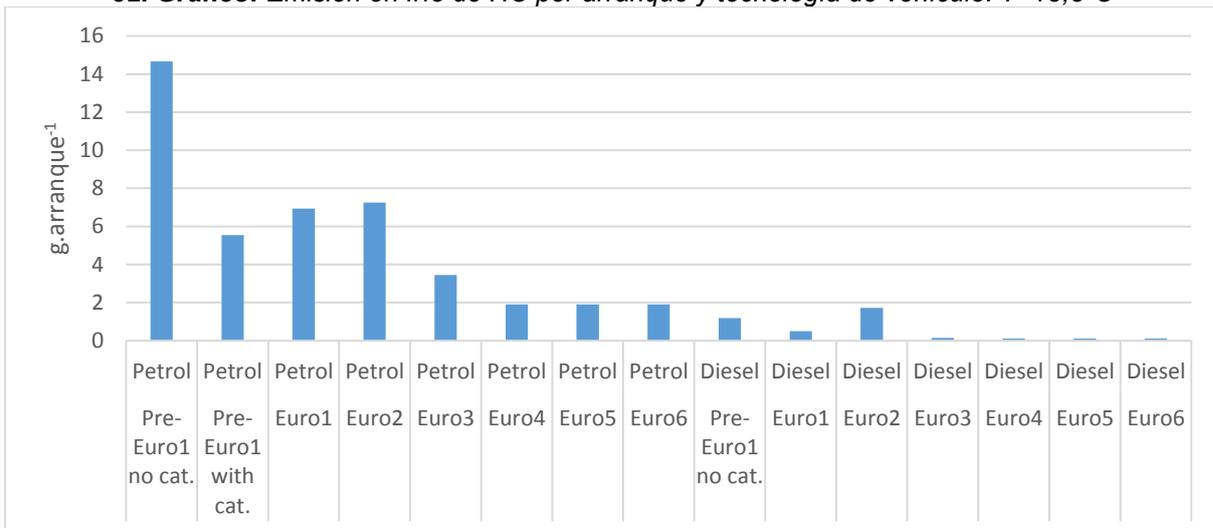
### **Contaminante y tipo de vehículo**

El análisis de las ecuaciones propuestas muestra que la emisión en frío de CO y HC se da principalmente en los vehículos de gasolina. En los vehículos diésel se considera que es un orden de magnitud menor. También hay notables diferencias entre vehículos antiguos y nuevos donde la emisión en frío es mucho menor.

31. Gráfico: Emisión en frío de CO por arranque y tecnología de vehículo. T=13,3°C

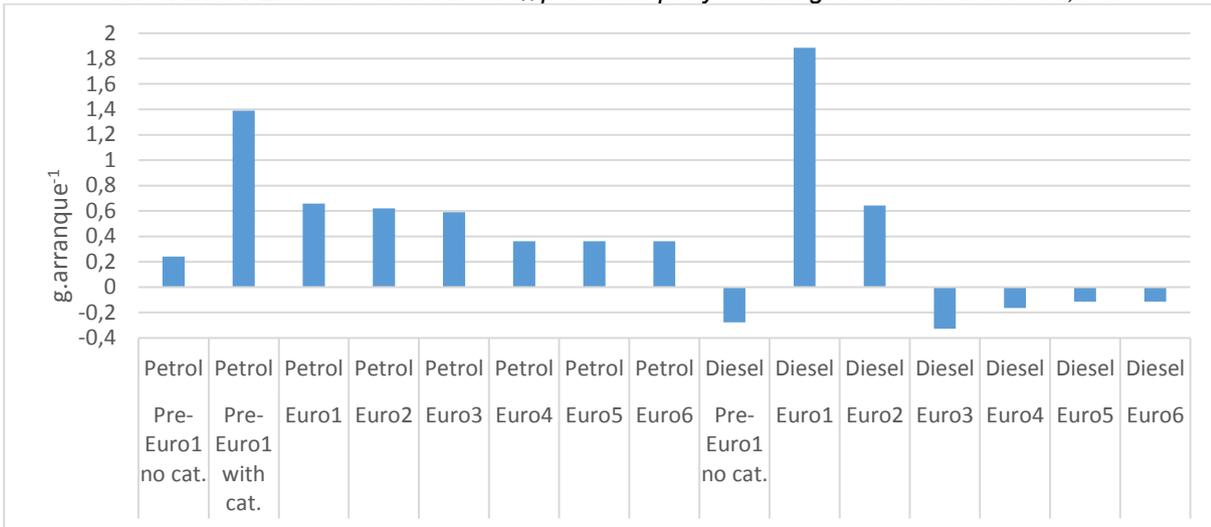


32. Gráfico: Emisión en frío de HC por arranque y tecnología de vehículo. T=13,3°C



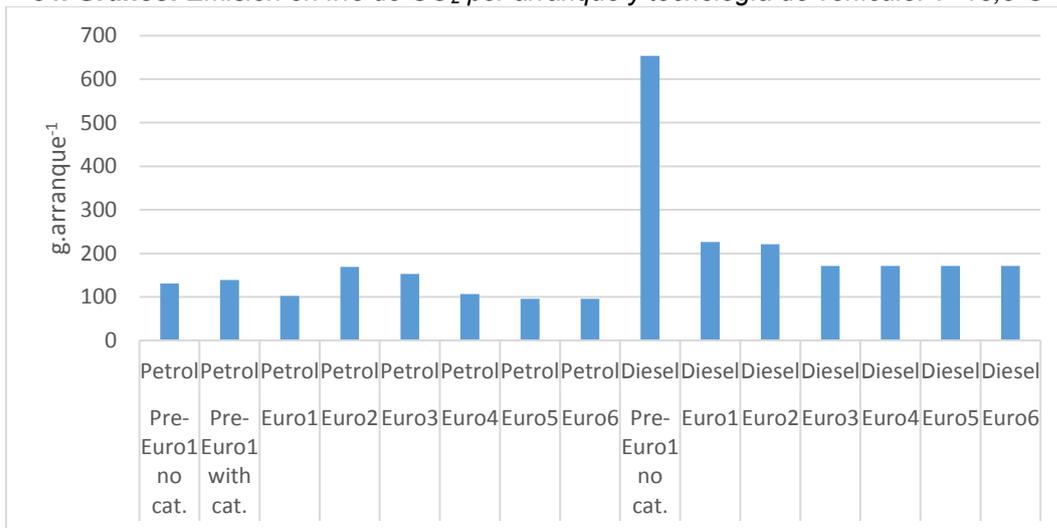
La emisión en frío de NO<sub>x</sub> es tan baja, que se puede considerar despreciable y en algunos casos incluso puede ser negativa. Esto se debe a que la formación de NO<sub>x</sub> es muy sensible a la temperatura de la combustión y en motores fríos puede ocurrir que en el arranque emitan menos NO<sub>x</sub> que en régimen caliente.

**33. Gráfico: Emisión en frío de NO<sub>x</sub> por arranque y tecnología de vehículo. T=13,3°C**



Las emisiones en frío de CO<sub>2</sub>, o su equivalente FC, son un poco superiores en los vehículos diésel y si se exceptúan los vehículos diésel Pre-EURO, se puede decir que no hay una gran mejora entre vehículos nuevos y viejos.

**34. Gráfico: Emisión en frío de CO<sub>2</sub> por arranque y tecnología de vehículo. T=13,3°C**



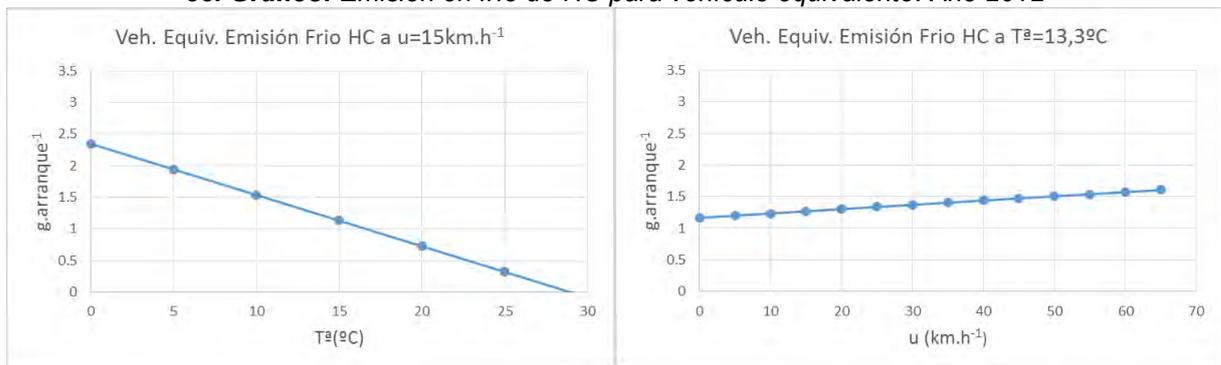
### **Temperatura y velocidad**

Las emisiones de contaminantes y el consumo de combustible en frío son mayores cuanto más baja sea la temperatura del motor en el arranque. Esta temperatura del motor depende de varios factores, como el tiempo que lleva parado respecto del viaje anterior (tiempo de parking), cuanto se calentó realmente en el viaje anterior y por supuesto la temperatura ambiente, que puede ser en el exterior (parking en la calle) o en el interior (parking en un garaje).

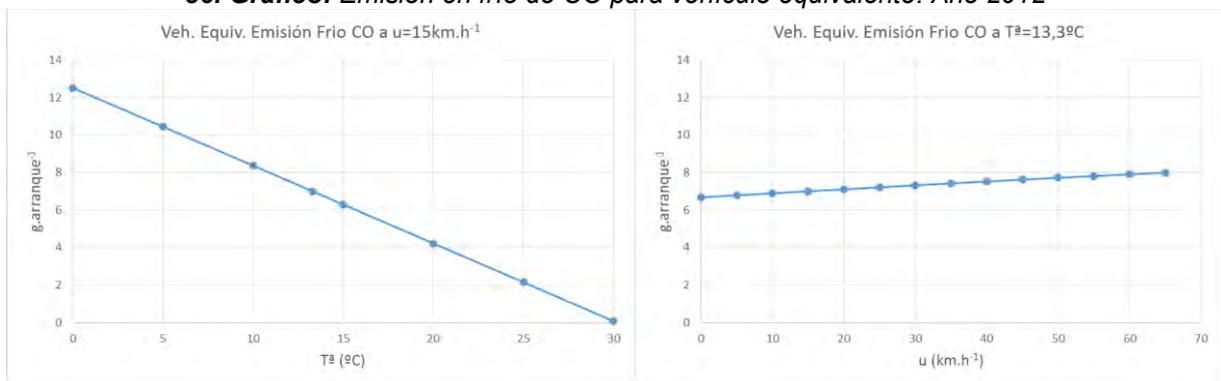
La velocidad durante el periodo en frío también afecta al exceso de emisiones en frío. En los vehículos de gasolina, las emisiones se incrementan a mayor velocidad, pero en los vehículos diésel las emisiones decrecen al incrementar la velocidad.

En los siguientes gráficos se muestra la sensibilidad que tiene el modelo propuesto al variar la temperatura o la velocidad, manteniendo constante una de ellas. Para ello se ha utilizado un vehículo equivalente cuya emisión es proporcional al mix de vehículos correspondiente al parque circulante de Euskadi del año 2012.

**35. Gráfico: Emisión en frío de HC para vehículo equivalente. Año 2012**



**36. Gráfico: Emisión en frío de CO para vehículo equivalente. Año 2012**

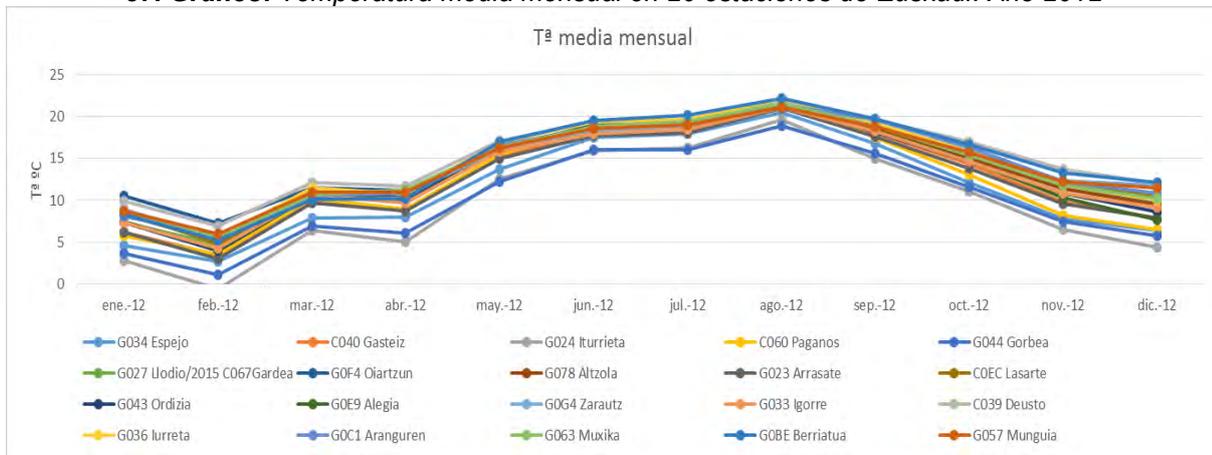


Se aprecia una alta sensibilidad a la variación de la temperatura en las emisiones en frío en el arranque para emisiones de CO y HC. Por el contrario, la variación de velocidad en el periodo en frío tiene un efecto mucho menor en las emisiones. A mayor temperatura de arranque las emisiones de CO y HC bajan, siendo nulas a partir de los 30°C. A mayor velocidad en el periodo frío las emisiones de CO y HC suben, pero la pendiente de crecimiento es muy baja. Este aumento de las emisiones con la velocidad es indicador de que las emisiones de los vehículos gasolina son predominantes.

Como la temperatura es la variable principal a la hora de valorar las emisiones en frío, en la siguiente gráfica se adjunta como ejemplo la variabilidad mensual de la temperatura media

mensual registrada en Euskadi en el año 2012, en 20 estaciones de control de Euskalmet (Agencia Vasca de Meteorología), seleccionadas una por cada comarca.

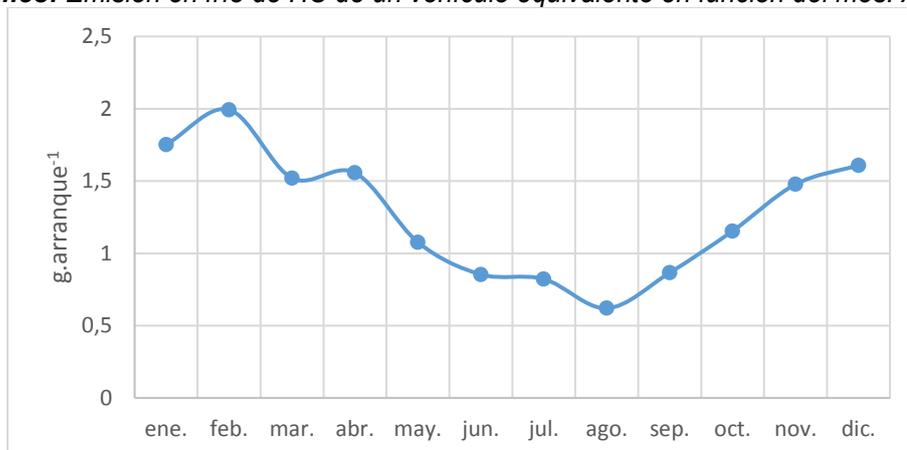
**37. Gráfico: Temperatura media mensual en 20 estaciones de Euskadi. Año 2012**



El mes más frío es febrero y el rango de medidas entre distintas estaciones va de 0°C a 7°C, que para el vehículo equivalente implica emitir 2,4 g.arranque<sup>-1</sup> o 1,7 g.arranque<sup>-1</sup> de HC. En función de donde esté el vehículo las emisiones en frío pueden variar un 40%. Si se analiza el mes más caliente, en este caso agosto, las temperaturas oscilan entre 17°C y 22°C que corresponde a una emisión entre 0,9 y 0,5 g.arranque<sup>-1</sup> de HC, aproximadamente la tercera parte de lo que son en invierno.

En el siguiente gráfico se ve cual es la emisión extra de HC por cada arranque en frío para un vehículo equivalente (mix del parque circulante) del año 2012, en función del mes del año. La emisión de HC por cada arranque se puede triplicar en el invierno respecto de los meses de verano.

**38. Gráfico: Emisión en frío de HC de un vehículo equivalente en función del mes. Año 2012**



## **Recorrido medio**

En el cálculo de las emisiones en frío es necesario saber el número de arranques que se realizan en un determinado periodo. Para ello es necesario conocer el recorrido medio de viaje, que se define como la distancia recorrida por un vehículo entre arrancarlo y pararlo quitando las llaves. En España se considera que la distancia media recorrida por viaje son 12 km y aunque esta estimación está hecha hace ya algunos años, todavía se considera válida, ya que se estima que la variación entre años es muy baja (EMEP 2016). En este estudio y al no disponer de información concreta para Euskadi, se utiliza este dato.

El número de arranques se calcula por simple división entre los datos de circulación en vkm y el recorrido medio de viaje (12 km).

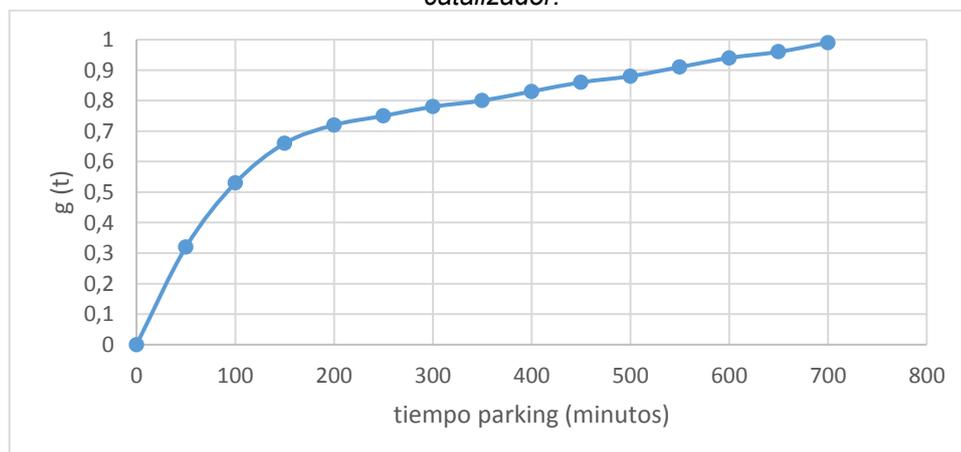
## **Tiempo de parking**

La localización y la duración del parking influyen directamente en las emisiones en frío. Un nuevo arranque antes de que el motor se haya enfriado a la temperatura ambiente, o el aparcamiento en un garaje subterráneo, que está más caliente que el exterior en invierno, pero más frío en verano, puede desvirtuar el cálculo de emisiones en frío.

El modelo ARTEMIS considera que el motor se encuentra a temperatura ambiente: en paradas superiores a 4 horas para emisiones de CO, y en paradas superiores a 12 horas para emisiones en frío de HC y CO<sub>2</sub>.

A modo de ejemplo se muestra el porcentaje de emisión en frío de HC a considerar en un arranque en función de los minutos que han transcurrido desde la última parada de motor. Las ecuaciones que describen el impacto del tiempo de parking para cada contaminante están en el Anexo VII.

### **39. Gráfico: Influencia del tiempo de parking en las emisiones en frío de HC en turismos gasolina con catalizador.**



Las ecuaciones que modelizan el tiempo de parking se muestran a nivel informativo, ya que en este estudio no se han utilizado por falta de modelos de usos y modelos de aparcamiento en Euskadi. Se ha supuesto que todos los arranques se hacen siempre a motor frío y a temperatura ambiente.

### **Calculo del inventario de emisiones en frío**

Para realizar el cálculo de la emisión parcial de un contaminante en un tramo de carretera, se utiliza la ecuación:

$$E_{FRIO\ i,j} = E_{ARRANQUEFRIO\ i,j}(T, u) \times A_i$$

Donde:

$E_{FRIO\ i,j}$ : Emisión en frío del contaminante  $j$  generado por los vehículos de tipo  $i$  (g.arranque<sup>-1</sup>)

$E_{ARRANQUEFRIO\ i,j}(T, u)$ : Exceso de emisión por arranque del contaminante  $j$  para un vehículo de tipo  $i$ , función de la velocidad  $u$  y temperatura  $T$  (g.arranque<sup>-1</sup>)

$A_i$ : Número de arranques de vehículos de tipo  $i$

Para obtener la emisión total de un contaminante en un tramo de carretera se suman las emisiones parciales de cada tipo de vehículo:

$$E_{FRIO\ Total,j} = \sum_i E_{FRIO\ i,j}$$

Donde:

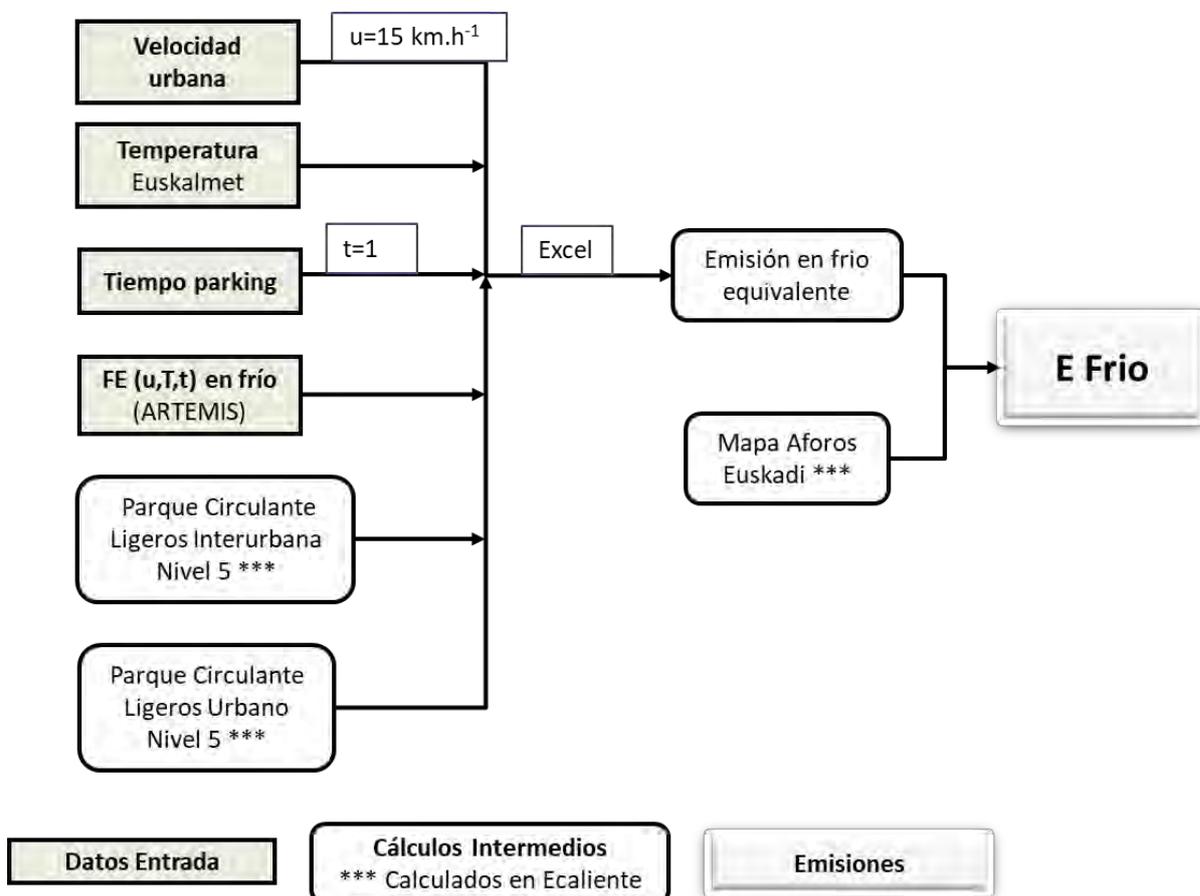
$E_{FRIO\ Total,j}$ : Emisión en frío total del contaminante  $j$  generado en el tramo (g.arranque<sup>-1</sup>)

Para el cálculo de las emisiones se han utilizado las siguientes simplificaciones:

- Solo se considera la emisión en frío de los vehículos ligeros.
- No se ha valorado el efecto del tiempo de parking  $g(t) = 1$ .
- El valor de velocidad se ha tomado como constante a 15 km.h<sup>-1</sup>, igual que el estimado para circulación urbana.
- La distancia recorrida media es de 12 km.

Se ha dividido el tráfico de Euskadi por meses y por comarcas utilizando para ello la información generada en el capítulo "Análisis de la Circulación" y por cada mes y comarca se ha calculado la emisión en frío por cada contaminante utilizando para ello las ecuaciones y

factores de emisión del modelo ARTEMIS. Una vez calculada la emisión en frío se asigna solamente en las carreteras urbanas. A continuación, se puede ver el diagrama de flujo del procedimiento:



67. Figura: Diagrama de flujo para el cálculo de emisiones en frío

### 4.4.3. CÁLCULO DE EMISIONES EVAPORATIVAS

La emisión evaporativa total se calcula sumando las emisiones producidas por los diferentes mecanismos de evaporación:

$$E_{EVAPORATIVA} = E_{DIURNA} + E_{PARADAS} + E_{CIRCULACION} + E_{REPOSO}$$

Las emisiones evaporativas se calculan como gramos de emisión por día y esto es así porque dependen fundamentalmente de la temperatura ambiente. Para calcular la emisión anual se debe calcular la emisión de cada día del año en función de la temperatura y finalmente sumar las emisiones de todos los días del año. Para simplificar este cálculo se usan valores medios mensuales de temperatura y se multiplica la emisión por los días que tiene el mes.

El modelo propuesto para calcular las emisiones de tráfico evaporativas es el desarrollado en el programa ARTEMIS, en base a un programa de ensayos realizados en vehículos europeos (*Hausberger et al. 2005*).

Los principales factores que afectan a las emisiones evaporativas son (*Latham et al. 2009*):

- El tipo de vehículo y el diseño del sistema de alimentación
- La temperatura ambiente y su variación temporal
- La volatilidad de la gasolina, que se expresa con el parámetro “Presión de Vapor Reid” (RVP)
- Las condiciones de conducción (distancia recorrida, tiempos de parking, etc.)

Existen otras variables a tener en cuenta como el tamaño del vehículo y la capacidad del depósito de gasolina. Además, también es importante el mantenimiento del vehículo y los componentes defectuosos por donde el sistema de alimentación puede perder estanqueidad.

#### ***Presión de Vapor***

La volatilidad de la gasolina está regulada por ley. El Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, “por el que se determinan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo y se regula el uso de determinados biocarburantes” (*Boletín Oficial del Estado 2006*), especifica una presión de vapor distinta para invierno y verano. Por esto, en España la gasolina es diferente en invierno y en verano. En la tabla siguiente se ven los máximos y mínimos legales, así como el valor medio que se ha utilizado para realizar los cálculos.

**56. Tabla:** Valor RVP (kPa) en España. Fuente: (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio)

<b>RVP</b>	<b>Max</b>	<b>Min</b>	<b>MEDIA</b>
<b>enero</b>	80	50	65,0
<b>febrero</b>	80	50	65,0
<b>marzo</b>	80	50	65,0
<b>abril</b>	80	50	65,0
<b>mayo</b>	60	45	52,5
<b>junio</b>	60	45	52,5
<b>julio</b>	60	45	52,5
<b>agosto</b>	60	45	52,5
<b>septiembre</b>	60	45	52,5
<b>octubre</b>	80	50	65,0
<b>noviembre</b>	80	50	65,0
<b>diciembre</b>	80	50	65,0

Esto quiere decir que la gasolina que se usa en invierno es mucho más volátil que la que se usa en verano. De esta forma se compensa el efecto que tiene la variación de la temperatura a lo largo del año en la evaporación.

La VP (presión de vapor) se calcula en función de RVP y la temperatura, y la fórmula utilizada siguiendo Clausius-Clapeyron es la siguiente:

$$VP = RVP \times e^{A \times \left( \frac{1}{T_{abs}} - \frac{1}{310,9} \right)} \quad (kPa)$$

Siendo:

$$A = -3.565,2707 + 10,23 \times RVP$$

$$T_{abs}: \text{Temperatura ambiente absoluta} \quad (K)$$

$$VP: \text{Presión de vapor a temperatura ambiente} \quad (kPa)$$

Se define  $VP_{medio}$  como el promedio de la presión de vapor a la temperatura más alta y más baja del periodo:

$$VP_{medio} = \frac{VP_{Tmax} + VP_{Tmin}}{2} \quad (kPa)$$

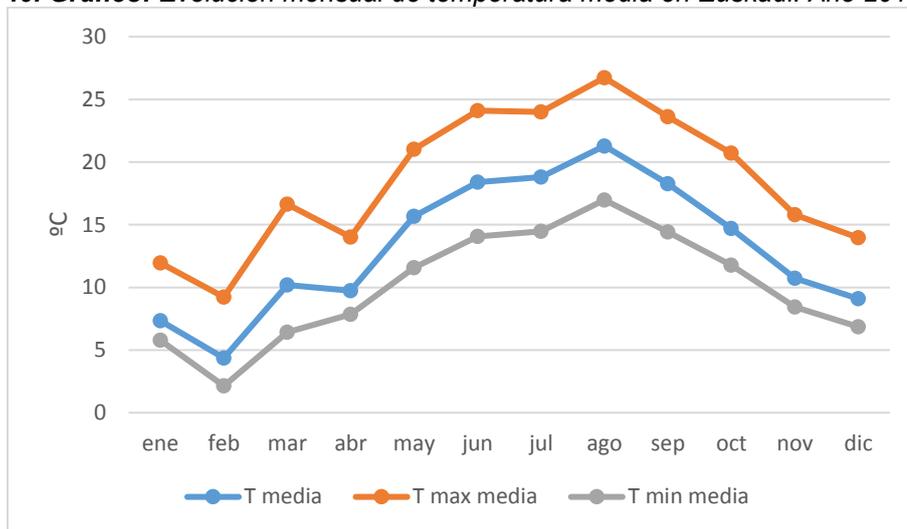
$\Delta VP$  es la diferencia de VP entre las temperaturas más alta y más baja de periodo:

$$\Delta VP = VP_{Tmax} - VP_{Tmin} \quad (kPa)$$

## Temperatura

Los datos de temperatura utilizados se han obtenido de la red de estaciones meteorológicas de Euskalmet, una estación por cada una de las veinte comarcas consideradas. A modo de ejemplo, se puede ver la evolución de las temperaturas media, máxima media y mínima media de Euskadi para el año 2012.

40. Gráfico: Evolución mensual de temperatura media en Euskadi. Año 2012



## Vehículos defectuosos

Otra variable a tener en cuenta es el número de vehículos con el sistema de alimentación defectuoso y que emiten a la atmósfera más compuestos volátiles del que debieran en condiciones normales. Se considera que el ratio de vehículos defectuosos es menor a partir de la normativa EURO 3, momento en que se implantaron medidas de diagnóstico a bordo y requerimientos de durabilidad en los sistemas de control de emisiones. No existen datos de la situación en Europa y para este cálculo se utilizan las siguientes ecuaciones desarrolladas por la EPA en Estados Unidos (Boulter et al. 2009):

$$EURO 1 y 2: R_{DEFECTUOSOS EURO 1 y 2} = \frac{0,6045}{1 + 17,333 \times e^{-0,01362 \times (Edad)^2}}$$

$$EURO 3 - 6: R_{DEFECTUOSOS EURO 3-6} = \frac{0,6045}{1 + 17,333 \times e^{-0,01362 \times \left(\frac{Edad}{2}\right)^2}}$$

La edad se pone en años y el resultado  $R$  es en tanto por uno ( $0 \leq R \leq 1$ ).

#### 4.4.3.1. Emisión diaria

La **emisión diaria** se calcula en gramos por día como:

$$E_{DIURNA\ i} = e_{DIURNA\ i}(T, RVP) \times M_i$$

Siendo:

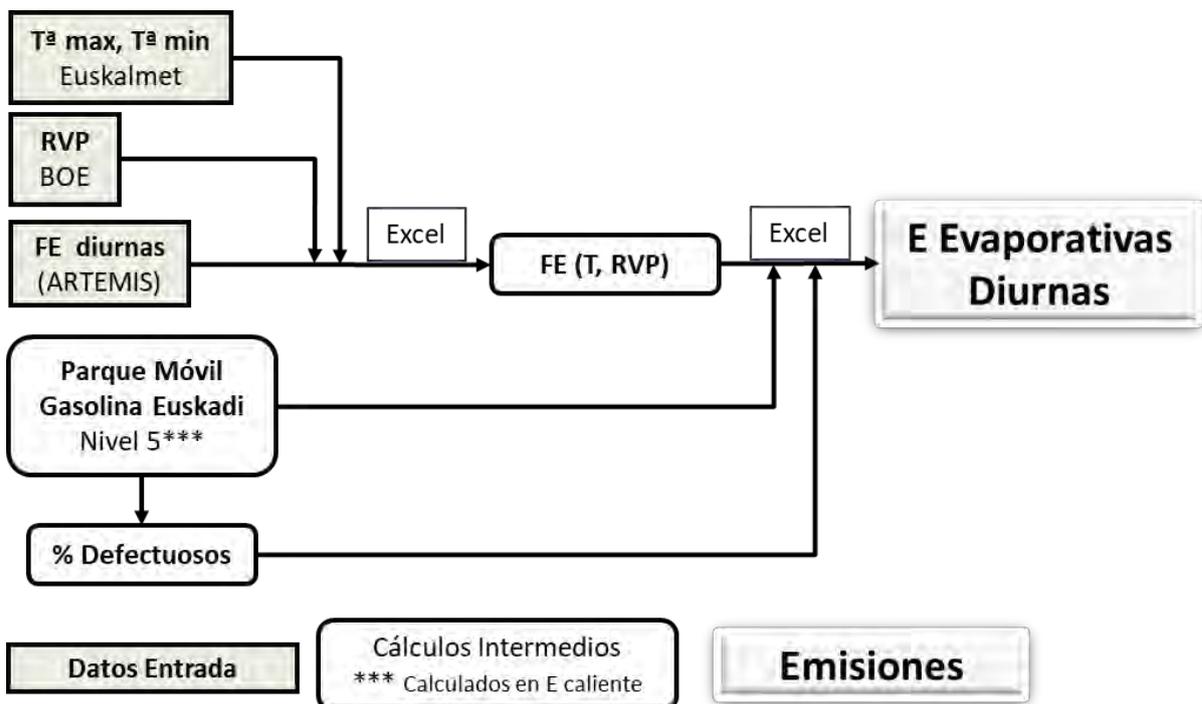
$E_{DIURNA\ i}$ : Emisión de HC por día por el tipo de vehículo  $i$  (g.día<sup>-1</sup>)

$e_{DIURNA\ i}(T, RVP)$ : Factor de emisión del tipo de vehículo  $i$  (g.día<sup>-1</sup>.vehículo<sup>-1</sup>)

$M_i$ : Nº de vehículos de tipo  $i$  en el área de estudio

Para obtener la emisión evaporativa diaria total, se suman las parciales de todos los vehículos:

$$E_{DIURNA\ Total} = \sum_i E_{DIURNA\ i} \quad (g.día^{-1})$$



68. Figura: Diagrama de flujo para el cálculo de emisiones evaporativas diurnas

## Turismos

El factor de emisión para turismos se calcula con la siguiente ecuación que depende de la presión de vapor y de unos coeficientes A y B que son función de la tecnología del turismo.

$$e_{diurna} = A + B \times \frac{(VP_{medio} \times \Delta VP)^2}{1000} \quad (g.día^{-1}.vehículo^{-1})$$

**57. Tabla: Parámetros para calcular emisión diurna en turismos**

Tecnología	A	B
PreEURO y defectuosos	0,478	0,015
EURO 1-2	0,388	0,005
EURO 3-6	0,037	0,00136

## Ciclomotores y Motocicletas

El factor de emisión para motocicletas y ciclomotores se calcula de acuerdo a la misma metodología sugerida en los turismos, pero adaptada a un tamaño menor de tanque de combustible.

El factor de emisión diurno para motocicletas >50cc:

$$e_{Diurna} = 0,5 \times e_{Diurna, turismos Pre - EURO} \quad (g.día^{-1})$$

El factor de emisión diurno para ciclomotores <50cc:

$$e_{Diurna} = 0,2 \times e_{Diurna, turismos Pre - EURO} \quad (g.día^{-1})$$

### 4.4.3.2. Emisiones en reposo

La **emisión en reposo** se calcula en gramos por día como:

$$E_{REPOSO i} = e_{REPOSO i}(T) \times M_i \quad (g.día^{-1})$$

Siendo:

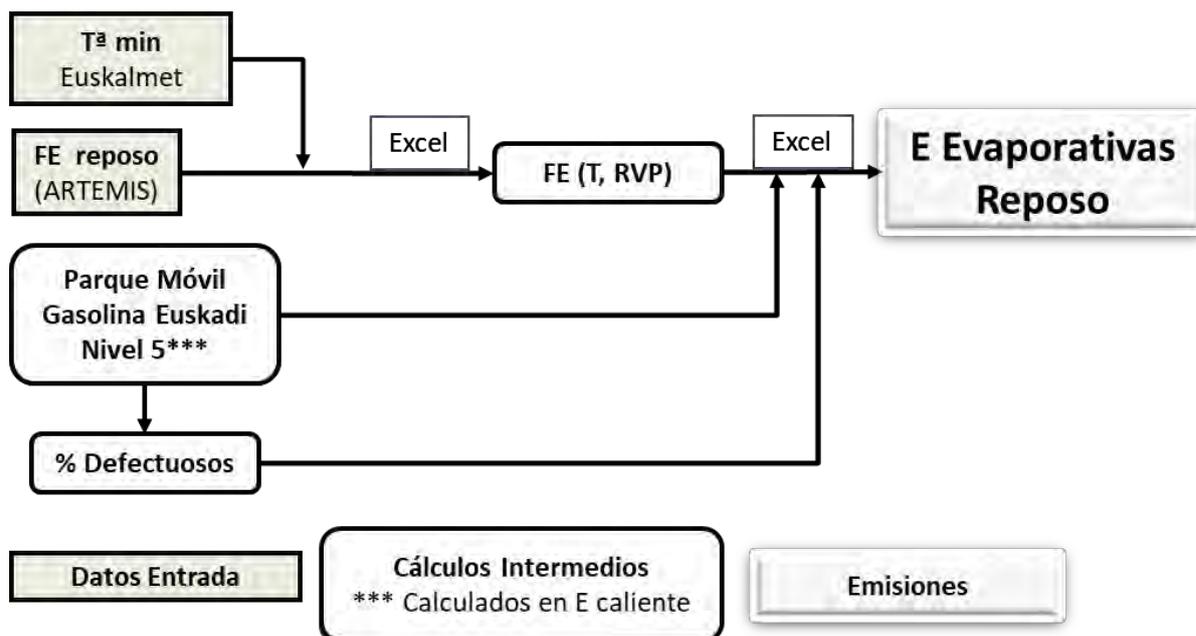
$E_{REPOSO i}$ : La emisión de HC por día por el tipo de vehículo  $i$  (g.día<sup>-1</sup>)

$e_{REPOSO i}(T)$ : El factor de emisión del tipo de vehículo  $i$  (g.día<sup>-1</sup>.vehículo<sup>-1</sup>)

$M_i$ : Nº de vehículos de tipo  $i$  en el área de estudio

Para obtener la emisión evaporativa en reposo total, se suman las parciales de todos los vehículos:

$$E_{REPOSO Total} = \sum_i E_{REPOSO i} \quad (g.día^{-1})$$



69. Figura: Diagrama de flujo para el cálculo de emisiones evaporativas en reposo

## Turismos

El factor de emisión para turismos se calcula con la siguiente ecuación que depende de la temperatura mínima del día y unos coeficientes K y A que son diferentes según la tecnología del vehículo:

$$e_{\text{reposo}} = K \times [A + 0,0051 \times t_{\text{min}}] \times 24 \quad (\text{g.día}^{-1}.\text{vehículo}^{-1})$$

(si el resultado es < 0, entonces  $e_{\text{reposo}} = 0$ )

58. Tabla: Parámetros para calcular emisión en reposo en turismos

Tecnología	K	A
PreEURO y defectuosos	1	-0,019
EURO 1-2	1	-0,051
EURO 3-6	0,25	-0,051

## Ciclomotores y motocicletas

Los valores de emisión en reposo para motocicletas y ciclomotores están basados en los valores de turismos adaptados al volumen del tanque de combustible, al igual que en las emisiones diurnas.

La emisión diaria para motocicletas >50cc:

$$e_{\text{Reposo}} = 0,5 \times e_{\text{Reposo, turismos PreEURO}} \quad (\text{g.día}^{-1})$$

La emisión diaria para ciclomotores <50cc:

$$e_{\text{Reposo}} = 0,2 \times e_{\text{Reposo, turismos PreEURO}} \quad (\text{g.día}^{-1})$$

### 4.4.3.3. Emisión por paradas en caliente

La **emisión por paradas en caliente** se calcula en gramos por parada y para poder sumarla a las emisiones diurnas se multiplica por el nº de paradas (o arranques) al día, según la siguiente ecuación:

$$E_{PARADAS\ i} = e_{PARADA\ i}(T, RVP) \times A_i \quad (\text{g.día}^{-1})$$

Siendo:

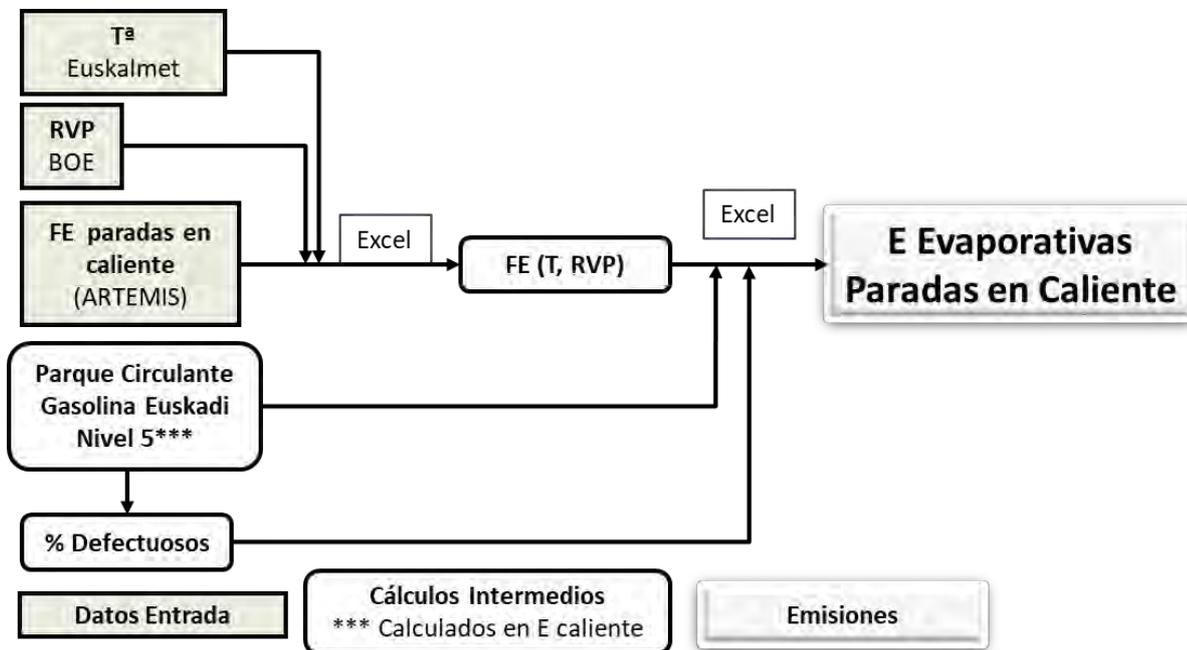
$E_{PARADA\ i}$ : La emisión de HC por día por el tipo de vehículo  $i$  (g.día<sup>-1</sup>)

$e_{PARADA\ i}(T, RVP)$ : Factor de emisión por parada en caliente del tipo de vehículo  $i$  (g.parada<sup>-1</sup>)

$A_i$ : Nº de paradas al día de vehículos de tipo  $i$  en el área de estudio

Para obtener la emisión evaporativa por paradas en caliente total, se suman las parciales de todos los vehículos:

$$E_{PARADA\ Total} = \sum_i E_{PARADA\ i} \quad (\text{g.día}^{-1})$$



70. Figura: Diagrama de flujo para el cálculo de emisiones evaporativas por paradas en caliente

Los factores de emisión para paradas en caliente dependen de la presión de vapor Reid, de la temperatura ambiente y de unas constantes que varían según la tecnología de emisiones de los vehículos:

### **Turismos Pre-EURO 1 y EURO 1-6 defectuosos**

$$e_{PC \text{ PreEURO/Defectuosos}} = 0,88 \times e^{[A \times (RVP-62) + B \times t_a + C]} \quad (\text{g.parada}^{-1})$$

**59. Tabla:** Parámetros para calcular emisión por paradas en caliente en turismos preEURO

<b>Tecnología</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>PreEURO y defectuosos</b>	0,06	0,0926	-0,8

### **Turismos EURO 1 y EURO 2**

$$e_{PC \text{ EURO 1+2}} = \frac{(A+B \times RVP) \times (t_a + C)}{D} \quad (\text{g.parada}^{-1})$$

**60. Tabla:** Parámetros para calcular emisión por paradas en caliente en turismos EURO 1 y 2

<b>Tecnología</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>EURO 1 Y 2</b>	-0,098	0,12	17,8	740

### **Turismos EURO 3 - EURO 6**

$$e_{PC \text{ EURO 3-6}} = 0,25 \times e_{PC \text{ EURO 1+2}} \quad (\text{g.parada}^{-1})$$

### **Ciclomotores y motocicletas**

Para motocicletas se utiliza un valor constante por parada, que varía si se ha hecho un recorrido urbano o interurbano. Se supone que en recorridos interurbanos la temperatura del motor es más alta tras el apagado y por eso el valor de emisión es mayor. En los ciclomotores solo se aplican los recorridos urbanos.

**61. Tabla:** Emisión por paradas en caliente en motocicletas (g.parada<sup>-1</sup>)

<b>Vehículo</b>	<b>Urbano</b>	<b>Interurbano</b>
<b>Motocicleta &gt;50cc</b>	2,5	6,4
<b>Ciclomotor &lt;50cc</b>	0,6	-

#### 4.4.3.4. Emisiones en circulación

La **emisión en circulación** se calcula en gramos por kilómetro y para poder sumarla al resto de emisiones evaporativas se multiplica este valor por los vkm recorridos en un día, según la siguiente ecuación:

$$E_{CIRCULACION\ i} = e_{CIRCULACION\ i}(T, RVP) \times N_i \times d \quad (g.día^{-1})$$

Siendo:

$E_{CIRCULACION\ i}$ : La emisión de HC por día por el tipo de vehículo  $i$  (g.día<sup>-1</sup>)

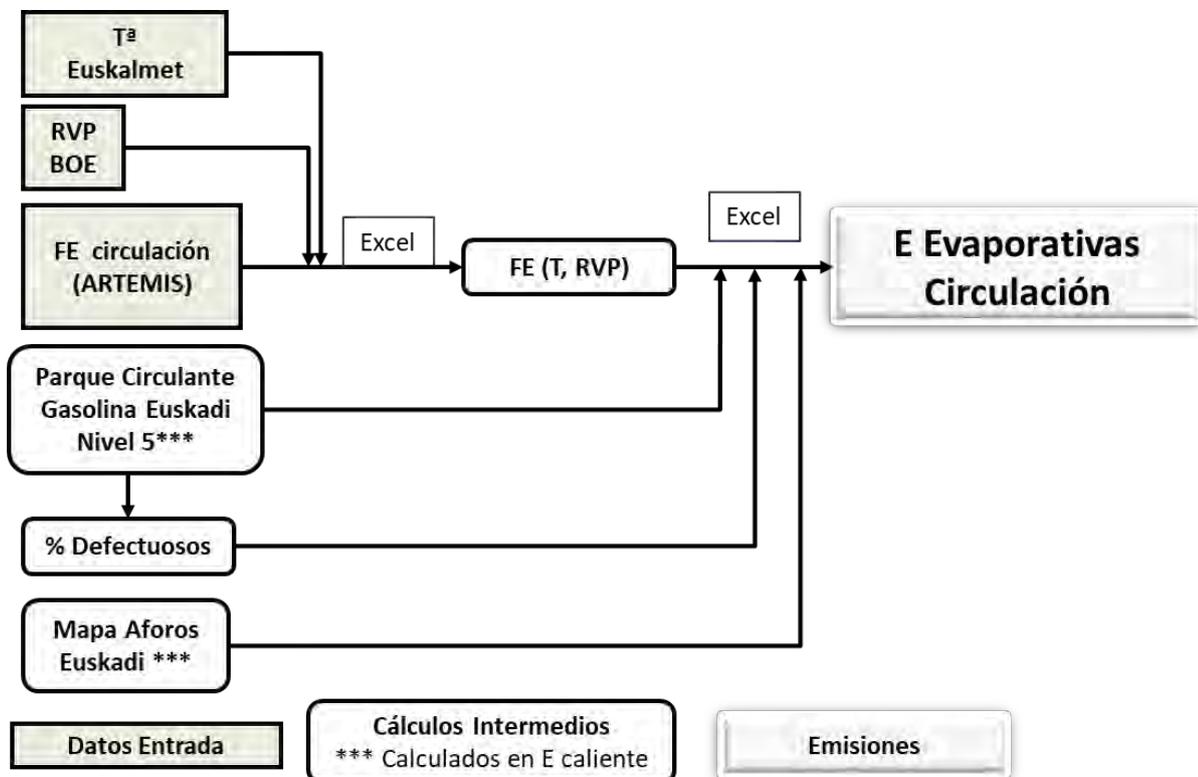
$e_{CIRCULACION\ i}(T, RVP)$ : El factor de emisión de circulación del tipo de vehículo  $i$  (g.km<sup>-1</sup>)

$N_i$ : Nº de vehículos que circulan al día de vehículos de tipo  $i$  en el área de estudio

$d$ : Distancia recorrida por los vehículos (km)

Para obtener la emisión evaporativa por circulación total, se suman las parciales de todos los tipos de vehículos:

$$E_{CIRCULACION\ T} = \sum_i E_{CIRCULACION\ i} \quad (g.día^{-1})$$



71. Figura: Diagrama de flujo para el cálculo de emisiones evaporativas por circulación

## **Turismos**

El factor de emisión para emisiones por circulación, se calcula con la siguiente fórmula que depende de la presión de vapor Reid, la temperatura ambiente y una serie de coeficientes que varían según la tecnología de emisiones de los vehículos y el tipo de carretera.

$$e_{\text{circulación}} = A \times 0,136 \times e^{(-5,967 + B \times 0,04259 \times RVP + C \times 0,1773 \times t_a)} \quad (\text{g.día}^{-1})$$

**62. Tabla: Parámetros para calcular emisión en circulación en turismos**

<b>Tecnología</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Pre EURO y defectuoso</b>	<i>Urbano</i>	11	1,2	0,72
	<i>Rural</i>	10	0,98	0,67
	<i>Autopista</i>	4,5	0,95	0,67
<b>EURO 1-6</b>	<i>Urbano</i>	1	1,1	0,79
	<i>Rural</i>	0,5	0,95	0,71
	<i>Autopista</i>	1	0,8	0,67

## **Motocicletas y Ciclomotores**

No se desarrollaron coeficientes para emisiones evaporativas en circulación durante el proyecto ARTEMIS para las motocicletas y ciclomotores. En este estudio se ha supuesto que el 100% del parque circulante que tiene emisiones evaporativas por circulación son turismos.

## 4.4.4. CÁLCULO DE EMISIONES POR DESGASTE

En este estudio se utiliza la metodología y factores de emisión Tier 2 proporcionados por el EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 (Ntziachristos et al. 2016). La emisión por desgaste total se calcula sumando las emisiones producidas por los diferentes mecanismos de desgaste:

$$E_{\text{DESGASTE}} = E_{\text{NEUMATICO}} + E_{\text{FRENO}} + E_{\text{CARRETERA}}$$

### 4.4.4.1. Desgaste de neumáticos

El cálculo de la emisión por desgaste de neumáticos de un tramo de carretera se realiza a través de la siguiente ecuación:

$$E_{\text{NEUMATICO}} = \sum_i FE_{\text{NEUMATICO}i} \times N_i \times d \times S_N(u)$$

Donde:

$E_{\text{NEUMATICO}}$ :	Emisión generada por desgaste de neumático	(g)
$FE_{\text{NEUMATICO}i}$ :	Factor de emisión para un vehículo de tipo $i$	(g.km <sup>-1</sup> )
$N_i$ :	Número de vehículos de tipo $i$ que recorren el tramo	
$d$ :	Distancia del tramo	(km)
$S_N(u)$ :	Factor de corrección, función de la velocidad $u$	

Los factores de emisión por desgaste de neumáticos están basados en datos experimentales. Hay que tener en cuenta que no todo el desgaste de neumático pasa a la atmósfera como material particulado, ya que parte de la goma puede pasar a partículas gruesas, por ejemplo, después de una gran frenada. En la siguiente tabla se dan los factores de emisión para PST, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>:

63. Tabla: Factor de emisión por abrasión de neumático (g.km<sup>-1</sup>)

Vehículo	PST	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
<b>Turismos</b>	0,011	0,007	0,005
<b>VCL</b>	0,017	0,012	0,008
<b>Camión Rígido</b>	0,028	0,017	0,012
<b>Camión Articulado</b>	0,058	0,035	0,025
<b>Autobuses</b>	0,032	0,019	0,014
<b>Motos/Ciclomotores</b>	0,005	0,003	0,002

Se introduce un factor de corrección que depende de la velocidad del vehículo denominado  $S_N(u)$ . Estudios de (Luhana et al. 2004) indican que hay un descenso en las emisiones al aumentar la velocidad. Esto se debe a que en conducción urbana y a baja velocidad las frenadas y los virajes son más frecuentes que en el tráfico interurbano. Aunque la ecuación propuesta se desarrolló para turismos, se aplica a todo tipo de vehículos.

La expresión matemática es:

$$\begin{aligned}
 u < 40 \text{ km.h}^{-1} & \quad S_N(u) = 1,39 \\
 40 \text{ km.h}^{-1} \leq u \leq 90 \text{ km.h}^{-1} & \quad S_N(u) = - 0,00974 \times u + 1,78 \\
 u > 90 \text{ km.h}^{-1} & \quad S_N(u) = 0,92
 \end{aligned}$$

$$S_N(u) = 1 \text{ cuando la velocidad es de } 80 \text{ km.h}^{-1}$$

#### 4.4.4.2. Desgaste de frenos

El cálculo de la emisión por desgaste de frenos de un tramo de carretera se realiza a través de la siguiente ecuación:

$$E_{FRENO} = \sum_i FE_{FRENOi} \times N_i \times d \times S_F(u)$$

Donde:

$E_{FRENO}$ :	Emisión generada por desgaste de frenos	(g)
$FE_{FRENOi}$ :	Factor de emisión para un vehículo de tipo i	(g.km <sup>-1</sup> )
$N_i$ :	Número de vehículos de tipo i que recorren el tramo	
$d$ :	Distancia del tramo	(km)
$S_F(u)$ :	Factor de corrección, función de la velocidad u	

En la siguiente tabla se dan los factores de emisión para desgaste de frenos y se puede concluir que las partículas que se emiten son PM<sub>10</sub> o menores:

**64. Tabla: Factor de emisión por abrasión de frenos (g.km<sup>-1</sup>)**

Vehículo	PST	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
Turismo	0,007	0,007	0,003
VCL	0,011	0,011	0,004
Camión Rígido	0,028	0,027	0,011
Camión Articulado	0,018	0,018	0,007
Autobús	0,042	0,042	0,017
Moto/Ciclomotor	0,004	0,004	0,002

En estas emisiones sucede un efecto similar al de las emisiones por desgaste de neumáticos, a mayor velocidad menor desgaste. Para la corrección por velocidad se utiliza el factor de corrección  $S_F(u)$  que es mayor a velocidad baja:

$$\begin{aligned}
 u < 40 \text{ km.h}^{-1} & \quad S_F(u) = 1,67 \\
 40 \text{ km.h}^{-1} \leq u \leq 95 \text{ km.h}^{-1} & \quad S_F(u) = -0,027 \times u + 2,75 \\
 u > 95 \text{ km.h}^{-1} & \quad S_F(u) = 0,185
 \end{aligned}$$

$S_F(u) = 1$  cuando la velocidad es de 65 km.h<sup>-1</sup>

#### 4.4.4.3. Desgaste de la carretera

El cálculo de la emisión por desgaste de la carretera se realiza con la siguiente ecuación:

$$E_{CARRETERA} = \sum_i FE_{CARRETERAi} \times N_i \times d$$

Donde:

$E_{CARRETERA}$ :	Emisión generada por desgaste de la carretera	(g)
$FE_{CARRETERAi}$ :	Factor de emisión para un vehículo de tipo $i$	(g.km <sup>-1</sup> )
$N_i$ :	Número de vehículos de tipo $i$ que recorren el tramo	
$d$ :	Distancia del tramo	(km)

Existe muy poca información sobre los factores de emisión de desgaste de la carretera y la variabilidad que tiene es muy alta. Esto se debe a que depende mucho del material con que está construida la propia carretera. La guía EMEP/EEA recomienda los valores de la siguiente tabla para carreteras con vehículos normales, sin ruedas con clavos:

65. Tabla: Factor de emisión por abrasión de la carretera (g.km<sup>-1</sup>)

Vehículo	PST	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
Turismo	0,015	0,008	0,004
VCL	0,015	0,008	0,004
Camión Rígido	0,076	0,038	0,021
Camión Articulado	0,076	0,038	0,021
Autobús	0,076	0,038	0,021
Moto/Ciclomotor	0,006	0,003	0,002

## **4.5. RESULTADOS DEL CÁLCULO DE EMISIONES DE TRÁFICO DE EUSKADI**

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos del estudio de las emisiones en la Comunidad Autónoma de Euskadi para los contaminantes regulados por la EU que son: CO, HC, NO<sub>x</sub> y PM<sub>2,5</sub> acompañado de un análisis del consumo de combustible (FC) que se utiliza como referencia. A partir de este momento se designará a estos resultados como EMIGIA (**EM**isiones calculadas por el **G**ruppo de **I**nvestigación **A**tmosférica de la Escuela de Ingeniería de Bilbao-UPV/EHU). El procedimiento de presentación de los resultados es para todos los contaminantes similar:

- (i) Evolución de las emisiones anuales en el periodo 2007-2015, segregado por tipo de emisión.
- (ii) Comparativa de los años 2007 y 2015 de cuál es el peso relativo de esta emisión de cada tipo de vehículo.
- (iii) Análisis del peso relativo de cada tecnología de emisión en cada tipo de vehículo para el año 2015.
- (iv) Localización geoespacial en SIG de las emisiones anuales de cada contaminante en cuadrículas de 250x250 m<sup>2</sup> para el año 2012.
- (v) Estudio de la variabilidad temporal en las características más reseñables de cada contaminante.

Aunque las aceleraciones, deceleraciones, velocidad constante, carga del vehículo, gradiente de la carretera y peso del vehículo son parámetros clave que afectan a las emisiones en este estudio, se ha considerado que, para calcular un inventario de emisiones a nivel de territorios, es suficiente con calcular las emisiones con factores de emisión en g.km<sup>-1</sup> relacionados con la velocidad media, combinados con los datos de circulación de tráfico (*Barlow et al. 2009*).

Es típico en la literatura encontrar las emisiones de compuestos volátiles en forma de HC o de COV. Para unificar los criterios a la hora de calcular los resultados se han expresado en forma de HC y se han utilizado las siguientes equivalencias indicadas por la EPA en el informe “*Conversion Factors for Hydrocarbon Emission Components. NR-002d*” (EPA 2010):

- *Emisiones de escape:* Se diferencian las emisiones de los motores de dos tiempos (solo considerados en motocicletas y ciclomotores) y cuatro tiempos en gasolina, y los motores diésel.

*Gasolina 2 tiempos:*       $COV/HC = 1,034$

*Gasolina 4 tiempos:*       $COV/HC = 0,933$

*Diésel:*                       $COV/HC = 1,053$

- *Emisiones Evaporativas:* En las emisiones evaporativas se considera que la equivalencia entre las distintas formas de hidrocarburos es 1,000.

$$HC = COV$$

Las emisiones de material particulado se presentan como PM<sub>2,5</sub>, ya que se asume que toda la emisión de partículas por el escape corresponde a ese intervalo de tamaño de partícula (*Boulter et al, 2009b*).

Las emisiones de todos los contaminantes se han reducido notablemente en el periodo 2007-2015: 45% CO y HC, 27% NO<sub>x</sub> y 28% PM<sub>2,5</sub>, mientras que el consumo de combustible calculado se ha reducido en un 15%. Esta reducción de las emisiones contaminantes se da principalmente por dos razones:

- (i) La mejora tecnológica de los vehículos nuevos (implantación de normativas EURO).
- (ii) Una reducción progresiva del tráfico, más acusada en el tráfico pesado, en especial a partir del año 2009.

Para contrastar estos resultados en los últimos apartados de este capítulo se hace una comparativa con los resultados obtenidos del modelo de emisiones COPERT y también se hace una valoración del consumo de combustible calculado con las ventas reales de combustible proporcionado por CORES, corporación tutelada por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, que tiene como una de sus funciones más relevantes la elaboración de informes estadísticos del sector de hidrocarburos.

## 4.5.1. EMISIONES DE TRÁFICO ANUALES DE EUSKADI

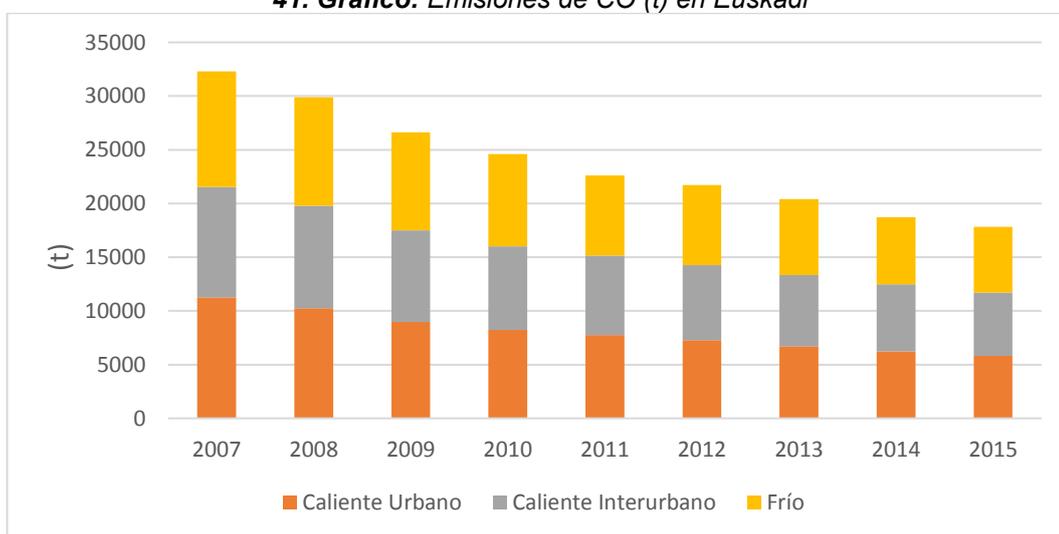
### 4.5.1.1. Emisiones de CO

Las emisiones anuales de CO han descendido un 45%, desde 32,3 Gg en el año 2007 a 17,8 Gg en el año 2015. Las razones de este descenso son principalmente la mejora tecnológica de los vehículos y una reducción del parque de vehículos de gasolina, que son los principales emisores de CO. Las emisiones en caliente suponen dos tercios de las emisiones totales, un tercio en el ámbito urbano y otro en el interurbano. Las emisiones en frío son significativas, representan el tercio restante.

66. Tabla: Emisiones de CO (t) en Euskadi

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Caliente Urbano</b>	11.275	10.257	8.972	8.227	7.750	7.279	6.718	6.228	5.836
<b>Caliente Interurbano</b>	10.259	9.521	8.544	7.786	7.399	6.992	6.623	6.245	5.878
<b>Frío</b>	10.777	10.113	9.123	8.581	7.472	7.452	7.061	6.254	6.130
<b>TOTAL</b>	<b>32.311</b>	<b>29.892</b>	<b>26.639</b>	<b>24.594</b>	<b>22.620</b>	<b>21.723</b>	<b>20.403</b>	<b>18.727</b>	<b>17.844</b>

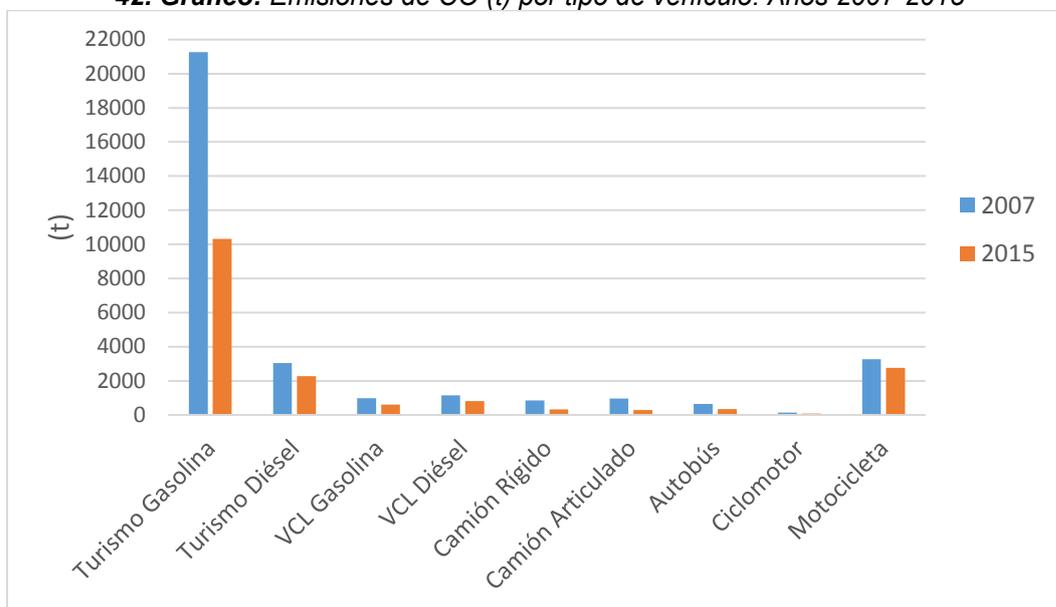
41. Gráfico: Emisiones de CO (t) en Euskadi



Los vehículos a gasolina son los principales emisores de CO siendo responsables de más del 75% de las emisiones anuales. Los turismos de gasolina emiten la mayor proporción de CO, aunque la reducción progresiva de este tipo de vehículo ha hecho que haya pasado de ser el causante de 65% de las emisiones en 2007, al 58% en 2015.

Hay que prestar atención al progresivo aumento del parque de motocicletas, que hace que el impacto de este grupo de vehículos en las emisiones de CO haya pasado de ser el 10% en 2007, al 15% en 2015.

**42. Gráfico: Emisiones de CO (t) por tipo de vehículo. Años 2007-2015**



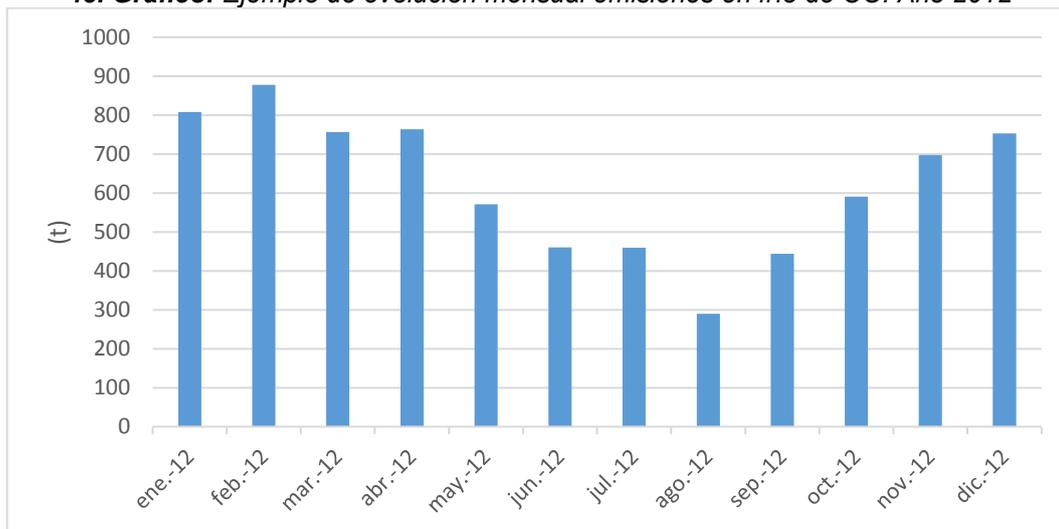
En la siguiente tabla se puede ver por tipo de vehículo, el porcentaje de emisión que corresponde a cada tecnología, para el año 2015. Es llamativo el impacto que tienen los vehículos antiguos de gasolina en la emisión de CO. En el caso de los turismos de gasolina, siendo responsables del 58% de la emisión total de CO, de esa cantidad, más del 80% corresponde a vehículos PreEURO. En definitiva, el 47% de toda la emisión corresponde a vehículos gasolina matriculados antes de 1992.

**67. Tabla: % de emisión de CO asignado a cada tecnología por tipo de vehículo para el año 2015**

	PreEURO	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6
<b>Turismo Gasolina</b>	81,3%	5,6%	5,0%	2,6%	3,2%	1,8%	0,5%
<b>Turismo Diésel</b>	5,7%	6,0%	19,6%	14,3%	30,2%	18,7%	5,6%
<b>VCL Gasolina</b>	79,5%	3,7%	6,3%	6,6%	2,6%	0,9%	0,4%
<b>VCL Diésel</b>	19,2%	6,3%	28,8%	16,0%	20,1%	7,7%	1,8%
<b>Camión Rígido</b>	2,2%	2,5%	26,1%	39,9%	23,3%	4,0%	2,0%
<b>Camión Articulado</b>	7,2%	3,6%	21,1%	43,4%	9,0%	10,3%	5,5%
<b>Autobús</b>	25,7%	3,6%	19,9%	37,6%	4,4%	5,9%	2,9%
<b>Ciclomotor</b>	76,1%	5,7%	18,3%	-	-	-	-
<b>Motocicleta</b>	48,8%	6,3%	11,7%	33,1%	-	-	-

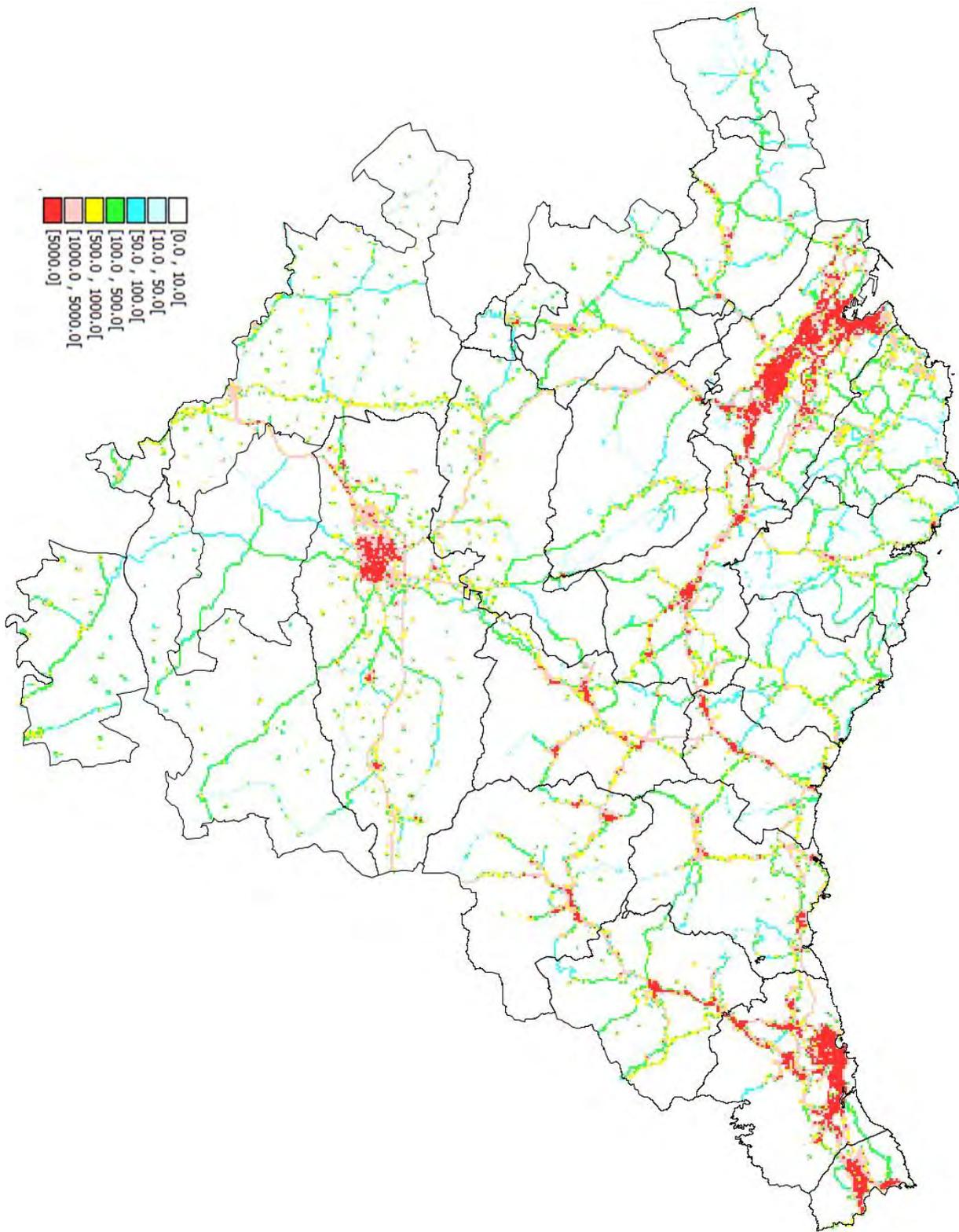
Las emisiones de CO en caliente son directamente proporcionales a la cantidad de tráfico. Pero en las emisiones en frío, además del tráfico se ha de tener en cuenta la temperatura ambiente. Como ejemplo, en el siguiente gráfico se ve la evolución mensual de las emisiones en frío para el año 2012. El nivel de emisión de junio y julio, que son los meses de mayor tráfico, es la mitad que en febrero: esto se debe a la diferencia de temperaturas entre los meses de invierno y verano.

**43. Gráfico:** Ejemplo de evolución mensual emisiones en frío de CO. Año 2012



En la figura de la siguiente página, se puede ver la geolocalización de las emisiones de CO para las carreteras de Euskadi para el año 2012, distribuidas en cuadrículas de 250x250 m<sup>2</sup>.

Las zonas más afectadas son los grandes núcleos urbanos, es decir el Gran Bilbao, Donostialdea, Vitoria-Gasteiz y también Irún. Esto tiene su lógica ya que 2/3 de las emisiones se producen en el entorno urbano. También se pueden apreciar zonas de alta emisión en las poblaciones cabecera de comarca donde se acumula el tráfico urbano, caso de Durango, Arrasate, Tolosa etc.



72. **Figura:** Emisión CO año 2012 en kg/cuadrícula (250x250 m<sup>2</sup>)

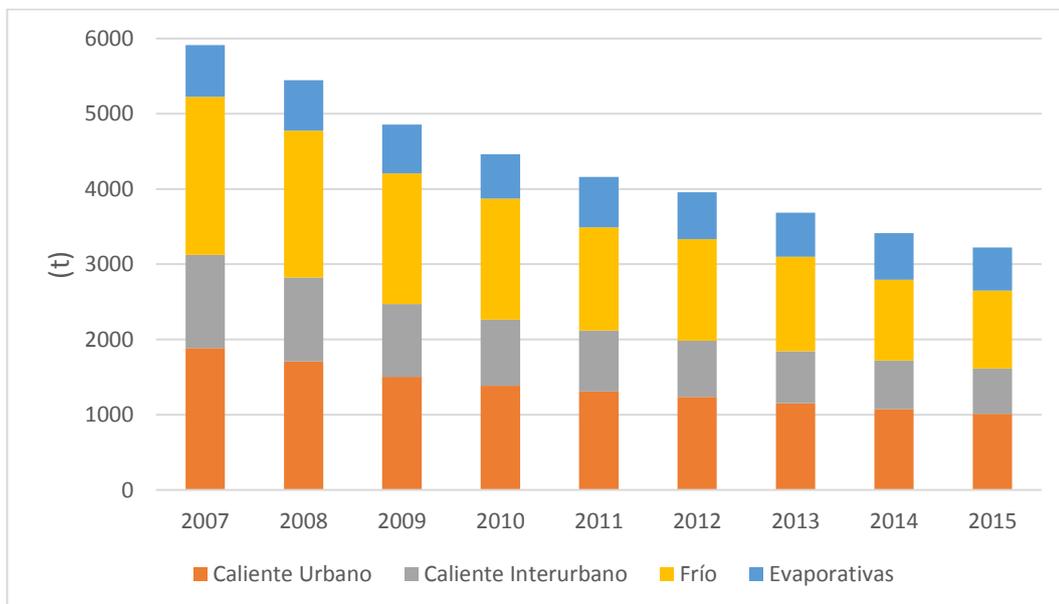
#### 4.5.1.2. Emisiones de HC

Las emisiones de HC siguen la misma tendencia que las de CO: se han reducido un 45% en el periodo 2007-2015, pasando de 5,9 Gg en 2007 a 3,2 Gg en 2015. Las nuevas tecnologías de reducción de emisiones y la reducción del parque de vehículos de gasolina, son los principales responsables de esta reducción.

68. Tabla: Emisiones de HC (t) en Euskadi

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Caliente Urbano</b>	1.893	1.714	1.509	1.394	1.316	1.246	1.160	1.084	1.022
<b>Caliente Interurbano</b>	1.238	1.117	969	879	810	745	691	645	602
<b>Frío</b>	2.101	1.950	1.736	1.605	1.369	1.351	1.255	1.075	1.033
<b>Evaporativas</b>	687	670	649	589	671	624	588	618	576
<i>Evap Diurnas</i>	147	155	157	135	155	163	138	147	142
<i>Evap Resting</i>	87	83	87	79	95	82	80	88	79
<i>Evap Hotsoak</i>	168	163	157	142	151	143	143	145	136
<i>Evap Running</i>	285	270	248	233	270	236	226	237	220
<b>TOTAL</b>	<b>5.918</b>	<b>5.451</b>	<b>4.864</b>	<b>4.468</b>	<b>4.167</b>	<b>3.966</b>	<b>3.694</b>	<b>3.422</b>	<b>3.233</b>

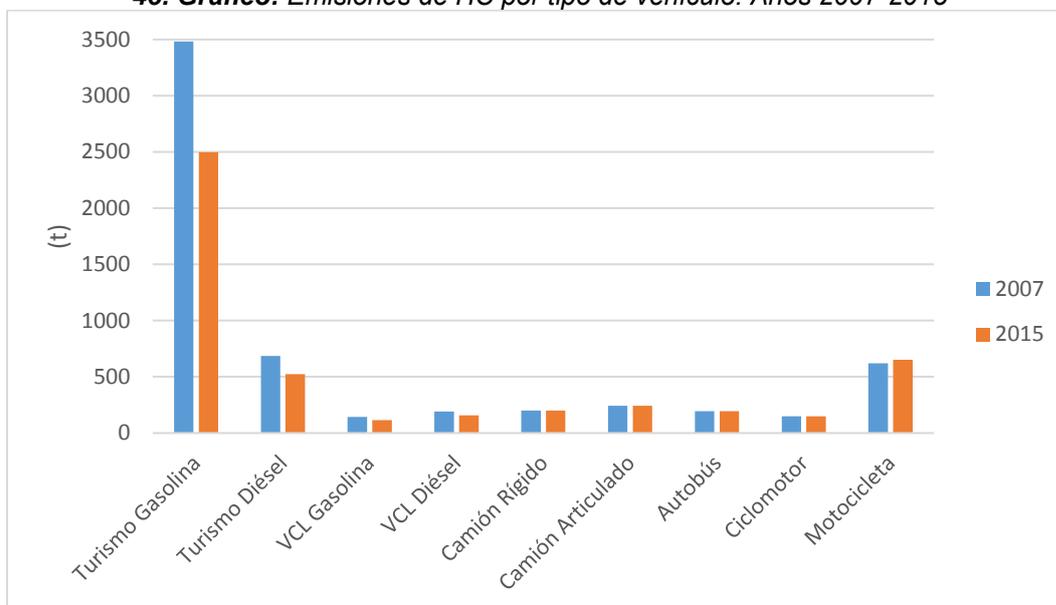
44. Gráfico: Emisiones de HC (t) en Euskadi



La emisión de HC se da mayoritariamente en recorridos urbanos. Los arranques en frío y la circulación a baja velocidad son las situaciones de mayor emisión y corresponden al 75 % de las emisiones totales.

Los HC son un contaminante típico de los vehículos a gasolina y, tal y como se ve en el siguiente gráfico, son los causantes de más del 75% de la emisión total. Los turismos de gasolina son los principales emisores de HC, pero no hay que perder de vista a los ciclomotores y motocicletas que, debido al aumento en el parque móvil, han pasado de ser responsables del 13% de las emisiones en 2007 al 19% en 2015.

**45. Gráfico: Emisiones de HC por tipo de vehículo. Años 2007-2015**



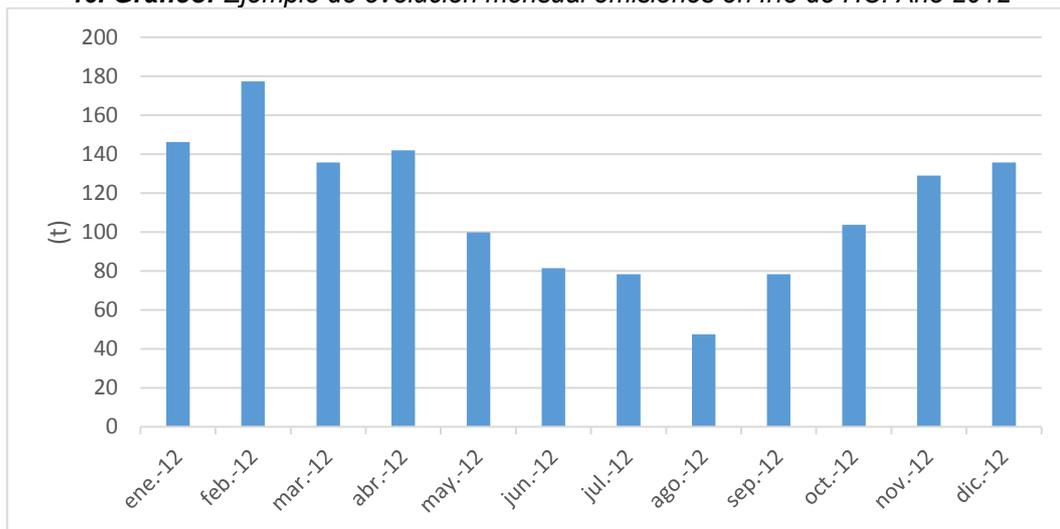
El uso de nuevas tecnologías de reducción de emisiones es muy importante en los HC. El uso de catalizadores ha reducido mucho los factores de emisión. En el año 2015, los turismos de gasolina emitieron el 54% de la emisión total, y de esa cantidad el 87% se debió al uso de tecnología PreEURO. Resumiendo, el 47% de la emisión total de HC se debió a turismos de gasolina matriculados antes del año 1992.

**69. Tabla: % de emisión de HC asignado a cada tecnología por tipo de vehículo para el año 2015**

	PreEURO	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6
<b>Turismo Gasolina</b>	87,1%	4,7%	3,2%	1,2%	2,1%	1,3%	0,4%
<b>Turismo Diésel</b>	5,53%	6,41%	20,01%	20,56%	23,66%	18,35%	5,49%
<b>VCL Gasolina</b>	94,51%	1,65%	1,83%	1,14%	0,57%	0,21%	0,09%
<b>VCL Diésel</b>	19,21%	5,81%	19,56%	17,06%	24,12%	11,49%	2,74%
<b>Camión Rígido</b>	6,65%	3,29%	29,39%	53,21%	3,05%	3,86%	0,55%
<b>Camión Articulado</b>	8,64%	4,40%	21,19%	54,60%	4,26%	5,97%	0,93%
<b>Autobús</b>	32,70%	5,08%	21,38%	34,26%	2,62%	3,46%	0,49%
<b>Ciclomotor</b>	75,63%	2,72%	21,64%	-	-	-	-
<b>Motocicleta</b>	49,55%	7,93%	10,13%	32,39%	-	-	-

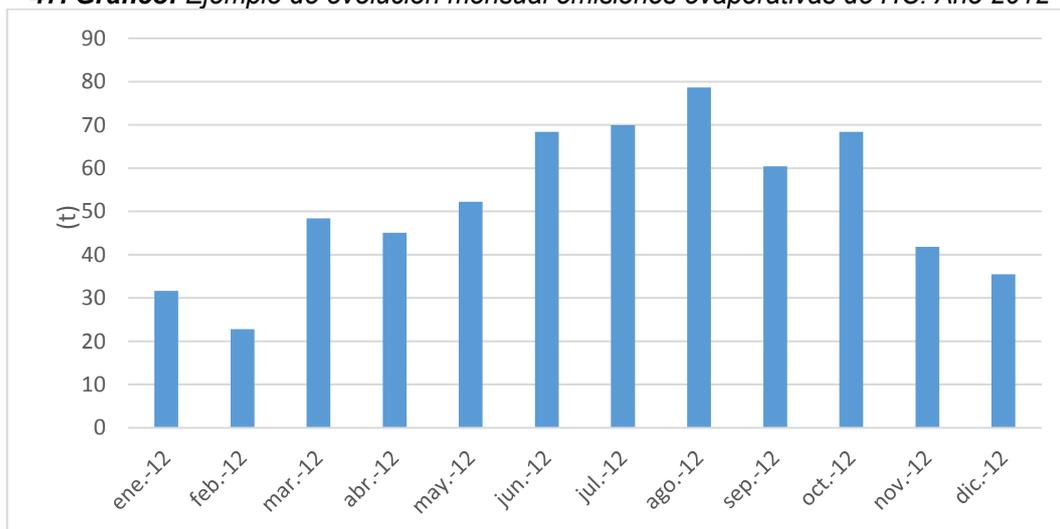
Las emisiones en frío y las emisiones evaporativas son el 50% de las emisiones totales de HC. La temperatura ambiente es la variable clave en este tipo de emisión. A mayor temperatura mayor emisión evaporativa y menor emisión en frío, y viceversa. Por tanto, de alguna manera se van compensando a lo largo del año. En el siguiente gráfico se ve como ejemplo en el año 2012, la reducción de las emisiones en frío que se da en los meses de verano.

**46. Gráfico:** Ejemplo de evolución mensual emisiones en frío de HC. Año 2012

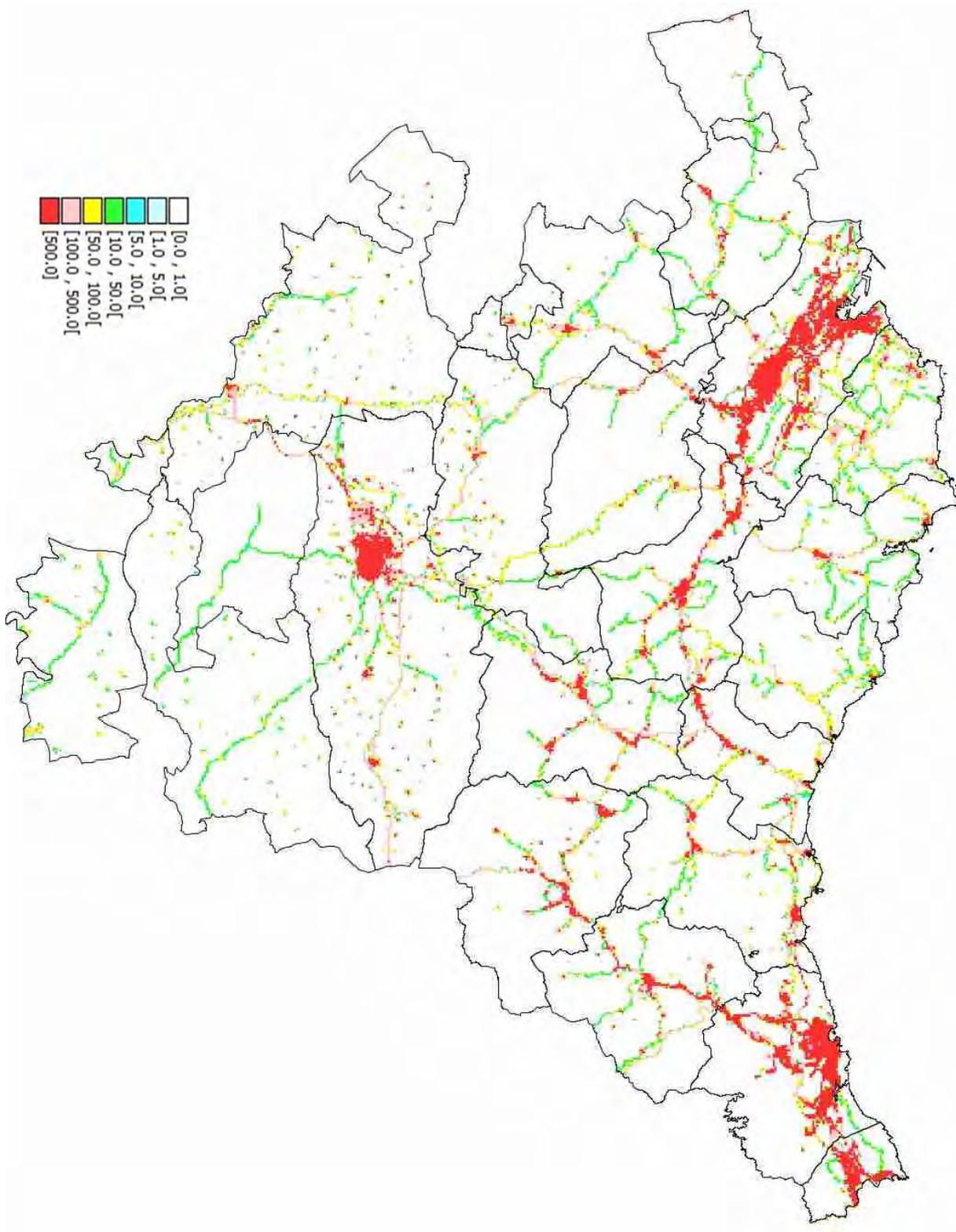


Justo lo contrario ocurre en las emisiones evaporativas, donde en un mes caliente de verano se puede emitir hasta 3,5 veces más que en un mes frío de invierno.

**47. Gráfico:** Ejemplo de evolución mensual emisiones evaporativas de HC. Año 2012



En la siguiente figura se puede ver la geolocalización de las emisiones de HC para las carreteras de Euskadi durante el año 2015, distribuidas en cuadrículas de 250x250 m<sup>2</sup>. Al ser una emisión típicamente urbana las zonas más afectadas son las grandes capitales: el Gran Bilbao, Donostialdea y Vitoria-Gasteiz.



73. **Figura:** Emisión HC año 2012 en kg/cuadrícula (250x250 m<sup>2</sup>)

### 4.5.1.3. Emisiones de NO<sub>x</sub>

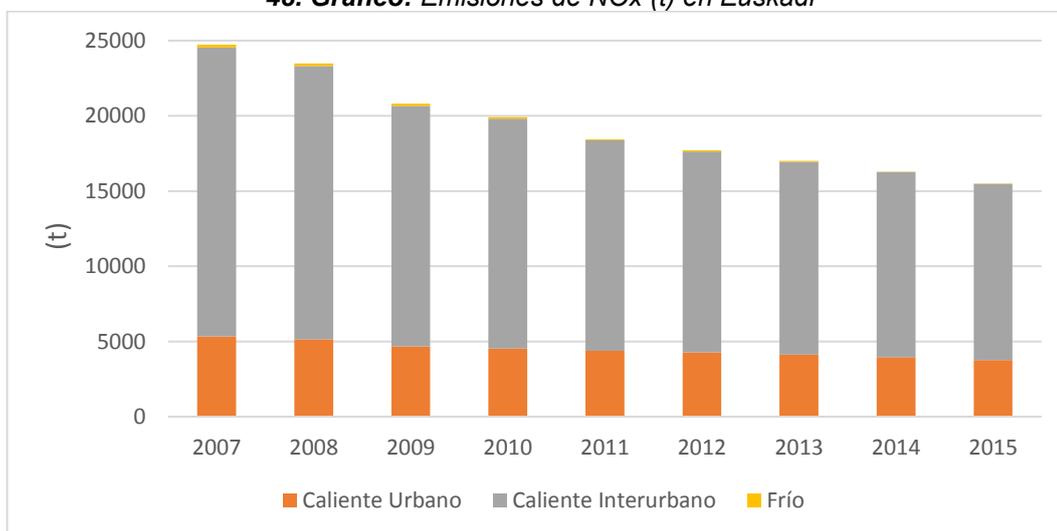
Las emisiones de NO<sub>x</sub> se han reducido un 27% en el periodo 2007-2015, pasando de 24,7 Gg en 2007 a 15,5 Gg en 2015. Esta mejora se basa principalmente en la reducción del tráfico de vehículos pesados y en las mejoras tecnológicas en los sistemas de reducción de emisiones que se han llevado a cabo en este tipo de vehículos.

70. Tabla: Emisiones de NO<sub>x</sub> (t) en Euskadi

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Caliente Urbano</b>	5.329	5.145	4.679	4.524	4.381	4.263	4.123	3.947	3.766
<b>Caliente Interurbano</b>	19.209	18.157	15.982	15.284	13.977	13.368	12.821	12.314	11.722
<b>Frío</b>	205	176	138	114	79	72	56	29	20
<b>TOTAL</b>	<b>24.744</b>	<b>23.478</b>	<b>20.799</b>	<b>19.922</b>	<b>18.437</b>	<b>17.704</b>	<b>17.000</b>	<b>16.290</b>	<b>15.508</b>

La emisión de NO<sub>x</sub> se produce cuando se exige alta potencia al motor y este alcanza una mayor temperatura (aceleraciones). El mayor porcentaje de emisiones se produce en recorridos interurbanos, sobre el 75%. Las emisiones en frío se pueden considerar casi despreciables, en ningún caso llegan al 1% del total.

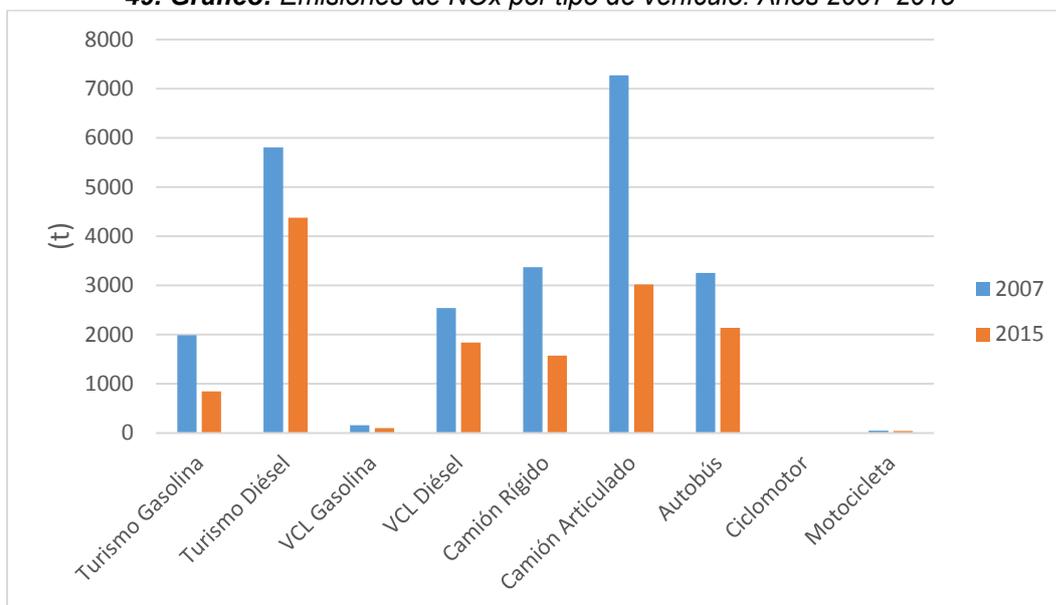
48. Gráfico: Emisiones de NO<sub>x</sub> (t) en Euskadi



Los principales responsables de las emisiones de NO<sub>x</sub> son los vehículos diésel y cuanto mayor sea el tamaño del vehículo, mayor emisión. Es reseñable comentar que la bajada de tráfico pesado en Euskadi y las mejoras tecnológicas que han tenido lugar en los vehículos pesados han hecho que el porcentaje de emisiones asignado a este tipo de vehículos haya pasado de ser el 56% en 2007 al 43% en 2015. Por el contrario, la continua dieselización del parque de

turismos, unido a que las mejoras tecnológicas en los sistemas de reducción de emisiones, no han tenido la eficacia esperada, no exenta de polémica (caso VW). Esto ha hecho que los turismos hayan pasado de ser responsables del 27,5% de las emisiones en 2007 al 34,5% en 2015. Este hecho ha impedido que la reducción anual en este tipo de emisiones haya llegado a los niveles logrados en CO y HC.

**49. Gráfico:** Emisiones de NOx por tipo de vehículo. Años 2007-2015



El análisis del impacto de la antigüedad de los vehículos diésel en las emisiones del año 2015, muestra una distribución bastante equilibrada y no se aprecia un gran impacto de los vehículos viejos en las emisiones totales de NOx. Esto se debe a que el parque circulante en vehículos diésel viejos no es muy elevado.

**71. Tabla:** % de emisión de NOx asignado a cada tecnología por tipo de vehículo para el año 2015

	PreEURO	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6
<b>Turismo Gasolina</b>	69,9%	6,8%	8,8%	5,7%	5,8%	2,3%	0,7%
<b>Turismo Diésel</b>	1,61%	2,70%	17,13%	25,84%	33,10%	17,32%	2,30%
<b>VCL Gasolina</b>	91,93%	2,10%	2,92%	1,82%	0,91%	0,22%	0,09%
<b>VCL Diésel</b>	22,47%	5,69%	27,55%	21,15%	17,08%	5,48%	0,58%
<b>Camión Rígido</b>	1,61%	1,46%	21,85%	35,88%	21,38%	16,24%	1,58%
<b>Camión Articulado</b>	3,86%	1,65%	13,28%	31,31%	26,07%	21,53%	2,30%
<b>Autobús</b>	17,05%	2,37%	16,70%	25,50%	20,29%	16,48%	1,62%
<b>Ciclomotor</b>	49,17%	9,03%	41,81%	-	-	-	-
<b>Motocicleta</b>	39,26%	7,03%	14,44%	39,28%	-	-	-

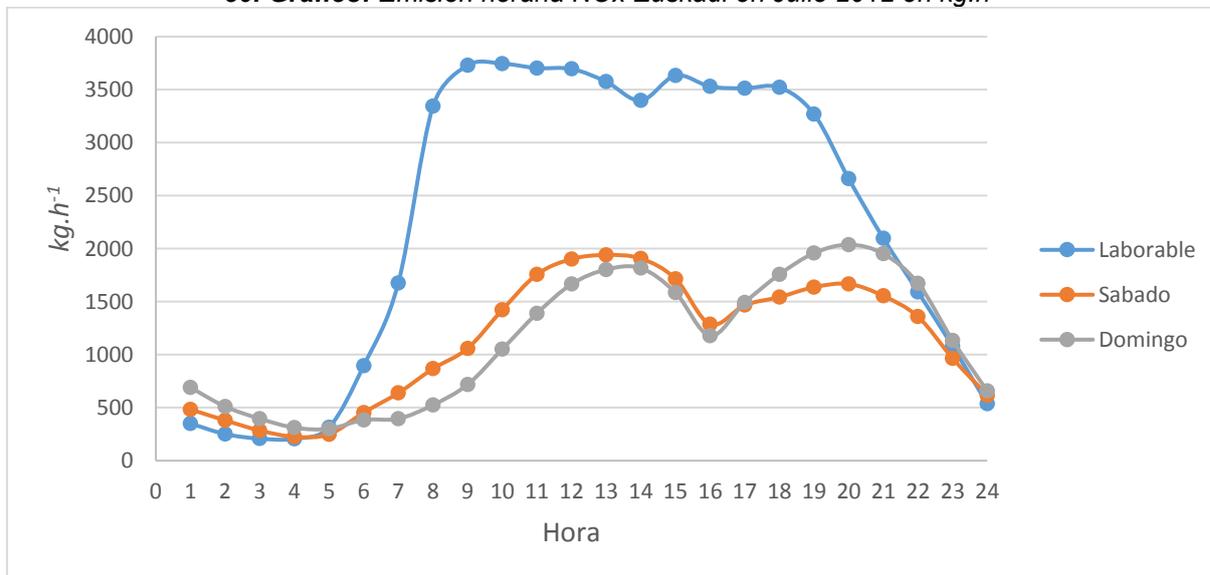
Para un parque circulante dado, las emisiones de NO<sub>x</sub> son exclusivamente dependientes de la cantidad de tráfico y no se ve afectado por ejemplo por la temperatura ambiente, como ocurre con el CO y HC. Tal y como se ha descrito en capítulos anteriores, el tráfico varía en función del mes del año, el día de la semana y la hora del día. En la siguiente tabla se muestra la emisión diaria de NO<sub>x</sub> para los meses de julio (máximo tráfico) y agosto (mínimo tráfico) en días laborables y festivos. La emisión de NO<sub>x</sub> puede llegar a ser del orden del doble en función del día del año que se considere, por ejemplo para el caso de 2012 entre 23,20 t.día<sup>-1</sup> a 54,53 t.día<sup>-1</sup>.

72. Tabla: Emisión diaria de NO<sub>x</sub> en Euskadi año 2012 en t.día<sup>-1</sup>

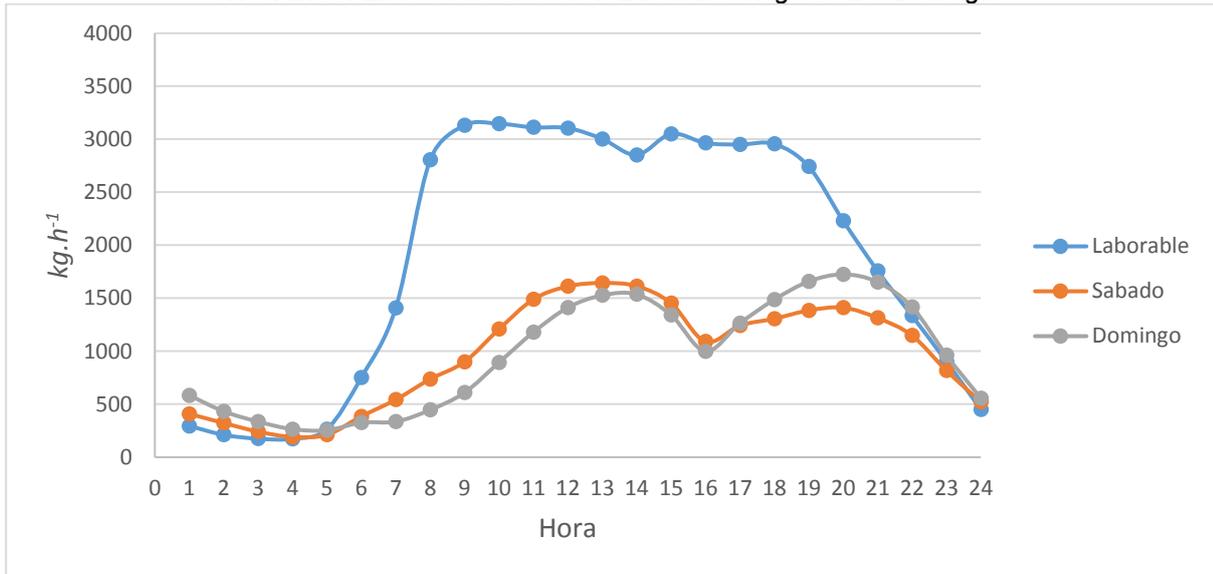
	Julio 2012	Agosto 2012
<b>Emisión NO<sub>x</sub> Laborable</b>	54,53	45,77
<b>Emisión NO<sub>x</sub> Festivo</b>	27,38	23,20

La emisión también varía en función de la hora del día, ya que la intensidad del tráfico es diferente de día y de noche. También varía si el día es laborable o festivo. En los siguientes gráficos se pueden ver las emisiones de NO<sub>x</sub> estimadas para los días del mes de julio 2012 (máxima emisión) y para los días del mes de agosto 2012 (mínima emisión).

50. Gráfico: Emisión horaria NO<sub>x</sub> Euskadi en Julio 2012 en kg.h<sup>-1</sup>



51. Gráfico: Emisión horaria NO<sub>x</sub> Euskadi en Agosto 2012 en kg.h<sup>-1</sup>

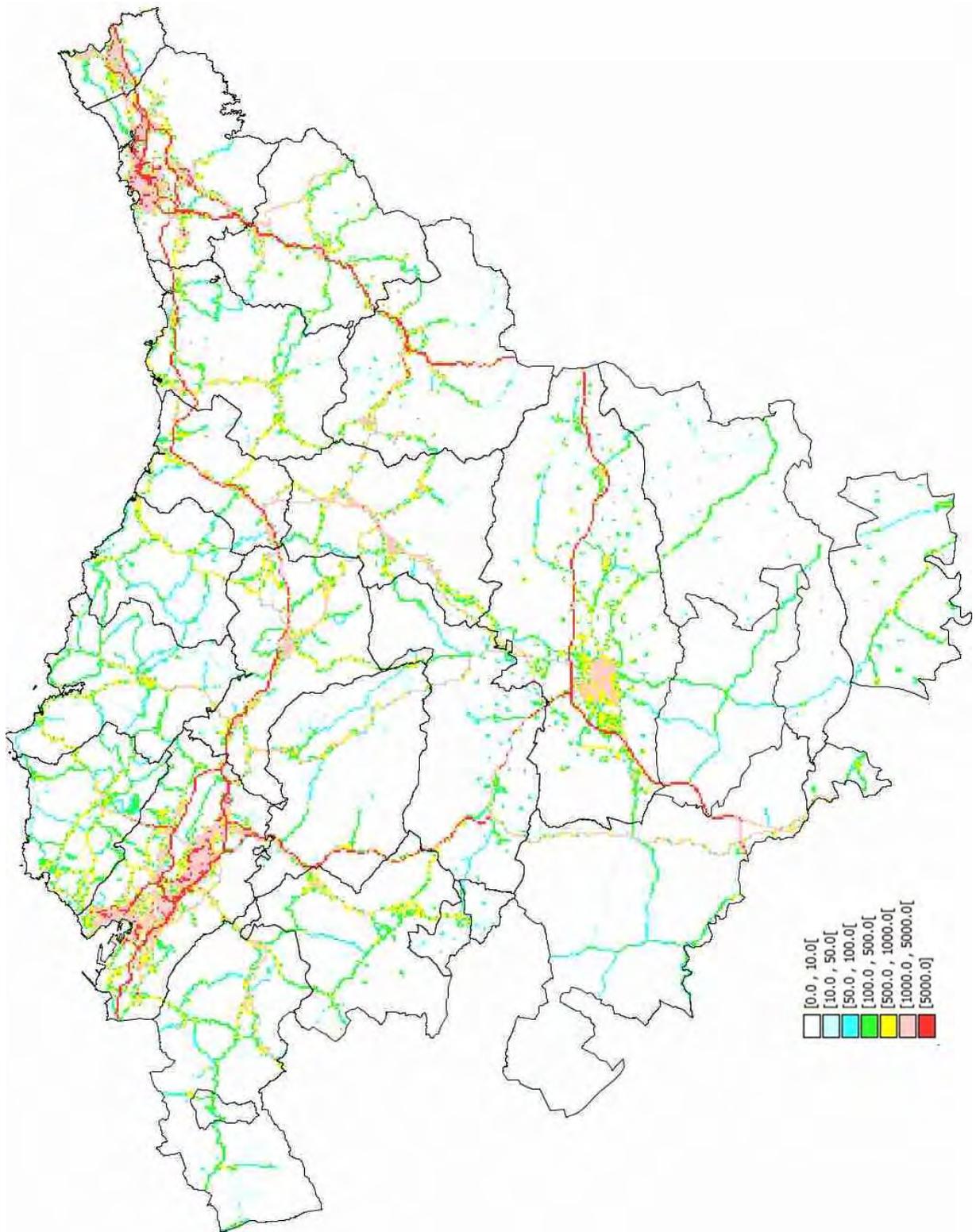


En los días laborables se aprecia un periodo de alta emisión casi constante entre las 8:00 de la mañana y las 20:00 de la tarde, otro periodo de baja emisión entre las 0:00 y las 5:00, y el resto de horas son de transición entre los dos periodos.

Las emisiones de los sábados y los festivos son muy similares, aunque están trasladadas en el horario: los sábados hay más tráfico a la mañana y los festivos hay más tráfico al atardecer. En ambos casos se ve una bajada de tráfico a la hora de comer, sobre las 16:00 de la tarde.

A diferencia de las emisiones de CO y HC, que son típicas de núcleos urbanos, las mayores emisiones de NO<sub>x</sub> se dan en los grandes corredores. Aunque en los núcleos urbanos se aprecian concentraciones de emisiones de NO<sub>x</sub>, las emisiones más altas se dan en autopistas y vías con alta circulación, en especial las que tienen tráfico pesado. Así, en la Comunidad de Euskadi las autopistas A-8 (sobre todo a su paso por el Gran Bilbao), AP-68 y N-1 son las zonas de emisión más elevadas.

En la siguiente imagen se puede ver la distribución de las emisiones de NO<sub>x</sub> en el territorio de Euskadi.



74. Figura: Emisión NO<sub>x</sub> año 2012 en kg/cuadrícula (250x250 m<sup>2</sup>)

#### 4.5.1.4. Emisiones de PM<sub>2,5</sub>

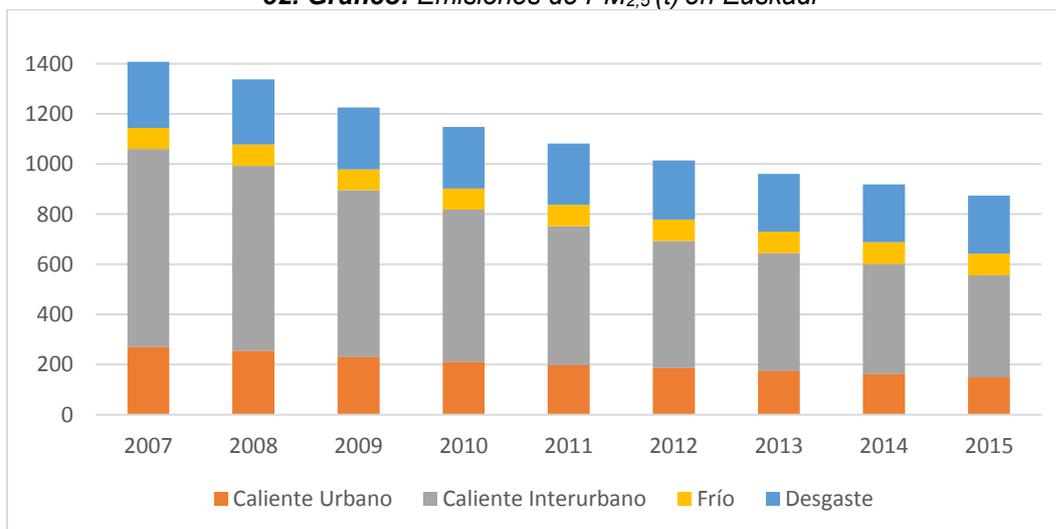
Las emisiones de material particulado PM<sub>2,5</sub> en Euskadi han disminuido un 38% en el periodo 2007-2015, pasando de 1,4 Gg a 0,9 Gg tal y como se ve en la siguiente tabla:

73. Tabla: Emisiones de PM<sub>2,5</sub> (t) en Euskadi

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Caliente Urbano</b>	271	255	230	212	198	186	174	162	149
<b>Caliente Interurbano</b>	790	738	665	606	554	508	471	440	406
<b>Frío</b>	84	84	84	84	85	85	85	86	86
<b>Desgaste</b>	264	260	246	246	244	235	232	232	232
<i>Ruedas</i>	117	116	110	110	108	104	103	103	104
<i>Frenos</i>	51	50	48	48	48	47	46	46	46
<i>Carretera</i>	96	93	88	88	88	84	82	82	82
<b>TOTAL</b>	<b>1.408</b>	<b>1.337</b>	<b>1.226</b>	<b>1.148</b>	<b>1.081</b>	<b>1.014</b>	<b>961</b>	<b>919</b>	<b>874</b>

Si se desagrega la fuente de emisión de partículas, las emisiones de escape se han reducido en un 48%, mientras que las emisiones por desgaste solo lo han hecho en un 12%. La reducción en las emisiones de escape se debe a las mejoras tecnológicas en los vehículos y a una reducción del tráfico global. En la reducción de las emisiones de desgaste no se ha dado ninguna mejora tecnológica y se debe única y exclusivamente a una reducción del tráfico. Este motivo hace que el porcentaje de las emisiones de partículas por desgaste haya pasado del 18,7% en 2007 al 26% en 2015. Este incremento relativo ha hecho que esté aumentando el interés sobre este tema.

52. Gráfico: Emisiones de PM<sub>2,5</sub> (t) en Euskadi

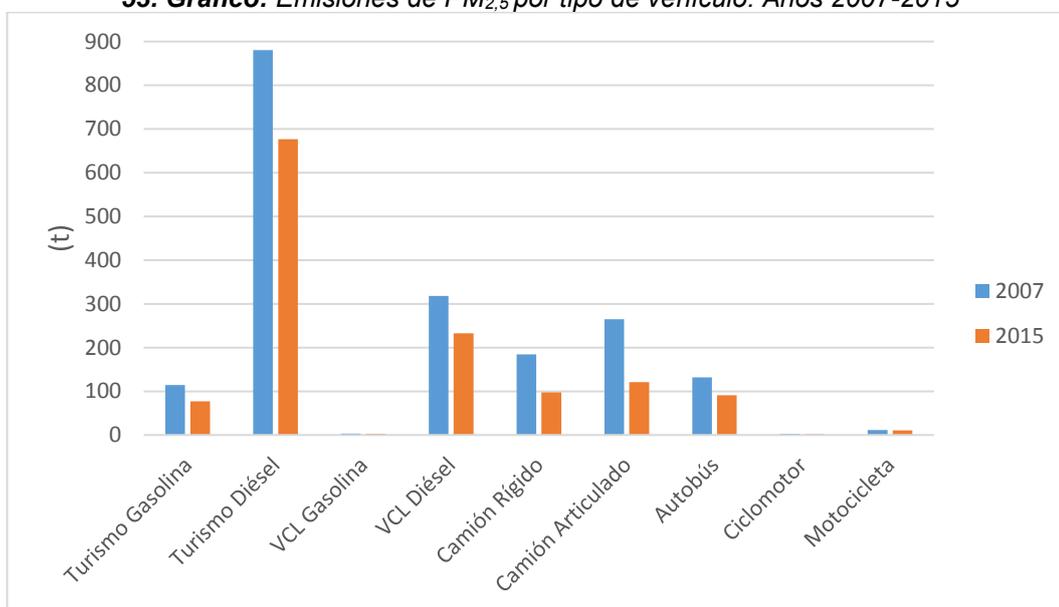


Las emisiones de partículas por escape son típicas de los vehículos diésel y se consideran casi despreciables en los vehículos de gasolina (< 2%).

La cosa cambia con las emisiones por desgaste, no dependen del tipo de combustible utilizado, sino que les afecta más el tamaño del vehículo (a mayor tamaño, mayor rozamiento y mayor emisión). Los vehículos pesados emiten casi el 30% de las emisiones por desgaste, siendo solo el 10% del tráfico total.

Los turismos diésel son los causantes de la mitad de las emisiones totales de partículas. También hay que tener en cuenta el tráfico pesado que supone un tercio de las emisiones totales. En el siguiente gráfico se ve la evolución de las emisiones por el tipo de vehículo.

**53. Gráfico: Emisiones de PM<sub>2,5</sub> por tipo de vehículo. Años 2007-2015**

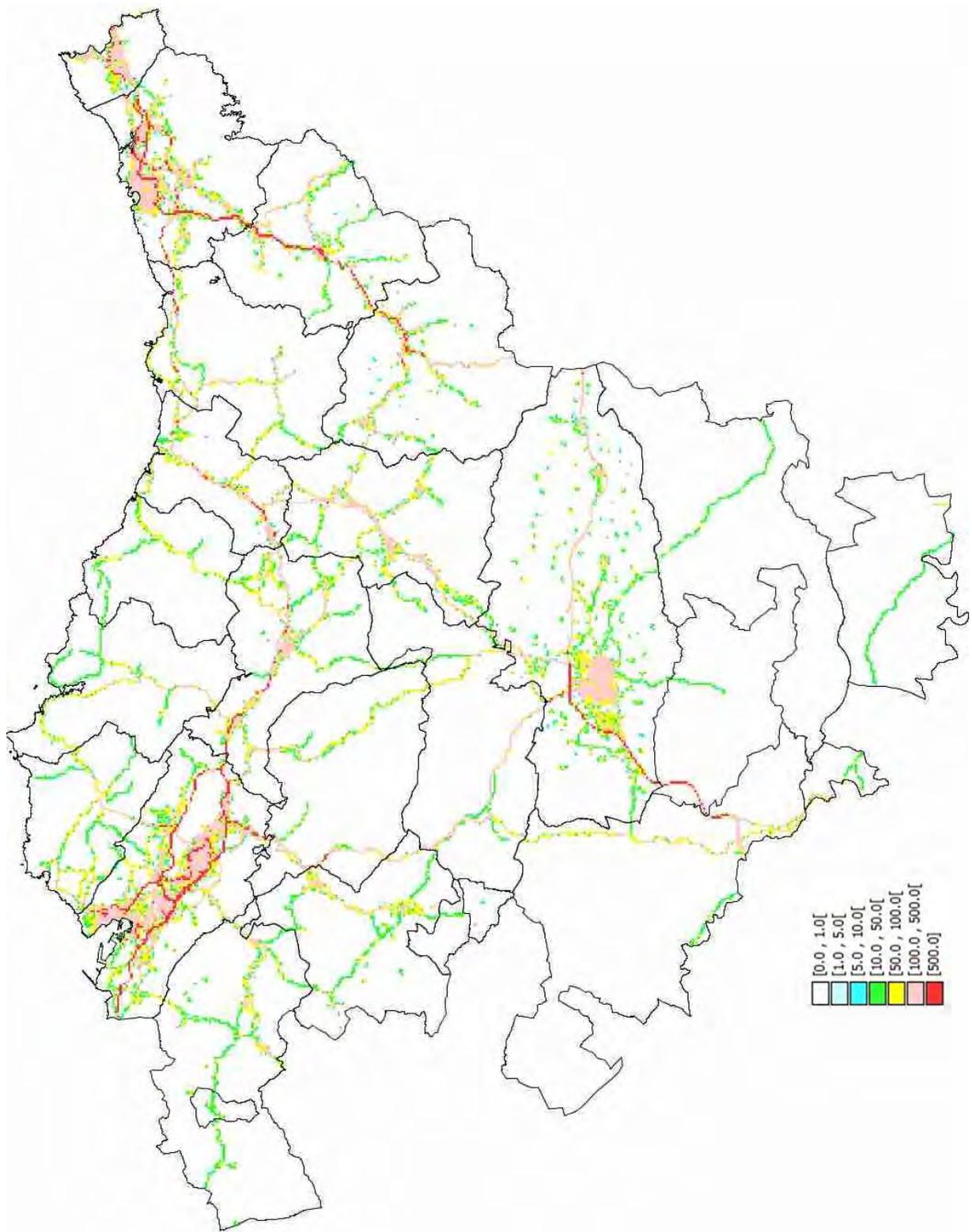


En el análisis de la antigüedad de los vehículos para el año 2015, no parece que los vehículos antiguos tengan un gran impacto en la emisión de partículas a efectos globales. Una cuarta parte de la emisión de partículas corresponde a emisiones por desgaste, que no depende de la tecnología de escape del vehículo. En la emisión de partículas de escape en los vehículos diésel, se puede ver la influencia que tienen los autobuses y furgonetas PreEURO en la siguiente tabla:

**74. Tabla:** % de emisión por el escape de PM<sub>2,5</sub> asignado a cada tecnología por tipo de vehículo para el año 2015

	<b>PreEURO</b>	<b>EURO 1</b>	<b>EURO 2</b>	<b>EURO 3</b>	<b>EURO 4</b>	<b>EURO 5</b>	<b>EURO 6</b>
<b>Turismo Gasolina</b>	24,6%	6,6%	12,0%	18,1%	20,5%	14,0%	4,2%
<b>Turismo Diésel</b>	9,96%	5,55%	13,27%	29,73%	40,88%	0,47%	0,14%
<b>VCL Gasolina</b>	72,56%	10,22%	5,34%	4,69%	4,55%	1,87%	0,76%
<b>VCL Diésel</b>	34,81%	5,28%	17,29%	21,60%	20,94%	0,07%	0,02%
<b>Camión Rígido</b>	4,93%	4,03%	19,51%	47,02%	10,54%	13,32%	0,65%
<b>Camión Articulado</b>	9,35%	4,71%	14,37%	41,42%	12,19%	17,04%	0,91%
<b>Autobús</b>	36,62%	5,14%	12,73%	25,76%	8,29%	10,94%	0,54%
<b>Ciclomotor</b>	63,13%	4,65%	32,21%	-	-	-	-
<b>Motocicleta</b>	61,95%	8,06%	6,74%	23,26%	-	-	-

Respecto a la geolocalización de las emisiones de partículas, siguen un patrón similar a las emisiones de NO<sub>x</sub>. Se dan concentraciones de emisiones en las grandes zonas urbanas, pero los picos de emisión se producen en los grandes corredores, en este caso en las circunvalaciones de las grandes ciudades. La autopista A-8 junto con la autopista del Txorierrri en su confluencia en el puente de Rontegi (en la zona del Gran Bilbao), la N-1 a su paso por Donostialdea y la A-1 en su paso por Gasteiz son las zonas de emisión de partículas más altas en Euskadi. En la siguiente imagen se pueden analizar las emisiones de partículas de Euskadi geolocalizadas por todo el territorio.



**75. Figura:** Emisión PM<sub>2.5</sub> año 2012 en kg/cuadrícula (250x250 m<sup>2</sup>)

#### 4.5.1.5. Consumo de Combustible (FC)

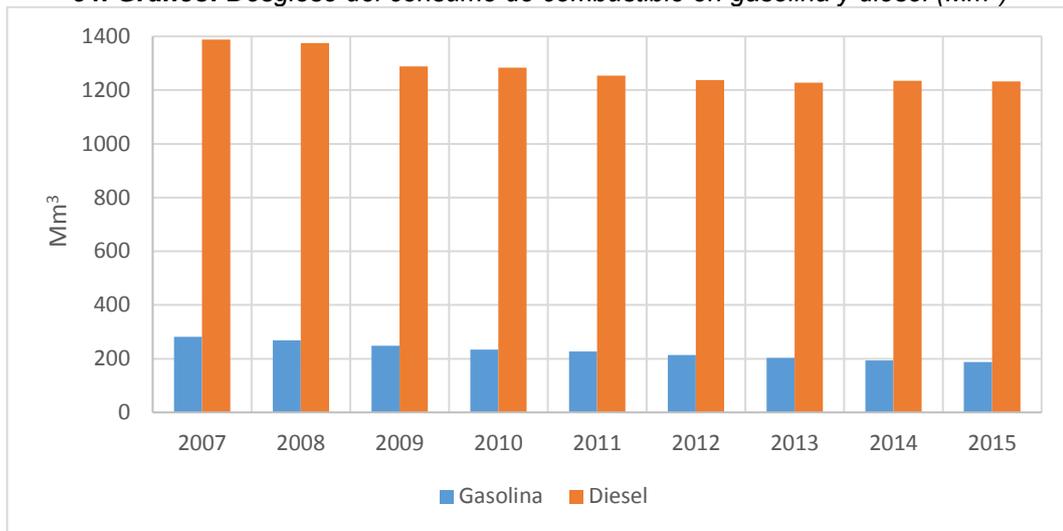
El consumo de combustible calculado en Euskadi ha descendido un 15% en el periodo 2007-2015, pasando de 1.669 Mm<sup>3</sup> a 1.443 Mm<sup>3</sup>. Si se desagrega este volumen a diésel o gasolina, la caída en consumo de gasolina ha sido mucho más acentuada (el 33%), mientras que la de diésel ha sido menor, solo del 9,5%.

75. Tabla: Consumo de combustible FC (Mm<sup>3</sup>) en Euskadi

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Caliente Urbano</b>	<b>442</b>	<b>439</b>	<b>418</b>	<b>415</b>	<b>415</b>	<b>412</b>	<b>407</b>	<b>405</b>	<b>404</b>
Gasolina	102	98	90	86	84	80	76	72	71
Diésel	340	341	328	330	330	333	331	332	333
<b>Caliente Interurbano</b>	<b>1.147</b>	<b>1.125</b>	<b>1.042</b>	<b>1.031</b>	<b>998</b>	<b>977</b>	<b>966</b>	<b>969</b>	<b>970</b>
Gasolina	163	156	144	135	130	122	116	111	107
Diésel	984	970	898	896	868	855	850	859	863
<b>Frío</b>	<b>80</b>	<b>79</b>	<b>76</b>	<b>75</b>	<b>73</b>	<b>72</b>	<b>71</b>	<b>70</b>	<b>70</b>
Gasolina	16	15	14	13	12	12	11	10	10
Diésel	65	64	62	62	60	61	60	60	60
<b>TOTAL</b>	<b>1.669</b>	<b>1.644</b>	<b>1.536</b>	<b>1.521</b>	<b>1.485</b>	<b>1.461</b>	<b>1.444</b>	<b>1.444</b>	<b>1.443</b>
<b>GASOLINA</b>	<b>281</b>	<b>269</b>	<b>248</b>	<b>233</b>	<b>227</b>	<b>214</b>	<b>203</b>	<b>193</b>	<b>188</b>
<b>DIÉSEL</b>	<b>1.388</b>	<b>1.375</b>	<b>1.288</b>	<b>1.288</b>	<b>1.259</b>	<b>1.248</b>	<b>1.241</b>	<b>1.251</b>	<b>1.256</b>

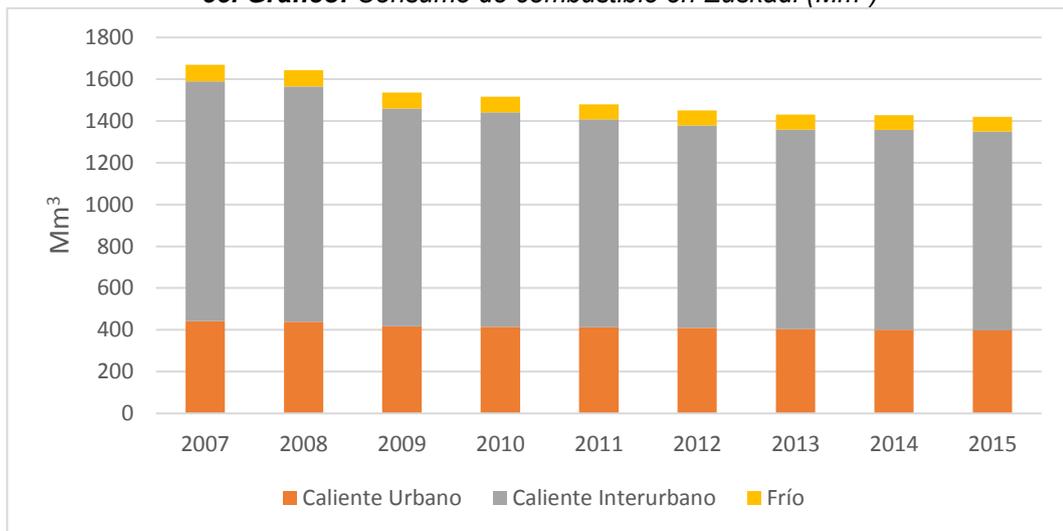
En ocho años se ha pasado de un mix de consumo gasolina/diésel del 17/83 al 13/87, donde claramente se aprecia el impacto de la dieselización del parque móvil de turismos. En el siguiente gráfico se ve que la caída en el consumo de gasolina es casi lineal a lo largo de los años. En el consumo de diésel hay una fuerte caída en el año 2009 y después, se mantiene prácticamente constante. Esta caída es paralela a la bajada de tráfico de vehículos pesados en este periodo.

**54. Gráfico: Desglose del consumo de combustible en gasolina y diésel (Mm<sup>3</sup>)**



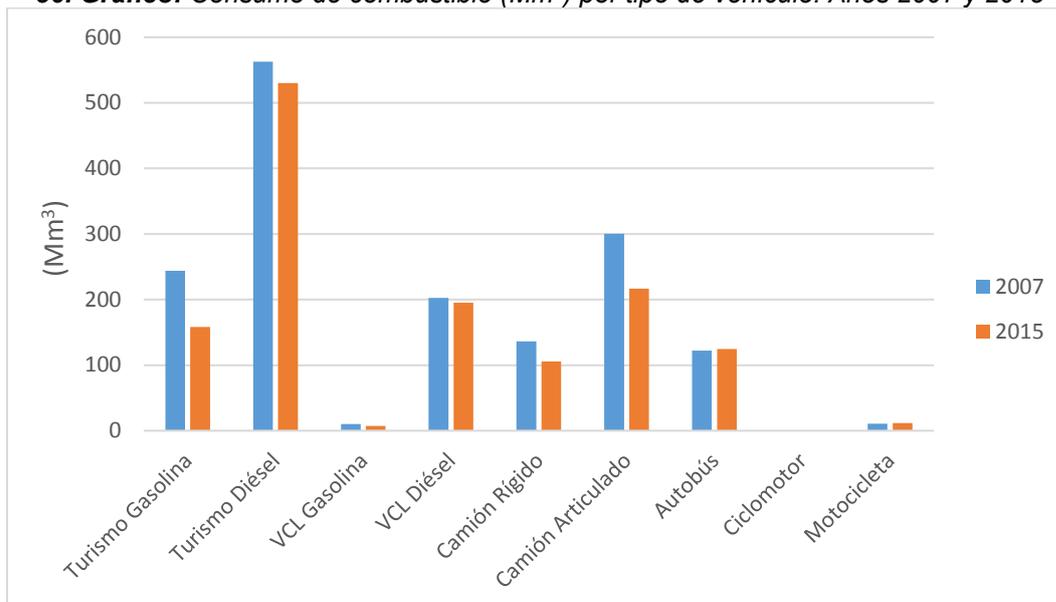
El impacto del consumo extra por el arranque en frío se ha valorado que es menor del 5% del consumo total.

**55. Gráfico: Consumo de combustible en Euskadi (Mm<sup>3</sup>)**



El consumo por tipo de vehículo tiene el siguiente perfil: los turismos consumen aproximadamente el 50% del combustible total, los vehículos comerciales ligeros el 14% y los vehículos pesados el 32%. En el siguiente gráfico que analiza los años 2007 y 2015, se puede ver el trasvase de consumo de turismos gasolina hacia turismos diésel, la bajada del consumo en camiones y una pequeña subida en el consumo de autobuses.

**56. Gráfico:** Consumo de combustible (Mm<sup>3</sup>) por tipo de vehículo. Años 2007 y 2015

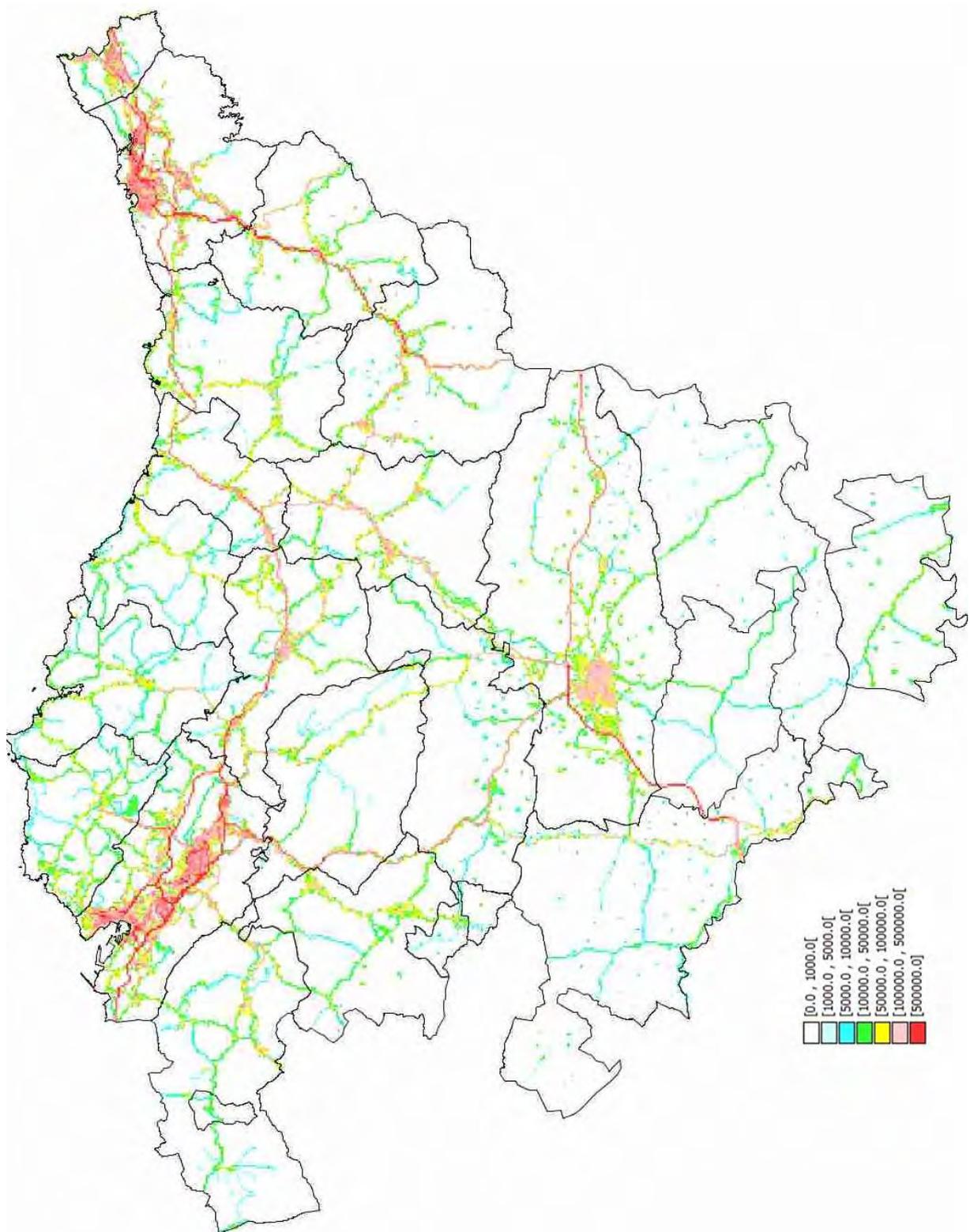


En el año 2015, se detecta un alto porcentaje de consumo en los vehículos gasolina PreEURO. Por el contrario, los vehículos diésel, turismos y camiones, tienen una relación coherente entre el parque móvil y el consumo de combustible entre distintas tecnologías. En cambio, se detecta que los VCL y los autobuses tienen un consumo en vehículos PreEURO demasiado elevado, según se ve en la siguiente tabla:

**76. Tabla:** % de consumo de FC asignado a cada tecnología por tipo de vehículo para el año 2015

	PreEURO	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6
<b>Turismo Gasolina</b>	18,4%	5,9%	14,3%	20,7%	22,4%	14,2%	4,0%
<b>Turismo Diésel</b>	1,09%	1,83%	9,11%	18,19%	36,68%	25,95%	7,15%
<b>VCL Gasolina</b>	42,14%	9,06%	14,14%	14,11%	13,02%	5,35%	2,18%
<b>VCL Diésel</b>	7,00%	3,35%	15,89%	20,67%	33,40%	15,91%	3,79%
<b>Camión Rígido</b>	0,75%	0,83%	10,88%	22,14%	22,64%	28,78%	13,97%
<b>Camión Articulado</b>	1,59%	0,82%	5,93%	17,31%	23,59%	33,09%	17,67%
<b>Autobús</b>	9,28%	1,47%	9,08%	15,84%	21,54%	28,69%	14,09%
<b>Ciclomotor</b>	31,37%	4,61%	64,02%	-	-	-	-
<b>Motocicleta</b>	23,53%	4,70%	11,45%	60,32%	-	-	-

En la figura de la siguiente página se puede ver el consumo de combustible geolocalizado y segregado en todo el territorio. Las tres grandes capitales y sus circunvalaciones son las zonas donde mayor consumo se da, en especial los corredores que rodean el Gran Bilbao.



76. Figura: Consumo de combustible FC año 2012 en L/cuadrícula (250x250 m²)

## 4.5.2. COMPARATIVA CON LA BASE DE DATOS COPERT

El programa COPERT genera emisiones a partir de un modelo de tráfico donde tiene en cuenta la flota de vehículos y una estimación de los  $\text{km.año}^{-1}$  que cada tipo de vehículo recorre. En la siguiente página web (<http://emisias.com/products/copert-data>), se pueden descargar las bases de datos correspondientes a diferentes países de Europa.

Para realizar este ejercicio de comparación se descargó la base de datos de España (periodo 2007-2013) y se modificó únicamente la información de la flota de vehículos incorporando la de Euskadi. Se hizo un análisis de la circulación y los resultados fueron los siguientes:

**77. Tabla:** Comparativa cálculo de tráfico de Euskadi ( $\text{MMvkm.año}^{-1}$ )

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>EMIGIA LIGEROS</b>	13.890	13.851	13.551	13.473	13.458	13.299	13.199
<b>EMIGIA PESADOS</b>	1.813	1.763	1.551	1.562	1.564	1.508	1.482
<b>COPERT LIGEROS</b>	13.060	12.547	12.236	12.300	11.915	11.310	11072
<b>COPERT PESADOS</b>	1.159	1.128	1.073	1.072	1.003	892	858

El tráfico estimado en la base de datos de COPERT es de media un 11% inferior en vehículos ligeros y un 37% inferior en vehículos pesados respecto al calculado en este estudio. Esto indica que el tráfico en Euskadi no sigue el mismo patrón que en España. Se concluye que no tiene sentido calcular y comparar emisiones con la base de datos COPERT España ya que el punto de partida es totalmente diferente.

Por este motivo se ha optado por generar una base de datos entera nueva para Euskadi con los datos obtenidos a partir de este estudio.

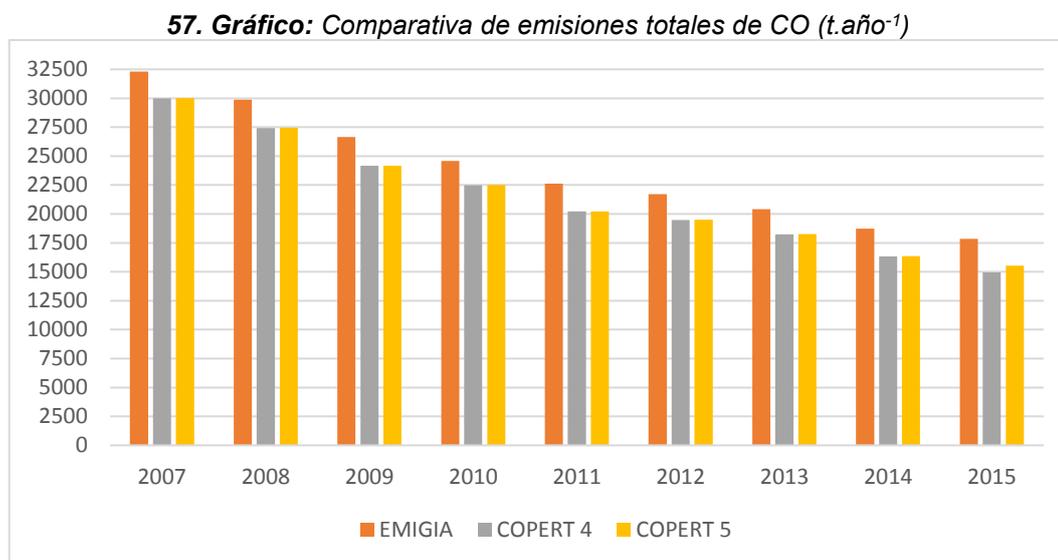
### 4.5.3. COMPARATIVA CON COPERT 4 Y COPERT 5

Para realizar el inventario con los modelos COPERT4 y COPERT5 se ha seguido el siguiente procedimiento:

- (i) Generar una base de datos input con datos de Euskadi (flota, recorridos anuales, velocidades, temperaturas etc.)
- (ii) Cálculo de emisiones con COPERT 4
- (iii) Captura del fichero COPERT 4 en COPERT 5
- (iv) Cálculo de emisiones con COPERT 5

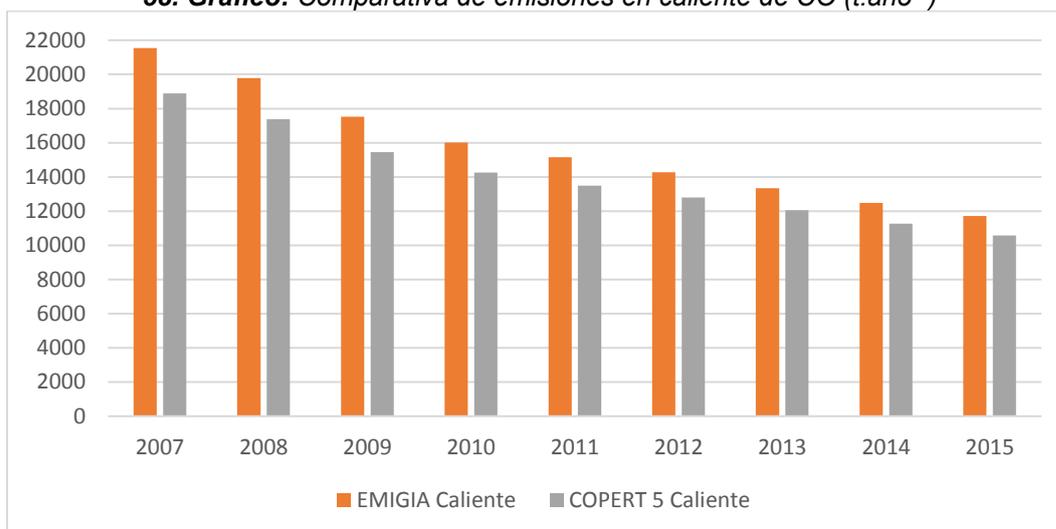
#### **Emisiones de CO**

Las emisiones totales de CO estimadas por COPERT son de media un 10% inferior a las calculadas por EMIGIA. Esta diferencia se mantiene constante durante todos los años del periodo 2007-2015.



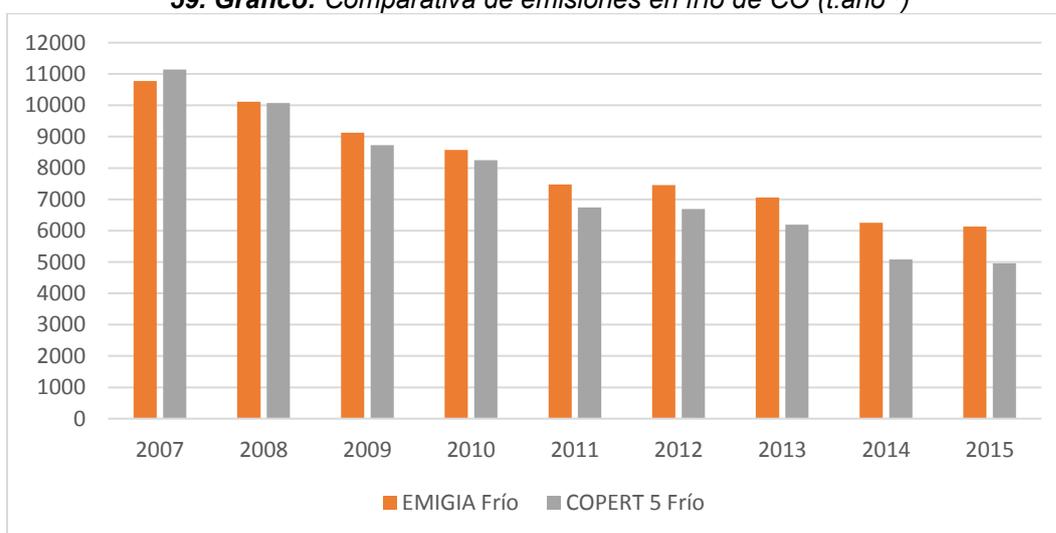
Las emisiones en caliente calculadas por COPERT son de media un 11% inferior a las calculadas por el modelo EMIGIA y esta diferencia se mantiene constante a lo largo del periodo 2007-2015, según se ve en el siguiente gráfico.

**58. Gráfico: Comparativa de emisiones en caliente de CO (t.año<sup>-1</sup>)**



Las emisiones en frío tienen una mayor disparidad, oscilando entre un +3% en el año 2007 y un -19% en el año 2015. La formulación que utiliza el modelo EMIGIA (ARTEMIS) es diferente a la que usa COPERT. Además, el dato de temperatura ambiente utilizado en COPERT es la media de todo el territorio, mientras que en EMIGIA se ha utilizado un dato de temperatura por cada comarca.

**59. Gráfico: Comparativa de emisiones en frío de CO (t.año<sup>-1</sup>)**

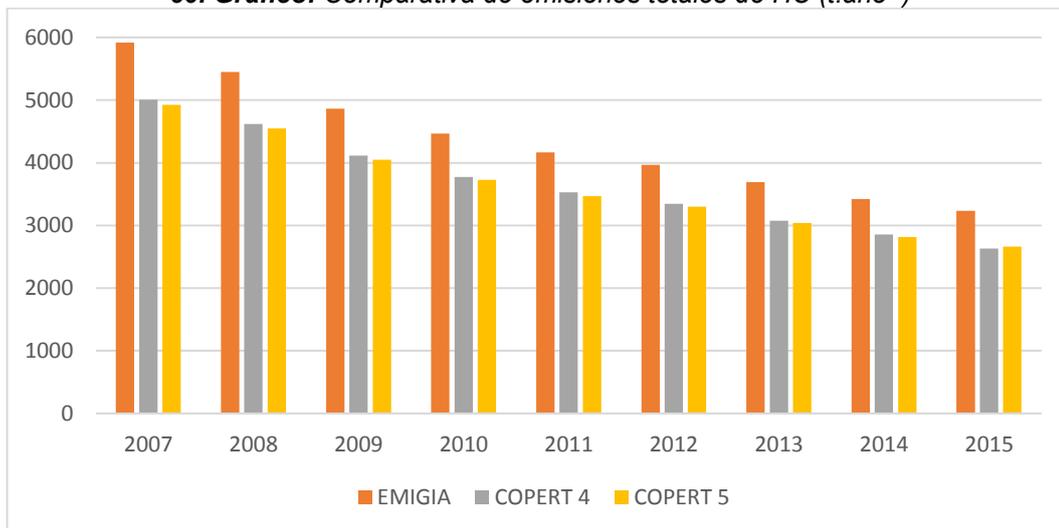


En general, se considera que la correlación entre ambos inventarios es buena, aunque sería necesario un análisis más detallado de las emisiones en frío.

## Emisiones de HC

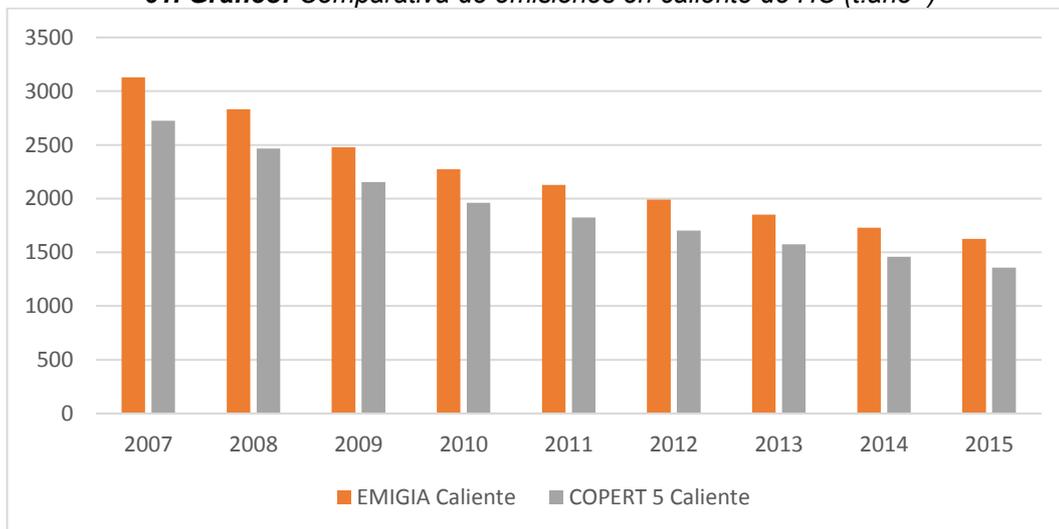
Las emisiones de HC calculadas por COPERT son un 17% inferiores a las calculadas por el modelo EMIGIA. Esta diferencia se mantiene constante durante todos los años del periodo 2007-2015.

60. Gráfico: Comparativa de emisiones totales de HC (t.año<sup>-1</sup>)



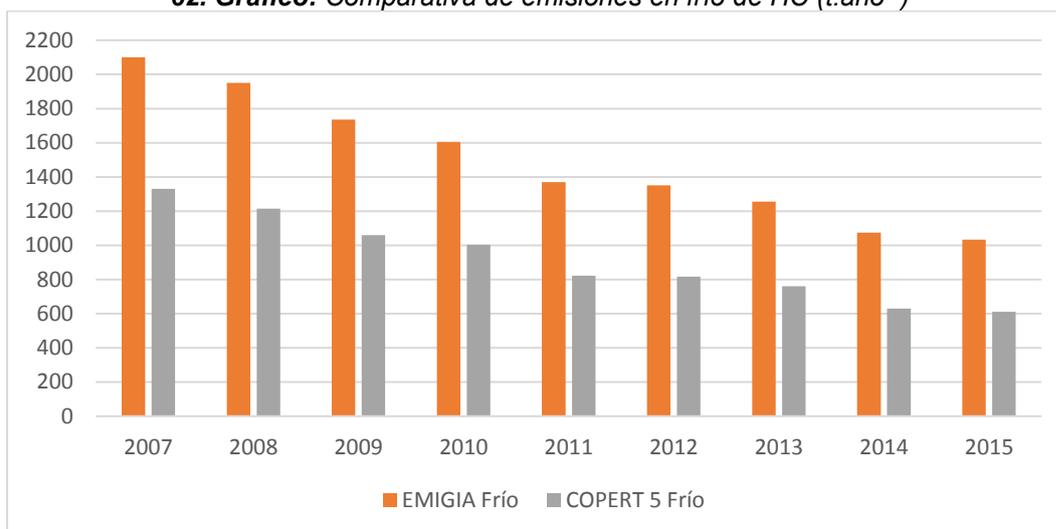
Las emisiones de HC en caliente en ambos modelos siguen el mismo patrón durante todo el periodo, aunque los resultados en COPERT son entre un 13% y un 16% menores.

61. Gráfico: Comparativa de emisiones en caliente de HC (t.año<sup>-1</sup>)



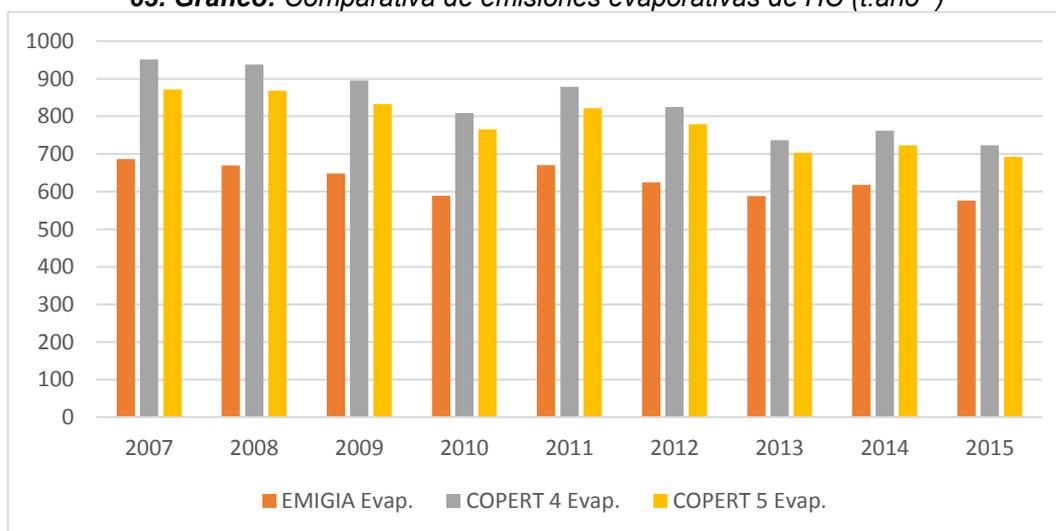
Las emisiones en frío presentan grandes diferencias entre ambos modelos. COPERT calcula cerca de un 40% menos de hidrocarburos emitidos. La simplificación realizada en el modelo ARTEMIS, en el parámetro del tiempo de parking, puede que no modelice adecuadamente este tipo de emisión. Por otro lado, la formulación de los modelos es diferente, la clasificación de los vehículos es diferente y además COPERT no tiene en cuenta el parque de motocicletas.

**62. Gráfico: Comparativa de emisiones en frío de HC (t.año<sup>-1</sup>)**



En la comparativa de las emisiones evaporativas, ocurre lo contrario: COPERT sobrevalora las emisiones respecto a las calculadas por EMIGIA entre un 20% y 30%. También se han detectado diferencias dependiendo de la versión de COPERT utilizada: COPERT 4 da valores más altos que la nueva versión COPERT 5.

**63. Gráfico: Comparativa de emisiones evaporativas de HC (t.año<sup>-1</sup>)**



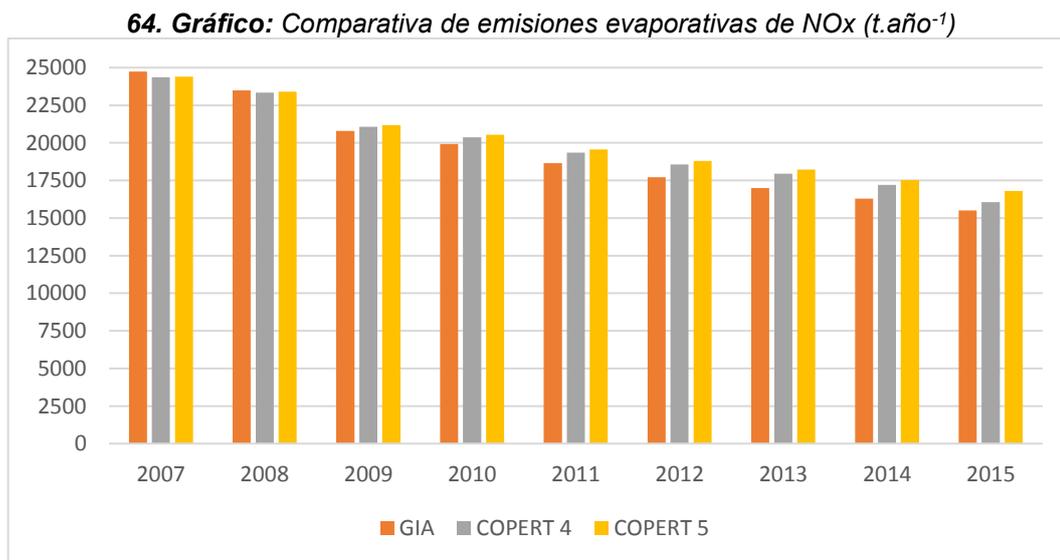
La diferencia observada entre los distintos modelos se debe a los diferentes factores de emisión utilizados en el caso de emisiones en caliente y una metodología diferente aplicada en el caso de emisiones en frío y emisiones evaporativas. Es necesario un estudio más exhaustivo para una mejor evaluación de estas diferencias.

## Emisiones de NO<sub>x</sub>

La comparativa de emisiones de NO<sub>x</sub> es prácticamente igual en el año 2007, pero al transcurrir los años, el modelo COPERT se va diferenciando hasta alcanzar un valor del 8% superior en 2015. Ocurre algo similar entre las versiones COPERT 4 y COPERT 5, aunque la diferencia es menor.

Diferentes estudios están indicando que las mejoras esperadas en emisiones de NO<sub>x</sub> en los turismos y VCL con tecnología EURO 5 y EURO 6 no se están cumpliendo y las emisiones reales son muy superiores a las pronosticadas (Ntziachristos et al. 2016). Esto significa que los FE de los turismos EURO 5 y en especial EURO 6 se están actualizando al alza en función de nuevos ensayos realizados cada poco tiempo.

La diferencia de estimación de emisiones se puede ver en el siguiente gráfico.



En cualquier caso, se considera aceptable una diferencia de estimación de emisiones menor del 10%.

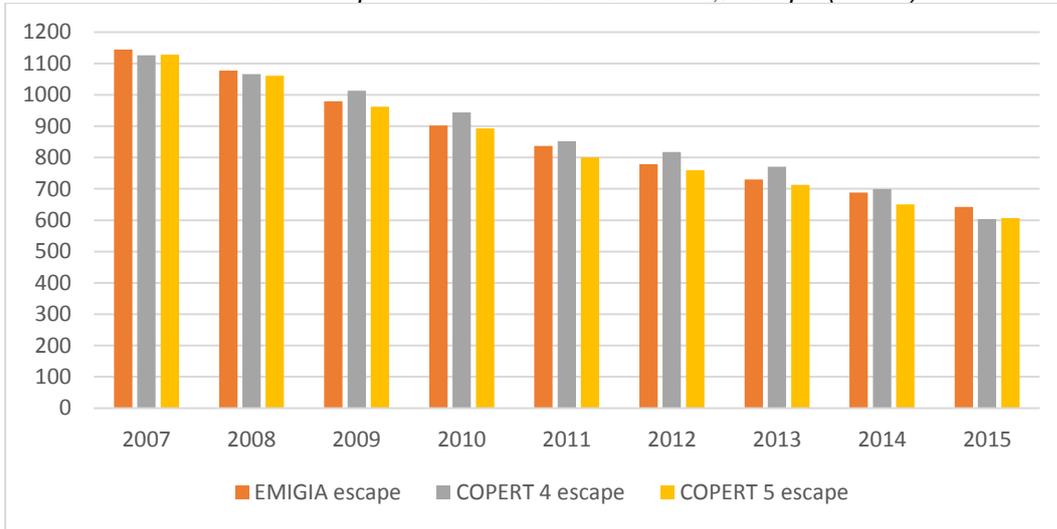
## Emisiones de PM<sub>2,5</sub>

La comparativa de emisiones de material particulado se hace por tipo de emisión: COPERT 4 solo calcula emisiones en el escape y COPERT 5 calcula emisiones de escape y de desgaste de ruedas y frenos, pero no de carretera.

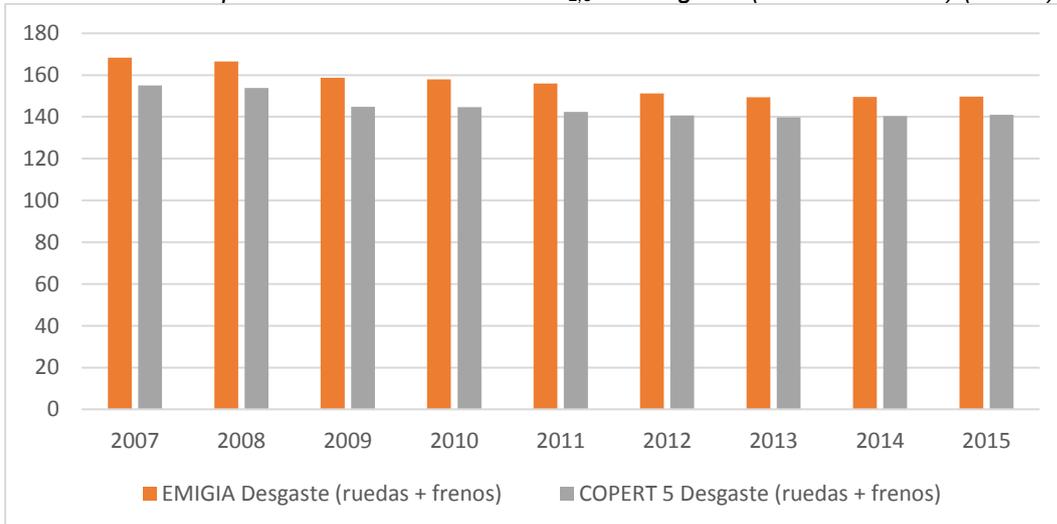
La correlación entre los modelos en las emisiones de escape es muy buena, no siendo la diferencia en ningún caso superior al 5%.

La diferencia en el cálculo de emisiones de partículas de desgaste es de hasta el 8%. Teniendo en cuenta que ambos modelos utilizan los mismos factores de emisión de desgaste, la diferencia puede estar en el coeficiente de corrección de la velocidad  $S(u)$ , que en el modelo EMIGIA se utiliza para cada tramo de carretera con su velocidad individual, y en COPERT se usa en genérico para cada tipo de carretera (urban, rural, highway).

**65. Gráfico: Comparativa de emisiones de  $PM_{2,5}$  escape (t.año<sup>-1</sup>)**



**66. Gráfico: Comparativa de emisiones de  $PM_{2,5}$  de desgaste (ruedas + frenos) (t.año<sup>-1</sup>)**



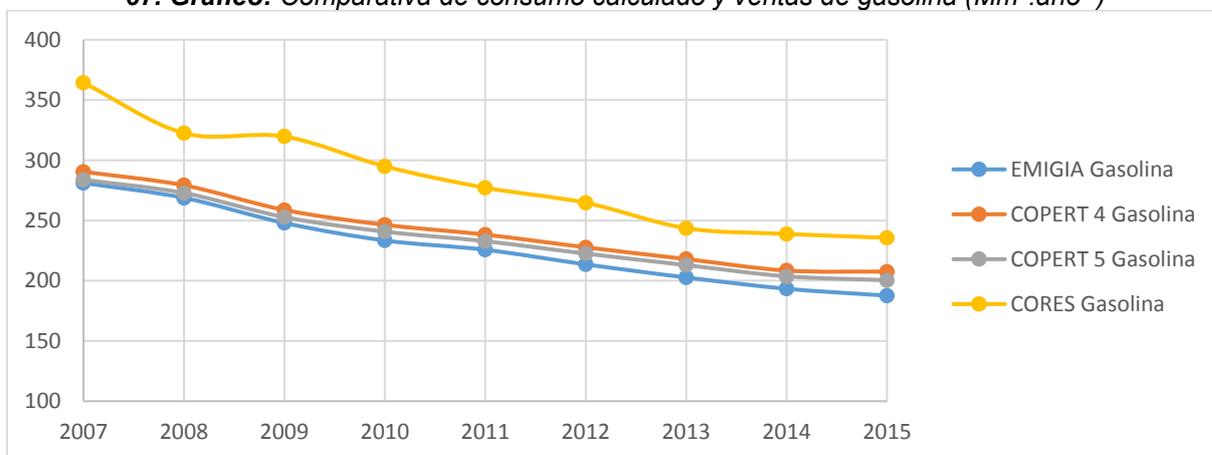
#### 4.5.4. COMPARATIVA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

La comparativa de consumo de combustible, se ha segregado en gasolina y diésel. Además de comparar los consumos con el modelo COPERT, se ha incorporado el dato de venta de combustible en Euskadi, publicada por CORES.

##### Gasolina

El consumo de gasolina calculado por EMIGIA y COPERT tiene diferencias menores al 6% entre ellos. Pero las ventas de gasolina publicadas por CORES son un 20 % superiores a los resultados de estos modelos.

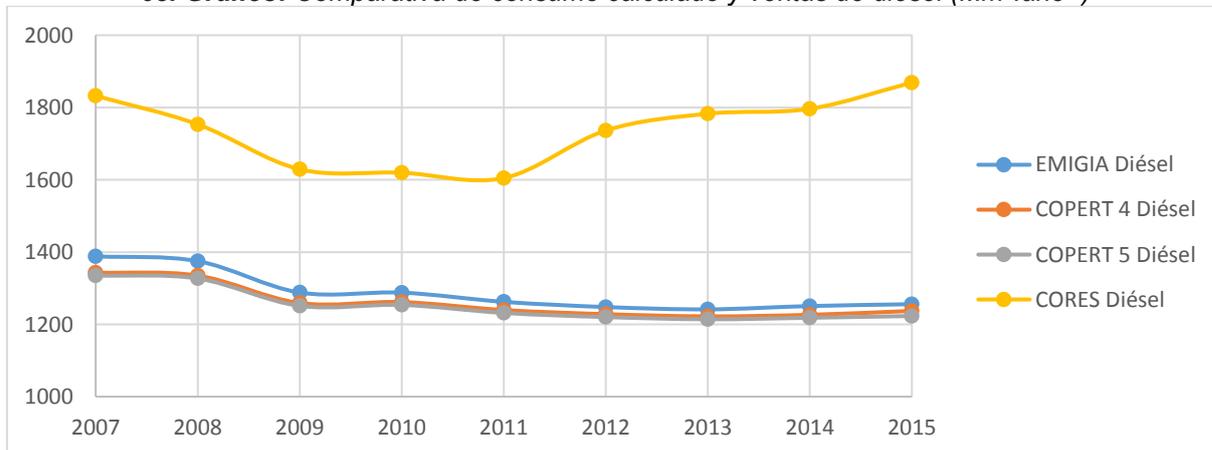
67. Gráfico: Comparativa de consumo calculado y ventas de gasolina ( $Mm^3.año^{-1}$ )



##### Diésel

El consumo de diésel calculado por EMIGIA y COPERT es casi igual, con una diferencia de alrededor del 2%. Pero si se compara con CORES, los consumos calculados son un 20-22% inferiores a las ventas durante el periodo 2007-2011. Además, a partir del año 2012 la divergencia aumenta, hasta situarse entorno del 50%. El consumo calculado baja y en cambio las ventas suben.

68. Gráfico: Comparativa de consumo calculado y ventas de diésel ( $Mm^3.año^{-1}$ )

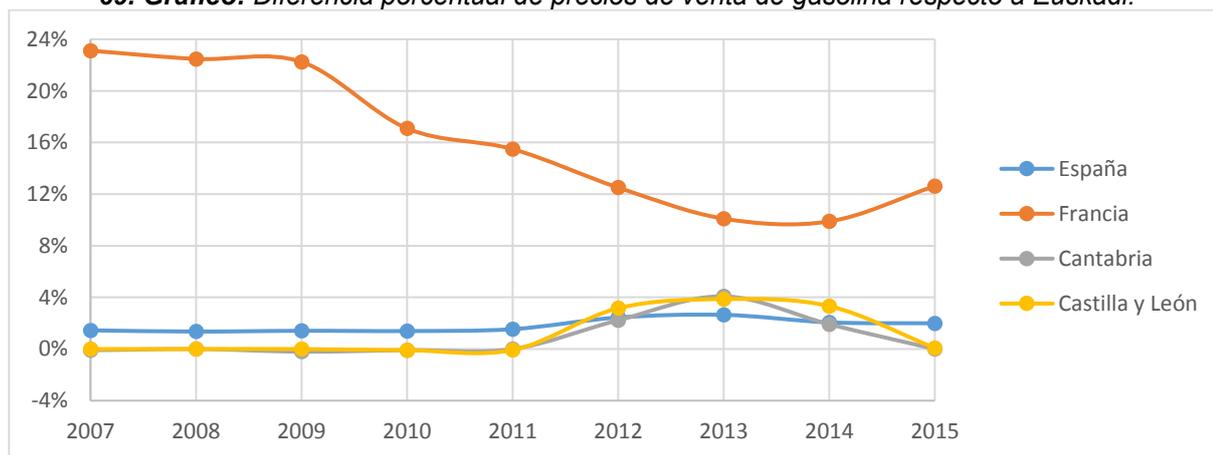


Se da la paradoja de que el año 2015 tiene el mismo nivel de ventas de diésel que en 2007, siendo en este periodo la circulación de vehículos ligeros un 5% menor y la de pesados casi un 20% menor.

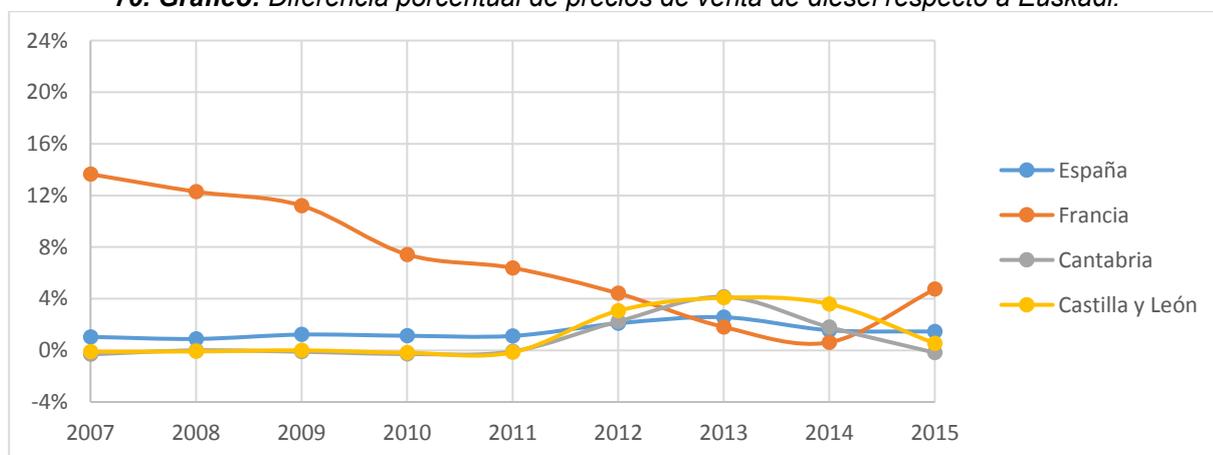
Idealmente el combustible vendido en un territorio debe ser igual al consumido en ese mismo territorio. Pero debido a los diferentes precios del combustible entre territorios, se suele dar el “efecto frontera” también llamado “*tank tourism*”, donde los vehículos compran el combustible en el territorio barato y lo consumen en otro diferente. La consecuencia de este efecto, es que las estadísticas de combustible vendido no se corresponden con el consumido. Este efecto es más acusado en el diésel que en la gasolina, debido principalmente al transporte de mercancías (Ntziachristos et al. 2008).

El “efecto frontera” no es un efecto estable en el tiempo, depende del gap de precios entre regiones y del volumen del transporte. En las siguientes tablas se ve la evolución de la diferencia de precios del combustible entre Euskadi y las regiones vecinas.

**69. Gráfico:** Diferencia porcentual de precios de venta de gasolina respecto a Euskadi.



**70. Gráfico:** Diferencia porcentual de precios de venta de diésel respecto a Euskadi.



La diferencia del precio de combustible entre Euskadi y Francia es muy conocida, aunque el precio del diésel casi se igualó en el año 2014. Se detecta una diferencia en precios con las

comunidades de Cantabria y Castilla y León a partir del año 2012, llega al 4% en el año 2013, tanto en diésel como en gasolina. Es a partir del año 2012, cuando las ventas de diésel tienen un punto de inflexión y comienzan a crecer, al contrario de lo que ocurre con el tráfico que disminuye durante esos años.

#### **4.5.5. ESTUDIO DETALLADO PARA BILBAO**

En este apartado se realiza una comparativa del modelo de tráfico y emisiones EMIGIA para Euskadi con información detallada del tráfico desarrollada por el Ayuntamiento de Bilbao. Para ello se realiza un recorte en el modelo EMIGIA definido por los límites del municipio de Bilbao y se compara con los datos obtenidos a partir de la información de tráfico detallada de que dispone el Ayuntamiento de Bilbao. Recordar que la estimación del tráfico urbano en el modelo EMIGIA se hace por comarcas y el Gran Bilbao se toma como una única entidad. Pero el Gran Bilbao aglutina a 26 municipios con una población de 868.745 habitantes de los que 346.574 habitantes corresponden a Bilbao, aproximadamente el 40% según INE 2014.

El Ayuntamiento de Bilbao realiza estudios periódicos de ruido, para los cuales tiene desarrollado un completo mapa SIG de la ciudad dividido en 1.164 tramos disponibles correspondientes a 324 km de carreteras, donde se ha medido o estimado la intensidad de tráfico anual, desglosada en vehículos ligeros y vehículos pesados. La comparativa se realiza para el año 2012.

En la siguiente tabla se muestra la comparativa del tráfico calculado por el modelo EMIGIA y el calculado por el Ayuntamiento de Bilbao para el año 2012, tanto para vehículos ligeros como pesados.

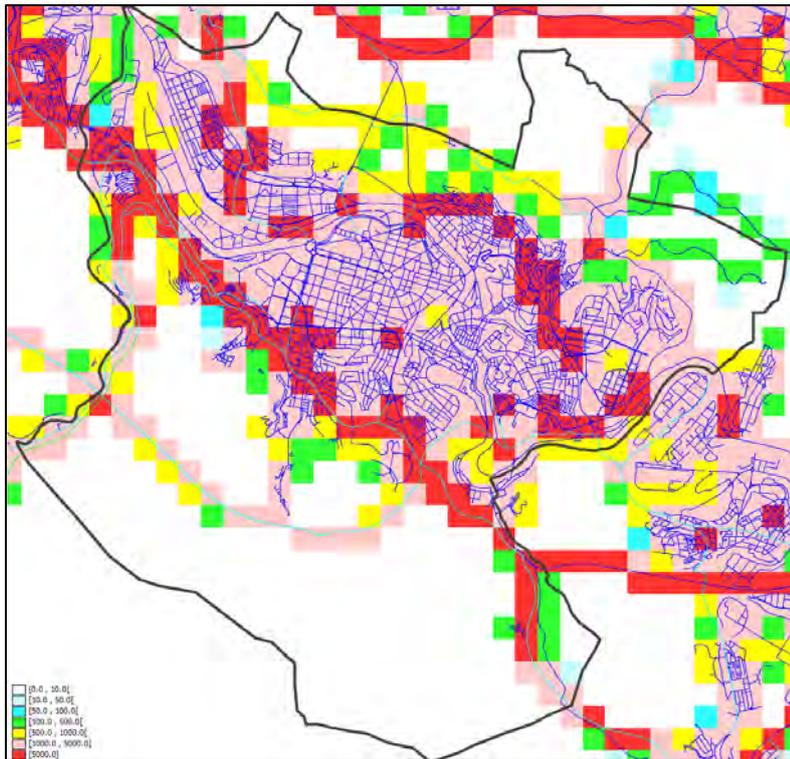
**78. Tabla:** Comparativa tráfico anual en MMvkm para el año 2012.

	<b>EMIGIA LIGEROS</b>	<b>AYUNTAMIENTO LIGEROS</b>	<b>EMIGIA PESADOS</b>	<b>AYUNTAMIENTO PESADOS</b>
<b>Urbana</b>	369	323	15	15
<b>Interurbana</b>	567	579	38	44
<b>TOTAL</b>	<b>936</b>	<b>902</b>	<b>53</b>	<b>59</b>

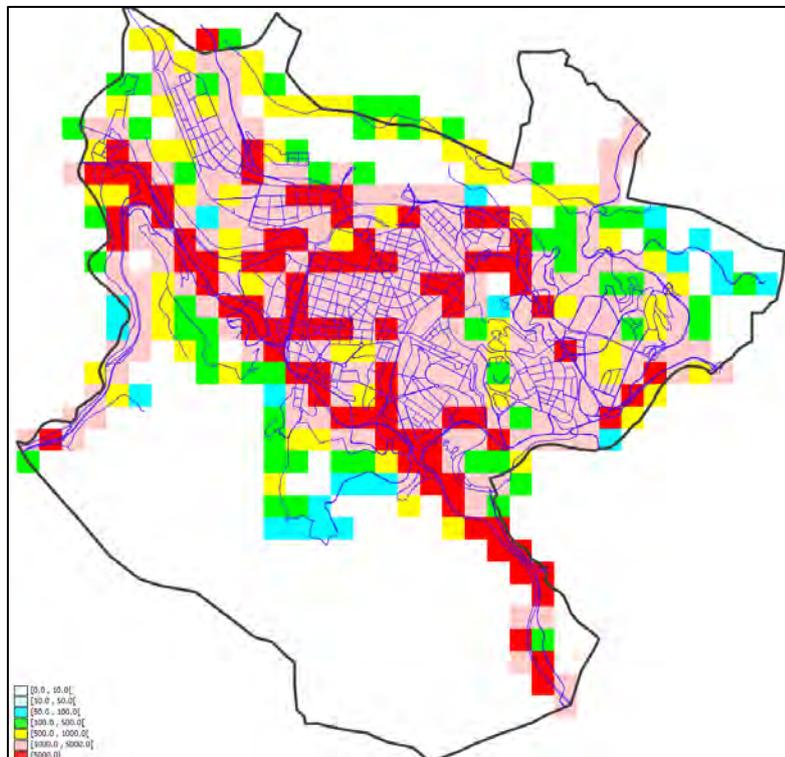
Existen discrepancias a la hora de generar los mapas de tráfico, que básicamente se deben a los siguientes motivos:

- Los mapas de ruido no contemplan túneles.
- Diferentes criterios a la hora de asignar recorridos urbanos e interurbanos

En las siguientes imágenes se ve la comparativa de emisiones de NO<sub>x</sub> geolocalizada en SIG para ambos modelos:



**77. Figura:** Emisiones anuales NO<sub>x</sub> en kg.cuadrícula<sup>-1</sup> (250x250 m<sup>2</sup>) Modelo EMIGIA



**78. Figura:** Emisiones anuales NO<sub>x</sub> en kg.cuadrícula<sup>-1</sup> (250x250 m<sup>2</sup>) Modelo Ayuntamiento Bilbao

La diferencia en los recorridos estimados en vehículos ligeros es inferior al 4% y en vehículos pesados es del 10%. Con esta diferencia de estimación de tráfico, el cálculo anual para el año 2012 en las emisiones de NO<sub>x</sub> es de **920 t.año<sup>-1</sup>** para el modelo EMIGIA y de **883 t.año<sup>-1</sup>** para el modelo con los datos del Ayuntamiento de Bilbao, es decir EMIGIA sobreestima en este caso las emisiones de NO<sub>x</sub> un 7%.

Se entiende que los valores calculados a partir de los datos del Ayuntamiento de Bilbao son más precisos, pero son muy laboriosos de gestionar y la aproximación más simplificada realizada por EMIGIA se considera aceptable.

#### **4.5.6. PROPUESTA DE FACTOR DE EMISIÓN EQUIVALENTE ANUAL**

Las emisiones de contaminantes debidas al tráfico por carretera dependen de diferentes factores y de diferentes modelos que hay que tener en cuenta. Se ha de incluir el parque móvil, el parque circulante, el tamaño del vehículo, la antigüedad, el factor de emisión de cada tipo de vehículo, etc. Pero la información de intensidad de tráfico medida por las instituciones está habitualmente desglosada solo en vehículos ligeros y pesados.

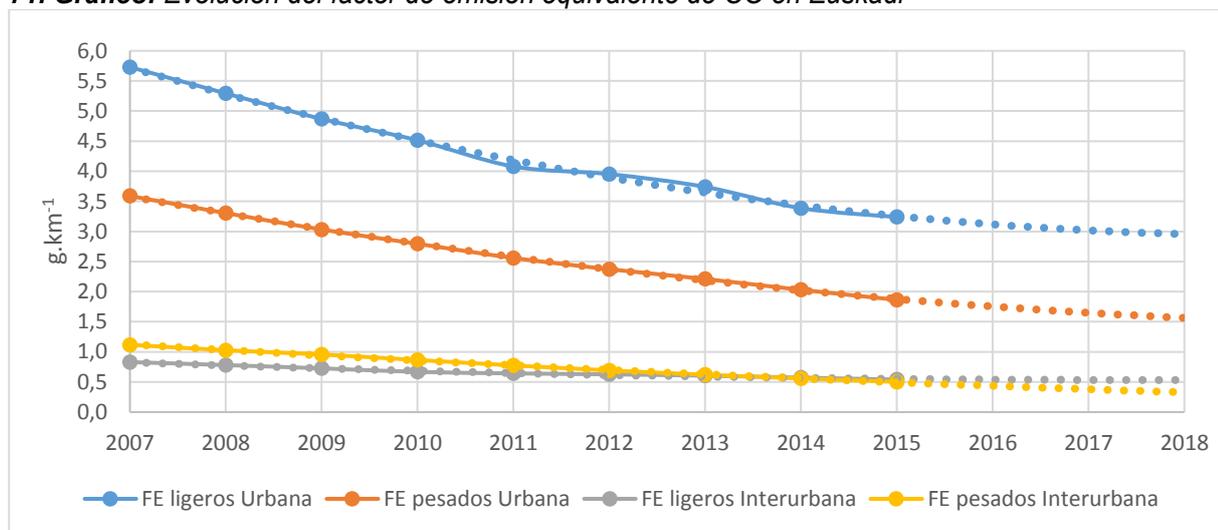
A continuación, se proporcionan factores de emisión de una forma simplificada, para ligeros y pesados y para tráfico urbano e interurbano. Son factores de emisión que se derivan de tomar las emisiones anuales totales, calculadas según la metodología presentada en este trabajo y dividir las por el total de kilómetros recorridos por los vehículos cada año. Estos factores se van modificando cada año, debido a la renovación gradual de la flota con vehículos nuevos y más limpios que desplazan a los vehículos más antiguos y de mayor emisión. El uso de estos factores es apropiado si se desea utilizar un factor medio que incluya todos los modos de emisión (caliente, frío, evaporación, desgaste) promediados por tipo de carretera y de vehículo y de esta forma no se tengan que calcular independientemente. Estos factores están adaptados a las condiciones de tráfico de la Comunidad Autónoma de Euskadi.

A continuación, se presenta para cada contaminante una tabla y una gráfica con el valor numérico del factor de emisión equivalente, calculado para el periodo 2007-2015. También se hace una estimación de estos factores de emisión para los años 2016-2017-2018, por extrapolación basada en la tendencia observada en el periodo calculado.

## Factor de emisión equivalente de CO

CO g.km <sup>-1</sup>	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>FE Ligeros Urbana</b>	5,73	5,29	4,87	4,51	4,08	3,95	3,74	3,39	3,24
<b>FE Pesados Urbana</b>	3,59	3,30	3,03	2,79	2,56	2,37	2,21	2,03	1,86
<b>FE Ligeros Interurbana</b>	0,83	0,78	0,73	0,67	0,64	0,63	0,60	0,57	0,54
<b>FE Pesados Interurbana</b>	1,12	1,03	0,96	0,86	0,77	0,69	0,62	0,56	0,50

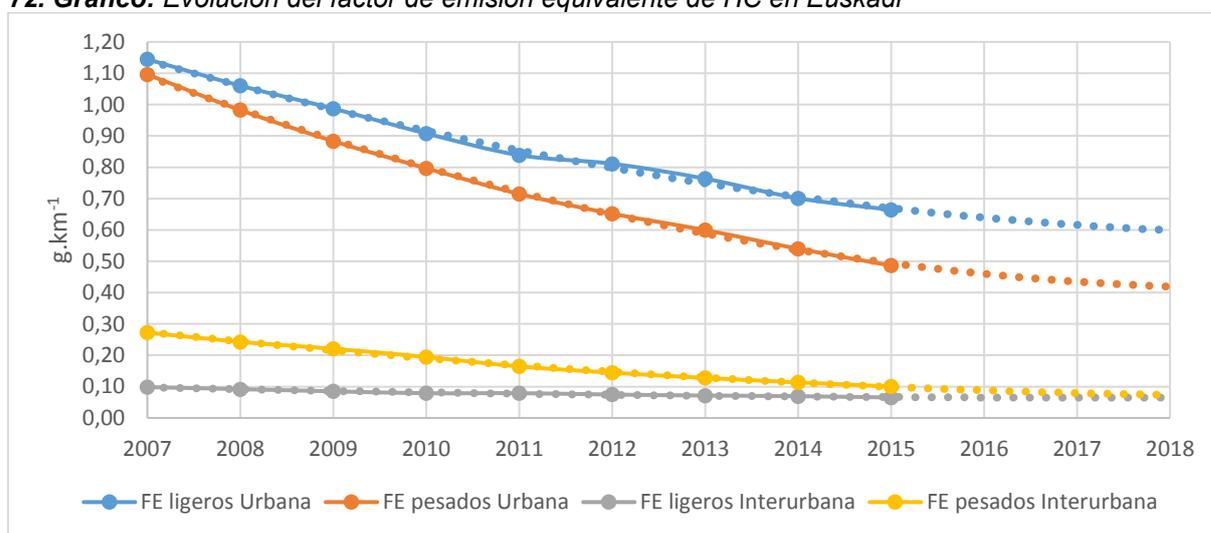
71. Gráfico: Evolución del factor de emisión equivalente de CO en Euskadi



## Factor de emisión equivalente de HC

HC g.km <sup>-1</sup>	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>FE Ligeros Urbana</b>	1,14	1,06	0,99	0,91	0,84	0,81	0,76	0,70	0,66
<b>FE Pesados Urbana</b>	1,10	0,98	0,88	0,80	0,71	0,65	0,60	0,54	0,49
<b>FE Ligeros Interurbana</b>	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07
<b>FE Pesados Interurbana</b>	0,27	0,24	0,22	0,19	0,16	0,14	0,13	0,11	0,10

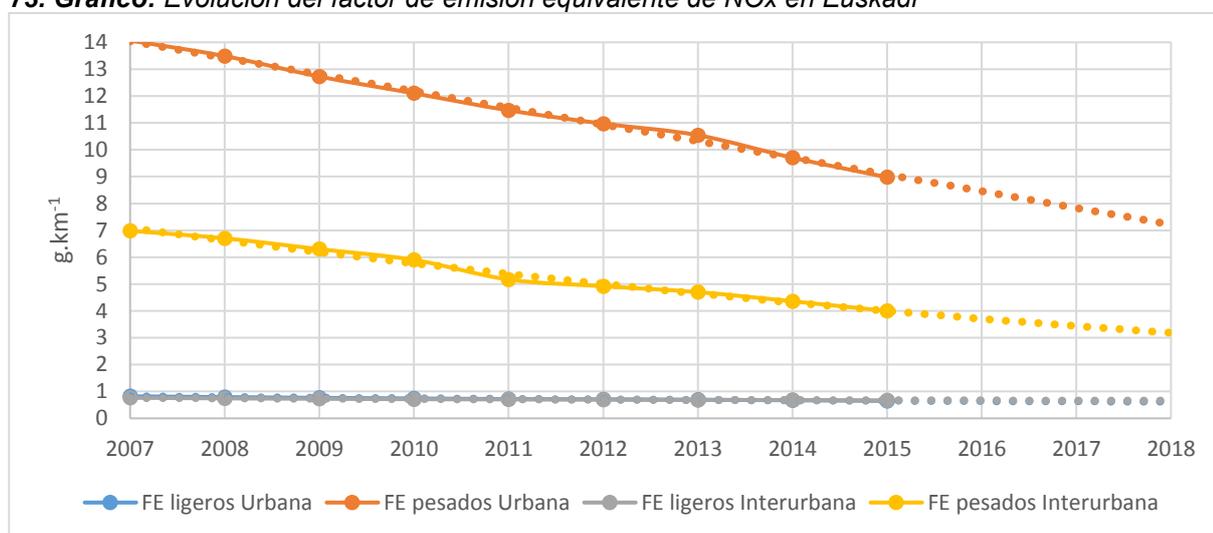
72. Gráfico: Evolución del factor de emisión equivalente de HC en Euskadi



## Factor de emisión equivalente de NO<sub>x</sub>

NO <sub>x</sub> g.km <sup>-1</sup>	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>FE Ligeros Urbana</b>	0,82	0,79	0,76	0,74	0,72	0,71	0,69	0,67	0,65
<b>FE Pesados Urbana</b>	14,07	13,49	12,73	12,10	11,47	10,97	10,54	9,70	8,98
<b>FE Ligeros Interurbana</b>	0,77	0,74	0,73	0,71	0,71	0,70	0,69	0,68	0,67
<b>FE Pesados Interurbana</b>	6,98	6,70	6,30	5,90	5,17	4,92	4,70	4,36	4,00

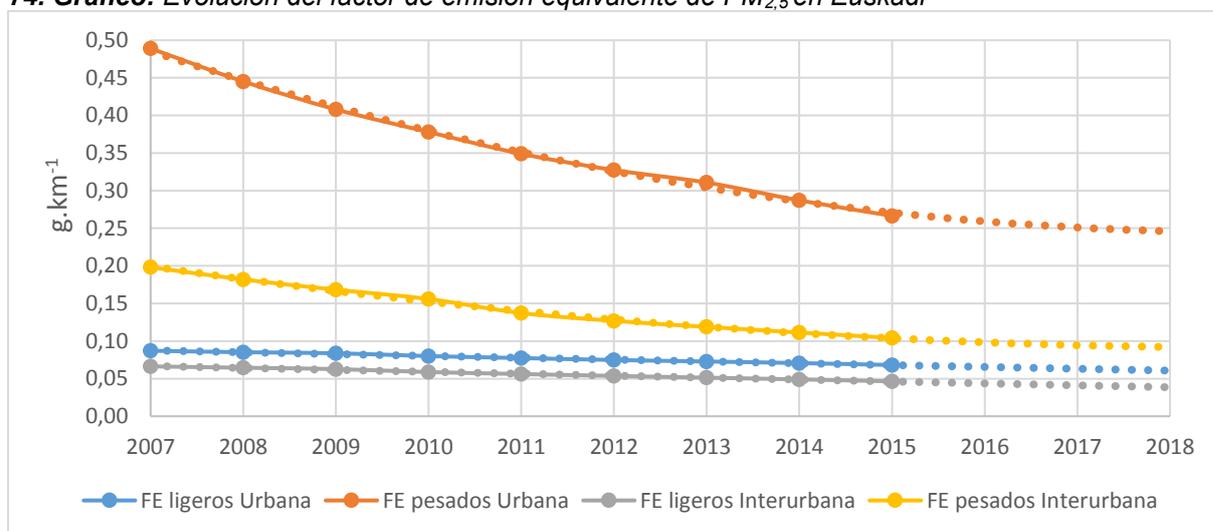
73. Gráfico: Evolución del factor de emisión equivalente de NO<sub>x</sub> en Euskadi



### Factor de emisión equivalente de $PM_{2,5}$

$PM_{2,5} g.km^{-1}$	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>FE ligeros Urbana</b>	0,087	0,085	0,084	0,080	0,077	0,075	0,073	0,071	0,068
<b>FE pesados Urbana</b>	0,489	0,445	0,408	0,378	0,349	0,327	0,311	0,287	0,267
<b>FE ligeros Interurbana</b>	0,066	0,064	0,063	0,059	0,056	0,054	0,051	0,049	0,046
<b>FE pesados Interurbana</b>	0,198	0,182	0,168	0,156	0,137	0,127	0,119	0,111	0,104

74. Gráfico: Evolución del factor de emisión equivalente de  $PM_{2,5}$  en Euskadi





## **4.6. FORTALEZAS Y DEBILIDADES DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE TRÁFICO**

Cualquier modelo de inventario que se diseñe está sujeto a incertidumbres y es imposible evaluar la exactitud de las estimaciones. Conocer cuáles son las posibles fuentes de incertidumbre del modelo utilizado da confianza sobre la representación de la realidad que se ha generado (EMEP 2016). En este caso las fuentes mayoritarias de incertidumbre son dos:

- (i) Errores en la metodología de cálculo: factores de emisión incorrectos y ecuaciones de estimación inapropiadas.
- (ii) Errores en los datos de entrada: sobre todo en los datos de actividad (intensidades de tráfico, parque circulante) y condiciones ambientales.

En la siguiente tabla se presenta una enumeración de las variables que afectan a la calidad del inventario realizado valorándose el nivel de confianza en los resultados obtenidos (Kouridis et al. 2010).

<b>Variable</b>	<b>Nivel de Confianza</b>	<b>Comentarios</b>
<i>Errores en la metodología de cálculo</i>		
<i>FE Caliente Pre EURO-EURO 4</i>	Alto	Calculados con muchos vehículos
<i>FE Caliente EURO 5-6</i>	Medio	Estimados en función de las nuevas normativas
<i>FE frío</i>	Medio	Metodología Artemis
<i>FE evaporativas</i>	Medio	Metodología Artemis
<i>FE desgaste</i>	Medio	Metodología EMEP
<i>Recorrido Medio</i>	Medio	Se usa el recorrido medio de España
<i>Errores en los datos de entrada</i>		
<i>Parque Móvil nivel de categoría</i>	Alto	Datos de la DGT
<i>Parque móvil nivel tamaño y antigüedad</i>	Medio	Estimados con valores nacionales
<i>Parque Circulante interurbano nivel 3</i>	Medio	Datos de aforos fijos de Bizkaia
<i>Parque Circulante interurbano nivel 4-5</i>	Bajo	Estimado con factores de uso

<i>Parque Circulante urbano nivel 1-2</i>	Medio	Estimado a partir de estudios de movilidad
<i>Parque Circulante urbano nivel 3</i>	Medio	Mediciones manuales en Bilbao
<i>Parque Circulante urbano nivel 4-5</i>	Bajo	Estimado con factores de uso
<i>Velocidad Urbana</i>	Bajo	Estimado con $u=15\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ para Euskadi
<i>Velocidad Interurbana</i>	Alta	Valores de los aforos
<i>Intensidad tráfico interurbana</i>	Alto	Datos de los aforos de las tres diputaciones
<i>Intensidad tráfico urbana</i>	Medio	Estimado a partir de estudios de movilidad
<i>Temperatura máx, min, media</i>	Alto	Datos mensuales de Euskalmet
<i>Presión de vapor Reid</i>	Medio	Datos de la legislación
<i>% Vehículos defectuosos</i>	Bajo	Estimación con formula EPA

Las fortalezas de este inventario incluyen:

- Se ha hecho una valoración de todos los tipos de emisión que se dan en el tráfico por carretera (caliente, frío, evaporativas y desgaste).
- Los aforos de tráfico interurbano son de alta precisión y se obtienen de la información pública de las tres Diputaciones Forales.
- Los mapas de carreteras generados consideran todas las vías con tráfico superior a  $\text{IMD} > 1000$ .
- Se ha considerado el tráfico urbano, difícil de caracterizar debido a la baja disponibilidad de información, responsabilidad de los ayuntamientos.
- Se ha generado una clasificación por categoría de vehículos adecuada para el parque móvil de Euskadi, adaptada a los factores de emisión disponibles en la literatura.
- Se ha evaluado el parque circulante de Euskadi, tanto a nivel interurbano como urbano, que es muy distinto del parque móvil censado.
- Los factores de emisión PreEURO-EURO4 están obtenidos por los ensayos de muchos vehículos, por lo que se puede considerar que tienen un nivel de confianza alto.

Las debilidades y necesidades de mejora para próximos inventarios son:

- Los factores de emisión en caliente para las normativa EURO 5 y EURO 6 utilizados, están basados en estimaciones y en mediciones de pocos vehículos. Actualmente se está generando nueva información que deberá ser incorporada al modelo.
- La metodología empleada en el cálculo de emisiones en frío y evaporativas está basada en el modelo ARTEMIS. Existen diferentes modelos que se deberían analizar y valorar cual es el más adecuado.
- La metodología empleada en el cálculo de emisiones de desgaste es la desarrollada por EMEP/EEA. Existe poca información y se considera que sus resultados son poco realistas. Se estima que en el futuro este tema tendrá más interés, ya que la reducción progresiva en las emisiones de escape hará que las de desgaste tomen más importancia.
- Los cálculos de emisiones en frío y evaporativas utilizan el valor de recorrido medio de viaje recomendado para España, basado en trabajos realizados en los años 90 por COPERT. Sería recomendable la actualización de este valor para Euskadi.
- Los datos de intensidad de tráfico para recorridos interurbanos y desglosados en ligeros y pesados son bastante fiables. Pero es necesario un desglose mayor en tipo de vehículo, combustible, tamaño y antigüedad para tener una imagen real del parque circulante.
- Los datos de intensidad de tráfico para recorridos urbanos son pocos y no existen para todas las ciudades. Este gap se ha rellenado con estudios de movilidad a nivel de comunidad. Todos los Ayuntamientos debieran tener estudios anuales de parque circulante.
- Hay pocos datos de velocidad de los vehículos. Existe información para las vías interurbanas, pero no para vías urbanas.
- La cantidad y las emisiones de vehículos defectuosos es un tema a investigar con mayor profundidad. Se sabe que los vehículos defectuosos tienen alta emisión y no hay una valoración del impacto que puedan tener en las emisiones totales.
- La estimación de emisiones de tráfico por carretera es una labor que requiere revisiones frecuentes, debido a los rápidos cambios que se dan en el sector: carreteras nuevas, actualización de parque móvil, cambios de legislación, etc. Estos cambios no solo requieren modificaciones en los factores de emisión e intensidades de tráfico, sino también una continua adaptación de la metodología utilizada.



## **5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS**



## **5.1. CONCLUSIONES**

Se han desarrollado inventarios de emisiones atmosféricas de CO, HC, NO<sub>x</sub>, COVNM y partículas para la Comunidad Autónoma de Euskadi entre los años 2007-2015. Se incluyen las emisiones industriales, biogénicas y de tráfico por carretera, con modelos de alta resolución espacial (250x250 m<sup>2</sup>) y temporal (1 hora). Los contaminantes emitidos se han geolocalizado con SIG y se han desagregado en función de su procedencia, analizando sus causas, sus responsables principales y patrones de comportamiento.

La principal limitación de un inventario de emisiones está en la disponibilidad de datos de actividad y factores de emisión de alta resolución y fiables. La información de partida utilizada se ha obtenido básicamente de fuentes públicas “*open source*”. Toda mejora realizada en estos campos se traduce directamente en mejoras en los inventarios realizados.

El trabajo desarrollado aporta una mejor comprensión de las fuentes y los mecanismos de emisión de contaminantes y puede utilizarse en diversas actividades de pronóstico o gestión de la calidad del aire.

Las emisiones de contaminantes han variado significativamente en el periodo estudiado. Por lo tanto, actualizaciones periódicas de estos inventarios son importantes para conocer tanto las emisiones globales, como la evolución de las diferentes fuentes de emisión y el análisis de su impacto relativo.

### ***Sobre las emisiones industriales***

A partir de la información del E-PRTR, se han identificado las 200 empresas más importantes en materia de emisiones. Esta información es pública y accesible debido a la legislación vigente.

En el año 2015 este sector emitió 12,8 Gg de NO<sub>x</sub>, 6,2 Gg de COVNM y 1,6 Gg de PM<sub>10</sub>. Esto supone, respecto del año 2007, una reducción del 43% en NO<sub>x</sub>, del 24% en COVNM y del 58% en PM<sub>10</sub>. Esta reducción de emisiones se ha dado por: disminución en la actividad empresarial, mejoras realizadas en los procesos y equipos destinados a la reducción de emisiones y desaparición de algunas empresas altamente contaminantes.

Unas pocas empresas son responsables de un gran porcentaje de las emisiones totales: 10 empresas emiten el 77% de NO<sub>x</sub>, el 87% de COVNM y el 60% de PM<sub>10</sub>. Por esta razón, con la información de sistemas de vigilancia en continuo de emisiones de un limitado número de focos, se podría hacer una extrapolación que daría una estimación razonable de la emisión

total generada en Euskadi, para una resolución temporal adecuada para las labores de predicción.

### ***Sobre las emisiones biogénicas***

Se ha desarrollado un modelo de emisiones de alta resolución a partir del mapa forestal de Euskadi a nivel IFN4, de factores de emisión por especie vegetal de la literatura (*Oderboltz et al. 2013*), meteorología (temperatura y radiación) de las estaciones de Euskalmet y el índice de vegetación satelital EVI del instrumento MODIS.

La emisión de BVOC en Euskadi ha variado entre 16,4 Gg y 20,7 Gg entre los años 2007 y 2015. El 70% son debidas a las siguientes especies: quejigo faginea, eucaliptus, roble, encina, haya y pino radiata. De estas emisiones aproximadamente el 36% es isopreno, otro 35% monoterpenos, el 28% compuestos orgánicos volátiles oxigenados y menos del 1% sesquiterpenos.

Más del 80% de las emisiones de BVOC se producen entre mayo y junio, ya que dependen principalmente de la temperatura y del efecto que esta tiene sobre el desarrollo de la vegetación. Pero es difícil establecer un patrón que simule las emisiones de un día en concreto. Las variaciones diarias de temperatura y radiación pueden hacer que las emisiones se dupliquen o se reduzcan a la mitad de un día para otro.

En este trabajo se propone valorar la variación cíclica de la densidad de la biomasa forestal a partir de un factor de ajuste de estacionalidad. Este factor se obtiene a partir del índice de vegetación EVI del instrumento MODIS. El índice EVI se ha comprobado que es adecuado para la detección de la clorofila usada en la fotosíntesis y permite caracterizar tanto la caída de la hoja, en los árboles de hoja caduca, como la inactividad enzimática, en los árboles de hoja perenne.

### ***Sobre las emisiones de tráfico***

Se ha desarrollado un modelo de emisiones para el tráfico por carretera en el periodo 2007-2015. Está basado en una red de 913 tramos para 3.307 km de vías interurbanas con circulación superior a  $IMD > 1000$  y en el modelo desarrollado por INGARTEK para el tráfico urbano que divide el territorio en 20 comarcas y considera 4.698 km.

Para el año 2015 se ha estimado un tráfico interurbano de 10.970 MMvkm de los cuales el 14% corresponde a vehículos pesados. El tráfico urbano para este año fue de 3.760 MMvkm de los cuales el 4% se consideran vehículos pesados. Comparando con el año 2007 se

observa una disminución del tráfico de vehículos ligeros del 5% y de casi el 20% en los vehículos pesados.

El parque de vehículos se ha clasificado en 5 niveles atendiendo al peso, al sector a que pertenece, el combustible, la cilindrada y la tecnología de reducción de emisiones. Para esta clasificación se ha tenido en cuenta el parque vehicular típico de Euskadi y los factores de emisión desarrollados en la literatura.

Se ha observado una creciente dieselización del parque de turismos, pasando del 49% en 2007 al 59% en 2015, una reducción del 6% en el parque de furgonetas y camiones y un aumento del 44% en el parque de motocicletas.

La caracterización del parque circulante, distinto del parque censado, es clave a la hora de desarrollar un modelo de emisiones de tráfico. Para ello, se han realizado sondeos a pie de carretera y se ha utilizado información y factores de uso de vehículos, disponibles en la literatura.

Los factores de emisión utilizados provienen de la revisión realizada por TRL para el Reino Unido, con actualizaciones en los valores de Euro 5 y Euro 6, basadas en nuevas mediciones que se van publicando.

Se han analizado las emisiones de escape en caliente y frío, las evaporativas para vehículos de gasolina y las de desgaste de frenos, neumáticos y carretera. Para el año 2015 las emisiones han sido de 17,8 Gg de CO, 3,2 Gg de HC, 15,5 Gg de NO<sub>x</sub>, 874 t de PM<sub>2,5</sub> y se han consumido 1.443 Mm<sup>3</sup> de combustible. Comparando con el año 2007, se ha reducido: 45% el CO, 46% el HC, 37% los NO<sub>x</sub> y 38% los PM<sub>2,5</sub>, mientras que el consumo de combustible ha bajado un 14%.

El parque de vehículos y los modos de circulación van variando en función de los precios del combustible, las exigencias legislativas en materia de emisiones y los desarrollos tecnológicos que se van comercializando. Esto hace necesaria una permanente actualización en los modelos de emisión de tráfico.

### ***Sobre las emisiones de NO<sub>x</sub>***

En 2015 las emisiones industriales y de tráfico de NO<sub>x</sub> fueron de un orden magnitud similar, con valores de 12,8 Gg y 15,5 Gg respectivamente. En el periodo 2007-2015, se han reducido aproximadamente un 40%. La razón de esta disminución han sido las mejoras tecnológicas y la retirada de industrias y de vehículos con tecnología obsoleta.

La emisión industrial de NO<sub>x</sub> se da principalmente en el sector de la energía (Petronor, Energyworks...) y en el sector mineral donde destacan las cementeras (Cementos Lemona, ...) y las vidrieras (Guardian, Aiala, ...).

En el tráfico por carretera, las emisiones de NO<sub>x</sub> son características de los vehículos diésel y principalmente se dan en los desplazamientos interurbanos. Los vehículos pesados han reducido su peso en este tipo de emisiones al mejorar sus factores de emisión en los vehículos nuevos y haber reducido también los kilómetros recorridos. Por el contrario, los turismos diésel al haber incrementado su población y no haber mejorado sus factores de emisión lo esperado, son actualmente los mayores emisores de NO<sub>x</sub>.

### ***Sobre las emisiones de COVNM***

En 2015, las emisiones de COVNM industriales fueron de 6,2 Gg, las de tráfico por carretera de 3,2 Gg y las biogénicas de 20,3 Gg. Las emisiones industriales y de tráfico van disminuyendo paulatinamente debido a las mejoras tecnológicas que se aplican. Las emisiones biogénicas dependen de los usos de suelo y de la meteorología. Se puede decir que las emisiones biogénicas en Euskadi, representan el doble que el resto de emisiones de compuestos orgánicos volátiles.

Las emisiones industriales de COVNM se dan principalmente en la refinería de Petronor y en empresas con procesos donde se utilizan pinturas o disolventes como Mercedes-Benz.

Las emisiones de COVNM en el tráfico son más importantes en los vehículos gasolina que en los vehículos diésel. El uso de catalizadores ha reducido este tipo de emisiones en los vehículos nuevos. Pero la gran cantidad de vehículos gasolina antiguos que todavía circulan, hace que este tipo de emisión todavía sea significativa. Atención al incremento en el parque de motocicletas, que puede tener un impacto apreciable en la emisión futura de COVNM.

### ***Sobre las emisiones de partículas***

En 2015, las emisiones industriales de PM<sub>10</sub> fueron de 1,6 Gg y las de tráfico por carretera PM<sub>2,5</sub> de 0,9 Gg. Esto supone una reducción del 58% y del 36% respecto de las del año 2007, que es atribuible a las mejoras tecnológicas realizadas, tanto en la industria como en los vehículos.

Las emisiones industriales de partículas se deben principalmente a la industria del metal de acerías, fundiciones y transformadoras de metal (Sidenor, Arcelor Mittal, Tubos Reunidos...), la refinería de Petronor, las vidrieras (Aiala, ...) y cementeras (Lemona...).

Las emisiones de tráfico se deben principalmente a los vehículos diésel. Aunque históricamente los vehículos pesados han tenido un gran impacto en las emisiones de partículas, actualmente son los turismos diésel los causantes de la mitad de las emisiones. Esto se debe a la reducción del tráfico de vehículos pesados en Euskadi y las mejoras en los sistemas de reducción de emisiones de estos vehículos.

Ha habido importantes mejoras tecnológicas en las emisiones de partículas por el escape, pero no ha ocurrido lo mismo con las partículas debidas al desgaste. Estas últimas actualmente suponen el 25% del total y se espera que su impacto relativo crezca en los próximos años.



## **5.2. PERSPECTIVAS**

Las líneas de investigación principales que se pretenden desarrollar como continuidad de esta Tesis Doctoral son las siguientes:

- Desarrollo de inventarios de los sectores de SNAP97 que faltan: SNAP02 (instalaciones de combustión residenciales y comerciales), SNAP05 (extracción y distribución de combustibles fósiles), SNAP06 (disolventes) y SNAP08 (otros vehículos móviles).
- Actualización y mejora anual de los inventarios, desarrollando métodos para que esta actualización sea lo más automática posible.

Respecto a la mejora de los inventarios realizados se pueden plantear los siguientes retos a futuro:

En los inventarios de **emisiones industriales**:

- Revisión anual de los informes E-PRTR generados por el Gobierno Vasco
- Inclusión de las alturas de emisión de las fuentes
- Estudio de la temporalidad de las emisiones industriales
- Especiación de los COVNM
- Mayor conocimiento de las emisiones PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>

En los inventarios de **emisiones biogénicas**:

- Actualización de los mapas forestales
- Revisión y actualización periódica de los factores de emisión
- Utilización de datos de meteorología de otras fuentes además de Euskalmet
- Análisis de la aplicación de distintos índices de vegetación satelitales
- Estudio del impacto del canopio
- Aplicación de las emisiones biogénicas en la gestión forestal y de vegetación en zonas urbanas
- Utilización del software MEGAN utilizando los datos de este trabajo

En los inventarios de **emisiones de tráfico**:

- Actualización y seguimiento de nuevas investigaciones de los factores de emisión

- Actualización de los mapas de carreteras
- Actualización de aforos
- Estudios del tráfico urbano en ciudades
- Desagregación del parque circulante, con análisis automatizados con cámaras
- Especiación de los COVNM

## **REFERENCIAS**



ADRA, N. and ANDRÉ, M., 2004. Analysis of the annual mileage of road vehicles: statistics and trends. INRETS report, nLTE, 421.

AMATO, F., CASSEE, F.R., VAN DER GON, HUGO AC DENIER, GEHRIG, R., GUSTAFSSON, M., HAFNER, W., HARRISON, R.M., JOZWICKA, M., KELLY, F.J. and MORENO, T., 2014. Urban air quality: the challenge of traffic non-exhaust emissions. *Journal of hazardous materials*, 275, pp. 31-36.

AYUNTAMIENTO DE MADRID, 2014. Estudio del parque circulante de la ciudad de Madrid. Año 2013. Madrid: Dirección General de Sostenibilidad y Planificación de la Movilidad. Ayuntamiento de Madrid.

BAGHI, R., HELMIG, D., GUENTHER, A., DUHL, T. and DALY, R., 2012. Contribution of flowering trees to urban atmospheric biogenic volatile organic compound emissions. *Biogeosciences*, 9(10), pp. 3777-3785.

BARLOW, T., 2014. Briefing paper on non-exhaust particulate emissions from road transport. Transport Research Laboratory.

BARLOW, T., LATHAM, S., MCCRAE, I. and BOULTER, P., 2009. A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions. United Kingdom: IHS.

BARLOW, T.J. and BOULTER, P., 2009. Emission factors 2009: Report 2-a review of the average-speed approach for estimating hot exhaust emissions. United Kingdom: IHS.

BAUWENS, M., STAVRAKOU, T., MÜLLER, J., DE SMEDT, I. and VAN ROOZENDAEL, M., 2013. Satellite-based isoprene emission estimates (2007–2012) from the GlobEmission project, Proceedings of the ACCENT-Plus Symposium, Atmospheric Composition Change–Policy Support and Science, Session on Short lived pollutants, climate and air quality, Urbino, Italy 2013, pp. 17-20.

BERG, R., HEALD, C., HARTZ, K., HALLAR, A., MEDDENS, A., HICKE, J., LAMARQUE, J. and TILMES, S., 2012. The impact of bark beetle infestation on monoterpene emissions and secondary organic aerosol formation in Western North America. *Atmospheric Chemistry & Physics Discussions*, 12(11).

BLAIKLEY, D., SMITH, A., FEEST, E. and READING, A., 2001. UG219 TRAMAQ–cold start emissions. Summary report.

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO, 2006. Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, por el que se determinan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo y se regula el uso de determinados biocarburantes.

BOULTER, P. and LATHAM, S., 2009. Emission factors 2009: Report 4-a review of methodologies for modelling cold-start emissions.

BOULTER, P., 1997. Environmental Traffic Management: A Review of Factors Affecting Cold Start Emissions. TRL REPORT 270.

BOULTER, P., 2009. ARTEMIS: Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems. Final report, 1(1), pp. 1-348.

BOULTER, P., BARLOW, T., MCCRAE, I. and LATHAM, S., 2009b. Emission factors 2009: Final summary report. TRL Report PPR361. TRL Limited, Wokingham,

BOULTER, P., BARLOW, T.J. and MCCRAE, I.S., 2009a. Emission factors 2009: Report 3-exhaust emission factors for road vehicles in the United Kingdom. TRL Published Project Report.

BRAUER, H., 2010. To what extent are European vans related to cars? Transport & Environment.

CASERINI, S., PASTORELLO, C., GAIFAMI, P. and NTZIACHRISTOS, L., 2013. Impact of the dropping activity with vehicle age on air pollutant emissions. Atmospheric Pollution Research, 4(3), pp. 282-289.

CICCIOLI, P., BRANCALEONI, E., FRATTONI, M., MARTA, S., BRACHETTI, A., VITULLO, M., TIRONE, G. and VALENTINI, R., 2003. Relaxed eddy accumulation, a new technique for measuring emission and deposition fluxes of volatile organic compounds by capillary gas chromatography and mass spectrometry. Journal of Chromatography A, 985(1), pp. 283-296.

COELHO, M.C., FONTES, T., BANDEIRA, J.M., PEREIRA, S.R., TCHEPEL, O., DIAS, D., SÁ, E., AMORIM, J.H. and BORREGO, C., 2014. Assessment of potential improvements on regional air quality modelling related with implementation of a detailed methodology for traffic emission estimation. Science of the Total Environment, 470, pp. 127-137.

COMISIÓN EUROPEA, 2006. Guía para la implantación del E-PRTR. Comisión Europea Dirección General del Medio Ambiente. <http://www.prtr-es.es/documentos/guias-manuales-usuario-prtr>.

CURCI, G., BEEKMANN, M., VAUTARD, R., SMIA TEK, G., STEINBRECHER, R., THELOKE, J. and FRIEDRICH, R., 2009. Modelling study of the impact of isoprene and terpene biogenic emissions on European ozone levels. *Atmospheric Environment*, 43(7), pp. 1444-1455.

DE LA TORRE, E., 2014. Diseño y desarrollo de un inventario de emisiones atmosféricas debidas al tráfico rodado en la CAPV para su aplicación en modelos fotoquímicos. Bilbao: Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao.

DEMARCKE, M., MÜLLER, J., SCHOON, N., VAN LANGENHOVE, H., DEWULF, J., JOÓ, E., STEPPE, K., ŠIMPRAGA, M., HEINESCH, B. and AUBINET, M., 2010. History effect of light and temperature on monoterpene emissions from *Fagus sylvatica* L. *Atmospheric Environment*, 44(27), pp. 3261-3268.

DENBY, B., DOUROS, I. and FRAGKOU, L., 2011. Modelling of Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>) for air quality assessment and planning relevant to the European Air Quality Directive, Forum for Air Quality Modelling in Europe (FAIRMODE) Guidance Document 2011.

DFA, 2007. Estudio de Tráfico 2007. Red de Carreteras del Territorio Histórico de Álava. Vitoria-Gasteiz: Diputación Foral de Álava. Departamento de Obras Públicas y Transportes.

DFA, 2008. Estudio de Tráfico 2008. Red de Carreteras del Territorio Histórico de Álava. Vitoria-Gasteiz: Diputación Foral de Álava. Departamento de Obras Públicas y Transportes.

DFA, 2009. Estudio de Tráfico 2009. Red de Carreteras del Territorio Histórico de Álava. Vitoria-Gasteiz: Diputación Foral de Álava. Departamento de Obras Públicas y Transportes.

DFA, 2010. Estudio de Tráfico 2010. Red de Carreteras del Territorio Histórico de Álava. Vitoria-Gasteiz: Diputación Foral de Álava. Departamento de Obras Públicas y Transportes.

DFA, 2011. Estudio de Tráfico 2011. Red de Carreteras del Territorio Histórico de Álava. Vitoria-Gasteiz: Diputación Foral de Álava. Departamento de Obras Públicas y Transportes.

DFA, 2012. Estudio de Tráfico 2012. Red de Carreteras del Territorio Histórico de Álava. Vitoria-Gasteiz: Diputación Foral de Álava. Departamento de Obras Públicas y Transportes.

DFA, 2013. Estudio de Tráfico 2013. Red de Carreteras del Territorio Histórico de Álava. Vitoria-Gasteiz: Diputación Foral de Álava. Departamento de Obras Públicas y Transportes.

DFA, 2014. Estudio de Tráfico 2014. Red de Carreteras del Territorio Histórico de Álava. Vitoria-Gasteiz: Diputación Foral de Álava. Departamento de Obras Públicas y Transportes.

DFA, 2015. Estudio de Tráfico 2015. Red de Carreteras del Territorio Histórico de Álava. Vitoria-Gasteiz: Diputación Foral de Álava. Departamento de Obras Públicas y Transportes.

DFB, 2007. Evolución del tráfico en las carreteras de Bizkaia 2007. Bilbao: Departamento de Obras Públicas. Diputación Foral de Bizkaia.

DFB, 2008. Evolución del tráfico en las carreteras de Bizkaia 2008. Bilbao: Departamento de Obras Públicas. Diputación Foral de Bizkaia.

DFB, 2009. Evolución del tráfico en las carreteras de Bizkaia 2009. Bilbao: Departamento de Obras Públicas. Diputación Foral de Bizkaia.

DFB, 2010. Evolución del tráfico en las carreteras de Bizkaia 2010. Bilbao: Departamento de Obras Públicas. Diputación Foral de Bizkaia.

DFB, 2011. Evolución del tráfico en las carreteras de Bizkaia 2011. Bilbao: Departamento de Obras Públicas. Diputación Foral de Bizkaia.

DFB, 2012. Evolución del tráfico en las carreteras de Bizkaia 2012. Bilbao: Departamento de Obras Públicas. Diputación Foral de Bizkaia.

DFB, 2013. Evolución del tráfico en las carreteras de Bizkaia 2013. Bilbao: Departamento de Obras Públicas. Diputación Foral de Bizkaia.

DFB, 2014. Evolución del tráfico en las carreteras de Bizkaia 2014. Bilbao: Departamento de Obras Públicas. Diputación Foral de Bizkaia.

DFB, 2015. Evolución del tráfico en las carreteras de Bizkaia 2015. Bilbao: Departamento de Obras Públicas. Diputación Foral de Bizkaia.

DFG, 2016. Gipuzkoako Errepideetako Aforoei Buruzko Informazioa 2014ra arteko bilketa. Donostia: Diputación Foral de Gipuzkoa. Departamento de Infraestructuras Viarias.

DGT, 2007. Anuario Estadístico General 2007. Madrid: DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO.

DGT, 2008. Anuario Estadístico General 2008. Madrid: DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO.

DGT, 2009. Anuario Estadístico General 2009. Madrid: DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO.

DGT, 2010. Anuario Estadístico General 2010. Madrid: DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO.

DGT, 2011. Anuario Estadístico General 2011. Madrid: DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO.

DGT, 2012. Anuario Estadístico General 2012. Madrid: DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO.

DGT, 2013. Anuario Estadístico General 2013. Madrid: DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO.

DGT, 2014. Anuario Estadístico General 2014. Madrid: DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO.

DGT, 2015. Anuario Estadístico General 2015. Madrid: DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO.

DIDAN, K., 2015. MYD13Q1 MODIS/Aqua Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V006. NASA EOSDIS Land Processes DAAC.

DUHL, A., 2008. Sesquiterpene emissions from vegetation: a review. Biogeosciences, 5.

EEA, 2006. Guía para la implantación del E-PRTR. Copenhagen: European Environment Agency.

EEA, 2013. Every breath we take. Improving air quality in Europe. Denmark: European Environment Agency.

EEA, 2017. Air quality in Europe - 2017 report. Copenhagen: European Environment Agency.

EEA, E., 2009. EEA air pollutant emission inventory guidebook 2009. European Environment Agency (EEA), Copenhagen,

EMEP, E., 2016. EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016.

EMISIA S.A., 2014. Spanish vehicle fleet COPERT Data.

EPA OFFICE OF TRANSPORTATION AND AIR QUALITY, 2010. Conversion Factors for Hydrocarbon Emission Components. NR-002d. USA: EPA.

EPA, 2009. Air pollution definition. Office of the Administrator/Office of External Affairs and Environmental Education.

EUSKALMET, 2007. Estaciones meteorológicas: lecturas recogidas en 2007. Open Data Euskadi. <http://opendata.euskadi.eus/>

EUSKALMET, 2008. Estaciones meteorológicas: lecturas recogidas en 2008. Open Data Euskadi. <http://opendata.euskadi.eus/>

EUSKALMET, 2009. Estaciones meteorológicas: lecturas recogidas en 2009. Open Data Euskadi. <http://opendata.euskadi.eus/>

EUSKALMET, 2010.Estaciones meteorológicas: lecturas recogidas en 2010. Open Data Euskadi. <http://opendata.euskadi.eus/>

EUSKALMET, 2011.Estaciones meteorológicas: lecturas recogidas en 2011. Open Data Euskadi. <http://opendata.euskadi.eus/>

EUSKALMET, 2012.Estaciones meteorológicas: lecturas recogidas en 2012. Open Data Euskadi. <http://opendata.euskadi.eus/>

EUSKALMET, 2013.Estaciones meteorológicas: lecturas recogidas en 2013. Open Data Euskadi. <http://opendata.euskadi.eus/>

EUSKALMET, 2014.Estaciones meteorológicas: lecturas recogidas en 2014. Open Data Euskadi. <http://opendata.euskadi.eus/>

EUSKALMET, 2015.Estaciones meteorológicas: lecturas recogidas en 2015. Open Data Euskadi. <http://opendata.euskadi.eus/>

EUSKO JAURLARITZA / GOBIERNO VASCO, 2008. Mapa de Elevaciones de Euskadi LIDAR. geoEuskadi.

EUSKO JAURLARITZA/GOBIERNO VASCO, 2010. Mapa Forestal del País Vasco. Open Data Euskadi.

FOWLER, D., PILEGAARD, K., SUTTON, M., AMBUS, P., RAIVONEN, M., DUYZER, J., SIMPSON, D., FAGERLI, H., FUZZI, S. and SCHJØRRING, J.K., 2009. Atmospheric composition change: ecosystems–atmosphere interactions. *Atmospheric Environment*, 43(33), pp. 5193-5267.

FRANCO, V., KOUSOULIDOU, M., MUNTEAN, M., NTZIACHRISTOS, L., HAUSBERGER, S. and DILARA, P., 2013. Road vehicle emission factors development: A review. *Atmospheric Environment*, 70, pp. 84-97.

FRIEDRICH, R., 2007. NATAIR: Improving and applying methods for the calculation of natural and biogenic emissions and assessment of impacts to the air quality. [http://natair.ier.uni-stuttgart.de/NatAir\\_Final\\_Activity\\_Report.pdf](http://natair.ier.uni-stuttgart.de/NatAir_Final_Activity_Report.pdf).

FROST, G.J., MIDDLETON, P., TARRASÓN, L., GRANIER, C., GUENTHER, A., CARDENAS, B., DENIER VAN DER GON, HUGO, JANSSENS-MAENHOUT, G., KAISER, J.W. and KEATING, T., 2013. New Directions: GEIA's 2020 vision for better air emissions information.

FUENTES, J.D., GU, L., LERDAU, M., ATKINSON, R., BALDOCCHI, D., BOTTENHEIM, J., CICCIOIOLI, P., LAMB, B., GERON, C. and GUENTHER, A., 2000. Biogenic hydrocarbons in the atmospheric boundary layer: a review. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(7), pp. 1537-1575.

FUNDACIÓN LABEIN, 2005. Guías técnicas para la medición, estimación y cálculo de las emisiones al aire. IHOBE SA.

GOBIERNO VASCO, 2007. Estudio de la movilidad de la Comunidad Autónoma Vasca 2007 01010 Vitoria-Gasteiz: Departamento de Vivienda Obras Públicas y Transportes. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.

GOBIERNO VASCO, 2011. Estudio de la movilidad de la Comunidad Autónoma Vasca 2011. 01010 Vitoria-Gasteiz: Departamento de Vivienda Obras Públicas y Transportes. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.

GUENTHER, A., 1997. Seasonal and spatial variations in natural volatile organic compound emissions. *Ecological Applications*, 7(1), pp. 34-45.

GUENTHER, A., HEWITT, C.N., ERICKSON, D., FALL, R., GERON, C., GRAEDEL, T., HARLEY, P., KLINGER, L., LERDAU, M. and MCKAY, W., 1995. A global model of natural volatile organic compound emissions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 100(D5), pp. 8873-8892.

GUENTHER, A., JIANG, X., HEALD, C., SAKULYANONTVITTAYA, T., DUHL, T., EMMONS, L. and WANG, X., 2012. The Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature version 2.1 (MEGAN2. 1): an extended and updated framework for modeling biogenic emissions.

GUENTHER, A.B., ZIMMERMAN, P.R., HARLEY, P.C., MONSON, R.K. and FALL, R., 1993. Isoprene and monoterpene emission rate variability: model evaluations and sensitivity analyses. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 98(D7), pp. 12609-12617.

GUEVARA, M., LOPEZ-APARICIO, S., CUVELIER, C., TARRASON, L., CLAPPIER, A. and THUNIS, P., 2017. A benchmarking tool to screen and compare bottom-up and top-down atmospheric emission inventories. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 10(5), pp. 627-642.

GUEVARA, M., MARTÍNEZ, F., ARÉVALO, G., GASSÓ, S. and BALDASANO, J.M., 2013. An improved system for modelling Spanish emissions: HERMESv2.0. *Atmospheric Environment*, 81, pp. 209-221.

GUEVARA, M., MARTÍNEZ, F., ARÉVALO, G., GASSÓ, S. and BALDASANO, J.M., 2013. An improved system for modelling Spanish emissions: HERMESv2.0. *Atmospheric Environment*, 81, pp. 209-221.

HANTSON, S., KNORR, W., SCHURGERS, G., PUGH, T.A. and ARNETH, A., 2017. Global isoprene and monoterpene emissions under changing climate, vegetation, CO<sub>2</sub> and land use. *Atmospheric Environment*, 155, pp. 35-45.

HAUSBERGER, S., WIESMAYR, J., BUKVAREVIC, E., TRIPOLD, W. and BRENNER, J., 2005. *Evaporative emissions of vehicles-Final Report*. European Commission 5th Framework project ARTEMIS (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems). Technical University of Graz, Austria,

HUETE, A., SOLANO, R., GLENN, E.P. and RESTREPO, N., 2011. Monitoreo de propiedades y procesos ecosistémicos con índices de vegetación MODIS. *Aplicaciones del sensor MODIS para el monitoreo del territorio*. pp. 195-230.

IHOBE, 2017. *Perfil Ambiental de Euskadi 2016*. Bilbao: Ihobe, Departamento de Medio Ambiente, Gobierno Vasco.

INGARTEK CONSULTING, S., Julio 2012. *Modelo de consumo de combustible de la CAPV*.

JARDINE, K., YAÑEZ SERRANO, A., ARNETH, A., ABRELL, L., JARDINE, A., VAN HAREN, J., ARTAXO, P., RIZZO, L.V., ISHIDA, F.Y., KARL, T., KESSELMEIER, J., SALESKA, S. and HUXMAN, T., 2011. Within-canopy sesquiterpene ozonolysis in Amazonia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D19), pp. n/a-n/a.

JOUMARD, R., ANDRE, J., RAPONE, M., ZALLINGER, M., KLJUN, N., ANDRE, M., SAMARAS, Z., ROUJOL, S., LAURIKKO, J. and WEILENMANN, M., 2007. *Emission factor modelling and database for light vehicles-Artemis deliverable 3*.

KESSELMEIER, J. and STAUDT, M., 1999. Biogenic volatile organic compounds (VOC): an overview on emission, physiology and ecology. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 33(1), pp. 23-88.

KOURIDIS, C., GKATZOFLIAS, D., KIOUTSIOUKIS, I., NTZIACHRISTOS, L., PASTORELLO, C. and DILARA, P., 2010. *Uncertainty estimates and guidance for road transport emission calculations*. Publications Office of the European Union, EUR, 24296.

LAOTHAWORNKITKUL, J., TAYLOR, J.E., PAUL, N.D. and HEWITT, C.N., 2009. Biogenic volatile organic compounds in the Earth system. *New Phytologist*, 183(1), pp. 27-51.

LATHAM, S. and BOULTER, P., 2009. Emission factors 2009: Report 7-a review of the NAEI methodology for modelling evaporative emissions.

LEHNING, A., ZIMMER, W., ZIMMER, I. and SCHNITZLER, J., 2001. Modeling of annual variations of oak (*Quercus robur* L.) isoprene synthase activity to predict isoprene emission rates. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D3), pp. 3157-3166.

LLUSIA, J., PEÑUELAS, J., GUENTHER, A. and RAPPARINI, F., 2013. Seasonal variations in terpene emission factors of dominant species in four ecosystems in NE Spain. *Atmospheric Environment*, 70, pp. 149-158.

LUHANA, L., SOKHI, R., WARNER, L., MAO, H., BOULTER, P., MCCRAE, I., WRIGHT, J., REEVES, N. and OSBORN, D., 2004. Non-exhaust particulate measurements: results. 2010, <http://vergina.eng.auth.gr/particulates>.

MACDONALD, R.C. and FALL, R., 1993. Detection of substantial emissions of methanol from plants to the atmosphere. *Atmospheric Environment. Part A: General Topics*, 27(11), pp. 1709-1713.

MAPAMA, 2013. Cuarto Inventario Forestal Nacional. Comunidad Autónoma del País Vasco / Euskadi. Madrid: © Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente Secretaría General Técnica Centro de Publicaciones.

MAPAMA, 2014. Inventarios nacionales de emisiones a la atmósfera 1990-2012. Volumen 2 (Versión no confidencial) Análisis por actividades emisoras de la nomenclatura SNAP-97. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente Secretaría General Técnica Centro de Publicaciones.

MARKAKIS, K., POUPKOU, A., MELAS, D., TZOUMAKA, P. and PETRAKAKIS, M., 2010. A computational approach based on GIS technology for the development of an anthropogenic emission inventory of gaseous pollutants in Greece. *Water, air, and soil pollution*, 207(1-4), pp. 157-180.

MINISTERIO DE FOMENTO, 2015. Mapa de Tráfico 2015. Red de Carreteras del Estado y Red Autonómica Principal. Madrid: Dirección General de Carreteras. Ministerio de Fomento. Gobierno de España.

MOCK, P., TIETGE, U., FRANCO, V., GERMAN, J., BANDIVADEKAR, A., LIGTERINK, N., LAMBRECHT, U., KUHLEWEIN, J. and RIEMERSMA, I., 2014. From Laboratory to Road. A

2014 update of official and real-world fuel consumption and CO<sub>2</sub> values for passenger cars in Europe. International Council on Clean Transportation Europe.

MONKS, P., GRANIER, C., FUZZI, S., STOHL, A., WILLIAMS, M., AKIMOTO, H., AMANN, M., BAKLANOV, A., BALTENSPERGER, U. and BEY, I., 2009. Atmospheric composition change—global and regional air quality. *Atmospheric Environment*, 43(33), pp. 5268-5350.

MÜLLER, J., STAVRAKOU, T., WALLENS, S., SMEDT, I.D., ROOZENDAEL, M.V., POTOSNAK, M., RINNE, J., MUNGER, B., GOLDSTEIN, A. and GUENTHER, A., 2008. Global isoprene emissions estimated using MEGAN, ECMWF analyses and a detailed canopy environment model. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8(5), pp. 1329-1341.

NEMECEK-MARSHALL, M., MACDONALD, R.C., FRANZEN, J.J., WOJCIECHOWSKI, C.L. and FALL, R., 1995. Methanol Emission from Leaves (Enzymatic Detection of Gas-Phase Methanol and Relation of Methanol Fluxes to Stomatal Conductance and Leaf Development). *Plant Physiology*, 108(4), pp. 1359-1368.

NIINEMETS, Ü, KUHN, U., HARLEY, P.C., STAUDT, M., ARNETH, A., CESCATTI, A., CICCIOLO, P., COPOLOVICI, L., GERON, C. and GUENTHER, A., 2011. Estimations of isoprenoid emission capacity from enclosure studies: measurements, data processing, quality and standardized measurement protocols. *Biogeosciences*, 8(8).

NIINEMETS, Ü, LORETO, F. and REICHSTEIN, M., 2004. Physiological and physicochemical controls on foliar volatile organic compound emissions. *Trends in plant science*, 9(4), pp. 180-186.

NTZIACHRISTOS, L. and BOULTER, P., 2013. Road vehicle tyre and brake wear Road surface wear. Joint EMEP/CORINAIR emission inventory guidebook, pp. B770-1.

NTZIACHRISTOS, L. and BOULTER, P., 2016. Road vehicle tyre and brake wear Road surface wear. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016. 21/2016. EMEP/EEA.

NTZIACHRISTOS, L., MELLIOS, G., KOURIDIS, C., PAPAGEORGIOU, T., THEODOSOPOULOU, M., SAMARAS, Z. and ZIEROCK, K., 2008. Final Report: European Database of Vehicle Stock for the Calculation and Forecast of Pollutant and Greenhouse Gases Emissions with TREMOVE and COPERT. Lab of Applied Thermodynamics, Thessaloniki, Greece.

NTZIACHRISTOS, L., PAPADIMITRIOU, G., LIGTERINK, N. and HAUSBERGER, S., 2016. Implications of diesel emissions control failures to emission factors and road transport NO<sub>x</sub> evolution. *Atmospheric Environment*, 141, pp. 542-551.

ODERBOLZ, D., AKSOYOGLU, S., KELLER, J., BARMPADIMOS, I., STEINBRECHER, R., SKJØTH, C.A., PLASS-DÜLMER, C. and PRÉVÔT, A., 2013. A comprehensive emission inventory of biogenic volatile organic compounds in Europe: improved seasonality and land-cover. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(4), pp. 1689-1712.

OLAYA, V., 2014. Sistemas de información geográfica. Un libro libre de Víctor Olaya.

OMS, 2005. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Ginebra, Suiza.: Organización Mundial de la Salud.

PASTORELLO, C. and MELIOS, G., 2016. Explaining road transport emissions: a non-technical guide. Copenhagen: EEA.

PEÑUELAS, J. and LLUSIÀ, J., 2003. BVOCs: plant defense against climate warming? *Trends in plant science*, 8(3), pp. 105-109.

PEÑUELAS, J. and STAUDT, M., 2010. BVOCs and global change. *Trends in plant science*, 15(3), pp. 133-144.

PICHERSKY, E. and GERSHENZON, J., 2002. The formation and function of plant volatiles: perfumes for pollinator attraction and defense. *Current opinion in plant biology*, 5(3), pp. 237-243.

RAMÓN, J.D., NAVAZO, M., ALONSO, L., DURANA, N., GÓMEZ, M.C. and URÍA, I., 2014. Atmosféricos en un área de fondo rural mediante los modelos UMNIX–PMF aplicados a medidas horarias de 64 COVs durante 3 años. *REVISTA AMBIENTAL AGUA, AIRE Y SUELO*, 4(2).

RANGA MYNENI, 2012. MODIS LAI/FPAR Product User's Guide. Boston University: Department of Geography and Environment.

PRTR-ESPAÑA, 2018. Registro estatal de emisiones y fuentes contaminantes. 2018. Available from: <http://www.prtr-es.es/Bienvenidos-PRTREspana-681112007.html>.

SHARKEY, T.D. and YEH, S., 2001. Isoprene emission from plants. *Annual review of plant biology*, 52(1), pp. 407-436.

SINDELAROVA, K., GRANIER, C., BOUARAR, I., GUENTHER, A., TILMES, S., STAVRAKOU, T., MÜLLER, J., KUHN, U., STEFANI, P. and KNORR, W., 2014. Global data set of biogenic VOC emissions calculated by the MEGAN model over the last 30 years. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(17), pp. 9317-9341.

STAUDT, M., BERTIN, N., FRENZEL, B. and SEUFERT, G., 2000. Seasonal variation in amount and composition of monoterpenes emitted by young *Pinus pinea* trees—implications for emission modeling. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 35(1), pp. 77-99.

STEINBRECHER, R., SMIATEK, G., KÖBLE, R., SEUFERT, G., THELOKE, J., HAUFF, K., CICCIOLO, P., VAUTARD, R. and CURCI, G., 2009. Intra-and inter-annual variability of VOC emissions from natural and semi-natural vegetation in Europe and neighbouring countries. *Atmospheric Environment*, 43(7), pp. 1380-1391.

TONG, D.Q., LEE, P. and SAYLOR, R.D., 2012. New Directions: The need to develop process-based emission forecasting models. *Atmospheric Environment*, 47, pp. 560-561.

TRAINER, M., WILLIAMS, E.J., PARRISH, D., BUHR, M., ALLWINE, E., WESTBERG, H., FEHSENFELD, F.C. and LIU, S.C., 1987. Models and observations of the impact of natural hydrocarbons on rural ozone. *Nature*, 329(6141), pp. 705-707.

VALLERO, D., 2014. *Fundamentals of air pollution*. Boston: Academic press.

WANG, H., FU, L., LIN, X., ZHOU, Y. and CHEN, J., 2009. A bottom-up methodology to estimate vehicle emissions for the Beijing urban area. *Science of the total environment*, 407(6), pp. 1947-1953.

WEILENMANN, M., SOLTIC, P., SAXER, C., FORSS, A. and HEEB, N., 2005. Regulated and nonregulated diesel and gasoline cold start emissions at different temperatures. *Atmospheric Environment*, 39(13), pp. 2433-2441.

WHO, 2017. *Evolution of WHO air quality guidelines: past, present, future*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.

WHO, 2018. *Ambient air pollution: Health impacts*. Geneva: World Health Organization. Available: <http://www.who.int/airpollution/ambient/health-impacts/en/>.

WORLD BANK, 2016. *The cost of air pollution: strengthening the economic case for action*. Washington: World Bank Group,

ZHANG, P., ANDERSON, B., BARLOW, M., TAN, B. and MYNENI, R.B., 2004. Climate-related vegetation characteristics derived from Moderate Resolution Imaging

Spectroradiometer (MODIS) leaf area index and normalized difference vegetation index. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 109(D20), pp. n/a-n/a.

ZHANG, Q., XIAO, X., BRASWELL, B., LINDER, E., BARET, F. and MOORE, B., 2005. Estimating light absorption by chlorophyll, leaf and canopy in a deciduous broadleaf forest using MODIS data and a radiative transfer model. Remote Sensing of Environment, 99(3), pp. 357-371.



## **ANEXOS**



## **ANEXO I: SUBSECTORES REGLAMENTO E-PRTR**

<b>Código</b>	<b>Actividad</b>	<b>Umbral De Capacidad</b>
<b>1.</b>	<b>Sector de la energía</b>	
<b>(a)</b>	Refinerías de petróleo y de gas	
<b>(b)</b>	Instalaciones de gasificación y licuefacción	
<b>(c)</b>	Centrales térmicas y otras instalaciones de combustión	Con una carga calorífica de 50 megavatios (MW)
<b>(d)</b>	Coquerías	
<b>(e)</b>	Laminadores de carbón	Con una capacidad de 1 tonelada por hora
<b>(f)</b>	Instalaciones de fabricación de productos del carbón y combustibles sólidos no fumígenos	
<b>2.</b>	<b>Producción y transformación de metales</b>	
<b>(a)</b>	Instalaciones para la calcinación o sinterización de mineral metálico (incluido el sulfuroso)	
<b>(b)</b>	Instalaciones para la producción de fundición o de aceros brutos (fusión primaria o secundaria), incluidos los equipos de fundición continua	Con una capacidad de 2,5 tonelada por hora
<b>(c)</b>	Instalaciones de transformación de metales ferrosos:	
	(i) Laminado en caliente	Con una capacidad de 20 toneladas de acero bruto por hora
	(ii) Forjado con martillos	Con una energía de 50 kilojulios por martillo, cuando la potencia térmica utilizada sea superior a 20 MW
	(iii) Aplicación de capas de protección de metal fundido	Con una capacidad de tratamiento de 2 toneladas de acero bruto por hora
<b>(d)</b>	Fundiciones de metales ferrosos	Con una capacidad de producción de 20 toneladas por día
<b>(e)</b>	Instalaciones:	
	(i) Para la producción de metales en bruto no ferrosos a partir de minerales, de concentrados o de materias primas secundarias mediante procedimientos metalúrgicos, químicos o electrolíticos	
	(ii) Para la fusión, incluida la aleación, de metales no ferrosos, incluidos los productos de recuperación (refinado, moldeado en fundición, etc.)	Con una capacidad de fusión de 4 toneladas por día para el plomo y el cadmio o de 20 toneladas por día para todos los demás metales
<b>(f)</b>	Instalaciones para el tratamiento de superficie de metales y materiales plásticos por procedimiento electrolítico o químico	Cuando el volumen de las cubetas destinadas al tratamiento equivalga a 30 m <sup>3</sup>
<b>3.</b>	<b>Industria mineral</b>	
<b>(a)</b>	Explotaciones mineras subterráneas y operaciones conexas	
<b>(b)</b>	Explotaciones a cielo abierto y canteras	Cuando la superficie de la zona en la que efectivamente se practiquen operaciones extractivas equivalga a 25 hectáreas
<b>(c)</b>	Instalaciones para la producción de:	

<b>Código</b>	<b>Actividad</b>	<b>Umbral De Capacidad</b>
	(i) Cemento clinker en hornos rotatorios	Con una capacidad de producción de 500 toneladas por día
	(ii) Cal en hornos rotatorios	Con una capacidad de producción de 50 toneladas por día
	(iii) Cemento clinker o cal en hornos de otro tipo	Con una capacidad de producción de 50 toneladas por día
<b>(d)</b>	Instalaciones para la obtención de amianto y la fabricación de productos a base de amianto	
<b>(e)</b>	Instalaciones para la fabricación de vidrio, incluida la fibra de vidrio	Con una capacidad de fusión de 20 toneladas por día
<b>(f)</b>	Instalaciones para la fusión de materias minerales, incluida la fabricación de fibras minerales	Con una capacidad de fusión de 20 toneladas por día
<b>(g)</b>	Instalaciones para la fabricación de productos cerámicos mediante horneado, en particular de tejas, ladrillos, ladrillos refractarios, azulejos, gres cerámico o porcelana	Con una capacidad de producción de 75 toneladas por día, o una capacidad de horneado de 4 m <sup>3</sup> y una densidad de carga por horno de 300 kg/m <sup>3</sup>
<b>4.</b>	<b>Industria química</b>	
<b>(a)</b>	Instalaciones químicas para la fabricación a escala industrial de productos químicos orgánicos de base, como:	
	(i) Hidrocarburos simples (lineales o cíclicos, saturados o insaturados, alifáticos o aromáticos)	
	(ii) Hidrocarburos oxigenados, como alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos, ésteres, acetatos, éteres, peróxidos y resinas epóxicas	
	(iii) Hidrocarburos sulfurados	
	(d) Hidrocarburos nitrogenados, como aminas, amidas, compuestos nitrosos, nítricos o nitrados, nitrilos, cianatos e isocianatos	
	(v) Hidrocarburos fosforados	
	(vi) Hidrocarburos halogenados	
	(vii) Compuestos organometálicos	
	(viii) Materias plásticas de base (polímeros, fibras sintéticas y fibras a base de celulosa)	
	(ix) Cauchos sintéticos	
	(x) Colorantes y pigmentos	
	(xi) Tensioactivos y agentes de superficie	
<b>(b)</b>	Instalaciones químicas para la fabricación a escala industrial de productos químicos inorgánicos de base, como:	
	(i) Gases, como amoníaco, cloro o cloruro de hidrógeno, flúor o fluoruro de hidrógeno, óxidos de carbono, compuestos azufrados, óxidos de nitrógeno, hidrógeno, dióxido de azufre y dicloruro de carbonilo	
	(ii) Ácidos, como ácido crómico, ácido fluorhídrico, ácido fosfórico, ácido nítrico, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, ácido sulfúrico fumante y ácidos sulfuros	
	(iii) Bases, como hidróxido de amonio, hidróxido potásico e hidróxido sódico	
	(iv) Sales, como cloruro de amonio, clorato potásico, carbonato potásico, carbonato sódico, perborato y nitrato de plata	

<b>Código</b>	<b>Actividad</b>	<b>Umbral De Capacidad</b>
	(v) No metales, óxidos metálicos u otros compuestos inorgánicos, como carburo de calcio, silicio y carburo de silicio	
<b>(c)</b>	Instalaciones químicas para la fabricación a escala industrial de fertilizantes a base de fósforo, nitrógeno o potasio (fertilizantes simples o compuestos)	
<b>(d)</b>	Instalaciones químicas para la fabricación a escala industrial de productos fitosanitarios y biocidas de base	
<b>(e)</b>	Instalaciones que utilicen un procedimiento químico o biológico para la fabricación a escala industrial de productos farmacéuticos de base	
<b>(f)</b>	Instalaciones para la fabricación a escala industrial de explosivos y productos pirotécnicos	
<b><u>5.</u></b>	<b><u>Gestión de residuos y aguas residuales</u></b>	
<b>(a)</b>	Instalaciones para la recuperación o eliminación de residuos peligrosos	Que reciban 10 toneladas por día
<b>(b)</b>	Instalaciones para la incineración de residuos no peligrosos incluidos en el ámbito de aplicación de la Directiva 2000/76/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de diciembre de 2000, relativa a la incineración de residuos	Con una capacidad de 3 toneladas por hora
<b>(c)</b>	Instalaciones para la eliminación de residuos no peligrosos	Con una capacidad de 50 toneladas por día
<b>(d)</b>	Vertederos [con exclusión de los vertederos de residuos inertes, de los clausurados definitivamente antes del 16.7.2001 y de aquellos cuya fase de mantenimiento posterior al cierre, exigida por las autoridades competentes con arreglo al artículo 13 de la Directiva 1999/31/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos haya expirado]	Que reciban 10 toneladas por día o tengan una capacidad total de 25000 toneladas
<b>(e)</b>	Instalaciones para la eliminación o reciclaje de canales y residuos animales	Con una capacidad de tratamiento de 10 toneladas por día
<b>(f)</b>	Instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas	Con una capacidad de 100000 habitantes-equivalentes
<b>(g)</b>	Instalaciones industriales independientes de tratamiento de aguas residuales derivadas de una o varias actividades del presente anexo	Con una capacidad de 10000 m3 por día
<b><u>6.</u></b>	<b><u>Fabricación y transformación de papel y madera</u></b>	
<b>(a)</b>	Plantas industriales para la fabricación de pasta de papel a partir de madera o de otras materias fibrosas	
<b>(b)</b>	Plantas industriales para la fabricación de papel y cartón y otros productos básicos de la madera (como madera aglomerada, cartón comprimido y madera contrachapada)	Con una capacidad de producción de 20 toneladas por día
<b>(c)</b>	Plantas industriales para la conservación de madera y productos derivados con sustancias químicas	Con una capacidad de producción de 50 m3 por día
<b><u>7.</u></b>	<b><u>Ganadería y acuicultura intensiva</u></b>	
<b>(a)</b>	Instalaciones de cría intensiva de aves de corral o ganado porcino	(i) Con plazas para 40000 aves
		(ii) Con plazas para 2000 cerdos de producción (de más de 30 kg)

<b>Código</b>	<b>Actividad</b>	<b>Umbral De Capacidad</b>
		(iii) Con plazas para 750 cerdas
<b>(b)</b>	Acuicultura intensiva	Con una capacidad de producción de 1000 toneladas de peces y crustáceos por año
<b><u>8.</u></b>	<b><u>Productos de origen animal y vegetal de la industria alimentaria y de las bebidas</u></b>	
<b>(a)</b>	Mataderos	Con una capacidad de producción de canales de 50 toneladas por día
<b>(b)</b>	Tratamiento y transformación destinados a la fabricación de productos alimenticios y bebidas a partir de:	
	(i) Materias primas animales (distintas de la leche)	Con una capacidad de producción de productos acabados de 75 toneladas por día
	(ii) Materias primas vegetales	Con una capacidad de producción de productos acabados de 300 toneladas por día (valor medio trimestral)
<b>(c)</b>	Tratamiento y transformación de leche	Cuando la cantidad de leche recibida sea de 200 toneladas por día (valor medio anual)
<b><u>9.</u></b>	<b><u>Otras actividades</u></b>	
<b>(a)</b>	Instalaciones para pretratamiento (operaciones de lavado, blanqueo o mercerización) o tinte de fibras o productos textiles	Con una capacidad de tratamiento de 10 toneladas por día
<b>(b)</b>	Instalaciones para curtido de cueros y pieles	Con una capacidad de tratamiento de 12 toneladas de productos acabados por día
<b>(c)</b>	Instalaciones para tratamiento de superficie de materiales, objetos o productos con utilización de solventes orgánicos, en particular para aprestarlos, estamparlos, revestirlos, desgrasarlos, impermeabilizarlos, pegarlos, enlazarlos, limpiarlos o impregnarlos	Con una capacidad de consumo de 150 kg por hora o 200 toneladas por año
<b>(d)</b>	Instalaciones para la fabricación de carbono(carbón sintetizado) o electrografito por combustión o grafitación	
<b>(e)</b>	Instalaciones destinadas a la construcción, pintura o decapado de buques	Con una capacidad para buques de 100 m de eslora

## **ANEXO II: FACTORES DE EMISIÓN BIOGÉNICOS**

79. Tabla: Lista de tipos de vegetación usada en el inventario. Densidad Foliar: g de materia seca por m<sup>2</sup> de área proyectada. FE:  $\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ . Fuente: (Oderbolz et al. 2013)

Nombre común	Nombre latino	Densidad Foliar	FE ISO	FE MTS	FE MTP	FE SQT	FE OVOC
Álamo	<i>Populus alba</i>	260	60	0	0	0,1	2
Arboles ripícolas	<i>Bosques de ribera</i>	200	10	1	1	0,1	2
Abedul	<i>Betula spp</i>	230	0	0	3	2	2
<i>Abedul pubescens</i>	<i>Betula pubescens</i>	230	0	0	3	2	2
<i>Abedul péndula</i>	<i>Betula pendula</i>	230	0	0	3	2	2
Abeto Douglas	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	1000	1	0	2	0,1	2
Acacia	<i>Acacia spp.</i>	700	1	1	2	0,1	2
Acebo	<i>Ilex aquifolium</i>	600	0	0	0	0,1	2
Acebuche	<i>Olea europaea</i>	300	0	0	0,1	0,1	2
Alcornoque	<i>Quercus suber</i>	500	0,2	20	0	0,1	2
Alerce	<i>Larix spp.</i>	300	0	0	5	0,1	2
Alerce común	<i>Larix decidua</i>	300	0	0	5	0,1	2
Aliso	<i>Alnus glutinosa</i>	270	0	1,5	0	0,1	2
Aliso de Córcega	<i>Alnus cordata</i>	270	0	1,5	0	0,1	2
Arbustedos		300	5	0,5	0,5	0	2
Arce	<i>Acer campestre</i>	270	0	1,5	1,5	0,1	2
Arce ópalus	<i>Acer opalus</i>	270	0,1	1,5	0	0,1	2
Arce platanoide	<i>Acer platanoides</i>	270	0,1	1,5	0	0,1	2
Arce seudoplátano	<i>Acer pseudoplatanus</i>	270	0,1	1,5	0	0,1	2
Avellano	<i>Corylus avellana</i>	300	0	0	0	0,1	2
Bardaguera	<i>Salix atrocinerea</i>	300	28	0	0,8	0,1	2
Bosque mixto atlántico	<i>Mixed Forest</i>	850	7	5	1,5	0	0
Bosque mixto de cantil		500	7	5	3	0,1	2
Carpe	<i>Carpinus betulus</i>	300	0	0	0,1	0,1	2
Castaño	<i>Castanea sastica</i>	380	0	10	0	0,1	2
Castaño japonés	<i>Castanea crenata</i>	320	5	0	0	0,1	2
Cedro	<i>Cedrus atlantica</i>	700	0	0	1	0,1	2
Cerezo	<i>Prunus avium</i>	270	0	0	0,1	0,1	2
Chameciparis	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	700	0	0	0,7	0,1	2
Chopo	<i>Populus nigra</i>	260	70	0	0	0,1	2
Chopo híbrido	<i>Populus canadensis</i>	260	70	0	0	0,1	2
Chopo temblón	<i>Populus tremula</i>	260	60	0	0	0,1	2
Ciprés	<i>Cupressus sempervirens</i>	700	0	0	0,7	0,1	2
Ciprés arizónica	<i>Cupressus arizonica</i>	700	0	0	0,7	0,1	2
Coníferas, excepto pinos		700	1	1	2	0,1	2
Cornejo	<i>Cornus sanguinea</i>	320	5	0	0	0,1	2

<b>Nombre común</b>	<b>Nombre latino</b>	<b>Densidad Foliar</b>	<b>FE ISO</b>	<b>FE MTS</b>	<b>FE MTP</b>	<b>FE SQT</b>	<b>FE OVOC</b>
<b>Crataegus</b>	<b>Crataegus spp</b>	300	5	0,5	0,5	0	2
<b>Criptomeria</b>	<b>Criptomeria japonica</b>	700	1	1	2	0,1	2
<b>Cultivos</b>		500	0,5	0,5	0,5	0	2
<b>Encina</b>	<b>Quercus ilex</b>	600	0,1	43	0	0,1	4,08
<b>Endrino</b>	<b>Prunus spinosa</b>	270	0	0	0,1	0,1	2
<b>Enebro común</b>	<b>Juniperus communis</b>	700	0	0,3	0,6	0,1	2
<b>Enebro oxicedro</b>	<b>Juniperus oxycedrus</b>	700	0	0	1,5	0,1	2
<b>Eucalipto globulus</b>	<b>Eucalyptus globulus</b>	650	50	0	5,41	0,1	2
<b>Eucalipto nitens</b>	<b>Eucalyptus nitens</b>	650	50	0	5,41	0,1	2
<b>Eucaliptos</b>	<b>Alter Eucalyptus</b>	650	50	0	5,41	0,1	2
<b>Falsa acacia</b>	<b>Robinia pseudoacacia</b>	300	12	0	0,1	0,1	2
<b>Fresno</b>	<b>Fraxinus angustifolia</b>	270	0	0	0	0,1	2
<b>Fresno excelsior</b>	<b>Fraxinus excelsior</b>	270	0	0	0	0,1	2
<b>Fresno orno</b>	<b>Fraxinus ornus</b>	270	0	0	0	0,1	2
<b>Fronosas</b>		320	5	0	0	0,1	2
<b>Haya</b>	<b>Fagus sylvatica</b>	341	0	21,14	0	0,1	10
<b>Herbazal</b>		250	0,5	0,5	0,5	0	2
<b>Labiérnago</b>	<b>Phillyrea latifolia</b>	300	0	0	0,5	0,1	2
<b>Laurel</b>	<b>Laurus nobilis</b>	300	0	0	0	0,1	2
<b>Liquidámbar</b>	<b>Liquidambar staryciflua</b>	320	5	0	0	0,1	2
<b>Madroño</b>	<b>Arbustus unedo</b>	300	0,1	0	0,2	0,1	2
<b>Majuelo</b>	<b>Crataegus monogyna</b>	320	5	0	0	0,1	2
<b>Manzano silvestre</b>	<b>Malus sylvestris</b>	300	0	0	0	0,1	2
<b>Matorral</b>		300	5	0,5	0,5	0	2
<b>Mostajo</b>	<b>Sorbus aria</b>	300	0	0	0	0,1	2
<b>Nogal</b>	<b>Juglans nigra</b>	300	0	0	1	0,1	2
<b>Nogal americano</b>	<b>Juglans regia</b>	300	0	0	1	0,1	2
<b>Olmo</b>	<b>Ulmus minor</b>	300	0,1	0	0,1	0,1	2
<b>Olmo montano</b>	<b>Ulmus glabra</b>	300	0,1	0	0,1	0,1	2
<b>Otros pinos</b>		700	0	1,2	4	0,1	2
<b>Otros quercus</b>	<b>Alter Quercus</b>	380	32	8	0,2	0,1	2
<b>Otros árboles ripícolas</b>		200	10	1	1	0,1	2
<b>Pinabete</b>	<b>Abies alba</b>	1200	1	0,5	1	0,1	2
<b>Pino attenuata</b>	<b>Pinus attenuata</b>	700	0	1,2	4	0,1	2
<b>Pino halepensis</b>	<b>Pinus halepensis</b>	700	0	0	2,7	0,1	2
<b>Pino laricio</b>	<b>Pinus nigra</b>	700	0	3	3	0,1	2
<b>Pino piñonero</b>	<b>Pinus pinea</b>	700	0	3	3	0,1	1,8
<b>Pino pinaster</b>	<b>Pinus pinaster</b>	700	0	0	2	0,1	2
<b>Pino radiata</b>	<b>Pinus radiata</b>	700	0	3	3	0,1	2
<b>Pino silvestre</b>	<b>Pinus sylvestris</b>	700	0	2,5	2,5	0,1	2
<b>Pino strobus</b>	<b>Pinus strobus</b>	700	0	2,5	2,5	0,1	2
<b>Pino taeda</b>	<b>Pinus taeda</b>	700	0	1,2	4	0,1	2
<b>Pinsapo</b>	<b>Abies pinsapo</b>	1200	1	0,5	1	0,1	2
<b>Plantaciones de coníferas variadas</b>		700	5	1	2	0,1	2

Nombre común	Nombre latino	Densidad Foliar	FE ISO	FE MTS	FE MTP	FE SQT	FE OVOC
<b>Plantaciones de frondosas variadas</b>		320	5	0	0	0,1	2
<b>Plantaciones de frondosas y coníferas variadas</b>		500	6	3	3	0,1	2
<b>Plátano</b>	<i>Platanus hispanica</i>	260	18,5	0	0,1	0,1	2
<b>Prados</b>		250	0,5	0,5	0,5	0	2
<b>Prunus</b>	<i>Prunus spp</i>	260	66	0	0	0,1	2,3
<b>Píceas de Sitka</b>	<i>Picea sitchensis</i>	1400	4,75	0	6,46	0,1	2,89
<b>Píceas Europeas</b>	<i>Picea abies</i>	1400	1	2,1	0,4	0,1	2,3
<b>Quejigo fagínea</b>	<i>Quercus faginea</i>	320	111	0	0	0,1	2
<b>Rebollo</b>	<i>Quercus pyrenaica</i>	320	59	0	0,3	0,1	2
<b>Roble</b>	<i>Quercus petraea</i>	320	45	0	0,3	0,1	2
<b>Roble americano</b>	<i>Quercus rubra</i>	320	35	0	0,1	0,1	2
<b>Roble de los pantanos</b>	<i>Quercus palustris</i>	380	32	8	0,2	0,1	2
<b>Roble húmilis</b>	<i>Quercus humilis</i>	320	70	0	0,3	0,1	2
<b>Roble pedunculado</b>	<i>Quercus robur</i>	320	70	0	1	0,1	2
<b>Roble-castaño</b>	<i>Quercus castaneifolia</i>	320	0,1	0	0,6	0,1	2
<b>Sáuco negro</b>	<i>Sambucus nigra</i>	320	5	0	0	0,1	2
<b>Sabina albar</b>	<i>Juniperus thurifera</i>	700	0	0	0	0,1	2
<b>Sabina negral</b>	<i>Juniperus phoenicea</i>	700	0	0	1,5	0,1	2
<b>Sauce</b>	<i>Salix spp</i>	300	28	0	0,8	0,1	2
<b>Sauce cabruno</b>	<i>Salix caprea</i>	300	18,9	0	0,1	0,1	2
<b>Secuoya</b>	<i>Sequoia sempervirens</i>	700	1	1	2	0,1	2
<b>Secuoyadendron</b>	<i>Sequoiadendron giganteum</i>	700	1	1	2	0,1	2
<b>Serbal</b>	<i>Sorbus spp</i>	300	0	0	0	0,1	2
<b>Serbal de cazadores</b>	<i>Sorbus aucuparia</i>	300	0	0	0	0,1	2
<b>Serbal torminal</b>	<i>Sorbus torminalis</i>	300	0	0	0	0,1	2
<b>Serotina</b>	<i>Prunus serotina</i>	270	0	0	0,1	0,1	2
<b>Tejo</b>	<i>Taxus baccata</i>	300	0	0	0	0,1	2
<b>Tilo</b>	<i>Tilia spp</i>	300	0	0	0	0,1	2
<b>Tsuga</b>	<i>Tsuga heterophylla</i>	1200	0,1	0	0,2	0,1	2
<b>Tulipero</b>	<i>Liriodendron tulipifera</i>	320	5	0	0	0,1	2
<b>Tuya</b>	<i>Thuja plicata</i>	700	0	0	0,6	0,1	2



## ANEXO III: PARQUE MÓVIL DE EUSKADI

80. Tabla: Distribución del parque de Turismos por tecnología

Subsector	Tecn.	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gsln <1.4cc	Pre E	67079	62279	56493	52547	49798	47302	43561	40278	38081
Gsln <1.4cc	Euro 1	27532	25553	22708	20241	18406	16503	14559	12774	11251
Gsln <1.4cc	Euro 2	39071	38051	36359	34420	32957	31076	28465	26155	24580
Gsln <1.4cc	Euro 3	37902	37525	37311	36687	36129	35481	33882	32627	32369
Gsln <1.4cc	Euro 4	24908	30288	34600	33917	33549	33191	32604	32339	32196
Gsln <1.4cc	Euro 5	0	0	0	4955	8716	11892	15543	19310	19229
Gsln <1.4cc	Euro 6	0	0	0	0	0	0	0	0	5005
Gsln 1,4-2,0cc	Pre E	83448	77476	70278	65369	61950	58845	54191	50106	47373
Gsln 1,4-2,0cc	Euro 1	34250	31788	28250	25180	22897	20530	18111	15891	13997
Gsln 1,4-2,0 cc	Euro 2	48605	47336	45232	42819	40999	38659	35411	32538	30577
Gsln 1,4-2,0 cc	Euro 3	47151	46681	46416	45639	44946	44139	42150	40589	40267
Gsln 1,4-2,0 cc	Euro 4	30986	37679	43043	42193	41736	41290	40560	40230	40052
Gsln 1,4-2,0 cc	Euro 5	0	0	0	6164	10843	14794	19336	24022	23921
Gsln 1,4-2,0 cc	Euro6	0	0	0	0	0	0	0	0	6226
Gsln >2,0 cc	Pre E	9950	9238	8379	7794	7386	7016	6461	5974	5648
Gsln >2,0 cc	Euro 1	4084	3790	3368	3002	2730	2448	2159	1895	1669
Gsln >2,0 cc	Euro 2	5795	5644	5393	5105	4888	4609	4222	3879	3646
Gsln >2,0 cc	Euro 3	5622	5566	5534	5442	5359	5263	5026	4839	4801
Gsln >2,0 cc	Euro 4	3694	4493	5132	5031	4976	4923	4836	4797	4775
Gsln >2,0 cc	Euro 5	0	0	0	735	1293	1764	2305	2864	2852
Gsln >2,0 cc	Euro 6	0	0	0	0	0	0	0	0	742
Dsl <1,4 cc	Pre E	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dsl <1,4 cc	Euro 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dsl <1,4 cc	Euro 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dsl <1,4 cc	Euro 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dsl <1,4 cc	Euro 4	39388	42927	49773	47797	46076	44777	42869	41283	39285
Dsl <1,4 cc	Euro 5	0	0	0	9187	14119	23939	31307	42624	41005
Dsl <1,4 cc	Euro 6	0	0	0	0	0	0	0	0	14429
Dsl 1,4-2,0 cc	Pre E	18576	16373	13558	11989	10826	9930	8968	8089	7130
Dsl 1,4-2,0 cc	Euro 1	27331	25021	22205	19702	17772	15998	14129	12398	10727
Dsl 1,4-2,0 cc	Euro 2	81826	78211	74699	70349	66698	63121	58171	53729	48902
Dsl 1,4-2,0 cc	Euro 3	113868	110410	109384	106757	103987	102119	98505	95645	91494
Dsl 1,4-2,0 cc	Euro 4	114053	136318	156439	152540	149029	147337	144301	142319	138819
Dsl 1,4-2,0 cc	Euro 5	0	0	0	22926	39946	53826	68713	83732	80599
Dsl 1,4-2,0 cc	Euro 6	0	0	0	0	0	0	0	0	17333
Dsl >2,0 cc	Pre E	3324	2976	2480	2220	1998	1902	1723	1548	1393
Dsl >2,0 cc	Euro 1	4891	4548	4062	3649	3279	3065	2715	2373	2096
Dsl >2,0 cc	Euro 2	14642	14217	13666	13029	12308	12094	11179	10283	9556
Dsl >2,0 cc	Euro 3	20375	20070	20011	19772	19189	18843	18165	17620	16845
Dsl >2,0 cc	Euro 4	20408	24779	28620	28252	27501	27171	26600	26228	25572
Dsl >2,0 cc	Euro 5	0	0	0	4246	7371	12093	15103	17717	17044
Dsl >2,0 cc	Euro 6	0	0	0	0	0	0	0	0	4684

**81. Tabla: Distribución del parque de Vehículos Ligeros Comerciales por tecnología**

Subsector	Tecnología	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gsln<3,5t	Pre Euro	12145	11555	11010	10650	10246	9910	9342	8825	8561
Gsln<3,5t	Euro 1	2160	2057	1941	1857	1753	1655	1539	1432	1372
Gsln<3,5t	Euro 2	2745	2689	2600	2555	2462	2374	2246	2130	2059
Gsln<3,5t	Euro 3	2076	2059	2038	2030	2012	1980	1918	1826	1797
Gsln<3,5t	Euro 4	1342	1556	1687	1653	1620	1588	1556	1525	1450
Gsln<3,5t	Euro 5	0	0	0	170	296	505	529	548	521
Gsln<3,5t	Euro 6	0	0	0	0	0	0	0	0	186
Dsl<3,5 t	Pre Euro	29203	27377	25971	24653	23258	22037	20762	19609	18529
Dsl<3,5 t	Euro 1	10635	10070	9532	9007	8440	7893	7332	6817	6522
Dsl<3,5 t	Euro 2	36429	35457	34579	33558	32158	30759	29048	27505	25940
Dsl<3,5 t	Euro 3	36600	36170	35447	36085	35338	34553	33266	32150	31128
Dsl<3,5 t	Euro 4	37929	44607	49645	48652	47704	46808	45733	44873	43975
Dsl<3,5 t	Euro 5	0	0	0	4914	9156	12160	15442	18689	18315
Dsl<3,5 t	Euro 6	0	0	0	0	0	0	0	0	3814

**82. Tabla: Distribución del parque de Camiones Rígidos por tecnología**

Subsector	Tecnología	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Rígido <=7,5 t	Pre Euro	1114	908	716	512	336	202	112	56	46
Rígido <=7,5 t	Euro I	363	348	322	286	234	179	130	94	55
Rígido <=7,5 t	Euro II	1285	1281	1244	1189	1105	990	884	756	673
Rígido <=7,5 t	Euro III	1668	1665	1640	1581	1514	1402	1315	1198	1133
Rígido <=7,5 t	Euro IV	1201	1540	1498	1454	1385	1289	1219	1118	1060
Rígido <=7,5 t	Euro V	0	0	234	507	780	1066	1327	1221	1152
Rígido <=7,5 t	Euro VI	0	0	0	0	0	0	0	254	488
Rígido 7,5-12 t	Pre Euro	334	272	215	154	101	61	34	17	14
Rígido 7,5-12 t	Euro I	109	104	97	86	70	54	39	28	17
Rígido 7,5-12 t	Euro II	386	384	373	357	332	297	265	227	202
Rígido 7,5-12 t	Euro III	501	500	492	475	454	421	395	360	340
Rígido 7,5-12 t	Euro IV	361	459	450	437	416	387	366	336	318
Rígido 7,5-12 t	Euro V	0	0	70	152	234	320	398	367	346
Rígido 7,5-12 t	Euro VI	0	0	0	0	0	0	0	76	147
Rígido 12-14 t	Pre Euro	334	272	215	154	101	61	34	17	14
Rígido 12-14 t	Euro I	109	104	97	86	70	54	39	28	17
Rígido 12-14 t	Euro II	386	384	373	357	332	297	265	227	202
Rígido 12-14 t	Euro III	501	500	492	475	454	421	395	360	340
Rígido 12-14 t	Euro IV	361	459	450	437	416	387	366	336	318
Rígido 12-14 t	Euro V	0	0	70	152	234	320	398	367	346
Rígido 12-14 t	Euro VI	0	0	0	0	0	0	0	76	147
Rígido 14-20 t	Pre Euro	225	183	145	103	68	41	23	11	9
Rígido 14-20 t	Euro I	73	70	65	58	47	36	26	19	11
Rígido 14-20 t	Euro II	259	258	251	240	223	200	178	153	136
Rígido 14-20 t	Euro III	336	335	331	319	305	283	265	242	229
Rígido 14-20 t	Euro IV	242	309	302	293	279	260	246	226	214
Rígido 14-20 t	Euro V	0	0	47	102	157	215	268	246	233
Rígido 14-20 t	Euro VI	0	0	0	0	0	0	0	51	99

Subsector	Tecnología	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Rígido 20-26 t	Pre Euro	34	28	22	16	10	6	3	2	1
Rígido 20-26 t	Euro I	11	11	10	9	7	6	4	3	2
Rígido 20-26 t	Euro II	40	40	39	37	34	31	27	23	21
Rígido 20-26 t	Euro III	52	52	51	49	47	43	41	37	35
Rígido 20-26 t	Euro IV	37	47	46	45	43	40	38	35	33
Rígido 20-26 t	Euro V	0	0	7	16	24	33	41	38	36
Rígido 20-26 t	Euro VI	0	0	0	0	0	0	0	8	15
Rígido 26-28 t	Pre Euro	218	178	140	100	66	40	22	11	9
Rígido 26-28 t	Euro I	71	68	63	56	46	35	25	18	11
Rígido 26-28 t	Euro II	251	251	243	232	216	194	173	148	132
Rígido 26-28 t	Euro III	326	325	321	309	296	274	257	234	222
Rígido 26-28 t	Euro IV	235	300	293	284	271	252	238	219	207
Rígido 26-28 t	Euro V	0	0	46	99	153	209	259	239	225
Rígido 26-28 t	Euro VI	0	0	0	0	0	0	0	50	96
Rígido 28-32 t	Pre Euro	3	2	2	1	1	1	0	0	0
Rígido 28-32 t	Euro I	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Rígido 28-32 t	Euro II	3	3	3	3	3	3	2	2	2
Rígido 28-32 t	Euro III	4	4	4	4	4	4	3	3	3
Rígido 28-32 t	Euro IV	3	4	4	4	3	3	3	3	3
Rígido 28-32 t	Euro V	0	0	1	1	2	3	3	3	3
Rígido 28-32 t	Euro VI	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Rígido >32 t	Pre Euro	40	32	25	18	12	7	4	2	2
Rígido >32 t	Euro I	13	12	11	10	8	6	5	3	2
Rígido >32 t	Euro II	46	46	44	42	39	35	32	27	24
Rígido >32 t	Euro III	60	60	58	56	54	50	47	43	40
Rígido >32 t	Euro IV	43	54	53	52	49	46	44	40	38
Rígido >32 t	Euro V	0	0	8	18	28	38	47	43	41
Rígido >32 t	Euro VI	0	0	0	0	0	0	0	9	17

83. Tabla: Distribución del parque de Camiones Articulados por tecnología

Subsector	Tecnología	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Articulado 14-20 t	Pre Euro	17	14	12	9	7	5	4	3	3
Articulado 14-20 t	Euro I	7	6	5	4	4	3	2	2	1
Articulado 14-20 t	Euro II	33	31	29	25	22	18	15	12	10
Articulado 14-20 t	Euro III	53	51	50	46	41	36	32	27	24
Articulado 14-20 t	Euro IV	41	52	52	49	45	41	38	33	31
Articulado 14-20 t	Euro V	0	0	4	14	24	34	42	39	37
Articulado 14-20 t	Euro VI	0	0	0	0	0	0	0	9	17
Articulado 20-28 t	Pre Euro	7	6	5	4	3	2	2	1	1
Articulado 20-28 t	Euro I	3	3	2	2	2	1	1	1	1
Articulado 20-28 t	Euro II	14	13	12	11	9	8	7	5	4
Articulado 20-28 t	Euro III	23	22	21	20	18	16	14	12	10
Articulado 20-28 t	Euro IV	18	22	22	21	20	18	16	14	13
Articulado 20-28 t	Euro V	0	0	2	6	11	14	18	17	16

Subsector	Tecnología	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Articulado 20-28 t	Euro VI	0	0	0	0	0	0	0	4	7
Articulado 28-34 t	Pre Euro	22	19	16	12	9	7	5	4	4
Articulado 28-34 t	Euro I	9	8	7	6	5	4	3	2	2
Articulado 28-34 t	Euro II	44	41	39	34	29	25	21	16	13
Articulado 28-34 t	Euro III	71	68	67	62	55	49	43	37	32
Articulado 28-34 t	Euro IV	55	69	69	66	61	55	51	45	41
Articulado 28-34 t	Euro V	0	0	5	19	33	45	57	52	50
Articulado 28-34 t	Euro VI	0	0	0	0	0	0	0	12	23
Articulado 34-40 t	Pre Euro	108	90	75	59	44	33	24	20	18
Articulado 34-40 t	Euro I	43	38	34	29	23	18	14	11	10
Articulado 34-40 t	Euro II	212	197	186	164	141	118	99	79	64
Articulado 34-40 t	Euro III	343	331	323	298	267	235	208	178	155
Articulado 34-40 t	Euro IV	267	334	334	316	292	265	243	215	199
Articulado 34-40 t	Euro V	0	0	25	90	158	217	273	251	239
Articulado 34-40 t	Euro VI	0	0	0	0	0	0	0	56	111
Articulado >40 t	Pre Euro	823	683	569	444	337	248	182	154	139
Articulado >40 t	Euro I	328	291	260	217	176	139	109	86	73
Articulado >40 t	Euro II	1611	1500	1410	1244	1070	898	756	604	484
Articulado >40 t	Euro III	2605	2512	2454	2256	2027	1784	1580	1350	1179
Articulado >40 t	Euro IV	2025	2538	2537	2395	2217	2015	1848	1634	1512
Articulado >40 t	Euro V	0	0	192	683	1202	1650	2071	1911	1814
Articulado >40 t	Euro VI	0	0	0	0	0	0	0	425	847

84. Tabla: Distribución del parque de Autobuses por tecnología

Subsector	Tecnología	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<=18 t	Pre Euro	360	317	295	273	258	252	245	244	234
<=18 t	Euro I	123	118	109	91	71	57	50	45	36
<=18 t	Euro II	380	375	375	364	346	315	280	253	203
<=18 t	Euro III	318	317	322	319	304	300	294	290	283
<=18 t	Euro IV	287	384	383	381	363	360	360	357	352
<=18 t	Euro V	0	0	102	183	282	349	402	400	395
<=18 t	Euro VI	0	0	0	0	0	0	0	93	169
>18 t	Pre Euro	353	301	264	245	242	236	224	217	208
>18 t	Euro I	121	112	98	82	67	53	46	40	32
>18 t	Euro II	373	356	335	326	325	294	255	225	181
>18 t	Euro III	312	301	289	286	286	280	269	258	252
>18 t	Euro IV	281	364	343	341	341	336	328	318	313
>18 t	Euro V	0	0	91	164	265	326	367	356	351
>18 t	Euro VI	0	0	0	0	0	0	0	83	151

85. Tabla: Distribución del parque de Ciclomotores por tecnología

Tecnología	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Pre Euro	27346	23822	21842	19944	18347	17099	15780	14673	13717
Euro 1	4390	3824	3507	3180	2916	2710	2530	2374	2204
Euro 2	21218	24807	25795	26429	26561	26260	26240	26602	26808

86. Tabla: Distribución del parque de Motocicletas por tecnología

Subsector	Tecnología	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
2-tpo.	<b>Pre Euro</b>	5299	5022	5015	4944	4933	4919	4769	4635	4572
2-tpo.	<b>Euro 1</b>	851	806	805	788	784	780	764	750	735
2-tpo.	<b>Euro 2</b>	1971	1868	1859	1811	1800	1750	1726	1690	1642
2-tpo.	<b>Euro 3</b>	2141	3361	4064	4741	5342	5805	6204	6714	7293
4-tpo.<250 cc	<b>Pre Euro</b>	21197	20087	20061	19776	19733	19677	19075	18541	18287
4-tpo.<250 cc	<b>Euro 1</b>	3403	3225	3221	3153	3137	3118	3058	2999	2938
4-tpo.<250 cc	<b>Euro 2</b>	7885	7472	7436	7242	7200	6999	6904	6758	6569
4-tpo.<250 cc	<b>Euro 3</b>	8562	13445	16256	18965	21367	23222	24814	26856	29171
4-tpo.250-750 cc	<b>Pre Euro</b>	11917	11799	11724	11750	11664	11557	11204	10974	10857
4-tpo.250-750 cc	<b>Euro 1</b>	1913	1894	1882	1873	1854	1832	1796	1775	1744
4-tpo.250-750 cc	<b>Euro 2</b>	4433	4389	4346	4303	4256	4111	4056	4000	3900
4-tpo.250-750 cc	<b>Euro 3</b>	4814	7898	9500	11268	12630	13639	14575	15896	17318
4-tpo.>750 cc	<b>Pre Euro</b>	3130	3097	3066	3032	2999	2966	2933	2901	2869
4-tpo.>750 cc	<b>Euro 1</b>	877	867	858	849	839	830	821	812	803
4-tpo.>750 cc	<b>Euro 2</b>	1893	1872	1853	1833	1813	1793	1773	1753	1734
4-tpo.>750 cc	<b>Euro 3</b>	2279	3620	4055	5121	6005	6204	6704	7845	8895



## **ANEXO IV: PARQUE CIRCULANTE DE EUSKADI**

87. Tabla: Distribución del parque circulante de Turismos por tecnología en %

Subsector	Tecn.	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gsln <1,4cc	Pre E	2,29%	2,04%	1,79%	1,59%	1,47%	1,35%	1,23%	1,10%	1,00%
Gsln <1,4cc	Euro 1	1,07%	0,96%	0,82%	0,70%	0,62%	0,54%	0,47%	0,40%	0,34%
Gsln <1,4cc	Euro 2	1,74%	1,63%	1,50%	1,36%	1,27%	1,16%	1,05%	0,93%	0,84%
Gsln <1,4cc	Euro 3	1,93%	1,84%	1,76%	1,66%	1,59%	1,51%	1,42%	1,33%	1,27%
Gsln <1,4cc	Euro 4	1,45%	1,70%	1,87%	1,75%	1,69%	1,62%	1,57%	1,51%	1,44%
Gsln <1,4cc	Euro 5	-	-	-	0,29%	0,50%	0,66%	0,85%	1,03%	0,99%
Gsln <1,4cc	Euro 6	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29%
Gsln 1,4-2,0cc	Pre E	3,58%	3,19%	2,79%	2,49%	2,30%	2,12%	1,92%	1,72%	1,57%
Gsln 1,4-2,0cc	Euro 1	1,68%	1,50%	1,28%	1,09%	0,97%	0,84%	0,73%	0,62%	0,53%
Gsln 1,4-2,0 cc	Euro 2	2,72%	2,55%	2,35%	2,13%	1,99%	1,81%	1,64%	1,46%	1,32%
Gsln 1,4-2,0 cc	Euro 3	3,01%	2,87%	2,75%	2,59%	2,49%	2,37%	2,23%	2,08%	1,98%
Gsln 1,4-2,0 cc	Euro 4	2,27%	2,65%	2,92%	2,74%	2,65%	2,53%	2,45%	2,36%	2,26%
Gsln 1,4-2,0 cc	Euro 5	-	-	-	0,46%	0,79%	1,04%	1,34%	1,61%	1,54%
Gsln 1,4-2,0 cc	Euro 6	-	-	-	-	-	-	-	-	0,46%
Gsln >2,0 cc	Pre E	0,46%	0,41%	0,36%	0,32%	0,29%	0,27%	0,24%	0,22%	0,20%
Gsln >2,0 cc	Euro 1	0,21%	0,19%	0,16%	0,14%	0,12%	0,11%	0,09%	0,08%	0,07%
Gsln >2,0 cc	Euro 2	0,35%	0,32%	0,30%	0,27%	0,25%	0,23%	0,21%	0,19%	0,17%
Gsln >2,0 cc	Euro 3	0,38%	0,37%	0,35%	0,33%	0,32%	0,30%	0,28%	0,27%	0,25%
Gsln >2,0 cc	Euro 4	0,29%	0,34%	0,37%	0,35%	0,34%	0,32%	0,31%	0,30%	0,29%
Gsln >2,0 cc	Euro 5	-	-	-	0,06%	0,10%	0,13%	0,17%	0,21%	0,20%
Gsln >2,0 cc	Euro 6	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06%
Dsl <1,4 cc	Pre E	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dsl <1,4 cc	Euro 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dsl <1,4 cc	Euro 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dsl <1,4 cc	Euro 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dsl <1,4 cc	Euro 4	7,45%	7,81%	8,73%	8,02%	7,56%	7,10%	6,69%	6,26%	5,73%
Dsl <1,4 cc	Euro 5	-	-	-	1,76%	2,65%	4,34%	5,59%	7,40%	6,84%
Dsl <1,4 cc	Euro 6	-	-	-	-	-	-	-	-	2,75%
Dsl 1,4-2,0 cc	Pre E	2,15%	1,83%	1,46%	1,23%	1,09%	0,97%	0,86%	0,75%	0,64%
Dsl 1,4-2,0 cc	Euro 1	3,62%	3,19%	2,73%	2,32%	2,04%	1,78%	1,54%	1,32%	1,10%
Dsl 1,4-2,0 cc	Euro 2	12,38%	11,39%	10,48%	9,45%	8,76%	8,01%	7,27%	6,52%	5,70%
Dsl 1,4-2,0 cc	Euro 3	19,69%	18,37%	17,54%	16,39%	15,61%	14,82%	14,06%	13,27%	12,20%
Dsl 1,4-2,0 cc	Euro 4	22,56%	25,94%	28,69%	26,79%	25,58%	24,45%	23,56%	22,58%	21,17%
Dsl 1,4-2,0 cc	Euro 5	-	-	-	4,61%	7,84%	10,22%	12,83%	15,20%	14,06%
Dsl 1,4-2,0 cc	Euro 6	-	-	-	-	-	-	-	-	3,46%
Dsl >2,0 cc	Pre E	0,31%	0,27%	0,22%	0,18%	0,16%	0,15%	0,13%	0,12%	0,10%
Dsl >2,0 cc	Euro 1	0,52%	0,47%	0,40%	0,35%	0,30%	0,28%	0,24%	0,20%	0,17%
Dsl >2,0 cc	Euro 2	1,79%	1,67%	1,55%	1,42%	1,31%	1,24%	1,13%	1,01%	0,90%
Dsl >2,0 cc	Euro 3	2,85%	2,70%	2,60%	2,46%	2,33%	2,21%	2,10%	1,98%	1,82%
Dsl >2,0 cc	Euro 4	3,26%	3,81%	4,25%	4,01%	3,82%	3,65%	3,51%	3,37%	3,15%
Dsl >2,0 cc	Euro 5	-	-	-	0,69%	1,17%	1,86%	2,28%	2,60%	2,40%
Dsl >2,0 cc	Euro6	-	-	-	-	-	-	-	-	0,76%

**88. Tabla: Distribución del parque circulante de Vehículos Ligeros Comerciales por tecnología en %**

Subsector	Tecnología	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gsln<3,5t	Pre Euro	2,32%	2,14%	2,00%	1,89%	1,81%	1,75%	1,67%	1,58%	1,53%
Gsln<3,5t	Euro 1	0,47%	0,44%	0,40%	0,38%	0,35%	0,33%	0,31%	0,29%	0,28%
Gsln<3,5t	Euro 2	0,68%	0,65%	0,62%	0,59%	0,57%	0,55%	0,52%	0,50%	0,48%
Gsln<3,5t	Euro 3	0,59%	0,57%	0,55%	0,54%	0,53%	0,52%	0,51%	0,49%	0,48%
Gsln<3,5t	Euro 4	0,44%	0,49%	0,52%	0,50%	0,49%	0,48%	0,47%	0,47%	0,44%
Gsln<3,5t	Euro 5	0,00%	0,00%	0,00%	0,06%	0,10%	0,17%	0,18%	0,19%	0,18%
Gsln<3,5t	Euro 6	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,07%
Dsl<3,5 t	Pre Euro	13,39%	12,17%	11,34%	10,51%	9,86%	9,36%	8,89%	8,43%	7,93%
Dsl<3,5 t	Euro 1	5,57%	5,12%	4,76%	4,39%	4,09%	3,83%	3,59%	3,35%	3,19%
Dsl<3,5 t	Euro 2	21,81%	20,58%	19,71%	18,68%	17,79%	17,06%	16,24%	15,44%	14,49%
Dsl<3,5 t	Euro 3	25,04%	24,00%	23,10%	22,96%	22,34%	21,91%	21,26%	20,63%	19,88%
Dsl<3,5 t	Euro 4	29,68%	33,85%	36,99%	35,41%	34,50%	33,94%	33,43%	32,93%	32,11%
Dsl<3,5 t	Euro 5	0,00%	0,00%	0,00%	4,09%	7,57%	10,08%	12,91%	15,69%	15,30%
Dsl<3,5 t	Euro 6	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	3,65%

**89. Tabla: Distribución del parque circulante de Camiones Rígidos por tecnología en %**

Subsector	Tecnol.	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Rígido <=7,5 t	Pre Euro	6,08%	4,75%	3,71%	2,63%	1,74%	1,06%	0,59%	0,31%	0,25%
Rígido <=7,5 t	Euro I	2,26%	2,08%	1,90%	1,68%	1,38%	1,07%	0,78%	0,58%	0,34%
Rígido <=7,5 t	Euro II	9,15%	8,76%	8,40%	7,98%	7,44%	6,76%	6,06%	5,35%	4,74%
Rígido <=7,5 t	Euro III	13,57%	13,07%	12,66%	12,13%	11,65%	10,95%	10,30%	9,69%	9,13%
Rígido <=7,5 t	Euro IV	11,18%	13,60%	13,23%	12,76%	12,20%	11,52%	10,92%	10,34%	9,76%
Rígido <=7,5 t	Euro V	-	-	2,36%	5,09%	7,86%	10,89%	13,61%	12,92%	12,14%
Rígido <=7,5 t	Euro VI	-	-	-	-	-	-	-	3,07%	5,89%
Rígido 7,5-12 t	Pre Euro	2,13%	1,66%	1,30%	0,92%	0,61%	0,37%	0,21%	0,11%	0,09%
Rígido 7,5-12 t	Euro I	0,79%	0,73%	0,67%	0,59%	0,48%	0,38%	0,27%	0,20%	0,12%
Rígido 7,5-12 t	Euro II	3,21%	3,07%	2,94%	2,79%	2,61%	2,37%	2,12%	1,87%	1,66%
Rígido 7,5-12 t	Euro III	4,76%	4,58%	4,43%	4,25%	4,08%	3,84%	3,61%	3,39%	3,20%
Rígido 7,5-12 t	Euro IV	3,92%	4,76%	4,63%	4,47%	4,27%	4,04%	3,82%	3,62%	3,42%
Rígido 7,5-12 t	Euro V	-	-	0,83%	1,78%	2,75%	3,82%	4,76%	4,52%	4,25%
Rígido 7,5-12 t	Euro VI	-	-	-	-	-	-	-	1,08%	2,06%
Rígido 12-14 t	Pre Euro	2,13%	1,66%	1,30%	0,92%	0,61%	0,37%	0,21%	0,11%	0,09%
Rígido 12-14 t	Euro I	0,79%	0,73%	0,67%	0,59%	0,48%	0,38%	0,27%	0,20%	0,12%
Rígido 12-14 t	Euro II	3,21%	3,07%	2,94%	2,79%	2,61%	2,37%	2,12%	1,87%	1,66%
Rígido 12-14 t	Euro III	4,76%	4,58%	4,43%	4,25%	4,08%	3,84%	3,61%	3,39%	3,20%
Rígido 12-14 t	Euro IV	3,92%	4,76%	4,63%	4,47%	4,27%	4,04%	3,82%	3,62%	3,42%
Rígido 12-14 t	Euro V	-	-	0,83%	1,78%	2,75%	3,82%	4,76%	4,52%	4,25%
Rígido 12-14 t	Euro VI	-	-	-	-	-	-	-	1,08%	2,06%
Rígido 14-20 t	Pre Euro	1,64%	1,28%	1,00%	0,71%	0,47%	0,28%	0,16%	0,08%	0,07%
Rígido 14-20 t	Euro I	0,61%	0,56%	0,51%	0,45%	0,37%	0,29%	0,21%	0,16%	0,09%
Rígido 14-20 t	Euro II	2,46%	2,36%	2,26%	2,15%	2,00%	1,82%	1,63%	1,44%	1,28%
Rígido 14-20 t	Euro III	3,65%	3,52%	3,40%	3,26%	3,13%	2,94%	2,77%	2,61%	2,46%
Rígido 14-20 t	Euro IV	3,01%	3,66%	3,56%	3,43%	3,28%	3,10%	2,94%	2,78%	2,63%
Rígido 14-20 t	Euro V	-	-	0,63%	1,37%	2,11%	2,93%	3,66%	3,48%	3,27%

Subsector	Tecnol.	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Rígido 14-20 t	Euro VI	-	-	-	-	-	-	-	0,83%	1,59%
Rígido 20-26 t	Pre Euro	0,28%	0,22%	0,17%	0,12%	0,08%	0,05%	0,03%	0,01%	0,01%
Rígido 20-26 t	Euro I	0,10%	0,10%	0,09%	0,08%	0,06%	0,05%	0,04%	0,03%	0,02%
Rígido 20-26 t	Euro II	0,42%	0,41%	0,39%	0,37%	0,35%	0,31%	0,28%	0,25%	0,22%
Rígido 20-26 t	Euro III	0,63%	0,61%	0,59%	0,56%	0,54%	0,51%	0,48%	0,45%	0,42%
Rígido 20-26 t	Euro IV	0,52%	0,63%	0,61%	0,59%	0,57%	0,53%	0,50%	0,48%	0,45%
Rígido 20-26 t	Euro V	-	-	0,11%	0,24%	0,37%	0,50%	0,63%	0,60%	0,56%
Rígido 20-26 t	Euro VI	-	-	-	-	-	-	-	0,14%	0,27%
Rígido 26-28 t	Pre Euro	1,78%	1,39%	1,09%	0,77%	0,51%	0,31%	0,17%	0,09%	0,07%
Rígido 26-28 t	Euro I	0,66%	0,61%	0,56%	0,49%	0,40%	0,31%	0,23%	0,17%	0,10%
Rígido 26-28 t	Euro II	2,69%	2,57%	2,47%	2,34%	2,18%	1,98%	1,78%	1,57%	1,39%
Rígido 26-28 t	Euro III	3,98%	3,83%	3,71%	3,56%	3,42%	3,21%	3,02%	2,84%	2,68%
Rígido 26-28 t	Euro IV	3,28%	3,99%	3,88%	3,74%	3,58%	3,38%	3,20%	3,03%	2,86%
Rígido 26-28 t	Euro V	-	-	0,69%	1,49%	2,30%	3,20%	3,99%	3,79%	3,56%
Rígido 26-28 t	Euro VI	-	-	-	-	-	-	-	0,90%	1,73%
Rígido 28-32 t	Pre Euro	0,02%	0,02%	0,01%	0,01%	0,01%	-	-	-	-
Rígido 28-32 t	Euro I	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	-	-	-	-
Rígido 28-32 t	Euro II	0,04%	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%	0,02%	0,02%	0,02%
Rígido 28-32 t	Euro III	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%	0,04%	0,04%	0,04%	0,04%	0,03%
Rígido 28-32 t	Euro IV	0,04%	0,05%	0,05%	0,05%	0,04%	0,04%	0,04%	0,04%	0,04%
Rígido 28-32 t	Euro V	-	-	0,01%	0,02%	0,03%	0,04%	0,05%	0,05%	0,04%
Rígido 28-32 t	Euro VI	-	-	-	-	-	-	-	0,01%	0,02%
Rígido >32 t	Pre Euro	0,33%	0,25%	0,20%	0,14%	0,09%	0,06%	0,03%	0,02%	0,01%
Rígido >32 t	Euro I	0,12%	0,11%	0,10%	0,09%	0,07%	0,06%	0,04%	0,03%	0,02%
Rígido >32 t	Euro II	0,49%	0,47%	0,45%	0,42%	0,40%	0,36%	0,32%	0,29%	0,25%
Rígido >32 t	Euro III	0,73%	0,70%	0,68%	0,65%	0,62%	0,58%	0,55%	0,52%	0,49%
Rígido >32 t	Euro IV	0,60%	0,73%	0,71%	0,68%	0,65%	0,61%	0,59%	0,55%	0,52%
Rígido >32 t	Euro V	-	-	0,13%	0,27%	0,42%	0,58%	0,73%	0,69%	0,65%
Rígido >32 t	Euro VI	-	-	-	-	-	-	-	0,16%	0,31%

90. Tabla: Distribución del parque circulante de Camiones Articulados por tecnología en %

Subsector	Tecn.	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Articul, 14-20 t	Pre E	0,10%	0,08%	0,07%	0,05%	0,04%	0,03%	0,02%	0,02%	0,02%
Articul, 14-20 t	Euro I	0,05%	0,04%	0,04%	0,03%	0,02%	0,02%	0,02%	0,01%	0,01%
Articul, 14-20 t	Euro II	0,27%	0,24%	0,23%	0,20%	0,17%	0,15%	0,12%	0,10%	0,08%
Articul, 14-20 t	Euro III	0,50%	0,46%	0,45%	0,41%	0,37%	0,33%	0,29%	0,26%	0,23%
Articul, 14-20 t	Euro IV	0,44%	0,53%	0,53%	0,50%	0,47%	0,43%	0,39%	0,36%	0,33%
Articul, 14-20 t	Euro V	-	-	0,05%	0,16%	0,29%	0,40%	0,50%	0,48%	0,46%
Articul, 14-20 t	Euro VI	-	-	-	-	-	-	-	0,12%	0,24%
Articul, 20-28 t	Pre E	0,05%	0,04%	0,03%	0,02%	0,02%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
Articul, 20-28 t	Euro I	0,02%	0,02%	0,02%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	-
Articul, 20-28 t	Euro II	0,12%	0,10%	0,10%	0,09%	0,07%	0,06%	0,05%	0,04%	0,03%
Articul, 20-28 t	Euro III	0,22%	0,20%	0,19%	0,18%	0,16%	0,14%	0,13%	0,11%	0,10%
Articul, 20-28 t	Euro IV	0,19%	0,23%	0,23%	0,22%	0,20%	0,19%	0,17%	0,15%	0,14%

Subsector	Tecn.	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Articul, 20-28 t	Euro V	-	-	0,02%	0,07%	0,13%	0,17%	0,22%	0,21%	0,20%
Articul, 20-28 t	Euro VI	-	-	-	-	-	-	-	0,05%	0,10%
Articul, 28-34 t	Pre E	0,14%	0,11%	0,09%	0,07%	0,06%	0,04%	0,03%	0,03%	0,02%
Articul, 28-34 t	Euro I	0,06%	0,05%	0,05%	0,04%	0,03%	0,03%	0,02%	0,02%	0,01%
Articul, 28-34 t	Euro II	0,36%	0,32%	0,30%	0,27%	0,23%	0,20%	0,17%	0,14%	0,11%
Articul, 28-34 t	Euro III	0,67%	0,62%	0,60%	0,55%	0,50%	0,45%	0,40%	0,35%	0,30%
Articul, 28-34 t	Euro IV	0,60%	0,72%	0,71%	0,67%	0,63%	0,58%	0,53%	0,49%	0,45%
Articul, 28-34 t	Euro V	-	-	0,06%	0,22%	0,39%	0,54%	0,68%	0,65%	0,61%
Articul, 28-34 t	Euro VI	-	-	-	-	-	-	-	0,17%	0,33%
Articul, 34-40 t	Pre E	0,87%	0,69%	0,58%	0,45%	0,34%	0,25%	0,19%	0,16%	0,15%
Articul, 34-40 t	Euro I	0,39%	0,34%	0,30%	0,25%	0,20%	0,16%	0,13%	0,10%	0,09%
Articul, 34-40 t	Euro II	2,21%	1,98%	1,86%	1,64%	1,41%	1,20%	1,02%	0,84%	0,66%
Articul, 34-40 t	Euro III	4,09%	3,80%	3,70%	3,39%	3,05%	2,73%	2,43%	2,14%	1,85%
Articul, 34-40 t	Euro IV	3,63%	4,39%	4,38%	4,12%	3,82%	3,53%	3,25%	2,97%	2,71%
Articul, 34-40 t	Euro V	-	-	0,38%	1,34%	2,37%	3,31%	4,17%	3,97%	3,73%
Articul, 34-40 t	Euro VI	-	-	-	-	-	-	-	1,01%	1,99%
Articul, >40 t	Pre E	6,57%	5,25%	4,37%	3,40%	2,58%	1,94%	1,43%	1,25%	1,11%
Articul, >40 t	Euro I	3,00%	2,56%	2,28%	1,90%	1,54%	1,24%	0,98%	0,80%	0,66%
Articul, >40 t	Euro II	16,80%	15,06%	14,14%	12,44%	10,70%	9,14%	7,73%	6,37%	5,05%
Articul, >40 t	Euro III	31,04%	28,83%	28,12%	25,78%	23,19%	20,77%	18,48%	16,28%	14,08%
Articul, >40 t	Euro IV	27,60%	33,32%	33,25%	31,30%	29,00%	26,82%	24,73%	22,53%	20,65%
Articul, >40 t	Euro V	-	-	2,87%	10,21%	17,99%	25,13%	31,69%	30,14%	28,34%
Articul, >40 t	Euro VI	-	-	-	-	-	-	-	7,68%	15,13%

91. Tabla: Distribución del parque circulante de Autobuses por tecnología en %

Subsector	Tecnología	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<=18 t	Pre Euro	7,51%	6,40%	5,68%	5,04%	4,48%	4,29%	4,17%	3,98%	3,73%
<=18 t	Euro I	2,93%	2,71%	2,39%	1,93%	1,42%	1,11%	0,98%	0,84%	0,66%
<=18 t	Euro II	10,36%	9,87%	9,41%	8,77%	7,84%	7,00%	6,21%	5,38%	4,24%
<=18 t	Euro III	9,90%	9,53%	9,25%	8,78%	7,88%	7,62%	7,47%	7,05%	6,74%
<=18 t	Euro IV	10,20%	13,21%	12,57%	11,99%	10,76%	10,45%	10,45%	9,93%	9,59%
<=18 t	Euro V	-	-	3,82%	6,59%	9,58%	11,60%	13,36%	12,71%	12,29%
<=18 t	Euro VI	-	-	-	-	-	-	-	3,40%	6,03%
>18 t	Pre Euro	10,85%	8,94%	7,49%	6,65%	6,20%	5,91%	5,61%	5,21%	4,88%
>18 t	Euro I	4,24%	3,79%	3,16%	2,54%	1,96%	1,53%	1,32%	1,10%	0,87%
>18 t	Euro II	14,97%	13,79%	12,41%	11,58%	10,84%	9,63%	8,36%	7,05%	5,55%
>18 t	Euro III	14,30%	13,32%	12,20%	11,60%	10,91%	10,48%	10,05%	9,23%	8,84%
>18 t	Euro IV	14,74%	18,45%	16,57%	15,83%	14,89%	14,39%	14,05%	13,01%	12,57%
>18 t	Euro V	-	-	5,04%	8,70%	13,25%	15,97%	17,96%	16,66%	16,11%
>18 t	Euro VI	-	-	-	-	-	-	-	4,45%	7,91%

92. Tabla: Distribución del parque circulante de Ciclomotores por tecnología en %

Tecnología	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Pre Euro</b>	45,53%	39,33%	36,70%	34,34%	32,56%	31,39%	29,82%	28,16%	26,78%
<b>Euro 1</b>	8,35%	7,21%	6,73%	6,25%	5,91%	5,68%	5,46%	5,20%	4,92%
<b>Euro 2</b>	46,12%	53,46%	56,57%	59,40%	61,53%	62,93%	64,72%	66,64%	68,31%

93. Tabla: Distribución del parque circulante de Motocicletas por tecnología en %

Subsector	Tecnología	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>2-tpo.</b>	<b>Pre Euro</b>	4,81%	3,99%	3,73%	3,42%	3,22%	3,11%	2,94%	2,73%	2,56%
<b>2-tpo.</b>	<b>Euro 1</b>	0,88%	0,73%	0,68%	0,62%	0,58%	0,56%	0,54%	0,50%	0,47%
<b>2-tpo.</b>	<b>Euro 2</b>	2,33%	1,94%	1,80%	1,63%	1,53%	1,44%	1,39%	1,30%	1,20%
<b>2-tpo.</b>	<b>Euro 3</b>	2,90%	3,99%	4,50%	4,89%	5,20%	5,48%	5,70%	5,89%	6,10%
<b>4-tpo.&lt;250 cc</b>	<b>Pre Euro</b>	19,22%	15,98%	14,90%	13,68%	12,87%	12,44%	11,74%	10,91%	10,26%
<b>4-tpo.&lt;250 cc</b>	<b>Euro 1</b>	3,53%	2,93%	2,73%	2,49%	2,34%	2,25%	2,15%	2,02%	1,88%
<b>4-tpo.&lt;250 cc</b>	<b>Euro 2</b>	9,33%	7,76%	7,21%	6,54%	6,13%	5,78%	5,55%	5,19%	4,81%
<b>4-tpo.&lt;250 cc</b>	<b>Euro 3</b>	11,58%	15,96%	18,02%	19,57%	20,80%	21,90%	22,79%	23,58%	24,41%
<b>4-tpo.250-750 cc</b>	<b>Pre Euro</b>	13,51%	11,73%	10,89%	10,16%	9,51%	9,13%	8,62%	8,07%	7,61%
<b>4-tpo.250 750 cc</b>	<b>Euro 1</b>	2,48%	2,15%	2,00%	1,85%	1,73%	1,65%	1,58%	1,49%	1,40%
<b>4-tpo.250-750 cc</b>	<b>Euro 2</b>	6,56%	5,70%	5,27%	4,85%	4,53%	4,24%	4,07%	3,84%	3,57%
<b>4-tpo.250-750 cc</b>	<b>Euro 3</b>	8,14%	11,72%	13,16%	14,53%	15,36%	16,08%	16,74%	17,44%	18,11%
<b>4-tpo.&gt;750 cc</b>	<b>Pre Euro</b>	4,61%	4,00%	3,70%	3,41%	3,18%	3,05%	2,93%	2,77%	2,61%
<b>4-tpo.&gt;750 cc</b>	<b>Euro 1</b>	1,48%	1,28%	1,18%	1,09%	1,02%	0,97%	0,94%	0,89%	0,84%
<b>4-tpo.&gt;750 cc</b>	<b>Euro 2</b>	3,64%	3,16%	2,92%	2,69%	2,51%	2,40%	2,32%	2,19%	2,06%
<b>4-tpo.&gt;750 cc</b>	<b>Euro 3</b>	5,01%	6,98%	7,30%	8,59%	9,50%	9,51%	10,01%	11,19%	12,10%



## **ANEXO V: TRÁFICO URBANO DE EUSKADI**

94. Tabla: Tráfico urbano de vehículos ligeros en Euskadi por comarcas en Mvkm.año<sup>-1</sup>

<b>Comarcas</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
<b>Valles Alaveses</b>	643	643	396	396	396	396	416	416	417
<b>Llanada Alavesa</b>	604.815	606.746	542.022	543.176	544.271	544.334	536.176	536.329	538.012
<b>Montaña Alavesa</b>	2.957	2.966	3.602	3.606	3.611	3.611	4.495	4.497	4.513
<b>Rioja Alavesa</b>	11.697	11.750	14.070	14.102	14.131	14.133	20.092	20.102	20.210
<b>Estribaciones Del Gorbea</b>	2.418	2.425	3.161	3.165	3.169	3.169	3.559	3.560	3.570
<b>Cantábrica Alavesa</b>	31.012	31.122	38.940	39.006	39.069	39.073	40.069	40.079	40.190
<b>Bajo Bidasoa</b>	152.372	152.987	206.762	207.130	207.479	207.499	208.452	208.504	209.076
<b>Bajo Deba</b>	69.341	69.519	57.710	57.817	57.919	57.924	57.161	57.175	57.331
<b>Alto Deba</b>	109.317	109.603	111.111	111.283	111.445	111.455	114.539	114.565	114.858
<b>Donostia-San Sebastián</b>	891.848	894.643	917.282	918.953	920.539	920.630	933.259	933.503	936.185
<b>Goierrri</b>	95.663	95.943	88.553	88.721	88.880	88.889	95.947	95.977	96.304
<b>Tolosa</b>	38.760	38.875	35.417	35.486	35.551	35.555	42.251	42.267	42.439
<b>Urola Costa</b>	46.054	46.142	41.263	41.316	41.366	41.368	43.518	43.527	43.629
<b>Arratia-Nervión</b>	13.422	13.470	12.603	12.632	12.659	12.661	14.421	14.427	14.488
<b>Gran Bilbao</b>	1.461.395	1.466.139	1.325.480	1.328.316	1.331.007	1.331.161	1.249.397	1.249.717	1.253.235
<b>Duranguesado</b>	109.550	109.916	116.630	116.849	117.057	117.069	122.092	122.126	122.512
<b>Encartaciones</b>	36.927	37.088	44.641	44.738	44.829	44.834	48.539	48.556	48.741
<b>Gernika-Bermeo</b>	17.092	17.157	19.692	19.731	19.768	19.770	19.334	19.339	19.395
<b>Markina-Ondarroa</b>	7.134	7.159	9.064	9.078	9.092	9.093	9.519	9.521	9.548
<b>Plentzia-Mungia</b>	36.712	36.786	27.755	27.799	27.841	27.844	26.678	26.683	26.739

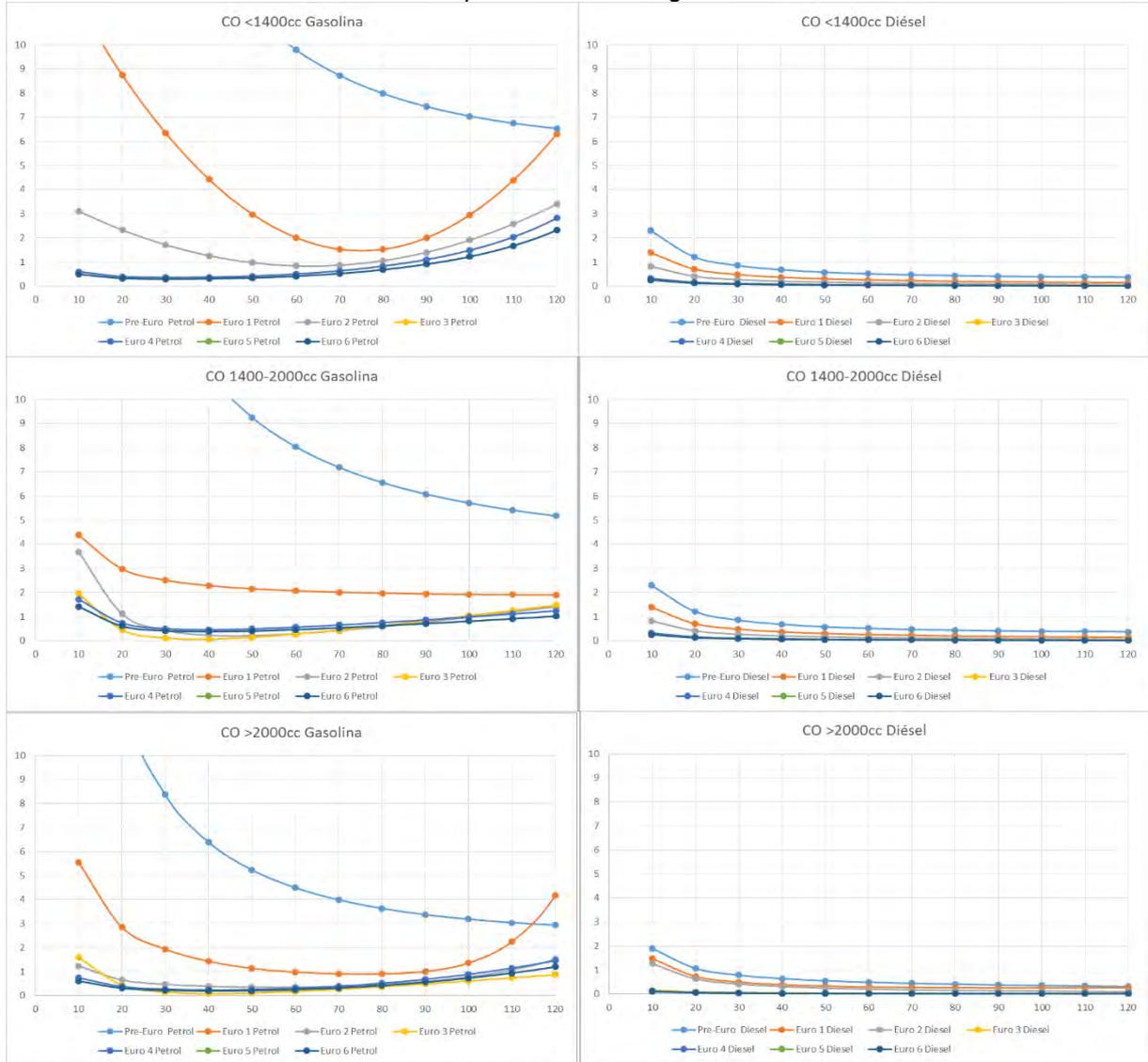
95. *Tabla: Tráfico urbano de vehículos pesados en Euskadi por comarcas en Mvkm.año<sup>-1</sup>*

<b>Comarcas</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
<i>Valles Alaveses</i>	55	56	34	35	34	34	34	34	34
<i>Llanada Alavesa</i>	14.101	14.116	11.438	11.442	11.432	11.415	11.394	11.374	11.363
<i>Montaña Alavesa</i>	120	120	138	138	137	137	136	136	136
<i>Rioja Alavesa</i>	821	825	952	953	950	946	941	937	934
<i>Estribaciones Del Gorbea</i>	968	973	1.161	1.162	1.159	1.154	1.148	1.142	1.138
<i>Cantábrica Alavesa</i>	2.498	2.502	3.104	3.105	3.102	3.097	3.090	3.084	3.081
<i>Bajo Bidasoa</i>	4.004	4.011	5.509	5.511	5.507	5.499	5.490	5.481	5.476
<i>Bajo Deba</i>	2.901	2.904	2.145	2.146	2.144	2.141	2.136	2.132	2.130
<i>Alto Deba</i>	5.459	5.466	5.154	5.156	5.151	5.144	5.135	5.127	5.122
<i>Donostia-San Sebastián</i>	43.751	43.800	41.930	41.946	41.912	41.859	41.791	41.726	41.690
<i>Goierri</i>	11.278	11.294	9.493	9.498	9.487	9.470	9.448	9.427	9.415
<i>Tolosa</i>	11.378	11.400	9.470	9.477	9.462	9.439	9.409	9.380	9.365
<i>Urola Costa</i>	2.931	2.934	2.407	2.408	2.405	2.401	2.397	2.392	2.389
<i>Arratia-Nervión</i>	2.277	2.282	2.103	2.105	2.101	2.094	2.086	2.077	2.073
<i>Gran Bilbao</i>	60.515	60.573	52.862	52.881	52.838	52.772	52.687	52.604	52.559
<i>Duranguesado</i>	6.701	6.711	7.219	7.223	7.215	7.202	7.186	7.171	7.163
<i>Encartaciones</i>	2.661	2.668	3.394	3.396	3.391	3.384	3.374	3.365	3.359
<i>Gernika-Bermeo</i>	1.554	1.557	1.859	1.860	1.858	1.855	1.851	1.847	1.845
<i>Markina-Ondarroa</i>	379	380	501	501	501	500	498	497	497
<i>Plentzia-Mungia</i>	830	831	601	601	601	600	598	597	596

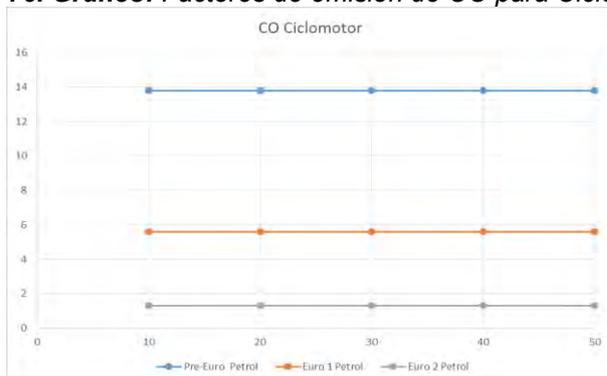
## ANEXO VI: FACTORES DE EMISIÓN EN CALIENTE

### Factores Emisión CO

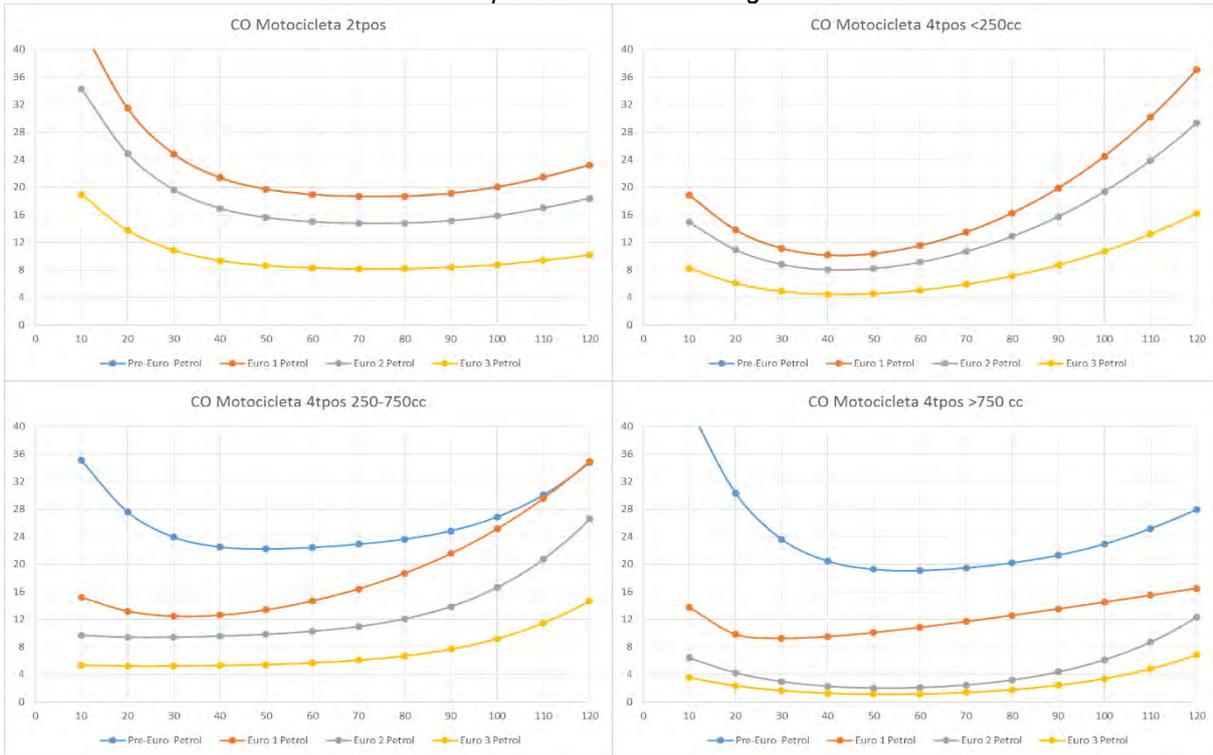
75. Gráfico: Factores de emisión de CO para Turismos en  $g.km^{-1}$  vs  $km.h^{-1}$



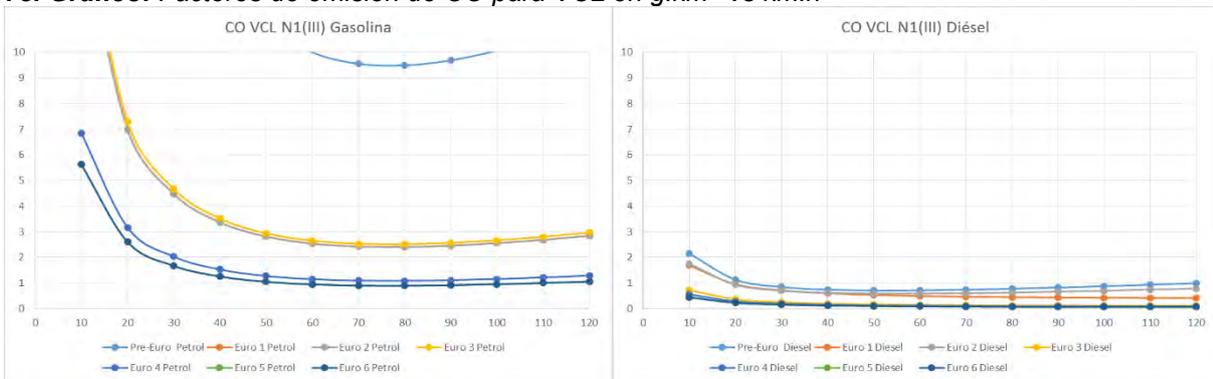
76. Gráfico: Factores de emisión de CO para Ciclomotores en  $g.km^{-1}$  vs  $km.h^{-1}$



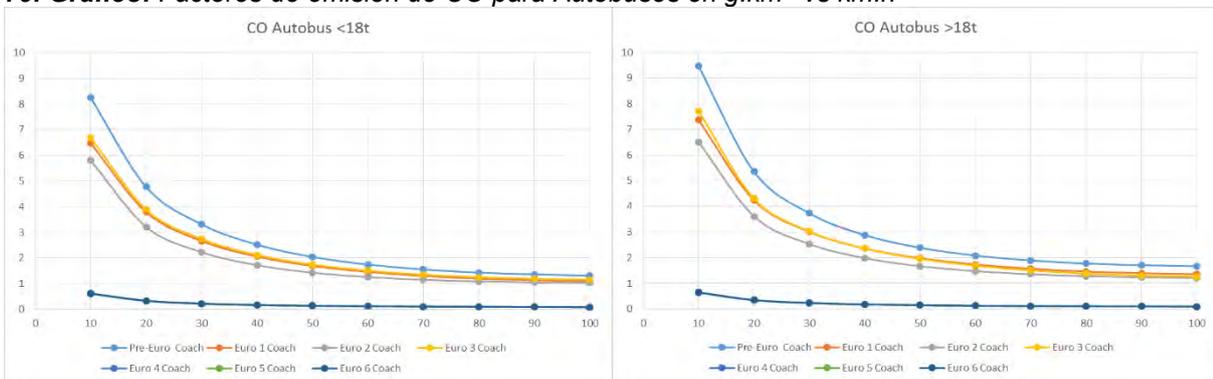
**77. Gráfico: Factores de emisión de CO para Motocicletas en g.km<sup>-1</sup> vs km.h<sup>-1</sup>**



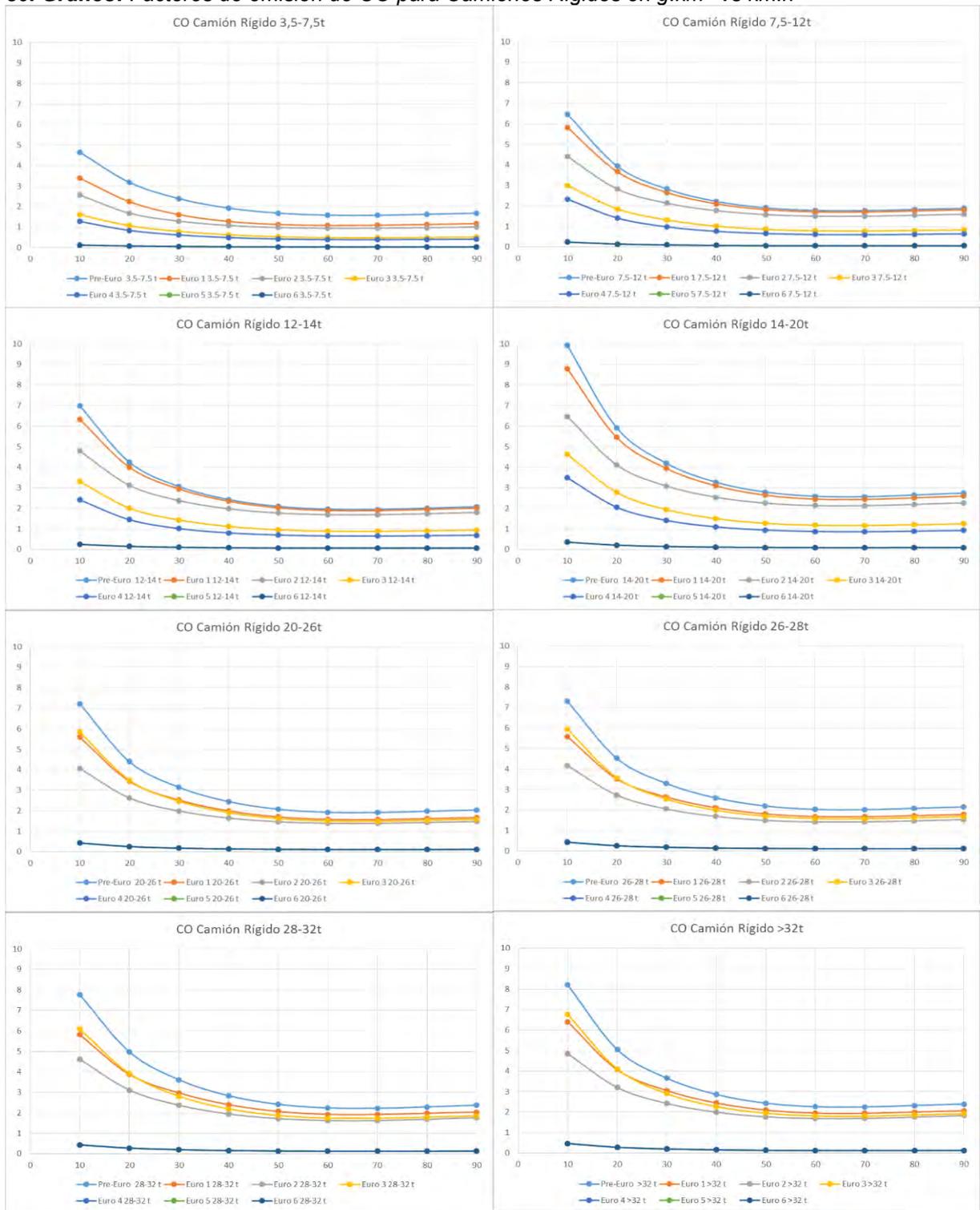
**78. Gráfico: Factores de emisión de CO para VCL en g.km<sup>-1</sup> vs km.h<sup>-1</sup>**



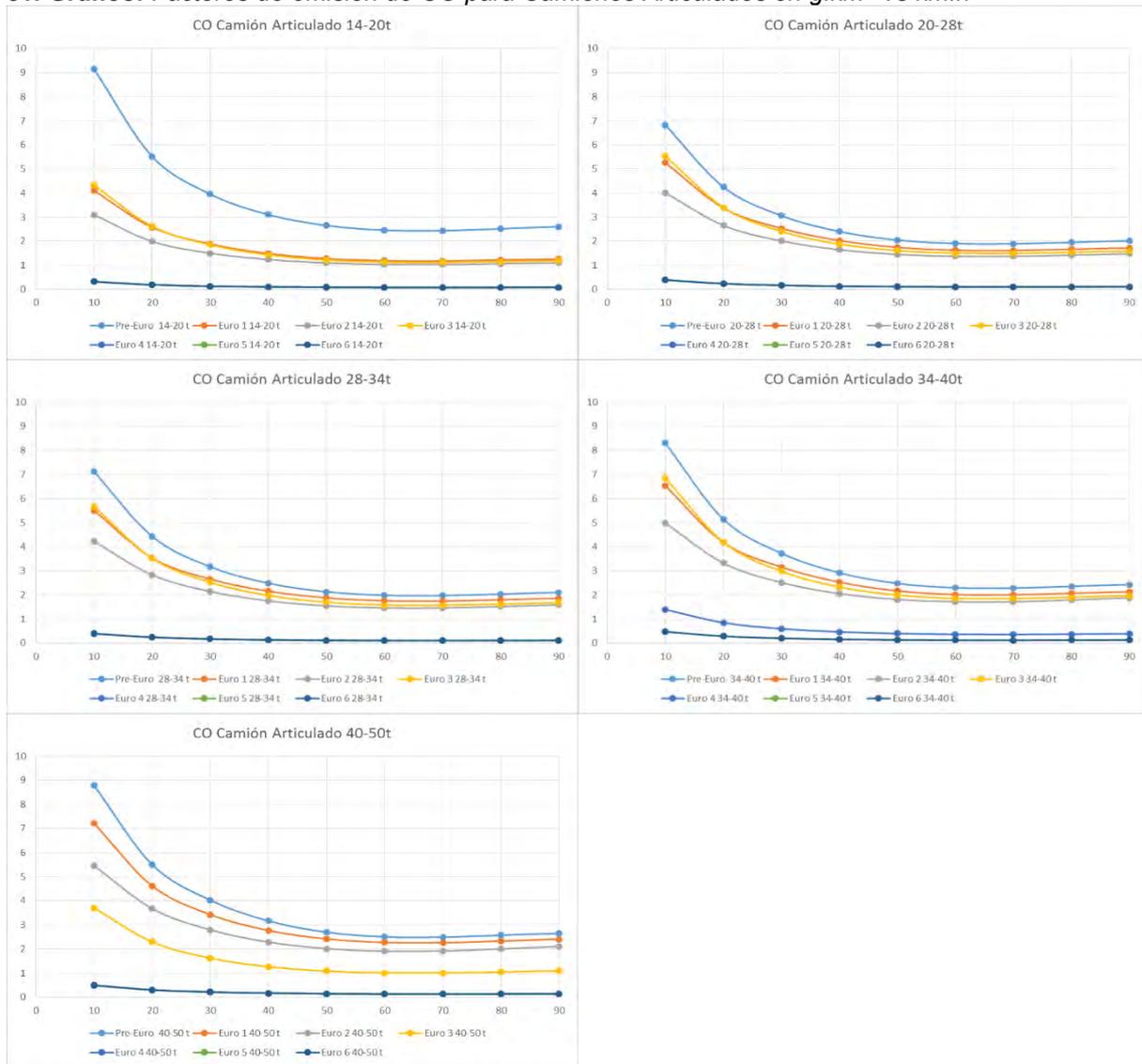
**79. Gráfico: Factores de emisión de CO para Autobuses en g.km<sup>-1</sup> vs km.h<sup>-1</sup>**



80. Gráfico: Factores de emisión de CO para Camiones Rígidos en  $g.km^{-1}$  vs  $km.h^{-1}$

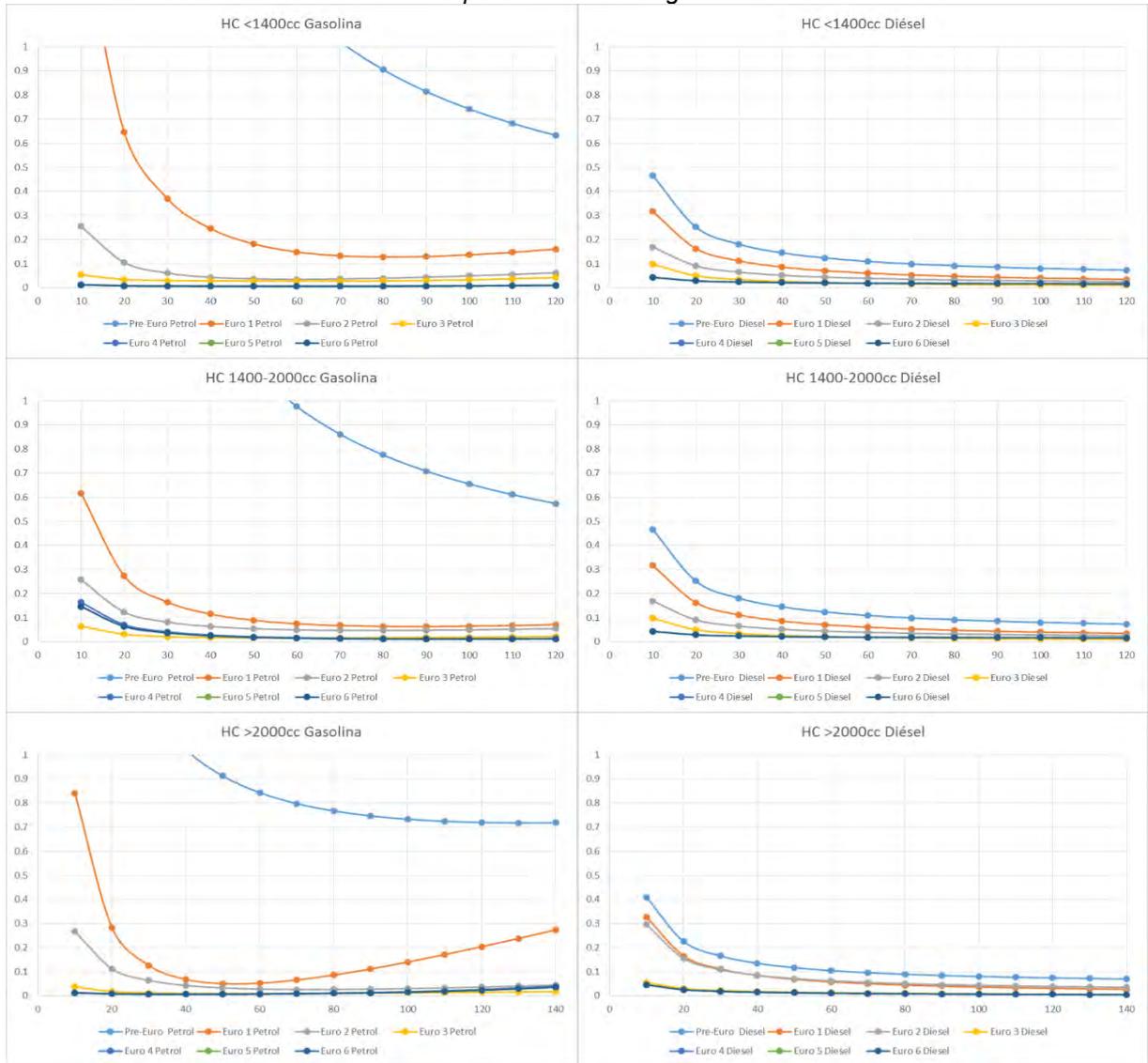


**81. Gráfico: Factores de emisión de CO para Camiones Articulados en g.km<sup>-1</sup> vs km.h<sup>-1</sup>**

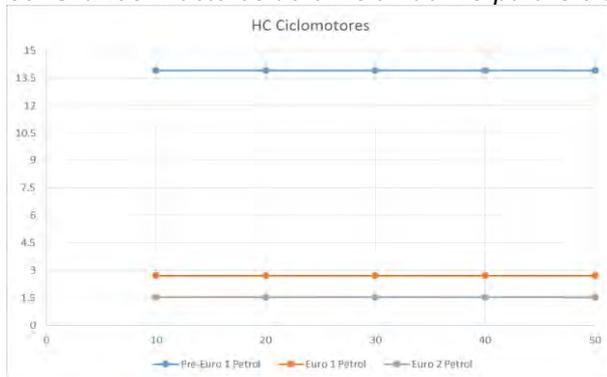


## Factores Emisión HC

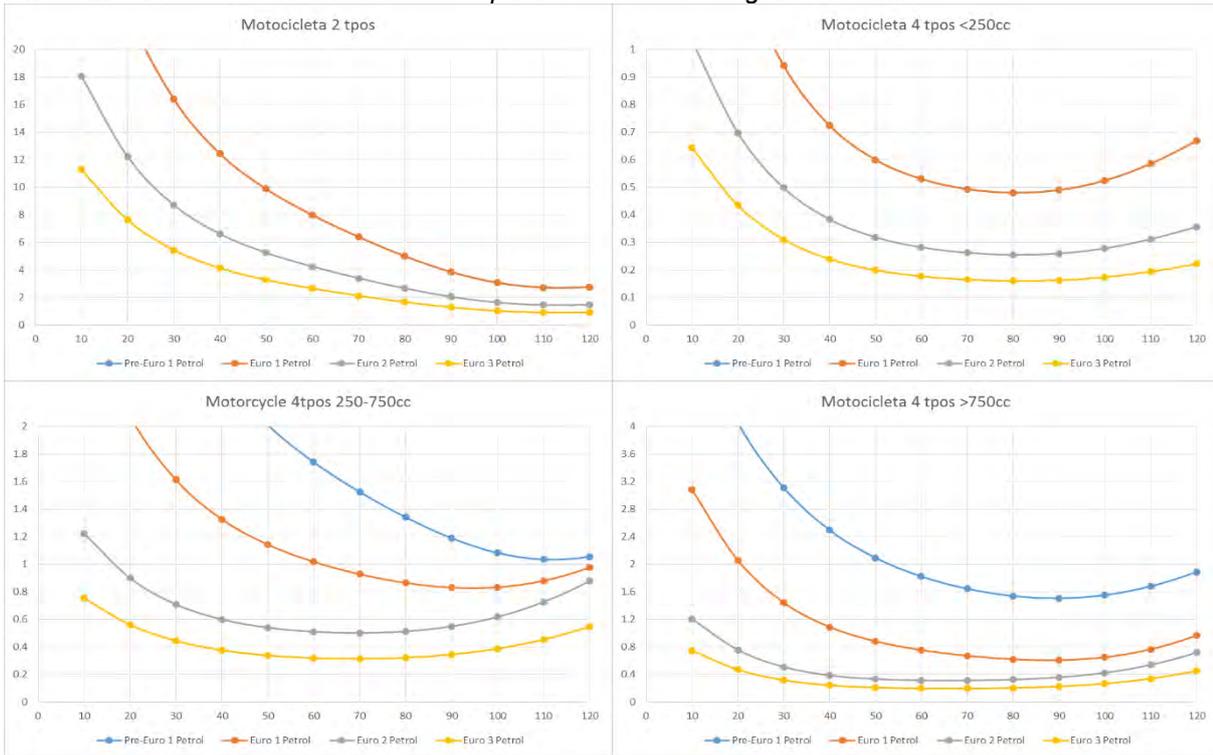
82. Gráfico: Factores de emisión de HC para Turismos en  $g.km^{-1}$  vs  $km.h^{-1}$



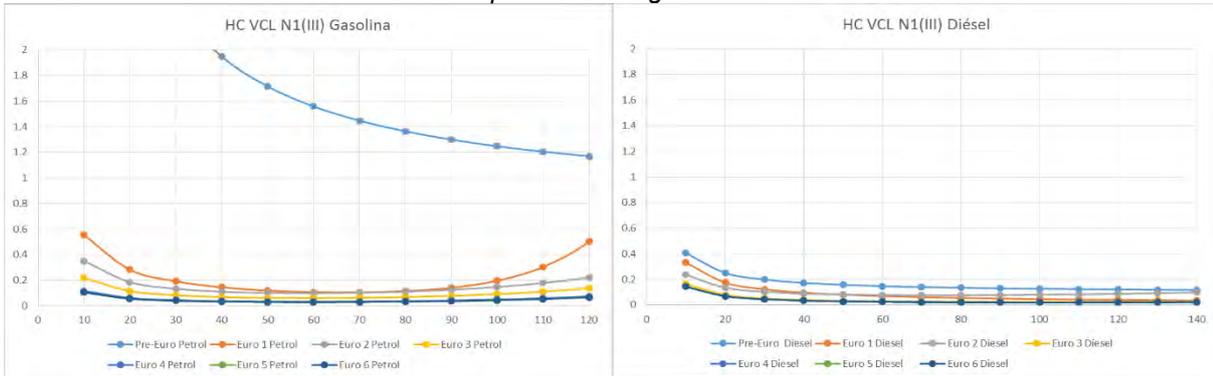
83. Gráfico: Factores de emisión de HC para Ciclomotores en  $g.km^{-1}$  vs  $km.h^{-1}$



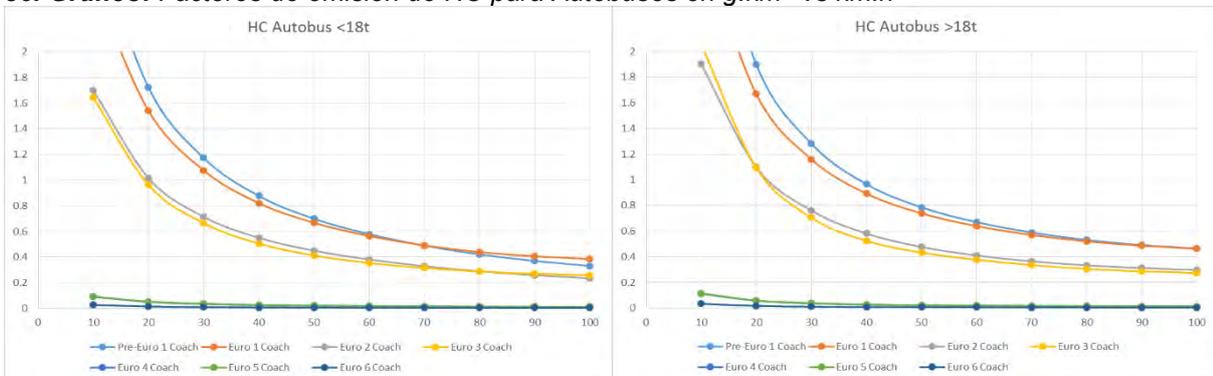
**84. Gráfico: Factores de emisión de HC para Motocicletas en  $g.km^{-1}$  vs  $km.h^{-1}$**



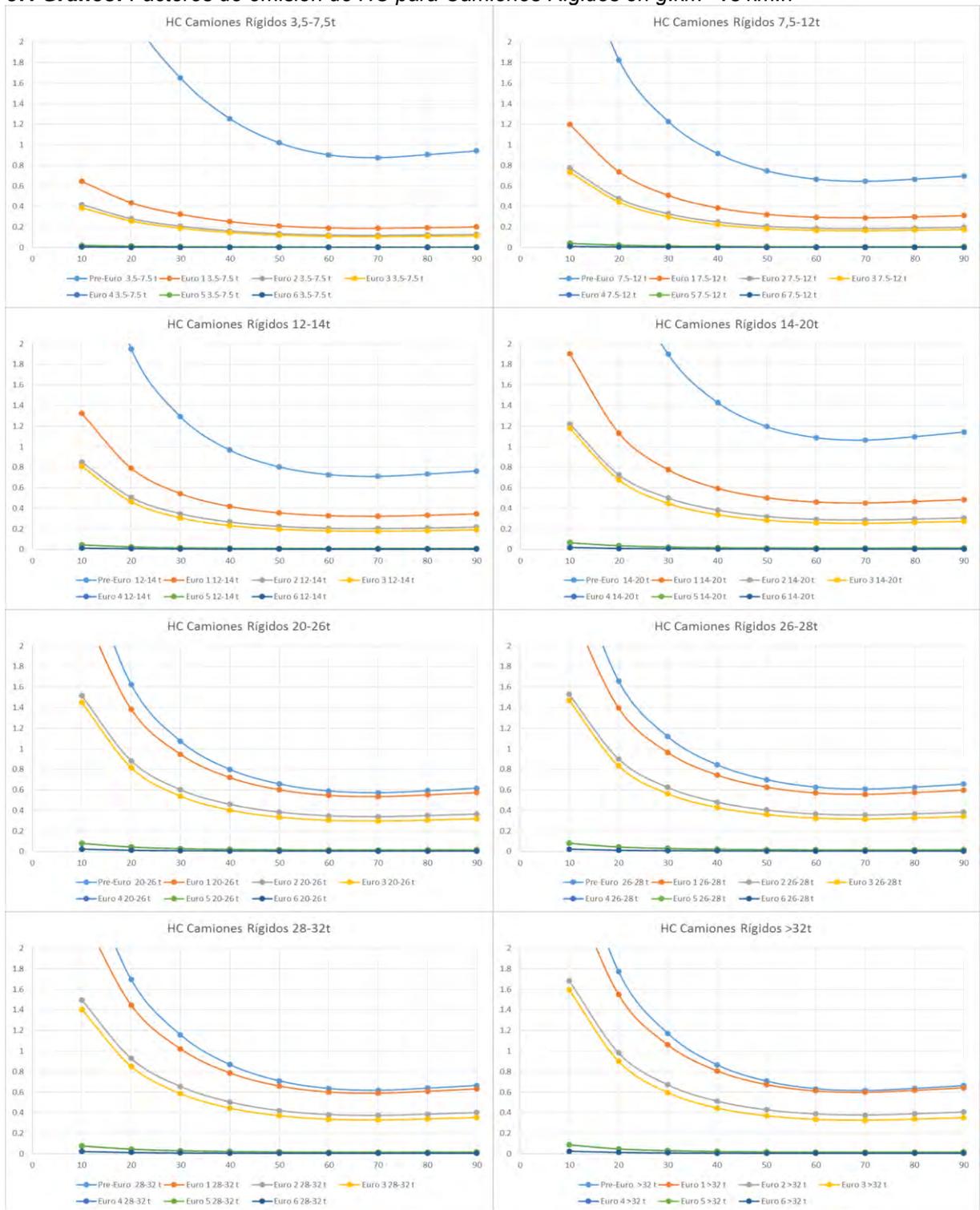
**85. Gráfico: Factores de emisión de HC para VCL en  $g.km^{-1}$  vs  $km.h^{-1}$**



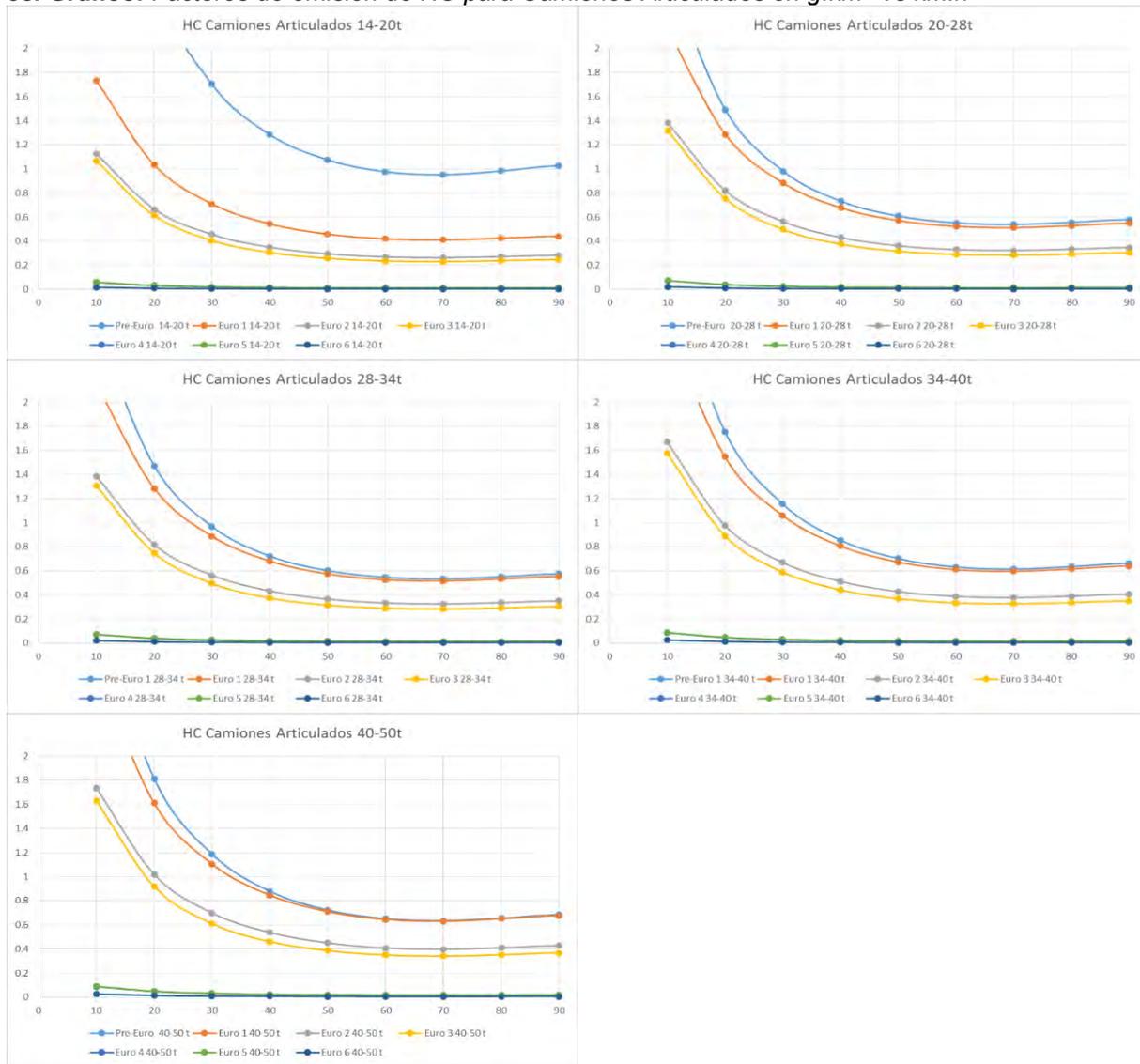
**86. Gráfico: Factores de emisión de HC para Autobuses en  $g.km^{-1}$  vs  $km.h^{-1}$**



87. Gráfico: Factores de emisión de HC para Camiones Rígidos en  $g.km^{-1}$  vs  $km.h^{-1}$

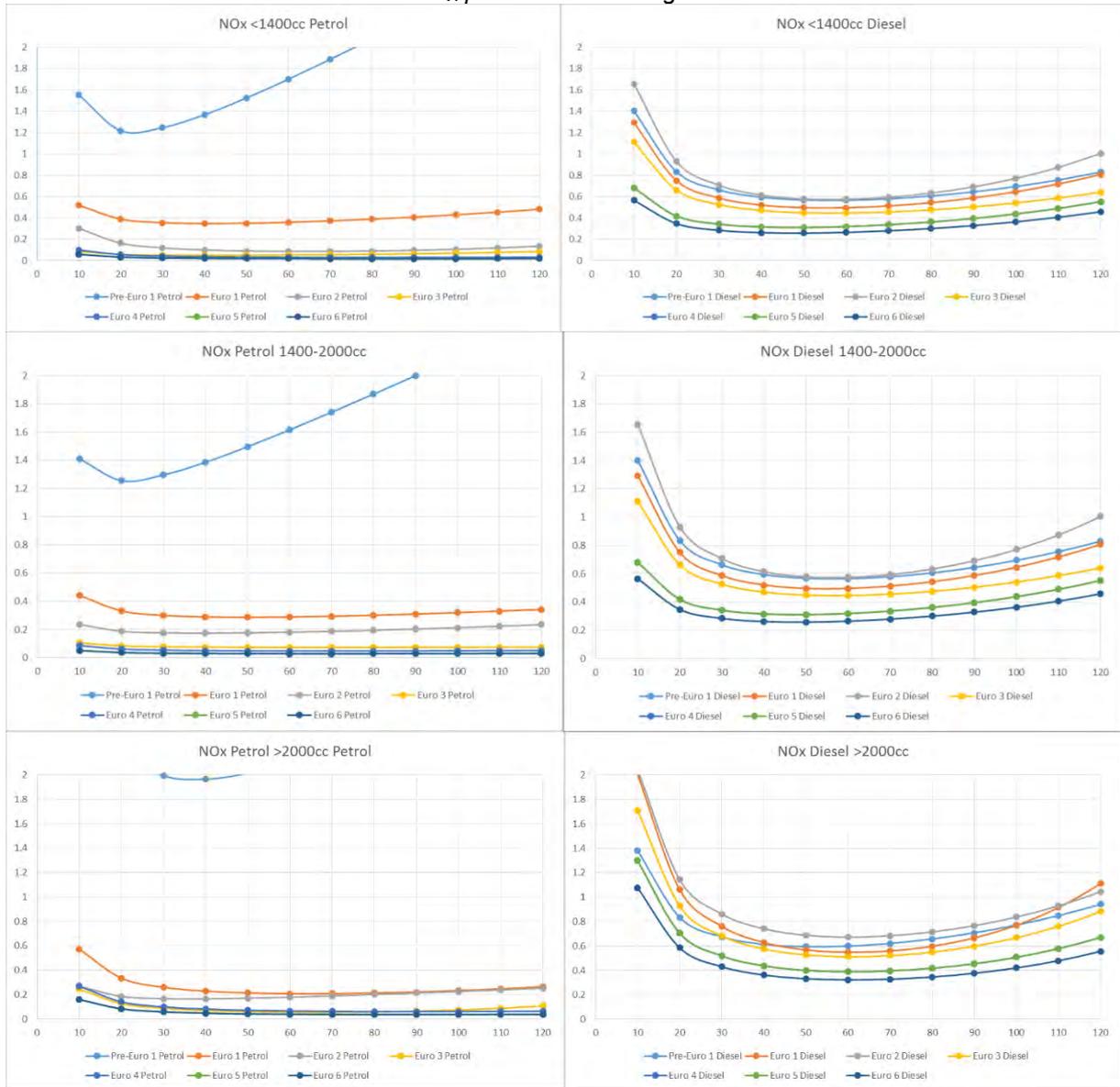


**88. Gráfico: Factores de emisión de HC para Camiones Articulados en g.km<sup>-1</sup> vs km.h<sup>-1</sup>**

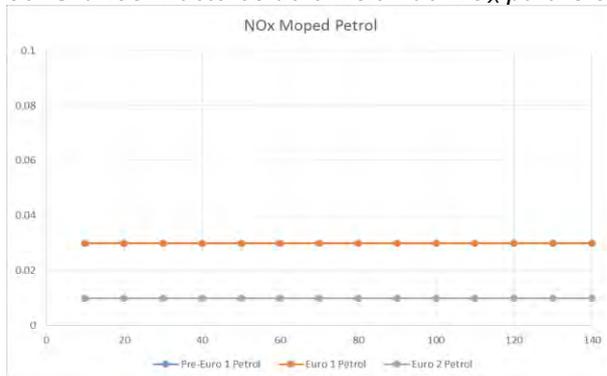


## Factores emisión NO<sub>x</sub>

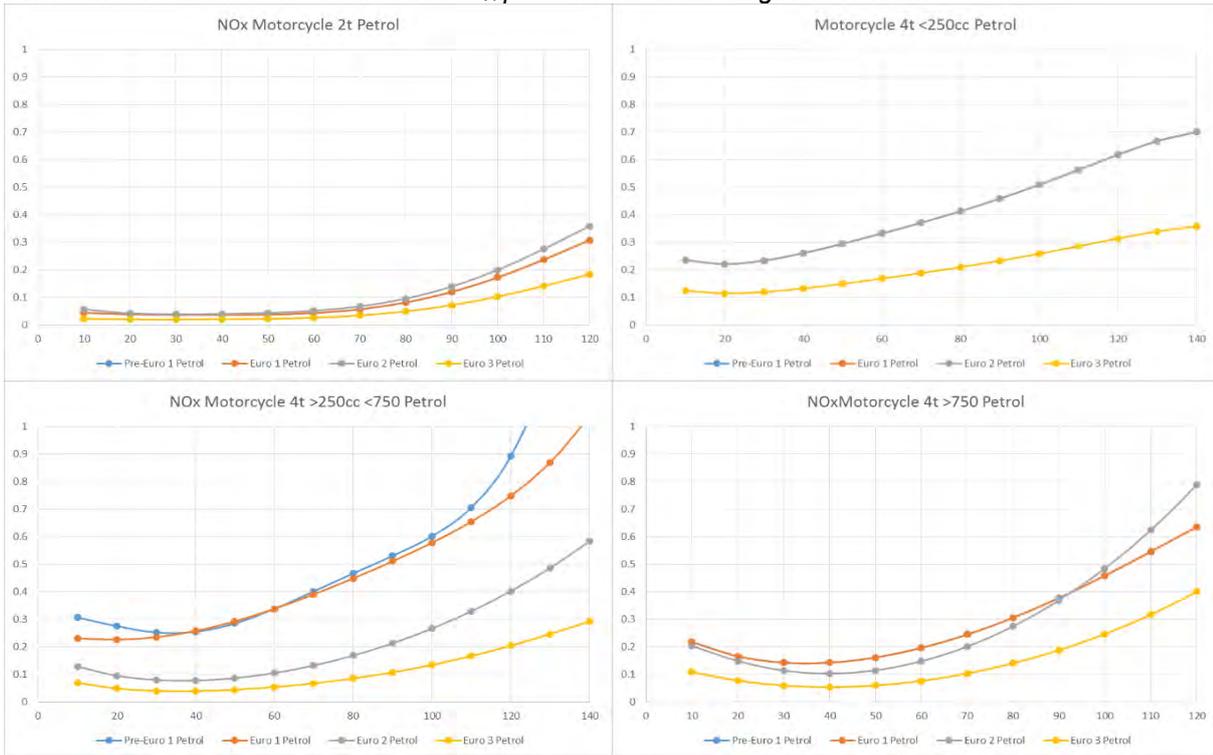
89. Gráfico: Factores de emisión de NO<sub>x</sub> para Turismos en g.km<sup>-1</sup> vs km.h<sup>-1</sup>



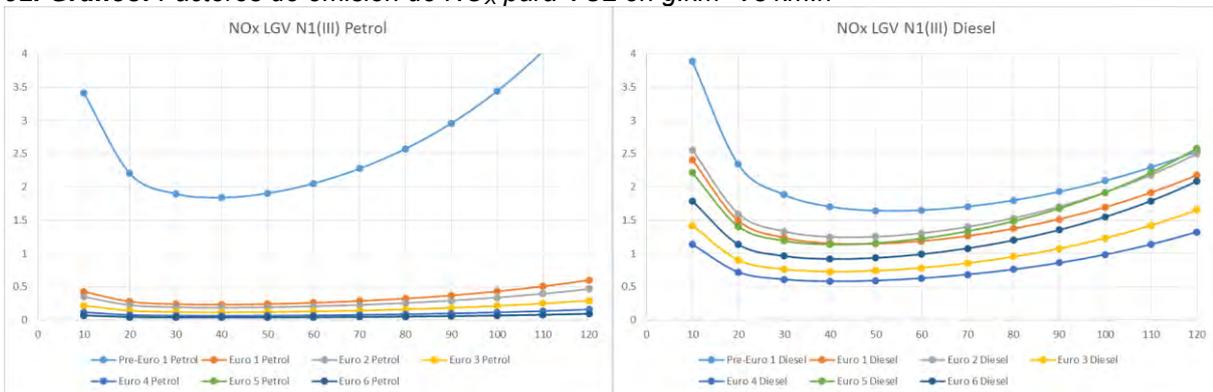
90. Gráfico: Factores de emisión de NO<sub>x</sub> para Ciclomotores en g.km<sup>-1</sup> vs km.h<sup>-1</sup>



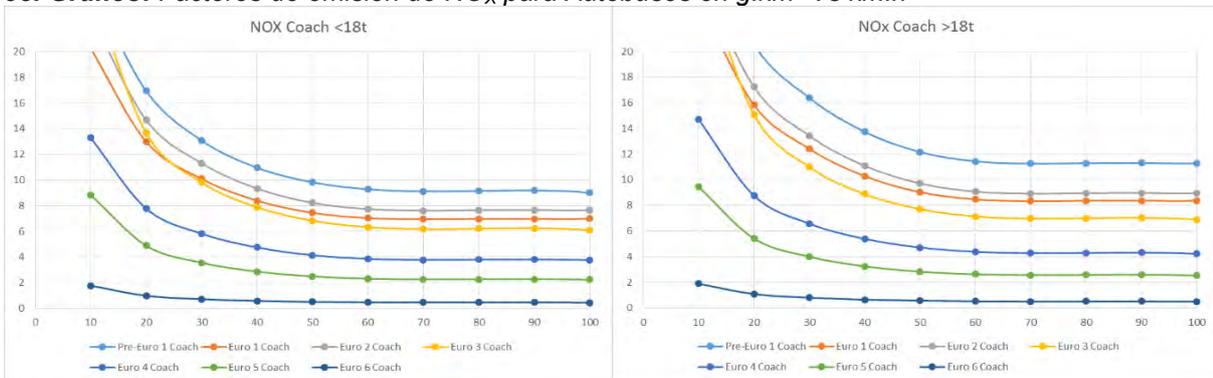
**91. Gráfico: Factores de emisión de NO<sub>x</sub> para Motocicletas en g.km<sup>-1</sup> vs km.h<sup>-1</sup>**



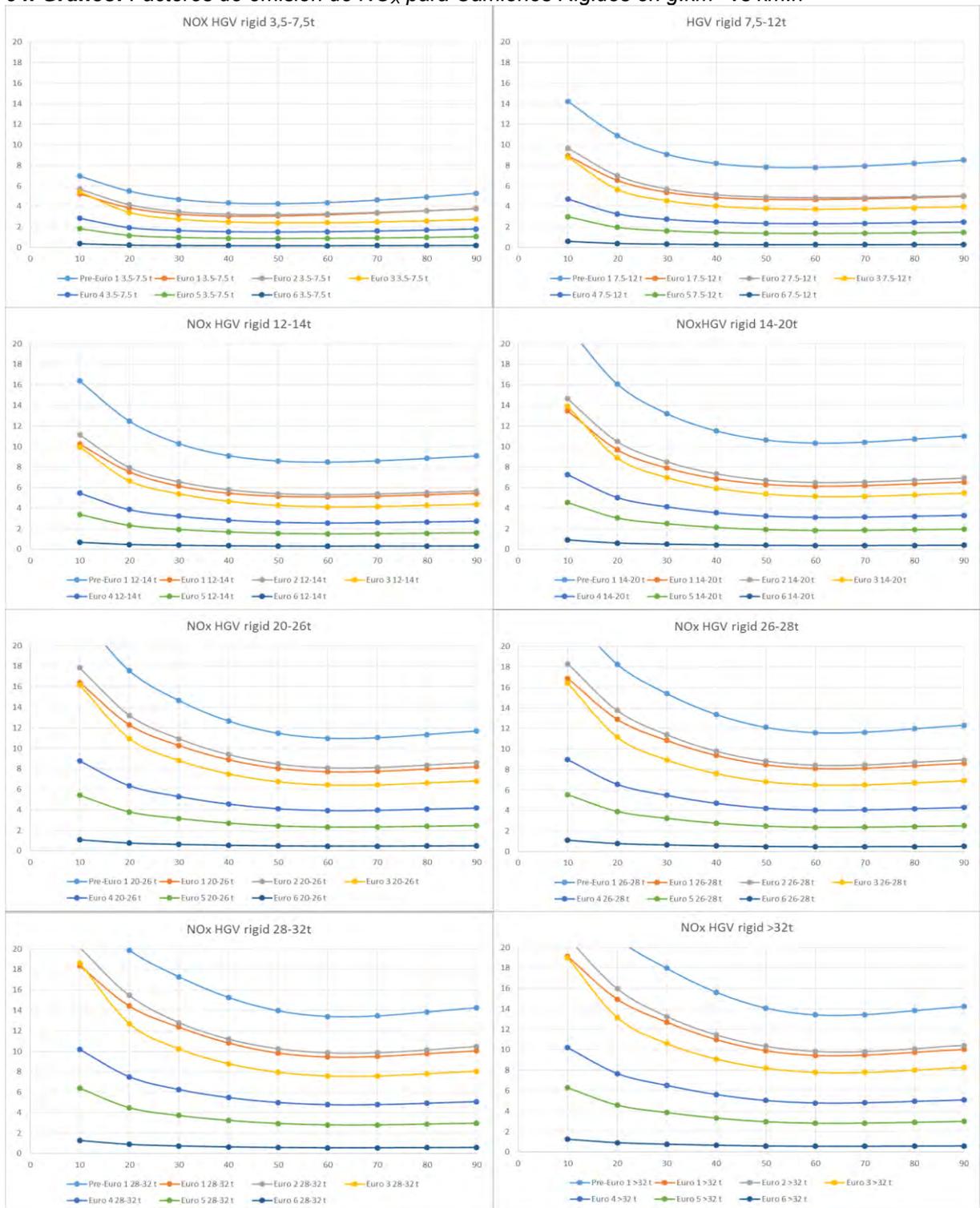
**92. Gráfico: Factores de emisión de NO<sub>x</sub> para VCL en g.km<sup>-1</sup> Vs km.h<sup>-1</sup>**



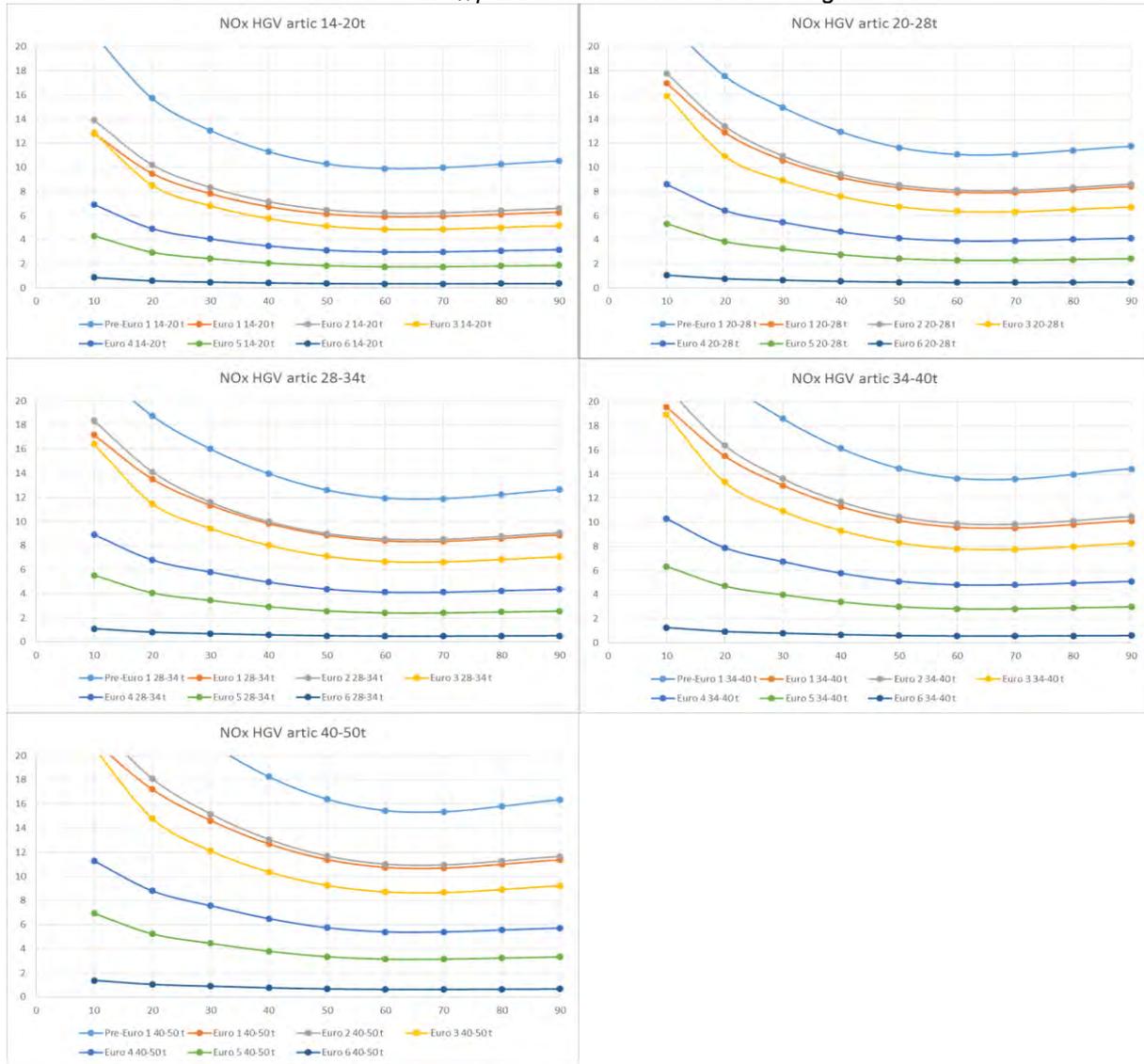
**93. Gráfico: Factores de emisión de NO<sub>x</sub> para Autobuses en g.km<sup>-1</sup> Vs km.h<sup>-1</sup>**



94. Gráfico: Factores de emisión de NO<sub>x</sub> para Camiones Rígidos en g.km<sup>-1</sup> vs km.h<sup>-1</sup>

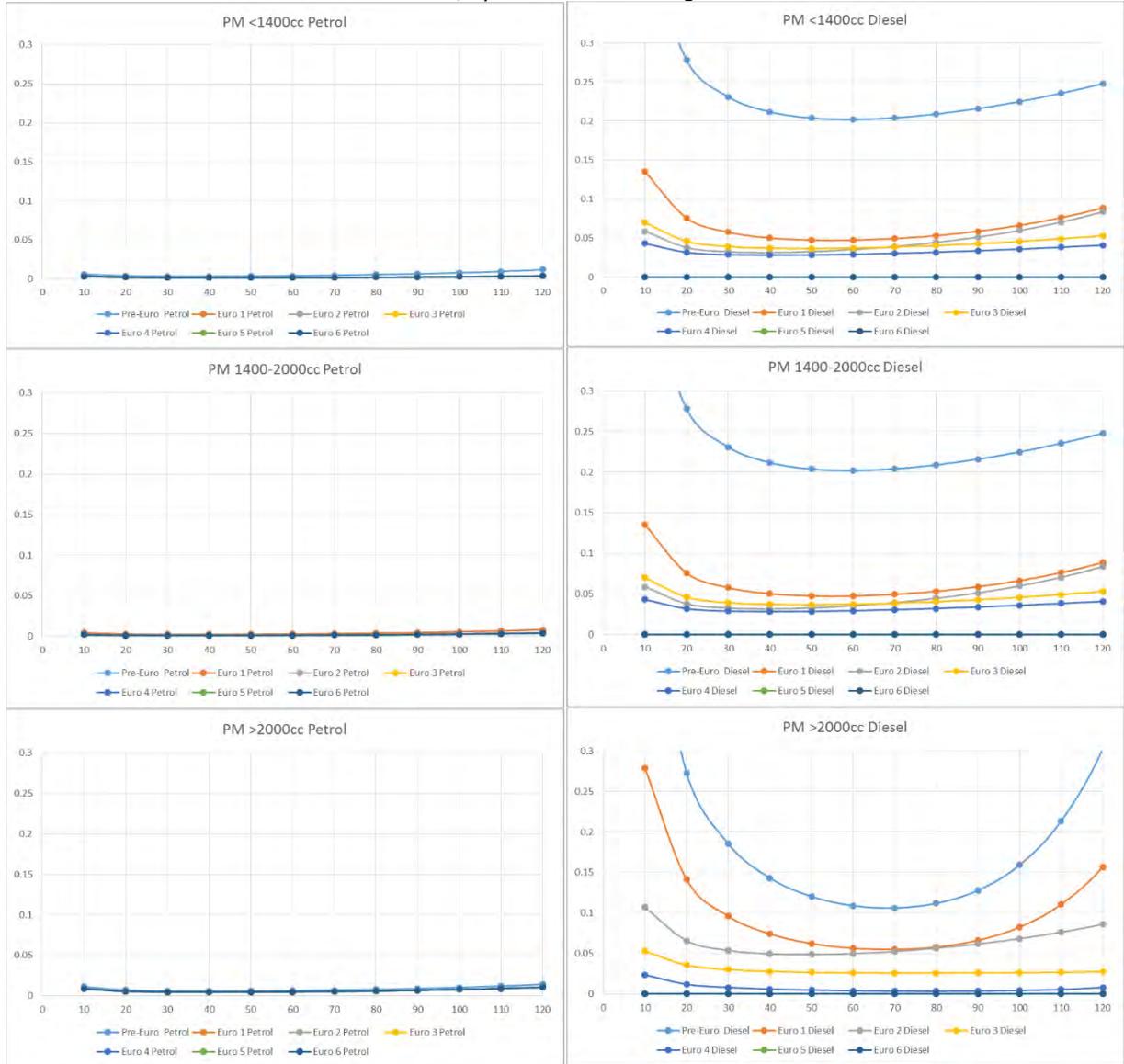


**95. Gráfico: Factores de emisión de NO<sub>x</sub> para Camiones Articulados en g.km<sup>-1</sup> vs km.h<sup>-1</sup>**

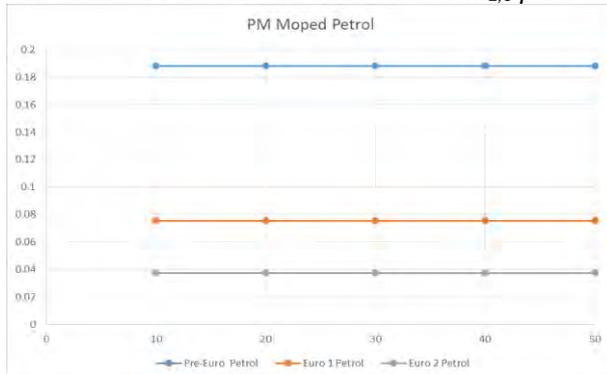


## Factores Emisión $PM_{2,5}$

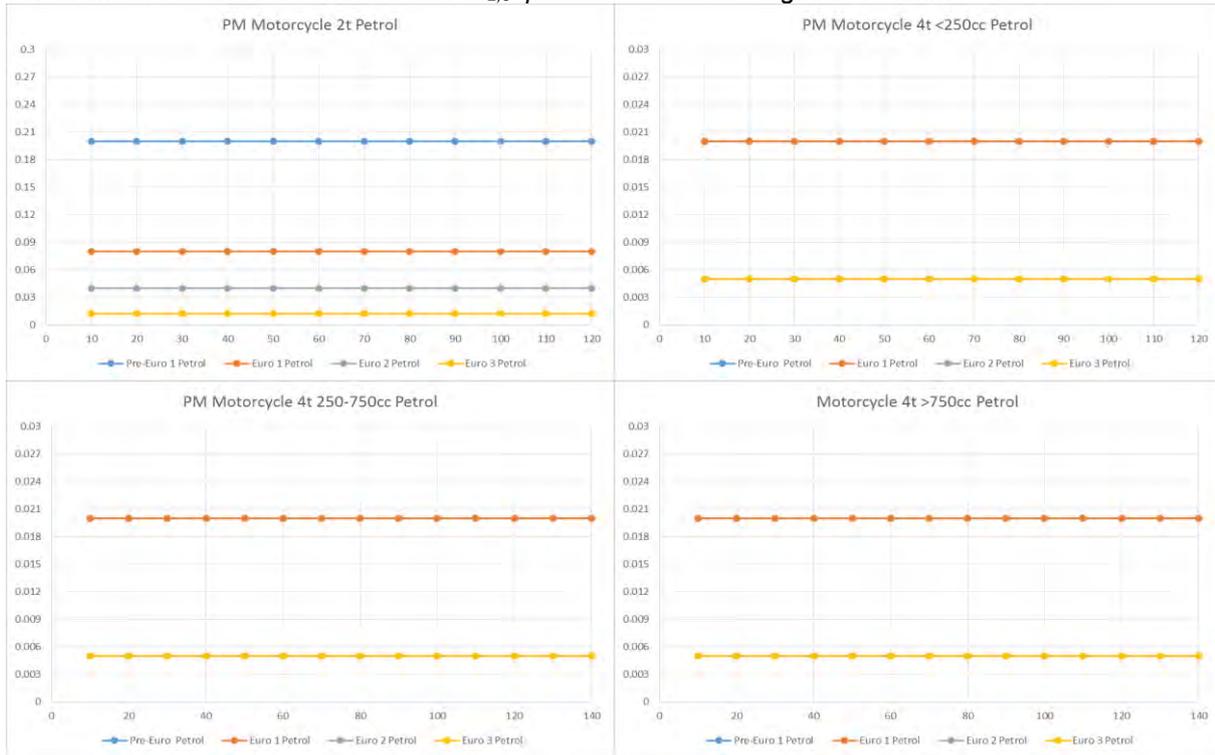
96. Gráfico: Factores de emisión de  $PM_{2,5}$  para Turismos en  $g.km^{-1}$  vs  $km.h^{-1}$



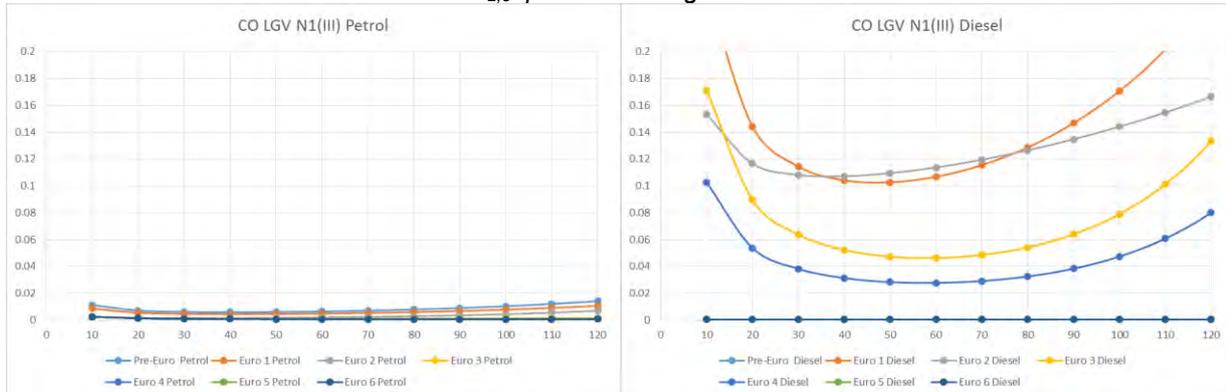
97. Gráfico: Factores de emisión de  $PM_{2,5}$  para Ciclomotores en  $g.km^{-1}$  vs  $km.h^{-1}$



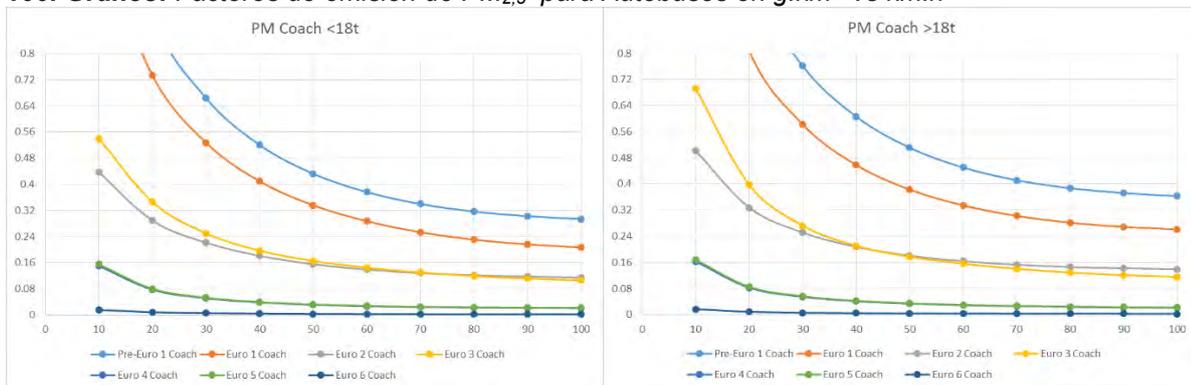
**98. Gráfico: Factores de emisión de  $PM_{2.5}$  para Motocicletas en  $g.km^{-1}$  vs  $km.h^{-1}$**



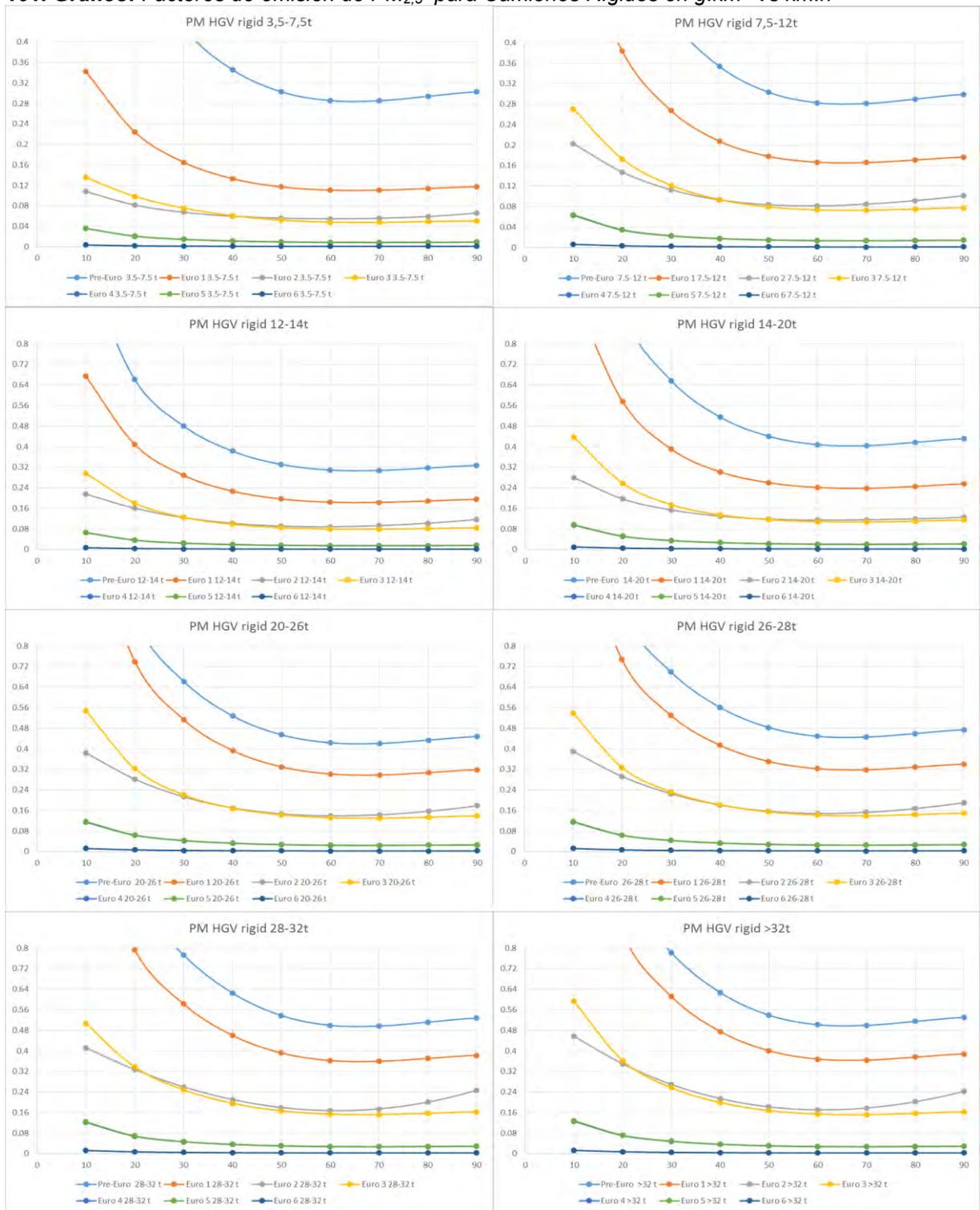
**99. Gráfico: Factores de emisión de  $PM_{2.5}$  para VCL en  $g.km^{-1}$  vs  $km.h^{-1}$**



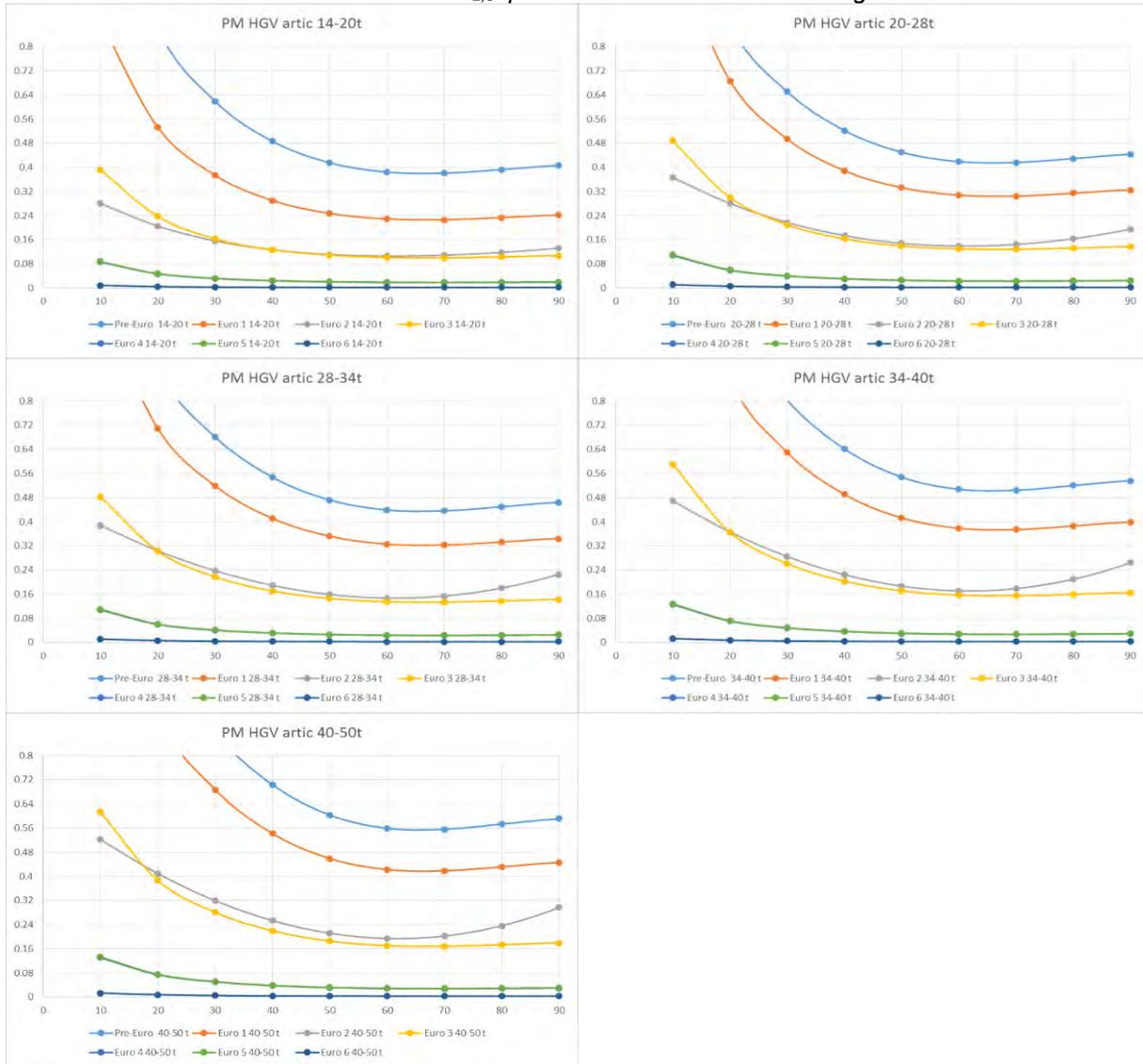
**100. Gráfico: Factores de emisión de  $PM_{2.5}$  para Autobuses en  $g.km^{-1}$  vs  $km.h^{-1}$**



101. Gráfico: Factores de emisión de PM<sub>2,5</sub> para Camiones Rígidos en g.km<sup>-1</sup> vs km.h<sup>-1</sup>

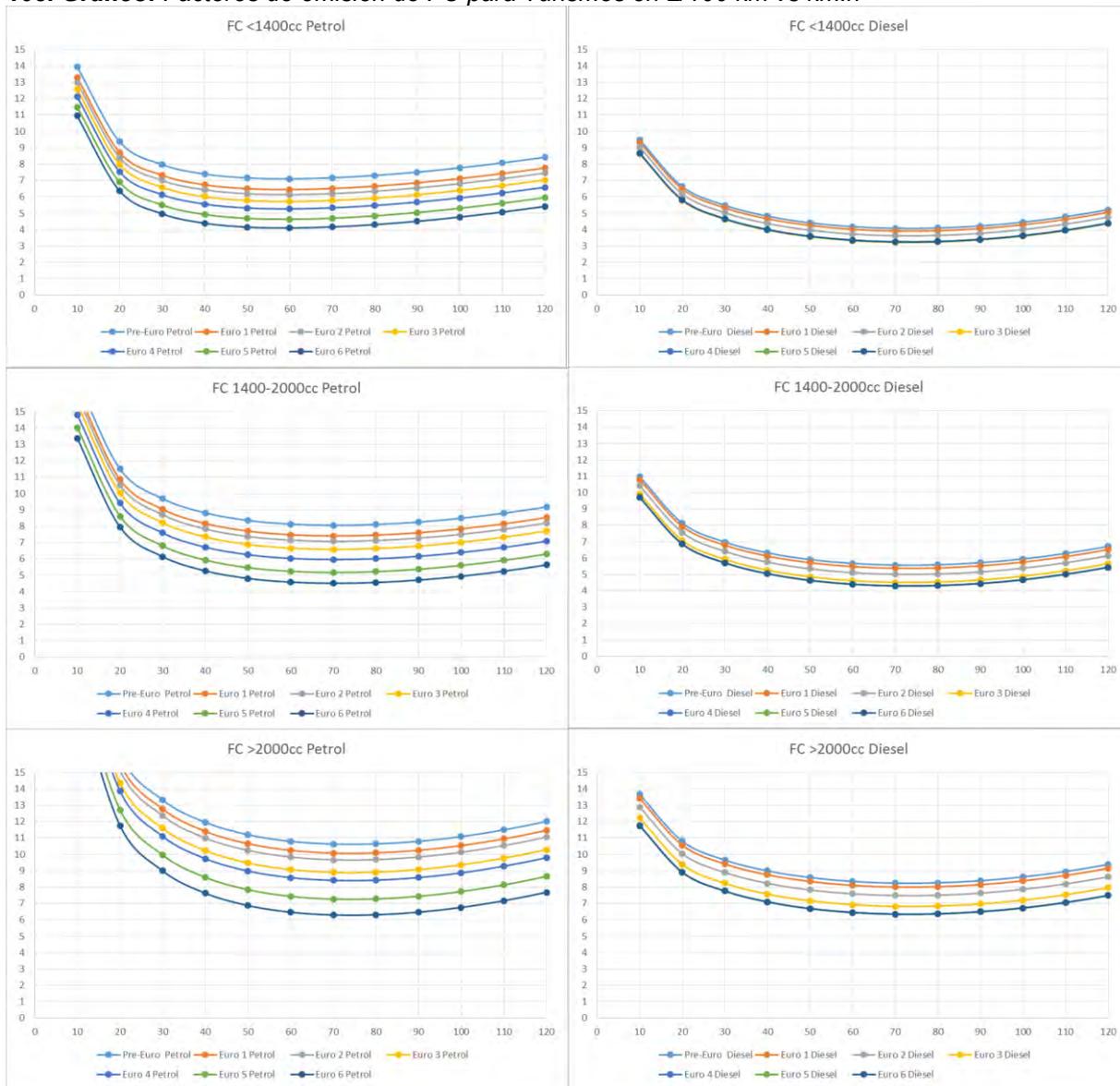


**102. Gráfico: Factores de emisión de  $PM_{2.5}$  para Camiones Articulados en  $g.km^{-1}$  vs  $km.h^{-1}$**

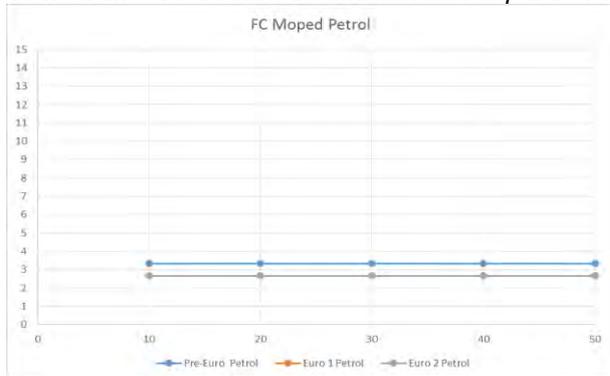


## Factores Emisión FC

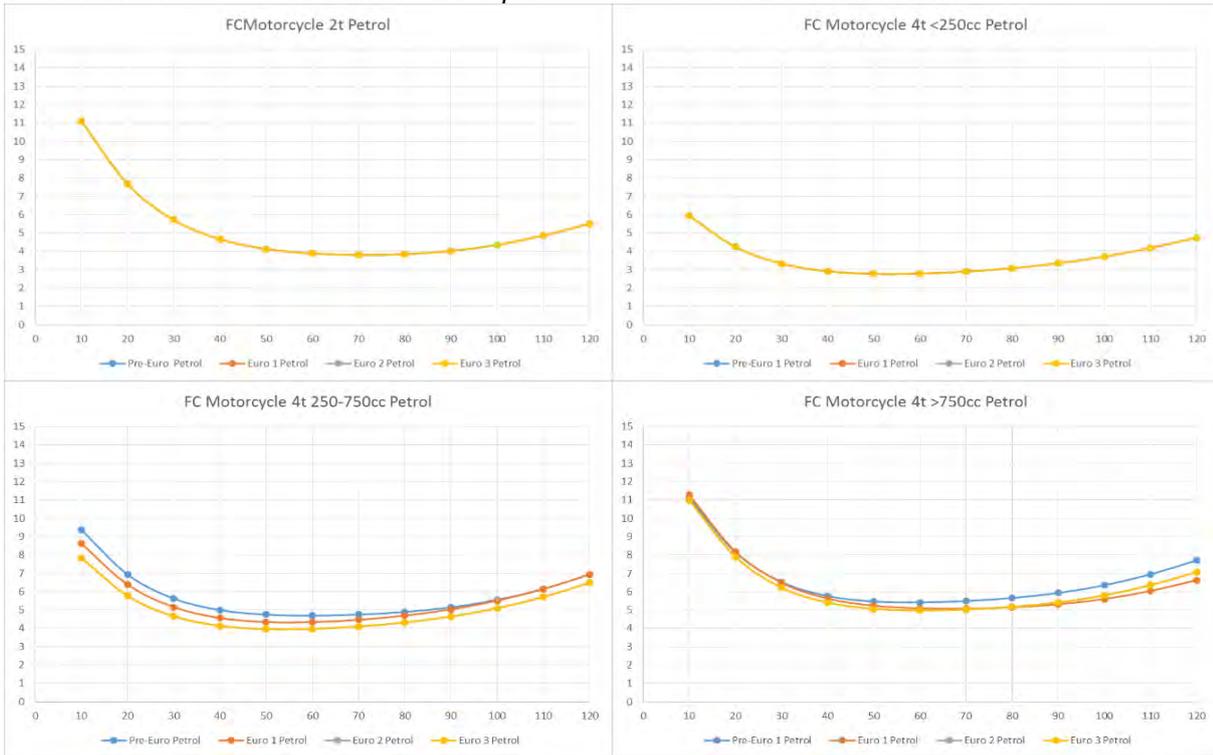
103. Gráfico: Factores de emisión de FC para Turismos en L/100 km vs km.h<sup>-1</sup>



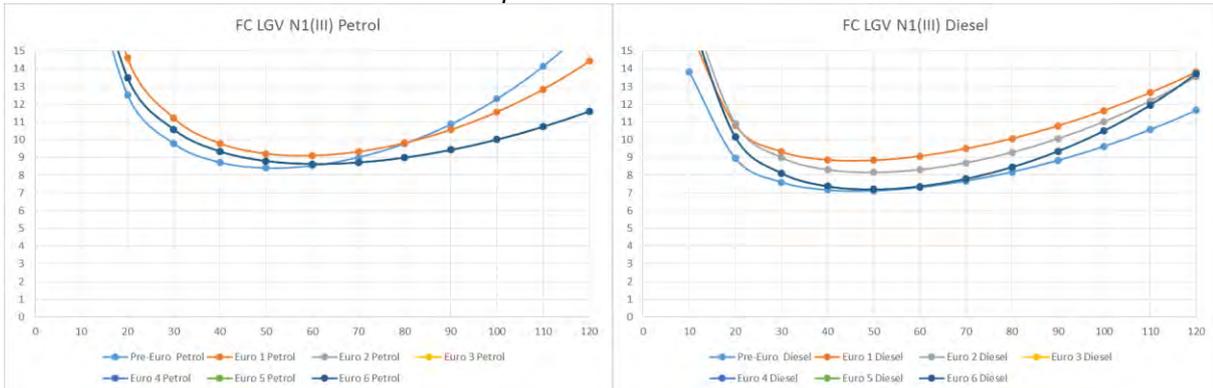
104. Gráfico: Factores de emisión de FC para Ciclomotores en L/100 km vs km.h<sup>-1</sup>



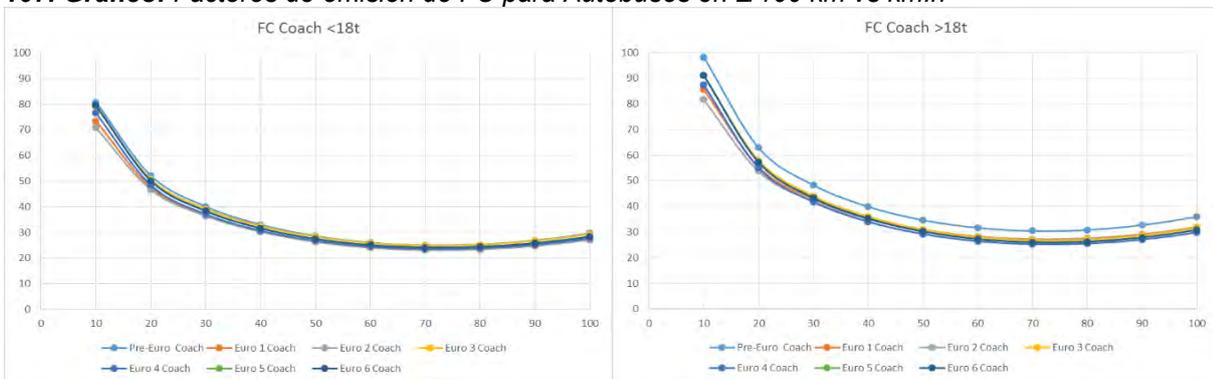
**105. Gráfico: Factores de emisión de FC para Motocicletas en L/100 km vs km.h<sup>-1</sup>**



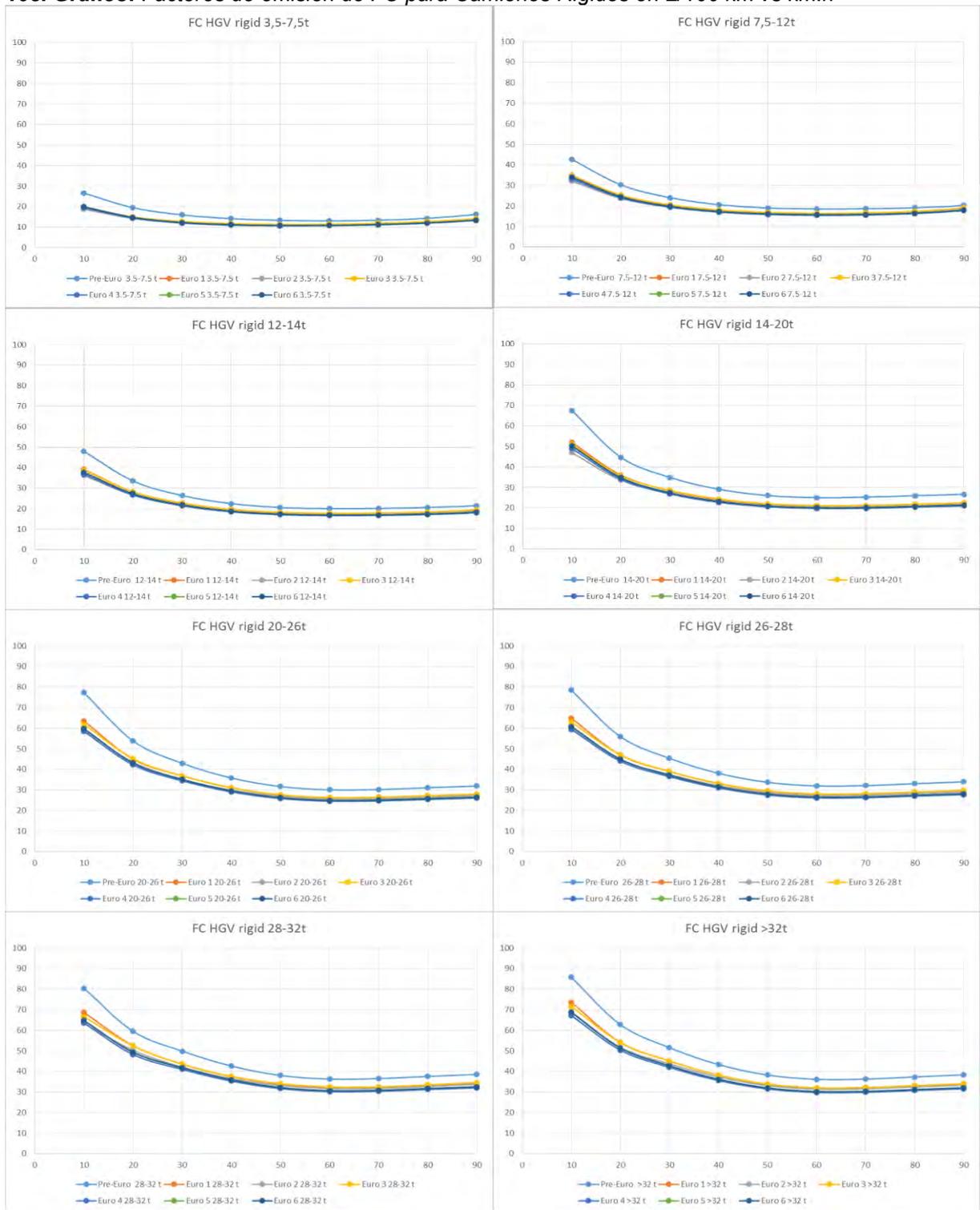
**106. Gráfico: Factores de emisión de FC para VCL en L/100 km vs km.h<sup>-1</sup>**



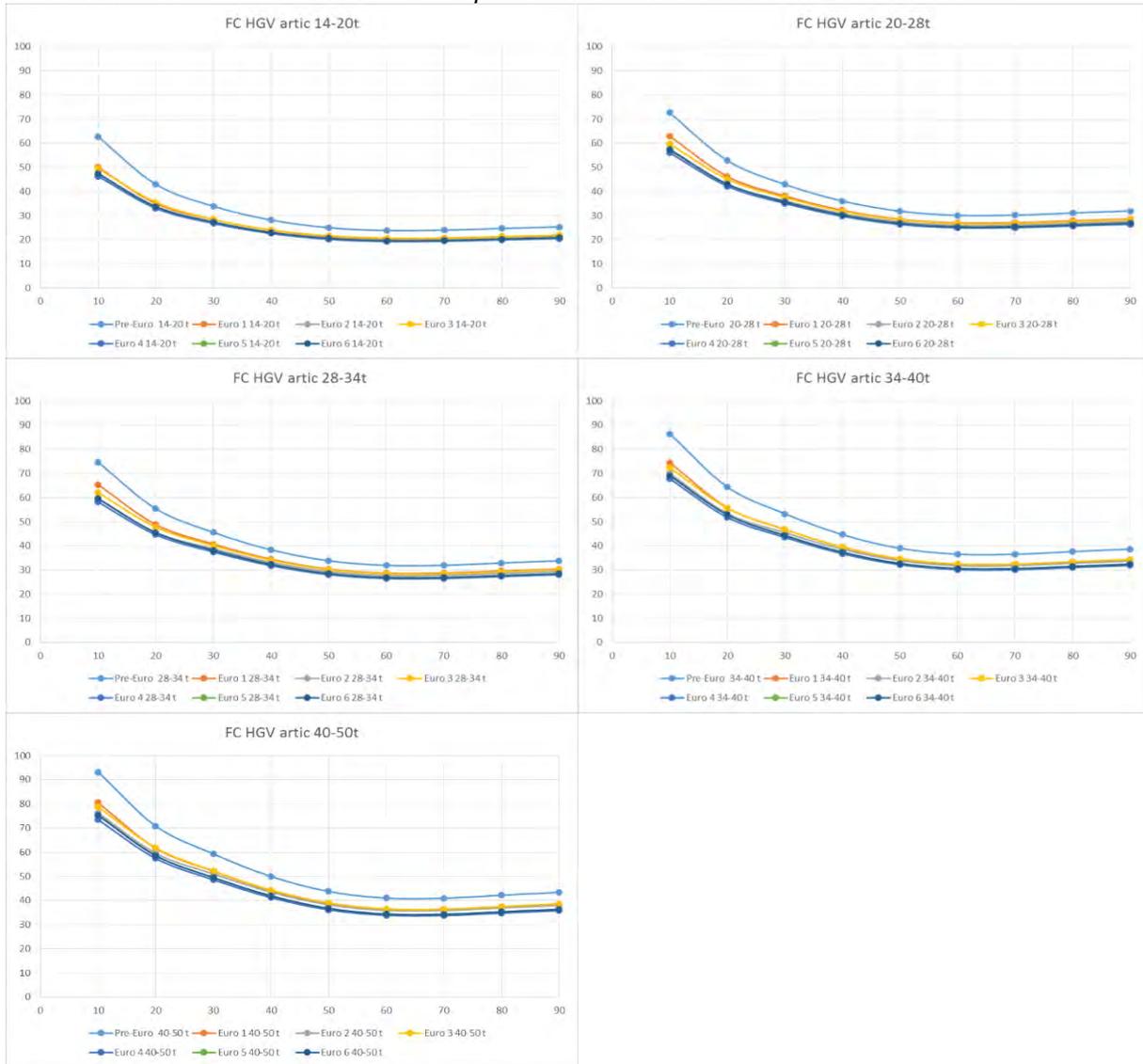
**107. Gráfico: Factores de emisión de FC para Autobuses en L/100 km vs km.h<sup>-1</sup>**



108. Gráfico: Factores de emisión de FC para Camiones Rígidos en L/100 km vs km.h<sup>-1</sup>



**109. Gráfico: Factores de emisión de FC para Camiones Articulados en L/100 km vs km.h<sup>-1</sup>**



## ANEXO VII: FACTORES DE EMISIÓN EN FRÍO

96. Tabla: Distancia recorrida en frío  $dc(T, u)$ . Fuente: ARTEMIS

Compuesto	Tecnología	Combustible	$dc(T, u)$ (km)
CO	Pre-EURO sin cat.	Diésel	$10,17 - 0,167 \cdot T - 0,049 \cdot U$
		Gasolina	$2,826 + 0,116 \cdot U$
	Pre-EURO con cat.	Gasolina	$1,639 - 0,019 \cdot T + 0,054 \cdot U$
	EURO 1	Diésel	$9,553 - 0,042 \cdot U$
		Gasolina	$8,805 - 0,132 \cdot U$
	EURO2	Diésel	$4,916 - 0,039 \cdot T + 0,091 \cdot U$
		Gasolina	$4,409 - 0,002 \cdot T + 0,024 \cdot U$
	EURO 3	Diésel	$4,891 + 0,078 \cdot U$
		Gasolina	$4,284 - 0,025 \cdot T - 0,004 \cdot U$
	EURO 4	Gasolina	$6,716 - 0,06 \cdot T$
CO <sub>2</sub>	Pre-EURO sin cat.	Diésel	$-2,27 + 0,321 \cdot U$
		Gasolina	$2,807 - 0,024 \cdot T + 0,141 \cdot U$
	Pre-EURO con cat.	Gasolina	$2,172 + 0,126 \cdot U$
	EURO 1	Diésel	$3,474 + 0,163 \cdot U$
		Gasolina	$3,838 + 0,081 \cdot U$
	EURO 2	Diésel	$4,31 - 0,04 \cdot T + 0,125 \cdot U$
		Gasolina	$4,048 - 0,124 \cdot T + 0,145 \cdot U$
	EURO 3	Diésel	$9,093 - 0,064 \cdot U$
		Gasolina	$2,461 - 0,057 \cdot T + 0,173 \cdot U$
	EURO 4	Gasolina	$5,398 - 0,142 \cdot T$
HC	Pre-EURO sin cat.	Diésel	$6,834 + 0,022 \cdot U$
		Gasolina	$3,578 - 0,052 \cdot T + 0,093 \cdot U$
	Pre-EURO con cat.	Gasolina	$2,087 - 0,042 \cdot T + 0,099 \cdot U$
	EURO 1	Diésel	$3,444 + 0,226 \cdot U$
		Gasolina	$7,972 - 0,0413 \cdot U$
	EURO 2	Diésel	$4,79 - 0,021 \cdot T + 0,116 \cdot U$
		Gasolina	$5,201 - 0,037 \cdot T + 0,065 \cdot U$
	EURO 3	Diésel	$7,341 + 0,07 \cdot U$
		Gasolina	$3,552 - 0,092 \cdot T + 0,135 \cdot U$
	EURO 4	Gasolina	$6,97 - 0,16 \cdot T$

Compuesto	Tecnología	Combustible	$dc(T, u)$ (km)
NO <sub>x</sub>	Pre-Euro sin cat.	Diésel	3,18 + 0,087*U
		Gasolina	2,879 + 0,081*U
	Pre-Euro con cat.	Gasolina	1,92 - 0,026*T + 0,101*U
	Euro 1	Diésel	4,392 + 0,317*U
		Gasolina	4,318 - 0,016*U
	Euro 2	Diésel	0,76 - 0,033*T + 0,158*U
		Gasolina	-2,515 + 0,238*U
	Euro 3	Diésel	9,809 - 0,094*U
		Gasolina	1,922 + 0,091*U
	Euro 4	Gasolina	4,523

97. Tabla: Exceso de emisión ( $\omega$ ) y coeficiente  $f(T, u)$  (turismos). Fuente: ARTEMIS

Compuesto	Tecnología	Combustible	$\omega$ exceso de emisión	Coeficiente $f(T, u)$
CO	Pre-EURO sin cat.	Diésel	5,102 - 0,044*T - 0,074*U	1,851 - 0,016*T - 0,027*U
		Gasolina	129,521 - 5,361*T + 1,285*U	2,698 - 0,112*T + 0,027*U
	Pre-EURO con cat.	Gasolina	128,022 - 5,731*T + 0,126*U	8,044 - 0,369*T + 0,008*U
	EURO 1	Diésel	4,662 - 0,067*T - 0,061*U	2,198 - 0,031*T - 0,029*U
		Gasolina	30,369 - 1,221*T + 0,437*U	2,068 - 0,083*T + 0,03*U
	EURO2	Diésel	7,711 - 0,199*T - 0,05*U	2,824 - 0,073*T - 0,018*U
		Gasolina	32,873 - 0,74*T - 0,051*U	1,927 - 0,043*T - 0,003*U
	EURO 3	Diésel	2,455 - 0,02*U	1,194 - 0,01*U
		Gasolina	35,45 - 1,455*T + 0,096*U	4,291 - 0,176*T + 0,012*U
	EURO 4	Gasolina	31,627 - 1,338*T	6,488 - 0,274*T
CO <sub>2</sub>	Pre-EURO sin cat.	Diésel	854,4 - 17,56*U	1,698 - 0,035*U
		Gasolina	214,922 - 6,528*T - 0,088*U	2,602 - 0,079*T - 0,001*U
	Pre-EURO con cat.	Gasolina	133,024 - 0,306*U	1,048 - 0,002*U
	EURO 1	Diésel	374,171 - 8,405*T - 2,646*U	2,43 - 0,055*T - 0,017*U
		Gasolina	162,937 - 5,435*T + 0,358*U	1,048 - 0,002*U
	EURO 2	Diésel	362,34 - 10,921*T - 0,14*U	2,567 - 0,077*T - 0,001*U
		Gasolina	194,662 - 3,546*T + 0,504*U	1,454 - 0,026*T + 0,004*U
	EURO 3	Diésel	171,52 - 0,381*U	1,047 - 0,002*U
		Gasolina	186,055 - 5,365*T + 2,283*U	1,496 - 0,043*T + 0,018*U
	EURO 4	Gasolina	168,005 - 5,165*T	2,597 - 0,08*T

Compuesto	Tecnología	Combustible	$\omega$ exceso de emisión	Coefficiente $f(T, u)$	
<b>HC</b>	<i>Pre-EURO sin cat.</i>	<i>Diésel</i>	1,607 - 0,028*U	1,538 - 0,027*U	
		<i>Gasolina</i>	27,712 -1,278*T + 0,233*U	4,068 - 0,188*T + 0,034*U	
	<i>Pre-EURO con cat.</i>	<i>Gasolina</i>	10,853 - 0,439*T + 0,035*U	3,893 - 0,157*T + 0,013*U	
	<b>EURO 1</b>	<i>Diésel</i>	0,75 - 0,007*T - 0,011*U	1,835 - 0,016*T - 0,026*U	
		<i>Gasolina</i>	8,653 - 0,114*U	1,357 - 0,018*U	
	<b>EURO 2</b>	<i>Diésel</i>	2,38 - 0,094*T - 0,006*U	6,247 - 0,247*T - 0,015*U	
		<i>Gasolina</i>	6,997 - 0,059*T - 0,071*U	1,597 - 0,014*T - 0,016*U	
	<b>EURO 3</b>	<i>Diésel</i>	0,129 + 0,001*U	0,863 + 0,007*U	
		<i>Gasolina</i>	8,229 - 0,415*T + 0,049*U	9,093 - 0,459*T + 0,054*U	
	<b>EURO 4</b>	<i>Gasolina</i>	5,184 - 0,247*T	21,246 - 1,012*T	
	<b>NOx</b>	<i>Pre-EURO sin cat.</i>	<i>Diésel</i>	-0,489 + 0,015*U	2,472 - 0,074*U
			<i>Gasolina</i>	0,934 - 0,036*T - 0,017*U	-7,182 +0,276*T +0,133*U
<i>Pre-EURO con cat.</i>		<i>Gasolina</i>	2,159 - 0,094*T + 0,023*U	2,894 - 0,126*T + 0,031*U	
<b>EURO 1</b>		<i>Diésel</i>	2,281 - 0,098*T - 0,017*U	-120,03 +5,171*T+ 0,881*U	
		<i>Gasolina</i>	0,053 + 0,04*U	0,063 + 0,047*U	
<b>EURO 2</b>		<i>Diésel</i>	1,686 - 0,082*T + 0,002*U	20,076 - 0,978*T+ 0,024*U	
		<i>Gasolina</i>	0,287 + 0,021*U	0,406 + 0,03*U	
<b>EURO 3</b>		<i>Diésel</i>	-0,909 + 0,04*U	8,335 - 0,367*U	
		<i>Gasolina</i>	0,282 - 0,002*T + 0,005*U	0,808 - 0,005*T + 0,015*U	
<b>EURO 4</b>		<i>Gasolina</i>	0,186	1	

98. Tabla: Coeficiente a para la fórmula  $h(\delta)$  (turismos). Fuente: ARTEMIS

Compuesto	Tecnología	Combustible	a
<b>CO</b>	<i>Pre-EURO sin cat.</i>	<i>Diésel</i>	-3,05
		<i>Gasolina</i>	4,066
	<i>Pre-EURO con cat.</i>	<i>Gasolina</i>	-5,579
	<b>EURO 1</b>	<i>Diésel</i>	-3,083
		<i>Gasolina</i>	-4,533
	<b>EURO2</b>	<i>Diésel</i>	4,731
		<i>Gasolina</i>	-9,007
	<b>EURO 3</b>	<i>Diésel</i>	-9,503
		<i>Gasolina</i>	-7,28
	<b>EURO 4</b>	<i>Gasolina</i>	-5,544

Compuesto	Tecnología	Combustible	a
CO <sub>2</sub>	Pre-EURO sin cat.	Diésel	-3,432
		Gasolina	-2,33
	Pre-EURO con cat.	Gasolina	-2,68
	EURO 1	Diésel	-4,078
		Gasolina	-2,714
	EURO 2	Diésel	-3,767
		Gasolina	-2,563
	EURO 3	Diésel	-3,389
		Gasolina	-3,662
	EURO 4	Gasolina	-2,686
HC	Pre-EURO sin cat.	Diésel	-3,352
		Gasolina	-5,204
	Pre-EURO con cat.	Gasolina	-10,737
	EURO 1	Diésel	-3,242
		Gasolina	-8,923
	EURO 2	Diésel	-4,388
		Gasolina	-10,209
	EURO 3	Diésel	-12,14
		Gasolina	-8,624
	EURO 4	Gasolina	-11,898
NO <sub>x</sub>	Pre-EURO sin cat.	Diésel	-2,926
		Gasolina	-2,615
	Pre-EURO con cat.	Gasolina	-2,246
	EURO 1	Diésel	-1,776
		Gasolina	-5,752
	EURO 2	Diésel	-4,729
		Gasolina	-3,765
	EURO 3	Diésel	-2,479
		Gasolina	-0,739
	Euro 4	Gasolina	-0,432

Para las nuevas tecnologías EURO 4-5-6 se proponen los siguientes factores de reducción.

99. Tabla: Reducción de emisiones en frío para EURO 4/5/6. Fuente: ARTEMIS

Tecnología de Emisión	Gasolina					Diésel			
		CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>
<b>EURO 3</b>						base = 1			
<b>EURO 4</b>	base = 1					0,781	1	0,833	0,5
<b>EURO 5</b>	no DISI	1	1	1	1	0,781	1	0,833	0,35
	DISI	1	0.9	1	1				
<b>EURO 6</b>	Se supone igual que Euro 5								

100. Tabla: Exceso de emisión en frío en motocicletas de 2 tiempos (g.arranque<sup>-1</sup>). Fuente: ARTEMIS

Tamaño Motor	Tecnología de Emisión	CO (g)	HC (g)	NO <sub>x</sub> (g)	FC (cm <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> (g)
<b>Motocicleta 2 Tiempos</b>	<b>Pre-EURO 1</b>	4	6	0	9	20
	<b>EURO 1</b>	4	6	0	9	20
	<b>EURO 2</b>	4	6	0	9	20
	<b>EURO 3</b>	4	6	0	9	20

101. Tabla: Exceso de emisión en frío en motocicletas de 4 tiempos (g.arranque<sup>-1</sup>). Fuente: ARTEMIS

Tamaño Motor	Tecnología de Emisión	CO (g)	HC (g)	NO <sub>x</sub> (g)	FC (cm <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> (g)
<b>&lt;50 cc</b>	<b>Pre-EURO 1</b>	5	1	0,10	17	40
	<b>EURO 1</b>	5	1	0,15	17	40
	<b>EURO 2</b>	4	1	0,20	17	40
	<b>EURO 3</b>	4	1	0,25	17	40
<b>50-150 cc</b>	<b>Pre-EURO 1</b>	5	1	0,10	17	40
	<b>EURO 1</b>	5	1	0,15	17	40
	<b>EURO 2</b>	4	1	0,20	17	40
	<b>EURO 3</b>	4	1	0,25	17	40
<b>151-250 cc</b>	<b>Pre-EURO 1</b>	5	1	0,10	17	40
	<b>EURO 1</b>	5	1	0,15	17	40
	<b>EURO 2</b>	4	1	0,20	17	40
	<b>EURO 3</b>	4	1	0,25	17	40
<b>251-750 cc</b>	<b>Pre-EURO 1</b>	22	4	0,06	17	40
	<b>EURO 1</b>	20	3	0,09	17	40
	<b>EURO 2</b>	18	3	0,12	17	40
	<b>EURO 3</b>	16	2	0,15	17	40

102. Tabla: Influencia del tiempo de parking  $g(t)$  (turismos). Fuente: ARTEMIS (Boulter et al. 2009)

Tipo de Vehículo	Compuesto	Ecuación	
Gasolina con catalizador	CO	$g(t) = 4,614 * 10^{-3} * t - 2,302 * 10^{-6} * t^2 - 2,966 * 10^{-9} * t^3$ (t < 240 min)	
		$g(t) = 1$ (t > 240 min)	
	CO <sub>2</sub>	$g(t) = 0,1349 * t - 2,915 * 10^4 * t$ (t < 20 min)	
		$g(t) = 0,136 + 0,0012 * t$ (21min < t < 720 min)	
		$g(t) = 1$ (t >720 min)	
	HC	$g(t) = 7,641 * 10^{-3} * t - 2,639 * 10^{-5} * t^2 + 3,128 * 10^{-8} * t^3$ (t <240 min)	
		$g(t) = 0,625 + 5,208 * 10^{-4} * t$ (241 min < t < 720 min)	
		$g(t) = 1$ (t >720 min)	
	NO <sub>x</sub>	$g(r) = 7,141 * 10^{-3} * t - 1,568 * 10^{-3} * t^2 - 3,204 * 10^{-5} * t^3 + 1,594 * 10^{-7} * t^4$ (t < 50 min)	
		$g(t) = 1,290 - 4,030 * 10^{-4} * t$ (51 min < t < 720 min)	
		$g(t) = 1$ (t >720 min)	
	Gasolina sin catalizador	CO	$g(t) = -1,504 * 10^{-2} * t + 1,406 * 10^{-4} * t^2 - 2,547 * 10^{-7} * t^3$ (t < 240min)
$g(t) = 1$ (t >240 min)			
CO <sub>2</sub>		$g(t) = 5,287 * 10^{-9} * t^3 - 8,864 * 10^{-6} * t^2 + 5,035 * 10^{-3} * t$ (t < 720 min)	
		$g(t) = 1$ (t >720 min)	
HC		$g(t) = 1,039 * 10^{-3} * t - 7,918 * 10^{-6} * t^2 + 4,211 * 10^{-8} * t^3 - 6,856 * 10^{-11} * t^4 + 3,650 * 10^{-14} * t^5$ (t < 720 min)	
		$g(t) = 1$ (t >720 min)	
NO <sub>x</sub>		$g(t) = 3,52 * 10^{-2} * t - 3,705 * 10^{-4} * t^2$ (t < 50 min)	
		$g(t) = 0,8170 + 2,537 * 10^{-4} * t$ (51 min < t < 720 min)	
		$g(t) = 1$ (t > 720 min)	
Diésel		CO	$g(t) = 4,167 * 10^{-3} * t$ (t < 240 min)
			$g(t) = 1$ (t >720 min)
		CO <sub>2</sub>	$g(t) = 4,339 * 10^{-3} * t - 4,747 * 10^{-6} * t^2$ (t < 460 min)
	$g(t) = 0,978 + 3,077 * 10^{-5} * t$ (461 min < t < 715 min)		
	$g(t) = 1$ (t > 715 min)		
	HC	$g(t) = 3,070 * 10^{-4} * t + 4,402 * 10^{-6} * t^2 - 4,030 * 10^{-9} * t^3$ (t < 720 min)	
		$g(t) = 1$ (t > 720 min)	
	NO <sub>x</sub>	$g(t) = 0$ (t < 300 min)	
		$g(t) = -1,11 + 3,703 * 10^{-3} * t$ (300 min < t < 570 min)	
		$g(t) = 1$ (t > 570 min)	

**103. Tabla:** Factor de emisión de Material Particulado para arranque en frío. Fuente: NAEI

<b>Tipo de Vehículo</b>	<b>g.arranque<sup>-1</sup> PM<sub>10</sub></b>	<b>g.arranque<sup>-1</sup> PM<sub>2,5</sub></b>
<b>Turismo Gasolina</b>	N/E	N/E
<b>Turismo Diésel</b>	0,091	0,087
<b>VCL Gasolina</b>	N/E	N/E
<b>VCL Diésel</b>	0,128	0,121

**104. Tabla:** Emisión en frío para vehículos pesados (g.arranque<sup>-1</sup>). Fuente: MEET

<b>Peso del vehículo</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>CO</b>	<b>HC</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>PM</b>
<b>3,5-7,5 t</b>	200	6	2	-1	0,6
<b>7,5-16 t</b>	300	6	2	-2	0,6
<b>16-32 t</b>	500	6	2	-5	0,6
<b>32-40 t</b>	750	6	2	-7	0,6